

MANUAL DE ASFALTO



INSTITUTO DE ASFALTO



PETROBRAS

MANUAL DE ASFALTO



INSTITUTO DE ASFALTO

**SÉRIE DO MANUAL NO. 4 (MS-4)
EDIÇÃO 1989**

INSTITUTO DE ASFALTO

ESCRITÓRIOS EXECUTIVOS E CENTRO DE PESQUISA

Research Park Drive - P.O. Box 14052

LEXINGTON, KY 40512-4052 E.U.A.

Telefone 859-288-4960 - FAC-SÍMILE Nº 859-288-4999

SÓCIOS DO INSTITUTO DE ASFALTO

(Revisados em 2002)

O Instituto de Asfalto é uma associação internacional, sem fins lucrativos, patrocinada por membros de indústria de asfalto de petróleo para servir a usuários e produtores de materiais de asfálticos através do programa de serviços de engenharia, pesquisa e educação. Sociedade é disponível a refinadora de asfalto de petróleo, a processadores de asfaltos de pavimentação e/ou asfaltos não empregados em pavimentação e companhias que trabalham especificamente com asfaltos como matéria prima ou com aditivos para asfalto.

ALL STATES ASPHALT, INC Sunderland, MA,
ALON USA, Dallas TX,
ASPHALTE MATERIAIS, INC., Indianapolis, IN,
ASSOCIATED ASPHALT, INC, Roanoke, VA,
ATOFINA PETROCHEMICALS INC, Houston, TX
BITUMINOUS PRODUCTS CO, Maumee, Oil
BP WHITING IN,
CHEVRON PRODUCTS COMPANY, San Ramon, CA.
CITGO Asphalt Refinery Co, Plymouth Meethy PA,
CONSOLIDATED OIL & TRANSPORTATION CO, Englewood CO.
EQUIVA TRADING CO, Baubank CA
ERGON ASPHALT & EMULSION, Jackson MS
EXXON MOBIL LUBRICANTS & PETROLEUM SPECIALTIES, Fairfax VA,
FRONTIER TERMINAL & TRADING CO, Tulsa OX,
GAF MATERIAL CORP, Wayne NY,
GOLDEN BEAR OIL SPECIALTIES, Los Angelesm, CA,
GORMAN ASPHALT, Renssealer, NY
GULF STATES ASPHALT CO, South Houston, TX,
HUNT REFINARY CO, Tuscaloosa AL
HUNTNAV, REFINARY CO, Wilmiryton CA,
IKO CHICAGO IL
JEBRO INC, Sioux City IA
KOCH MATERIALS CO, Wichita KS
MARATHON.ASHLANO PETROLEUM, Findlay OH
E A MARIANI ASPHALT CO, Tampa FL
MATHY CONSTRUTION CO, Onalaska, WI
MURPHY OIL USA, Superior, WI,
OLOCATTLE MATERIALS GRUUP, Washington OL
PARAMOUNT PETROLEUM CO, Paramont, CA,
PIONERR OIL, Parker, CO,
SAN JOAQUIM REFINING CO, Bakersfield CA,
SARGEANT MARINE, Boca Raton FL,
SENECA PETROLEUM CO, Crestwood IL,
SOUTHLAND OIL COMPANY, Jackson MS,
SUIT KOTE CO CORTLAND, NY
TERRY INDUSTRIES, Inc Hamilton OH,
TESORO PETROLEUM CO, Anacortes WA
TOSCO REFINING CO, Phoenix AZ,
TRUMBULL PRODUCTS, Toledo, OH,
UNITED REFINING CO, Arrren PA,
U.S. OIL & REFINING CO, Tacoma WA
WARDEN MODIFIELD ASPHALTS, Harrisburg PA

MEMBROS DO CANADÁ

ASHWARREN INT., Mississange ON
BITUMAR, Montreal, QC,
CANADIAN ASPHALT IND., Markham, ON,
EMCO LTD, Lasalle, QC,
HUSKY OIL MARKETING CO, Calgary, AB
IMPERIAL OIL, ON,
MC ASPHALT INDUSTRIES, Scarborough, ON
MOOSE JAN ASPHALT, Moose Jaw, SK,
SHELL CANADA PRODUCTS, Montreal, QC,
PATROCANADA INC, Oakville, ON,

COMPANHIAS INTERNACIONAIS

GALTEX - Sydney Australia,
COLAS SA - Paris França
ISFALT SA - Instaribul Turquia
NYNAS BIJUMEN - Bruxelas, Bélgica
PETROBRAS - Rio de Janeiro, Brasil,
RECOPE - Cartago, Costa Rica,
REPSOL PRODUTOS ASFÁLTICOS - Madrid, Espanha,
SHELL INT. PET. CO - Londres, Inglaterra,
SKY CORPORATION - Seoul, Coreia,
YPF - Buenos Aires - Argentina,

COMPANHIAS AFILIADAS

AKZO NOBEL, Willonbrook, IL
ANDRIE, Muskegon MI,
ARR-MAZ PRODUCTS, Winter Haven, FL
BASF CORPORATION, Charlotte NC
BOUCHARD COAST WISE MANAGEMENT HICKSVILLE, NY
COASTAL TDWING INC, Houston, TX
DUPONT, Wilmington, DE,
DYNASOL, Houston TX,
ENICHEM AMERICAS, Houston TX,
HEATEL, Chattanooga, TN
KRATON POLYNEAS HORUSTON, TX
PENM MARITIME INC, Stamford CT,
PETRONAV INC, Montreal Canadá,
ROHM AND AAAS, North Andora, MA,
SAFETY KLEEN OIL RECOVERY DIV, Elgin IL,
TEXACO REFINING AND MARKETING, Maneco LA,
ULTRAPAVE CO, Resaca GA

U.S. Biblioteca de Cartão de Catálogo de Congresso Nº 88-62536
Registro 1988 O Instituto de Asfalto

Foi tomado todo cuidado na preparação deste Manual; porém, o Instituto de Asfalto não pode aceitar nenhuma responsabilidade pelas conseqüências de qualquer inexatidão que possa conter. Os princípios e diretrizes apresentadas aqui devem ser usadas e interpretadas por engenheiros qualificados.

Fotografias e desenhos de equipamentos usados nesta publicação só são para ilustração e não insinuam endosso preferencial de qualquer fabricante particular pelo Instituto de Asfalto.

Esta publicação incorpora unidades duais de medida: o Sistema internacional de Unidades, SI (métrico), seguidas por U.S. Unidades Tradicionais.

PREFÁCIO

Esta publicação é a edição completamente revisada do “Manual de Asfaltos”. Pelo período de cerca de cinqüenta anos este manual se tornou um trabalho de referência no campo de tecnologia e construção de asfaltos.

O Manual foi editado primeiramente em 1923 como uma referência sobre asfalto de bolso para engenheiros rodoviários. Esta publicação foi a principal fonte de informação impressa do recém formado Instituto de Asfalto. A referência de bolso foi várias vezes reimpressa sem variação de texto até 1937. Neste ano devido a crescente demanda por informações sobre fundamentos de projeto e construção de engenharia de pavimentação asfáltica, publicou-se o novo projetado Manual.

As últimas edições durante as próximas três décadas ampliaram o escopo do Manual e incluindo os contínuos avanços da engenharia rodoviária. Neste período houve um tremendo avanço em tecnologia em asfalto. Estes avanços complicaram as tarefas de revisão subseqüentes. Durante este período foram elaboradas numerosas edições e reimpressões. Na verdade a edição de 1962 teve subseqüentes reimpressões anuais e a edição final de 1965 foi reimpressa seis vezes. Aproximadamente 100.000 cópias foram distribuídas.

A distribuição de 1974 do manual foi suspensa. Esta decisão foi tomada devido ao aumento dos custos de produção bem como dificuldades técnicas de manter a publicação atualizada. O Instituto desenvolveu concomitantemente uma série completa de outros Manuais menores de diferentes assuntos e publicações técnicas. O Guia do Instrutor ES-1 substituiu de certa maneira o manual, contendo amplos textos em todos aspectos da tecnologia de asfalto. Mesmo com sucesso, a audiência do ES-1 era limitada e nunca satisfizes a contínua demanda para a reedição do manual.

Após um hiato de 15 anos o manual de asfalto voltou a ser publicado. Combinando aspectos da versão original e atualizando ES-1, este manual é mais vasto que a edição anterior. Contendo cerca de 600 páginas com aproximadamente 400 ilustrações e tabelas, o Manual de Asfalto é a fonte definitiva de informações sobre tecnologia de asfalto.

Com intuito de fornecer informações mais completas e abrangentes sobre tecnologia de asfalto a seus clientes do ramo rodoviário, a PETROBRAS como membro do Instituto de Asfalto obteve, em fins de 1999, deste Instituto, a permissão para a tradução para o português, sendo o Prof. Jacques de Medina da COPPE/UFRJ, o tradutor. Após revisão por técnicos da PETROBRAS, a versão em português do texto do Manual de Asfalto edição 1989 foi finalmente publicada no final de 2001.



O Pessoal do Instituto de Asfalto

Agradecimentos

Como Presidente do Instituto de Asfalto, eu gostaria de agradecer os esforços do pessoal de engenharia do Instituto que tornou este Manual possível sua experiência combinada no campo de tecnologia de asfalto fez deles os únicos capazes de produzir esta publicação.

Peter T. Grass, Presidente,

Mark A. Beavin Asphalt Materials Technician 859-288-4983 E-mail to: Mark Beavin	Michael T. Beavin Asphalt Materials Technician 859-288-4982 E-mail to: Michael Beavin
Shay C. Emmons Asphalt Materials Technician 859-288-4982 E-mail to: Shay C. Emmons	Gary D. Irvine Asphalt Materials Technologist 859-288-4980 E-mail to: Gary Irvine
Bob Peterson Asst. Asphalt Materials Engineer 859-288-4977 E-mail to: Bob Peterson	Pamela A. Turner Asst. Asphalt Materials Engineer 859-288-4986 E-mail to: Pam Turner
Ryan O'Boyle University of Kentucky Engineering Student 859-288-4977	

O Instituto de Asfalto também agradece a cooperação das agências e companhias que forneceram fotografias e outros materiais ilustrativos para esta publicação.

Sumário

	Pág.
Prefácio	vii
Agradecimentos	ix
Lista de Ilustrações	xix
Listas de Tabelas	xxix
Capítulo 1. INTRODUÇÃO AO ASFALTO	1
Seção 1.1. RELATO HISTÓRICO	2
Fundamentos	2
Marcos Históricos	3
Seção 1.2. UTILIZAÇÃO MODERNA DO ASFALTO	6
Asfalto	6
Usos do Asfalto	7
Termos Relacionados ao Asfalto e suas Aplicações	12
Seção 1.3. PAVIMENTOS ASFÁLTICOS	18
Conceitos Básicos	18
Tipos de Construção de Pavimentos Asfálticos	23
Sumário	27
Capítulo 2. ASFALTO DO PETRÓLEO	29
Seção 2.1. REFINO E PROPRIEDADES DO CIMENTO ASFÁLTICO	31
Introdução	31
Refino do Petróleo Cru	31
Propriedades ou Características Desejadas do Cimento Asfáltico	33
Especificações e Ensaio do Cimento Asfáltico	34
Seção 2.2 ASFALTOS EMULSIONADOS E DILUÍDOS	43
Introdução	43
Especificações e Ensaio de Emulsões Asfálticas	47
Especificações e Ensaio de Asfaltos Diluídos	53
Seção 2.3. ASFALTOS SOPRADOS	57
Introdução	57
Propriedades e Ensaio	57
Seção 2.4. CONTROLE DE TEMPERATURA DE MISTURA ASFÁLTICA E DE ESPARGIMENTO	60
Temperatura de Mistura	60
Temperaturas de Espargimento	60
Precauções	63
Seção 2.5. AMOSTRAGEM E RELAÇÕES TEMPERATURA VOLUME, MEDIÇÕES E CÁLCULOS	64

	Pág.
Amostragem	64
Relações Temperatura – Volume	65
Seção 2.6 PROCEDIMENTOS DE SEGURANÇA EM RELAÇÃO AO ASFALTO QUENTE	75
Capítulo 3. AGREGADOS MINERAIS	79
Seção 3.1 AGREGADOS DE MISTURAS ASFÁLTICAS	81
Introdução	81
Origem das Rochas	81
Fontes de Agregados	83
Propriedades dos Agregados	85
Seção 3.2 ANÁLISE DE AGREGADOS	90
Graduação	90
Densidade Relativa	96
Área Superficial	100
Seção 3.3 CÁLCULO DE COMBINAÇÃO DE GRADUAÇÃO	102
Introdução	102
Determinações de Combinações	103
Ajustes da Graduação	106
Capítulo 4. DOSAGEM DA MISTURA ASFÁLTICA A QUENTE	109
Seção 4.1 PROPRIEDADES DAS MISTURAS ASFÁLTICAS A QUENTE	111
Introdução	111
Considerações sobre Dosagem de Misturas	111
Procedimentos de Dosagem de Misturas	116
Seção 4.2 PROCEDIMENTOS DE ANÁLISE DE UMA MISTURA DE PAVIMENTAÇÃO COMPACTADA	120
Introdução	120
Eshoço de Procedimento	121
Dados de Misturas de Pavimentação para Cálculo de Amostras	121
Densidade Relativa Aparente de Agregado	122
Densidade Relativa Efetiva de Agregado	122
Densidades Relativas Máximas de Misturas com Diferentes Teores de Asfalto	124
Absorção de Asfalto	125
Teor de Asfalto Efetivo de uma Mistura Asfáltica	125
A Porcentagem de VAM Vazios no agregado Mineral de Misturas Asfálticas Compactadas	126
Cálculo de Vazios de Ar na Mistura Compactada	127
Porcentagem de VCA Vazios cheios de asfalto de Misturas Asfálticas Compactadas	127
Seção 4.3. MÉTODOS DE DOSAGEM DE MISTURAS ASFÁLTICAS A QUENTE	128
Introdução	128
Método Marshall de Dosagem de Mistura	128
Método de Hveem de Dosagem de Mistura	145

Capítulo 5. FABRICAÇÃO DE MISTURA ASFÁLTICA A QUENTE	173
Seção 5.1. PANORAMA DAS INSTALAÇÕES DE MISTURAS ASFÁLTICAS A QUENTE	175
Introdução	175
Estocagem de Agregados e Alimentação de Agregados Frios	178
Secagem e Aquecimento dos Agregados	181
Estocagem do Agregado Quente.....	185
Fíler Mineral	186
Estocagem do Asfalto	187
Instalação de Mistura em Bateladas	187
Instalação de Mistura em Tambor	191
Seção 5.2. OPERAÇÕES E INSPEÇÃO DE INSTALAÇÕES DE MISTURAS ASFÁLTICAS A QUENTE	197
Introdução	197
Estocagem de Materiais	198
Alimentação de Agregados Frios.....	200
Secagem e Aquecimento	202
Peneiramento e Graduação.....	205
Temperaturas.....	211
Operações de Instalações de Bateladas	213
Operações de Instalações de Mistura em Tambor	219
Miscelânea de serviços de inspeção.....	224
Amostragem e Ensaio	225
Capítulo 6. PAVIMENTAÇÃO DE MISTURAS ASFÁLTICAS A QUENTE	231
Seção 6.1. EQUIPAMENTOS DE PAVIMENTAÇÃO ASFÁLTICA	233
Introdução	233
A Acabadora Asfáltica	234
Equipamento Auxiliar.....	246
Seção 6.2. PREPARAÇÃO DA SUPERFÍCIE DA PISTA	248
Introdução	248
Preparação de Superfícies Não Pavimentadas	249
Preparação de Superfícies de Pavimentos Antigos.....	251
Camadas de Nivelamento	254
Seção 6.3. COLOCAÇÃO DE MISTURAS ASFÁLTICAS A QUENTE	257
Introdução	257
Recebimento da Mistura.....	258
Colocação com a Acabadora.....	260
Juntas de Construção de Pavimentos	265
Seção 6.4. SUPLEMENTOS DA PAVIMENTAÇÃO DAS PISTAS E ACESSÓRIOS	269
Introdução	269
Alargamento da Pista	270

	Pág.
Acostamentos	271
Superelevação	273
Meios-Fios e Banquetas de Asfalto	274
Valetas e Vertedouros de Asfalto	277
Taludes e Revestimentos de Asfalto	278
Capítulo 7. COMPACTAÇÃO DE MISTURA ASFÁLTICA A QUENTE	281
Seção 7.1. NOÇÕES DE COMPACTAÇÃO	283
A Necessidade da Compactação	283
Princípios Fundamentais	283
Fatores que afetam a Compactação	284
Seção 7.2. EQUIPAMENTO DE COMPACTAÇÃO	289
Seção 7.3. PROCEDIMENTOS DE ROLAGEM	292
Introdução	292
Juntas Transversais	292
Juntas Longitudinais	293
Rolagem de Acomodamento	294
Rolagem Intermediária	296
Rolagem Final	297
Seção 7.4. VERIFICAÇÃO DO PAVIMENTO ACABADO	298
Textura Superficial	298
Tolerância Superficial	298
Densidade do Pavimento	298
Procedimentos Adicionais	300
Capítulo 8. TRATAMENTOS SUPERFICIAIS ASFÁLTICOS	307
Seção 8.1. TIPOS DE TRATAMENTO SUPERFICIAIS ASFÁLTICOS	309
Tipos	309
Funções do Tratamento Superficial	309
Seção 8.2. TRATAMENTOS SUPERFICIAIS DE AGREGADO	
ASFALTO	311
Tipos	311
Materiais	311
Distribuidores de Asfalto	312
Espalhadores de Agregado	315
Outros Equipamentos	318
Projeto de Tratamento Superficial	320
Procedimento Construtivo	321
Tratamentos Superficiais de Asfalto-Agregado	330
Seção 8.3. OUTROS TRATAMENTOS SUPERFICIAIS	331
Introdução	331
Tratamentos Superficiais Aspergidos	331
Lama de Emulsão Asfáltica	334

Capítulo 9. O ASFALTO NA MANUTENÇÃO E REABILITAÇÃO DE PAVIMENTOS	341
Seção 9.1. PLANEJAMENTO PARA O MELHORAMENTO E A GERÊNCIA DE PAVIMENTOS	343
Introdução	343
Gerência de Pavimentos	343
Estratégias para Melhoramentos Futuros	345
Definições Referentes a Manutenção e Reabilitação	347
Seção 9.2. MANUTENÇÃO DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS	351
Introdução	351
Remendos	352
Causas e Reparos das Trincas	357
Causas e Reparos das Distorções	363
Causas e Reparos do Descolamento	367
Causas de Superfícies Escorregadias e seu Reparo	369
Problemas dos Tratamentos Superficiais	371
Seção 9.3. O ASFALTO NA MANUTENÇÃO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS	375
Introdução	375
Manutenção de Juntas e Trincas	376
Causas e reparos das Distorções	381
Causas de Descolamento e seu Conserto	382
A Eliminação dos Riscos de Derrapagem	385
Seção 9.4. O ASFALTO NA REABILITAÇÃO DE PAVIMENTOS	388
Introdução	388
Avaliação da Condição do Pavimento	388
Reforços de Asfalto	398
Capítulo 10. SOLOS E DRENAGEM PARA OS PAVIMENTOS ASFÁLTICOS	403
Seção 10.1. SISTEMAS DE CLASSIFICAÇÃO DO SOLO DE SUBLEITO	405
Introdução	405
Sistema de Classificação AASHTO	405
Sistema Unificado de Classificação de Solos	409
Seção 10.2. MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA DO SOLO DE SUBLEITO	415
Introdução	415
Provas de cargas de placas	416
Método do Índice de Suporte Califórnia (CBR)	418
Método do Valor de Resistência (Valor R)	423
Método do Módulo de Resiliência (Mr)	431

Seção 10.3. DRENAGEM DE ESTRUTURAS DE PAVIMENTOS	
ASFÁLTICOS	434
Introdução	434
Drenagem Superficial	435
Drenagem Subsuperficial	439
Construção	443
Capítulo 11. PROJETO ESTRUTURAL DE PAVIMENTOS	
ASFÁLTICOS	447
Seção 11.1. FUNDAMENTOS DO PROJETO DE PAVIMENTOS	449
Estrutura do Pavimento Asfáltico	449
Pavimento Asfáltico de Espessura Plena	449
Seção 11.2. MÉTODOS DE PROJETO ESTRUTURAL	452
Procedimentos Geral	452
Módulo de Resiliência do Subleito	452
Seção 11.3. ANÁLISE DE TRÁFEGO E DIMENSIONAMENTO	
RODOVIAS	456
Análise de Tráfego	456
Dimensionamento	460
Seção 11.4. ANÁLISE DE TRÁFEGO E DIMENSIONAMENTO	
AERÓDROMOS	470
Análise das Aeronaves	470
Dimensionamento	472
Seção 11.5. ANÁLISE DO TRÁFEGO E DIMENSIONAMENTO	
CARGAS DE RODA PESADAS	488
Análise dos Veículos	488
Dimensionamento	491
Seção 11.6. CONSTRUÇÃO PLANEJADA POR ETAPAS	498
Vantagens	498
Abordagem do Projeto	498
Seção 11.7. PROJETO DE REFORÇO DE PAVIMENTO	500
Avaliação da Capacidade Estrutural	500
Análise da Espessura Efetiva	500
Dimensionamento de Reforço	501
Capítulo 12. RECICLAGEM DE MISTURAS A QUENTE	507
Seção 12.1. FUNDAMENTOS DA RECICLAGEM DE MISTURA	
A QUENTE	508
Introdução	508
Definição	508
Dimensionamento	509
Seção 12.2. DOSAGEM DA MISTURA	510
Introdução	510
Passos Preparatórios	510

Avaliação dos Materiais	510
Dosagem da Mistura	511
Seção 12.3. MATERIAIS RECUPERADOS	524
Remoção do Pavimento	524
Redução do Tamanho do Material do Pavimento	524
Empilhamentos	525
Seção 12.4. MÉTODOS DAS INSTALAÇÕES DE PRODUÇÃO	527
Opções de Produção	527
Instalações de Batelada	527
Instalações de Misturas em Tambor	528
Espalhamento e Compactação	533
Capítulo 13. MISTURA ASFÁLTICA A FRIO	535
Seção 13.1. PAVIMENTOS ASFÁLTICOS DE MISTURA A FRIO	536
Introdução	536
Composição da Mistura	536
Tipos de Misturas	539
Métodos de Construção	542
Seção 13.2. RECICLAGEM DE MISTURAS A FRIO	554
Reciclagem a Frio no Local	554
Reciclagem a Frio em Instalação Central	559
Capítulo 14. USOS ESPECIAIS DO ASFALTO E ADITIVOS	563
Seção 14.1 – APLICAÇÕES MISCELÂNEAS DO ASFALTO	565
Pavimentação de Tabuleiro de Ponte	565
Estacionamentos de Terraços	566
Pisos Industriais	567
Instalações de Esporte e Recreação	568
Estruturas Hidráulicas	569
Telhados de Asfalto	572
Asfalto nas Vias Permanentes Ferroviárias	574
Tratamentos de Palhas de Cobertura	576
Seção 14.2 – MODIFICADORES DO ASFALTO	579
Introdução	579
Silicones	579
Agentes Orgânicos Antidescolantes	580
Cal Hidratada	580
APÊNDICE A	581
APÊNDICE B	595

Lista das Ilustrações

Figura n^o Pág.

Capítulo 1

1.1.	Serviço de Pavimentação – 1907, na Avenida Pennsylvania, Washington, D.C.	3
1.2.	Consumo de Asfalto nos Estados Unidos	8
1.3.	Extensão de Estradas nos Estados Unidos	9
1.4.	Espalhamento de Carga de Roda Através da Estrutura do Pavimento	18
1.5.	Seções Transversais de Pavimentos Asfálticos Mostrando Estruturas Típicas de Pavimentos Asfálticos	20
1.6.	Deflexões do Pavimento Resultam em Tensões de Tração e Compressão na Estrutura do Pavimento	21

Capítulo 2

2.1.	Fluxograma de Produção de Cimento Asfáltico	32
2.2.	Viscosímetro a Vácuo do Asphalt Institute	36
2.3.	Viscosímetro a Vácuo Cannon-Manning	36
2.4.	Viscosímetro no Banho	36
2.5.	Viscosímetro Zeitfuchs de Braço Transverso	37
2.6.	Viscosímetro no Banho	37
2.7.	Ensaio de Penetração	39
2.8.	Ensaio de Ponto de Fulgor no Vaso Aberto de Cleveland	40
2.9.	Ensaio em estufa de Película Delgada (Efeito do Calor e do Ar)	40
2.10.	Ensaio em estufa de filme fino rotativo (Efeito do Calor e do Ar)	41
2.11.	Ensaio de Dutilidade	42
2.12.	Fluxograma da Produção de Emulsões Asfálticas e Asfaltos Diluídos	44
2.13.	Ensaio de Viscosidade Saybolt Furol	48
2.14.	Ensaio de Carga de Partícula	51
2.15.	Ensaio de Destilação de Emulsões Asfálticas	52
2.16.	Ensaio de Ponto de fulgor em Vaso Aberto Tag	55
2.17.	Ensaio de Destilação do Asfalto Diluído	55
2.18.	Ensaio de Ponto de Amolecimento	59

Capítulo 3

3.1.	Diferentes Classes de Agregados	82
3.2.	Curva de Graduação de Combinação de Agregados para uma Camada de Revestimento de Concreto Asfáltico	86
3.3.	Máquina de Abrasão Los Angeles	87
3.4.	Análise por Peneiramento	91
3.5.	Dados de Análise por Peneiramento Convertidos em Graduação do Agregado	92
3.6.	Composições Típicas de Concreto Asfáltico	93
3.7.	Tamanhos padronizados de Agregados Graúdos	94

<i>Figura n°</i>	<i>Pág.</i>
3.8. Relações entre as Diferentes Densidades Relativas de uma Partícula de Agregado	97
3.9. Cálculo da Área Superficial	101
3.10. Cálculo por Tentativas da Combinação de Dois Agregados	104
3.11. Solução por Tentativas da Combinação de Três Agregados	105
3.12. Ajuste de Porcentagens em Volume para Porcentagens em Peso	106
3.13. Ajuste de Graduação por Descarte	108

Capítulo 4

4.1. Relações de Densidade – Vazios e Volumétricas de um Corpo-de Prova Compactado de Mistura Asfáltica de Pavimentação.	118
4.2. Pesagem dos Agregados para as Misturas de Batelada	130
4.3. Aquecimento de Bateladas de Agregado na Estufa	
4.4. Adicionando Asfalto a um recipiente de Aquecimento de Asfalto Controlado Termoestaticamente	131
4.5. Misturador Mecânico para a Mistura de uma Batelada de Asfalto e Agregado ...	131
4.6. Soquete Mecânico Usado na Preparação de Corpos-de-Prova do Ensaio Marshall	134
4.7. Procedimento Marshall – Equipamento de Ensaio de Compressão	138
4.8. Prensa de Ensaios	138
4.9. Ficha de Relatório de Ensaio com Dados de Ensaios de Dosagem Típica pelo Método Marshall	140
4.10. Curvas das Propriedades Teste para a Dosagem de Misturas a Quente pelo Método Marshall	142
4.11. Percentual Mínimo de Vazios no Agregado Mineral	144
4.12. Aparelho para o Ensaio C. K. E. de Hveem	147
4.13. Gráfico de Determinação da Constante de Superfície de Material Fino, K_p , do Ensaio C. K. E., Método de Dosagem de Hveem	149
4.14. Gráfico para Determinação da Constante de Superfície do Material Graúdo, K_c , a partir da Absorção do Agregado Graúdo, Método de Dosagem de Hveem	150
4.15. Gráfico para a Combinação do K_1 e K_2 na Determinação da Constante de Superfície do Agregado Combinado, K_m , Método de Dosagem de Hveem	152
4.16. Gráfico para o Cálculo da Razão de Óleo de Misturas Betuminosas Densamente Graduadas, Método de Dosagem de Hveem	153
4.17. Gráfico de Correção dos Requisitos de Betume Devido ao Aumento de Viscosidade do Asfalto, Método de Dosagem de Hveem	154
4.18. Transferência da Mistura para o Molde	159
4.19. Puncionamento da Mistura no Molde	159
4.20. Compactador Mecânico de Amassamento	160
4.21. Diagrama Mostrando Características Principais do Estabilômetro de Hveem	163

<i>Figura n°</i>	<i>Pág.</i>
4.22. Estabilômetro de Hveem	163
4.23. Gráfico de Correção dos Valores de Estabilômetro para a Altura do Corpo-de-Prova de 64mm (2.5 pol)	164
4.24. Aparelhagem de Ensaio de Expansão	167
4.25. Sugestão de Ficha de Relatório de Ensaios de uma Dosagem Típica pelo Método de Hveem	168
4.26. Curvas de Propriedades teste para a Dosagem de Mistura Asfáltica a Quente pelo Método de Hveem	169
4.27. Procedimentos para a Escolha do Teor Ótimo de Asfalto, Método de Dosagem de Hveem	171

Capítulo 5

5.1. Instalação de Mistura de Batelada	176
5.2. Instalação de Mistura de Batelada, Tipo Portátil	176
5.3. Instalação de Mistura de Tambor Estacionária	177
5.4. Instalação de Mistura de Tambor Portátil	177
5.5. Esquema de Instalação de Mistura de Tambor	178
5.6. Alimentador Frio de Três Silos e Correia	179
5.7. Alimentador de Correia Contínua	180
5.8. Alimentador Vibratório Eletromagnético	180
5.9. Alimentador de Fluxo por Tabuleiros	181
5.10. Secador na Instalação de Mistura de Batelada	182
5.11. Misturador de Tambor	183
5.12. Coletor de Poeira Típico	184
5.13. Outros Sistemas de Coleta de Poeira	185
5.14. Vista Secional com Pormenores do Fluxo de Material Através de Peneiras e Silos	186
5.15. Linha de Retorno do Asfalto	188
5.16. Mistura Asfáltica a Quente Carregando o Caminhão Diretamente do Malaxador	188
5.17. Misturador “Pugmill” ou Malaxador de uma Instalação por Batelada ...	190
5.18. Silos de Estocagem de Concreto Asfáltico, Isolados, de Grande Capacidade	191
5.19. Estação de Controle de Instalação Automática	192
5.20. Instalação de Misturador de Tambor	192
5.21. (a). Misturador de Tambor de Fluxo Reverso	194
(b). Instalação de Misturador de Tambor de Fluxo Reverso	194
5.22. Unidade de Recobrimento de Asfalto	195
5.23. Estocagem de Mistura numa Instalação de Mistura de Tambor	196
5.24. Série de Tanques de Estocagem de Asfalto	199
5.25. Gráfico de Calibração de Alimentadores de Silos Frios	203
5.26. Os Agregados Finos Retêm Mais Umidade do que os Agregados Graúdos, Necessitando de Mais Calor para Secarem	204

<i>Figura n^o</i>	Pág.
5.27. Escolha de Separações de Tamanhos para Estocagem de 4 Silos	205
5.28. Arranjo de Peneiras Superpostas para 4 Silos de Estocagem Quente	206
5.29. Desgaste da Tela da Peneira	207
5.30. Segregação de Materiais nos Silos Quentes	209
5.31. Dispositivo de Amostragem de Agregado em Instalação de Asfalto	210
5.32. Uso Correto do Dispositivo de Amostragem	210
5.33. Controle Principal da Alimentação Fria	212
5.34. Dispositivo Típico de Amostragem	212
5.35. Operações Básicas de Instalação de Misturas de Bateladas Mostradas em Fluxograma e Esquema	215
5.36. Exemplo de Cálculo para Determinação das Leituras na Balança da Tremonha de Pesagem de Agregados	217
5.37. Malaxador (“Pugmill”) com Carga Excessiva	218
5.38. Malaxador (“Pugmill”) com Carga Insuficiente	218
5.39. Zona Viva do Malaxador (“Pugmill”)	219
5.40. Instalação Básica de Misturador de Batelada	220
5.41. Ponte de Pesagem	222
5.42. Entrada do Asfalto	223
5.43. Zonas do Misturador de Tambor	223
5.44. Medição de Temperatura da Mistura no Caminhão	226
5.45. Relatório Diário do Inspetor de Usina de Asfalto	229

Capítulo 6

6.1. Mistura Asfáltica a Quente sendo Despejada na Acabadora	233
6.2. Acabadora Asfáltica	234
6.3. Fluxo de Material Através da Pavimentadora Asfáltica	235
6.4. Carregador de Pequena Subida Sendo Usada para Transferir Mistura Asfáltica da Leira para a Tremonha da Pavimentadora	236
6.5. Fluxo de Material Através da Pavimentadora Autopropulsionada	237
6.6. Unidade de Sapata Vibratória de Acabamento	239
6.7. Forças Atuantes na Sapata Acabadora Durante as Operações de Pavimentação	239
6.8. Componentes de um Dispositivo Automático de Sapata Acabadora	241
6.9. Sapata Seguidora do Greide	242
6.10. Controle Automático da Sapata Acabadora por um Esqui Comprido	
6.11. Seguidor de Greide de Corda	243
6.12. Acabadora Pequena	244
6.13. Acabadora Pequena Autopropulsionada	244
6.14. Acabadora Pequena Autopropulsionada	245
6.15. Escoamento de Material Através da Pavimentadora Pequena	246
6.16. Distribuição de Asfalto	247
6.17. Fresagem a Frio	252
6.18. Camadas das Cunhas de Nivelamento	255

<i>Figura n°</i>	Pág.
6.19. Limites de Cunha de Nivelamento de Várias Camadas	256
6.20. Ilustração do Bilhete de Carga	259
6.21. Sobreposição de Camadas Sucessivas para Ajudar a Evitar o Trincamento Segundo a Junta Longitudinal	261
6.22. Verificação da Espessura do Tapete Asfáltico com um Medidor de Espessura	264
6.23. Construção e Preparação de Juntas Longitudinais	266
6.24. Construção e Preparação de Juntas Transversais	268
6.25. Base de Concreto Asfáltico Aplicada com Acabadora Especial para Alargamento de Rodovia	271
6.26. Compactador de Trincheira	272
6.27. Seção Transversal de Acostamento Sugerido; Pavimento Asfáltico de Espessura Plana	272
6.28. Construção Gradativa de Curvas Superelevadas com Misturas Asfálticas	276
6.29. Máquinas de Meios-Fios	277

Capítulo 7

7.1. Durabilidade do Pavimento vs. Vazios de Ar	284
7.2. Tempo Permissível para a Compactação	285
7.3. Forças em Jogo Durante Compactação	286
7.4. Sumário das Influências na Compactação	288
7.5. Rolo de Rodas de Aço Tandem	290
7.6. Rolo Pneumático Autopropulsionado	291
7.7. Rolo Vibratório Tandem Autopropulsionado	291
7.8. Rolagem de uma Junta Transversal	293
7.9. Rolagem de uma Junta Longitudinal	294
7.10. Padrão de Rolagem Correto	295
7.11. Forças Atuantes quando a Roda Leme ou a Roda Motriz está na Frente	296
7.12. Régua Rolante para Verificação da Tolerância Superficial	299
7.13. Ensaios de Densidade	300
7.14. Retirada de Amostra de Rotativa do Pavimento Acabado	302
7.15. Diário de Inspeção do Pavimento	303
7.16. Relatório Semanal do Inspetor da Estrada	304
7.17. Relatório Diário do Inspetor da Estrada	305

Capítulo 8

8.1. Distribuidor de Asfalto	313
8.2. Ajuste Angular Adequado do Bico	314
8.3. Sobreposição de Leques Distribuidores	315
8.4. Roda do Betumetro e Mostrador do Betumetro	315
8.5. Espalhador de Comporta de Descarga de Lâminas	316
8.6. Espalhador de Comporta de Descarga do Tipo Tremonha	317
8.7. Espalhador Mecânico Preso a Caminhão	317

<i>Figura n^o</i>	<i>Pág.</i>
8.8. Espalhador Mecânico Autopropulsionado	319
8.9. Vassoura Mecânica	320
8.10. Operação de Tratamento Superficial	324
8.11. Máquina de Lama Asfáltica	337
8.12. Diagrama de Escoamento de um Misturador Típico de Lama Asfáltica Selante	338

Capítulo 9

9.1. Roteiro para Desenvolvimento de Plano	344
9.2. Exemplo de Deterioração da Estrada Contra o Tempo	346
9.3. Remoção do Revestimento e Base	353
9.4. Aplicação de Pintura de Ligação nas Faces Verticais	354
9.5. Preenchimento da Escavação com Mistura Asfáltica	355
9.6. Espalhamento da Mistura	355
9.7. Compactação da Mistura	356
9.8. Verificação da Superfície Remendada com uma Régua	356
9.9. Trincas em Couro de Jacaré	359
9.10. Trinca na Borda	360
9.11. Trinca na Borda da Junta	361
9.12. Trinca na Junta da Faixa	361
9.13. Trinca de Reflexão	362
9.14. Trincas de Contração	362
9.15. Trincas de Escorregamento	363
9.16. Canalização	364
9.17. Corrugações	365
9.18. Escorregamento	365
9.19. Máquina de Fresagem a Frio	366
9.20. Depressões	367
9.21. Empolamento	368
9.22. Panelas	369
9.23. Desprendimento	370
9.24. Exsudação (Sangramento)	371
9.25. Agregados Polidos na Superfície do Pavimento	372
9.26. Perda de Agregado de Cobertura	373
9.27. Ranhuras Longitudinais	374
9.28. Trincas Transversais	378
9.29. Trincas Longitudinais	379
9.30. Trincas Diagonais	379
9.31. Trinca de Canto e Laseado	380
9.32. Trinca de Restrição	380
9.33. Falhas	382
9.34. Bombeamento	383
9.35. Arrebetamento (Empenamento)	383

<i>Figura n^o</i>	<i>Pág.</i>
9.36. Arrebetamento (Estilhaçamento)	384
9.37. Escamação	385
9.38. Lascado	386
9.39. Agregados Polidos na Superfície do Pavimento	387
9.40. Ficha de Avaliação de Pavimentos Asfálticos	391
9.41. Avaliação de Condição como um Indicador Geral do Tipo de Manutenção	391
9.42. Um Guia para Estimar a Avaliação da Condição do Pavimento e a Prioridade para Pavimentos Flexíveis	392
9.43. Um Guia para Estimar a Avaliação de Condição de Pavimento e a Prioridade para Pavimentos Rígidos	393
9.44. Ficha de Avaliação da Condição de Pavimento Flexível	394
9.45. Ficha de Avaliação da Condição de Pavimento Rígido	395
9.46. Diagrama Esquemático da Trinca de Reflexão	399

Capítulo 10

10.1. Limite de Liquidez e faixa do Índice de Plasticidade	408
10.2. Gráfico de Plasticidade do sistema unificado de solos	409
10.3. Arranjo do Equipamento de Prova de Carga de Placa	417
10.4. Influência das Repetições de Carga na Deflexão	418
10.5. Carga Total Corrigida Versus Deflexão Corrigida para Dez Repetições de Carga	419
10.6. Aparelhagem de Ensaio CBR	422
10.7. Correção das Curvas de Carga contra Penetração	423
10.8. Exemplo de Ficha de Anotações dos Dados do Ensaio CBR	424
10.9. Compactador Mecânico	425
10.10. Colocação do Solo num Molde de Compactação através de uma Calha de Alimentação	426
10.11. Dispositivo Indicador da Umidade de Exsudação	427
10.12. Conjunto de Pressão de Expansão	428
10.13. Estabilômetro de Hveem	429
10.14. Gráficos de Resultados de Ensaio de Laboratório e das Espessuras de pavimento Necessárias na Determinação do Valor R de Dimensionamento	430
10.15. Aparelho de Ensaio de Módulo Resiliente do Solo	432
10.16. Ficha de Ensaio de Módulo Resiliente de Solos Compactados de Textura Fina	433
10.17. Valeta Lateral Típica	436
10.18. Pavimentação de Valetas Laterais Evita a Erosão na Valeta	437
10.19. Banqueta Dirigida para a Tubulação de Descarga Leva a Carreamento Água Morro a Baixo	437
10.20. Banqueta Lateral à Rodovia sob Forma de Valeta Pavimentada	438
10.21. Efeito na Permeabilidade de Pequena Variação da Graduação	440
10.22. Inchamento por Congelamento é Causado por Lentas	

<i>Figura n^o</i>	<i>Pág.</i>
de Gelo Formadas Abaixo da Estrutura do Pavimento	442
10.23. Berços Típicos das Tubulações em Trincheiras	445
Capítulo 11	
11.1. Espalhamento da Carga da Roda pela Estrutura do Pavimento	450
11.2. Resultados de Deflexões sob a Carga da Roda nas Tensões de Compressão e Tração da Estrutura do Pavimento	451
11.3. Relações Aproximadas entre Valor de Suporte de Ensaio de Placa e Módulo Resiliente (Mr)	453
11.4. Exemplo de Planilha de Cálculo para a Análise de Tráfego	459
11.5. Gráfico 1, Concreto Asfáltico de Espessura Plena (Unidades Métrica).....	461
11.6. Gráfico 2, Mistura a Emulsão Asfáltica, Tipo II (Unidades Métrica)	461
11.7. Gráfico 3, Concreto Asfáltico sobre Base de Agregado Não Tratado (Unidades Métrica)	463
11.8. Gráfico 4, Concreto Asfáltico de Espessura Plena (Unidades Costumeiras dos E.U.A.)	464
11.9. Gráfico 5, Mistura a Emulsão Asfáltica, Tipo II (Unidades Costumeiras dos E.U.A.)	465
11.10. Gráfico 6, Concreto Asfáltico sobre Base de Agregado Não Tratado (Unidades Costumeiras dos E.U.A.)	466
11.11. Localizações e Direções das Deformações Específicas à Tração e à Compressão num Sistema de Pavimento Asfáltico de Espessura Plena	472
11.12. Passos na Determinação da Espessura de Projeto	474
11.13. Espessura de Pavimento Necessária para Limitar a Deformação Específica Vertical de Compressão no Subleito, sob as Repetições de Carga da Aeronave Padrão	475
11.14. Espessura de Pavimento Necessária para Limitar a Deformação Específica Horizontal de Tração no Concreto Asfáltico, sob as Repetições de Carga da Aeronave Padrão	476
11.15. Gráfico A	477
11.16. Gráfico B	478
11.17. Gráfico C	479
11.18. Gráfico D	480
11.19. Ficha de Cálculo do Tráfego de Aeronaves, n ^o 2. Deformação Específica de Compressão Vertical no Subleito	481
11.20. Ficha de Cálculo do Tráfego de Aeronaves, n ^o 2. Deformação Específica de Tração Horizontal no Concreto Asfáltico	482
11.21. Curvas de Valor de Tráfego Admitido e de Valor de Tráfego Previsto, para Deformações Específicas Verticais de Compressão no Subleito	483
11.22. Curvas de Valor de Tráfego Admitido e de Valor de Tráfego Previsto para Deformações Específicas Horizontais de Tração no Concreto Asfáltico ..	484
11.23. Planta e Seção Transversal Típicas de Pistas (de Pouso e Decolagem)	485
11.24. Dimensionamento, Concreto Asfáltico a Espessura Plena	486

<i>Figura n^o</i>	<i>Pág.</i>
11.25. Dimensionamento, Base a Emulsão Asfáltica sob Concreto Asfáltico	486
11.26. Dimensionamento, Concreto Asfáltico sobre Base Não-Tratada	487
11.27. Carregadeira de Toras	490
11.28. Dados para a Curva de Projeto da Carga de Roda Simples Admissível...	495
11.29. Curvas de Carga de Roda Simples Equivalente e carga admissível	496
11.30. Fatores de Carga de Roda Dupla	497
11.31. Dados para a Determinação da Carga de Roda Simples Equivalente	497

Capítulo 12

12.1. Gráfico de Combinação de Viscosidade de Asfalto	517
12.2. Gráfico de Combinação de Viscosidade de Asfalto (Exemplo n ^o 1)	520
12.3. Gráfico de Combinação de Viscosidade do Asfalto (Exemplo n ^o 2)	523
12.4. Britador de Pavimento Asfáltico Recuperado	525
12.5. Fresagem a Frio	526
12.6. Fresagem a Frio	526
12.7. Reciclando numa Instalação de Batelada	528
12.8. Misturador de Tambor	529
12.9. Misturador de Tambor	530
12.10. Layout de Instalação de Misturador de Tambor	531
12.11. Misturador de Tambor	532
12.12. Espalhamento de Mistura a Quente Reciclada	533

Capítulo 13

13.1. Medições para a Determinação de Quantidade de Material da Leira	544
13.2. Mistura a Lâmina	546
13.3. Misturador Rotativo, Tipo Pulvemisturador	547
13.4. Usina Móvel do Tipo Tremonha	549
13.5. Usina Móvel, Esboço	550
13.6. Instalação de Mistura a Frio Contínua	551
13.7. Fluxograma do Procedimento de Dosagem a Frio da Mistura	555
13.8. Compactador Cortador - Britador Ateco preso a uma Motoniveladora	556
13.9. Máquinas Bros de Redução de Tamanho para Recuperação de Pavimentos	557
13.10. Pulvemisturador Rexnord	557
13.11. Rolo de Grade Hyster Modelo D	558
13.12. Aplanadora a Frio Cedarapids	559
13.13. Instalação de Reciclagem de Mistura a Frio, Tipo Contínuo	560

Capítulo 14

14.1. Pista de Corrida de Automóveis com Superfícies de Concreto Asfáltico	569
14.2. Estádio de Los Angeles	570
14.3. Seções Transversais de Vias Permanentes Ferroviárias Asfálticas	575
14.4. Trecho de estrada interestadual com Tratamento de Palha de Cobertura a Emulsão Asfáltica num Canteiro Central	578

Lista das Tabelas

Tabela n^o

Pág.

Capítulo 1

1.1.	Alguns Usos e Aplicações do Asfalto	10
1.2.	Guia para Usos do Asfalto	24

Capítulo 2

2.1.	Ensaio Requerido de Cimentos Asfálticos em Pavimentação	35
2.2.	Ensaio Requerido de Emulsões Asfálticas	48
2.3.	Ensaio Requerido de Asfaltos Diluídos e Óleos de Estrada	53
2.4.	Asfaltos Requeridos para Alguns Cimentos Asfálticos Soprados	58
2.5.	Temperaturas para Usos do Asfalto – Graus Celsius (°C)	61
2.6.	Temperaturas para Usos do Asfalto – Graus Fahrenheit (°F)	62
2.7.	Guia de Carregamento de Produtos Asfálticos	66
2.8.	Correções Temperatura-Volume para Materiais Asfálticos (Graus Celsius)	68
2.9.	Correções Temperaturas - Volume para Materiais Asfálticos (Graus Fahrenheit)	70
2.10.	Correções Temperatura – Volume para Emulsões Asfálticas	72
2.11.	Capacidades Percentuais para Várias Profundidades de Tanques Cilíndricos na Posição Horizontal	74
2.12.	Temperaturas de Referência para Estocagem e Manuseio dos Produtos Asfálticos	76

Capítulo 3

3.1.	Dimensões Nominais das Peneiras Padronizadas Americanas	90
------	---	----

Capítulo 4

4.1.	Dados Básicos para Amostra de Mistura de Pavimentação	121
4.2.	Adequação dos Métodos de Dosagem de Laboratório	128
4.3.	Razões de Correlação da Estabilidade	141
4.4.	Critérios de Projeto de Dosagem Marshall	143
4.5.	Fatores de Área Superficial	147
4.6.	Critérios de Dosagem Hveem	170

Capítulo 5

5.1.	Tabela de Seleção de Peneiras	206
5.2.	Capacidade de Peneiramento Vibratório	207
5.3.	Causas Possíveis de Deficiências da Misturação nas Misturas Asfálticas a Quente	225
5.4.	Programação Sugerida de Amostragem e Testes	227
5.5.	Tamanho das Amostras	228

Capítulo 8

8.1.	Quantidades de Asfalto e Agregados para Tratamentos Superficiais Simples	322
8.2.	Quantidades de Asfalto e Agregados por Metro Quadrado (Jarda Quadrada) para o Tratamento Superficial Duplo	323
8.3.	Quantidades de Asfalto e Agregados por Metro Quadrado (Jarda Quadrada) para o Tratamento Superficial Triplo	323
8.4.	Temperaturas Sugeridas para o Espargimento do Asfalto	326
8.5.	Quantidades de Asfalto e Agregados por Metro Quadrado (Jarda Quadrada) para Capa Selante	330
8.6.	Tipos de Asfalto para Tratamentos Superficiais	331
8.7.	Gradações de Misturas de Lama	339

Capítulo 9

9.1.	Algumas Alternativas na Manutenção e Reabilitação de Pavimentos	350
------	---	-----

Capítulo 10

10.1.	Classificação de Solos e Misturas de Solo-Agregado	406
10.2.	Faixas do Tamanho de Frações de Solo segundo classificação unificada de solos	410
10.3.	Símbolos de Componentes, Gradação e Limite de Liquidcz	411
10.4.	Classificação Unificada de Solos	412

Capítulo 11

11.1.	Limites de Projeto para o Subleito	454
11.2.	Distribuição Média dos Caminhões em Diferentes Classes de Rodovias – EUA	456
11.3.	Porcentagem do Tráfego Total de Caminhões na Faixa de Projeto	457
11.4.	Fatores de Caminhões Médios para Diferentes Classes de Rodovias e Veículos –EUA	458
11.5.	Fatores de Crescimento	459
11.6.	Espessura Mínima de Revestimento de Concreto Asfáltico	467
11.7.	Espessura Mínima de Concreto Asfáltico sobre Bases a Emulsão Asfáltica	467
11.8.	Gráfico 1, Valores de Projeto para Médias Anuais de Temperaturas Diárias de 13°C (55°F) ou Menos	493
11.9.	Gráfico 2, Valores de Projeto para Médias Anuais de Temperaturas Diárias maiores do que 13°C (55°F)	494
11.10.	Fatores de Conversão da Espessura dos Componentes do Pavimento Existente em Espessura Efetiva (Te)	502

Capítulo 12

12.1. Fórmulas de Proporcionamento de Materiais de Misturas a Quente Recicladadas	513
--	-----

Capítulo 13

13.1. Guia para a Utilização do Asfalto em Mistura a Frio	538
13.2. Agregado para Misturas a Emulsão de Graduação Aberta	540
13.3. Agregado para Misturas Asfálticas Densamente Graduadas a Emulsão	541
13.4. Agregados para Misturas Emulsão de Graduação Aberta	542
13.5. Temperaturas Típicas do Asfalto na Construção com Misturas a Frio	545
13.6. Tipos de Rolos Adequados à Compactação de Bases de Misturas Asfálticas a Frio	553

Capítulo 1

Introdução ao Asfalto

Este capítulo é uma introdução ao campo da tecnologia do asfalto. Apresenta o panorama da utilização, no passado e no presente, do asfalto, e apresenta alguns conceitos básicos e definições relacionadas ao asfalto.

SEÇÃO 1.1 Relato Histórico

Fundamentos
Marcos Históricos

SEÇÃO 1.2 Utilização Moderna do Asfalto

Asfalto
Usos do Asfalto
Termos Relacionados ao Asfalto e suas Aplicações

SEÇÃO 1.3 Pavimentos Asfálticos

Conceitos Básicos
Tipos de Construção de Pavimentos Asfálticos
Sumário

BIBLIOGRAFIA

1. Abraham, H., *Asfaltos e Substâncias Afins*, ("Asphalt and Allied Substances"), 6ª ed., D. Van Nostrand Co., 1960.
2. Barth, E. J., *Asfalto*, ("ASPHALT"), Reinhold Publishing Corp., 1962.
3. *Introdução ao Asfalto*, ("Introduction to Asphalt") MS-5, Asphalt Institute.
4. *Levantamento Anual do Uso do Asfalto*. ("Annual Survey of Asphalt Usage")

AUDIOVISUAL

1. *Asfalto ao Longo do Tempo*: VA-2V FITA VHS(cor/som, 12 min), ("Asphalt Through The Ages"), Asphalt Institute.

1.1 Relato Histórico

Fundamentos

Acredita-se que a palavra “asfalto” provenha do antigo Acádico “asphaltic”. Foi adotada pelos gregos da época de Homero com o significado de “tornar firme ou estável”. “Asphaltic” foi transportado para o latim antigo, o “asphalte” francês, e finalmente para o português “Asfalto”. De um passado distante até o presente, o asfalto tem sido usado como um cimento para colar, revestir e impermeabilizar objetos. É, na verdade, um dos mais versáteis produtos da natureza.

O asfalto é um dos mais antigos materiais da natureza, tendo sido usado desde o raiar da civilização. Na Soméria, por volta de 6.000 a.C., existia uma próspera indústria naval que produzia e usava o asfalto. Na construção dos zigurates, de que era feita a Torre de Babel apenas um entre muitos, era o asfalto usado como argamassa. Nas proximidades das cidades de Sodoma e Gomorra, havia uma florescente produção de asfalto. Os egípcios usavam o asfalto como material impermeabilizante já em 2.600 a.C.; do vocábulo persa para asfalto - “mumiya” - derivou o nome múmia. Na antigüidade o asfalto continuou a ser muitíssimo usado como argamassa nas edificações e blocos de pavimento, calafetagem de navios, e em várias aplicações de impermeabilização.

Estes primeiros asfaltos ocorriam na natureza. Eram encontrados em camadas geológicas, ora como “argamassas” moles e prontamente utilizáveis, ora como veios negros duros e friáveis de formações rochosas. O asfalto mole é típico do depósito da Ilha de Trinidad, do Lago Bermudez na Venezuela, e extensas ocorrências de “areias alcatroadas” no oeste do Canadá. Estes “asfaltos moles” passaram a ser conhecidos como asfaltos naturais e foram amplamente utilizados até o início do século.

No começo do século 20, a descoberta do asfalto refinado do óleo cru do petróleo e a irresistível popularidade do automóvel criou uma indústria em expansão. O asfalto parecia ser uma fonte barata e inesgotável que seria usada em estradas modernas de rolamento suave e em numerosas outras aplicações. (Figura 1.1)

À medida que a indústria do asfalto de pavimentação florescia, tornava-se necessário determinar as propriedades físicas e a constituição do asfalto. A fim de assegurar que as estradas asfaltadas fossem duráveis e confiáveis, foram desenvolvidos, no início do século 20, vários ensaios e procedimentos. É provável que a primeira abordagem científica de dosagem de misturas asfálticas de pavimentos, tenha sido a determinação do teor de asfalto em relação aos vazios do agregado.

A fim de dosar amostras que representassem as condições de campo, as mesmas deveriam ter os valores desejados de vazios e teor de cimento asfáltico. Prevost Hubbard e F. C. Field, do Instituto do Asfalto, desenvolveram, em meados da década de 1920, um dos primeiros métodos de avaliação das propriedades físicas de misturas asfálticas compactadas. O ensaio empírico de Hubbard indicava a estabilidade de uma mistura por um ensaio de punção cisalhante.



Figura 1.1 Serviço de Pavimentação – 1907, na Avenida Pennsylvania, Washington, D.C.

Francis Hveem desenvolveu outro ensaio na década de 1930, que procurava assegurar às misturas asfálticas de pavimentação, estabilidade e a não exsudação de asfalto em excesso. O método de Hveem apoia-se na compressão triaxial e na estimativa do teor de asfalto determinado pela área superficial do agregado. O método de Hveem é praticado até hoje.

Durante a Segunda Guerra Mundial, foi necessário dispor de um ensaio simples para o projeto e construção de pavimentos asfálticos nos aeródromos militares. Bruce Marshall concebeu um método de dosagem de misturas asfálticas que determina a densidade desejada e o teor de asfalto, a fim de resistir às pesadas cargas de rodas dos aviões. O método Marshall forneceu critérios de projetos satisfatórios. Atualmente, este método empírico é amplamente utilizado pelo mundo afora.

Marcos Históricos

Pré-história: Esqueletos de animais pré-históricos mantiveram-se intactos até hoje nos depósitos asfálticos superficiais de La Brea Pit, Los Angeles, Califórnia.

3.000 a.C. - 476: Após a descoberta da roda, o homem construiu as primeiras estradas no sudeste da Ásia. Mais tarde, os Persas construíram estradas com o uso freqüente do asfalto. A colonização empreendida pelos Romanos fez uso de um sistema de estradas de finalidade militar por todo o seu império.

1599: Primeira classificação do asfalto e tentativas de estabelecer ligações entre o asfalto e o petróleo.

1777: Primeira apresentação da teoria moderna sobre a origem do asfalto por P.C. LeSage, França.

1780: Primeira aplicação do asfalto em telhado na Suécia.

1802: Rocha asfáltica utilizada, na França, no revestimento de pisos, pontes e calçadas.

1815: Em Londres, John L. McAdam começa a construir e melhorar estradas com uma superfície de pedras entrosadas e compactadas. A inovação do "macadame" teve grande impacto nas estradas que se construíram.

1824: Primeira utilização de blocos de asfalto na pavimentação.

1829: Primeira utilização de pavimentos de mastique asfáltico, em Lyon, França.

1837: A primeira notícia dos depósitos de asfalto nos Estados Unidos é revelada em Connecticut. Publicado o primeiro tratado completo sobre a química do asfalto, por J. B. Boussingault, em Paris.

1838: Importada rocha asfáltica para uso na construção de calçadas, na Philadelphia.

1844: Primeira aplicação de asfalto em telhados nos Estados Unidos.

1858: Primeira estrada asfaltada moderna de Paris, composta de mastique asfáltico de 50 mm comprimido.

1869: Primeiro pavimento asfáltico em Londres.

1870: Primeiras estradas americanas asfaltadas em Newark, New Jersey.

1876: Primeiro pavimento de pano asfáltico na Avenida Pennsylvania, em Washington, D.C.

1899: Coube a Barber Asphalt Paving Co., muito envolvida nos primeiros equipamentos de pavimentação, o desenvolvimento e a construção de cerca de metade dos primeiros pavimentos de pano asfáltico.

1901: A Warren Brothers constrói os primeiros pavimentos de concreto asfáltico bem sucedidos e controlados. Foram os pioneiros no desenvolvimento de unidades para preparo de misturas betuminosas a quente.

1902: Produzidas cerca de 20.000 toneladas de asfalto nos Estados Unidos graças à descoberta recente da refinação do petróleo asfáltico.

1910: As primeiras misturadoras de tambor e misturadoras-secadoras são usadas em instalações de mistura.

1919: Fundada a Associação do Asfalto (posteriormente chamada Instituto do Asfalto) da cidade de New York, para atender aos usuários do asfalto do petróleo através de programas de engenharia, pesquisa e educação.

1921: Aprovada a Lei de Ajuda Federal às Estradas de 1916, o que permitiu aos Estados Unidos progredir na construção e melhoria das estradas.

1930: O Instituto do Asfalto serviu de instrumento da campanha dos primeiros desenvolvimentos de materiais de pavimentação e de procedimentos de construção.

1941: A Lei de Defesa dos Estados Unidos, de 1941, autorizou a construção de estradas essenciais ao esforço de guerra.

1946: Após a Segunda Guerra Mundial os Estados Unidos entraram em nova era de construção de estradas. Nos dez anos seguintes foram construídos 80.000 quilômetros de novas estradas. No mesmo período, a quantidade de automóveis fabricados daria para estenderem-se por 322.000 quilômetros de pára-choque contra pára-choque.

1956: O Presidente Eisenhower assinou a histórica Lei Federal de Rodovias, que autorizou a construção de 66.000 quilômetros de estradas do Sistema de Estradas Interestaduais e de Defesa dos Estados Unidos.

1960: Introduz-se o conceito de pavimentos asfálticos de espessura plena.

1979: Atinge-se o recorde de uso do asfalto nos Estados Unidos; mais de 38 milhões de toneladas (US).

1.2 Utilização Moderna do Asfalto

Asfalto

O asfalto tem interesse especial para o engenheiro porque é um cimento forte, prontamente aderente, altamente impermeabilizante e durável. É uma substância plástica que confere flexibilidade controlável às misturas com agregado mineral. Além do mais é muito resistente à ação da maioria dos ácidos, álcalis e sais. Embora seja sólido ou semi-sólido a temperaturas atmosféricas usuais, pode o asfalto ser prontamente liquefeito se aquecido ou se dissolvido nos solventes do petróleo de diferentes volatilidades ou por emulsificação.

O asfalto moderno é um constituinte natural do petróleo. A maioria dos óleos crus contem um pouco de asfalto; às vezes o óleo cru pode ser inteiramente constituído de asfalto. Contudo, existem alguns óleos crus que não contêm asfalto. Tendo como referência o conteúdo de asfalto, os óleos crus podem ser descritos ou classificados como:

1. Crus de base asfáltica;
2. Crus de base parafínica (contêm parafina e não contêm asfalto); e
3. Crus de base mista (contêm tanto a parafina como o asfalto).

O petróleo cru dos poços de exploração tem seus constituintes ou frações separados na refinaria. O meio principal de proceder à separação é a destilação. Após a separação, os constituintes sofrem refino ou processamento adicional para a obtenção de produtos que atendam a requisitos específicos. Portanto, as refinarias de petróleo fornecem asfalto, parafina, gasolina, óleo lubrificante, e outros produtos de grande utilidade, dependendo do óleo cru que se processa.

Visto que o asfalto é a base ou o constituinte pesado do óleo cru, não se verifica sua evaporação ou ebulição ao se destilar o petróleo. Deste modo, o asfalto é um resíduo ou produto residual valioso e essencial para uma variedade imensa de aplicações na engenharia e arquitetura.

Praticamente todo o asfalto utilizado nos Estados Unidos é produzido em modernas refinarias, sendo designado *por asfalto de petróleo*.

O asfalto também é um material *betuminoso* porque contem betume, que é um hidrocarboneto, solúvel no bissulfeto de carbono (CS_2). O alcatrão que se obtém da destilação destrutiva do carvão betuminoso contem betume. Por esta razão, tanto o asfalto do petróleo como o alcatrão do carvão são igualmente considerados materiais betuminosos. Entretanto, não se pode confundir o asfalto de petróleo com o alcatrão de carvão visto que suas propriedades são bastante diferentes. O asfalto de petróleo compõe-se quase totalmente de betume, ao passo que o alcatrão de carvão tem um teor de betume relativamente pequeno. Face a estas diferenças é imperativo que os produtos de alcatrão do carvão e de asfalto do petróleo sejam considerados e tratados como entidades completamente distintas.

O asfalto é utilizado nos Estados Unidos principalmente com finalidade de pavimentação. Contudo, consome-se razoável quantidade de asfalto na indústria de materiais para impermeabilização e em numerosos e variados produtos. Na seção seguinte discute-se esta questão mais pormenorizadamente.

O asfalto do petróleo utilizado em pavimentos é chamado, usualmente, de asfalto de pavimentação ou cimento asfáltico, de modo a distingui-lo do asfalto próprio a utilizações que não sejam de pavimentação, tais como em impermeabilização e finalidades industriais.

O asfalto de pavimentação a temperatura atmosférica (ambiente) normal é um material negro, pegajoso, semi-sólido e muitíssimo viscoso. Compõe-se principalmente de moléculas complexas de hidrocarbonetos, e, também, outros átomos, como o oxigênio, nitrogênio e enxofre. Por ser pegajoso, o asfalto adere às partículas de agregado e pode ser usado para cimentar ou colar as partículas num concreto asfáltico. O asfalto de pavimentação é à prova de água e não é afetado pela maioria dos ácidos, álcalis e sais. É dito material *termoplástico* porque amolece ao ser aquecido e endurece ao ser resfriado. Esta combinação única de características e propriedades é a razão fundamental de ser o asfalto um importante material de pavimentação.

Os pavimentos asfálticos são, por vezes, ditos pavimentos flexíveis, talvez pelo fato de ser o asfalto um material viscoso e termoplástico.

O asfalto do petróleo, como se disse antes, é o principal asfalto de pavimentação atualmente em uso, embora o asfalto natural ou nativo ainda seja usado nos Estados Unidos e outros países. A quantidade de asfalto nativo utilizada é, contudo, relativamente pequena. De fato só se utilizam alguns milhares de toneladas de asfalto natural nos Estados Unidos e outros países. Os asfaltos naturais são duráveis e têm sido utilizados ao longo da história. O moderno asfalto do petróleo tem a mesma durabilidade, porém com mais uma vantagem importante que é o fato do refino lhe dar uma condição de uniformidade livre de matéria orgânica e de minerais estranhos. O asfalto natural, por seu lado, não é uniforme e contém quantidades variáveis de matéria estranha.

Usos do Asfalto

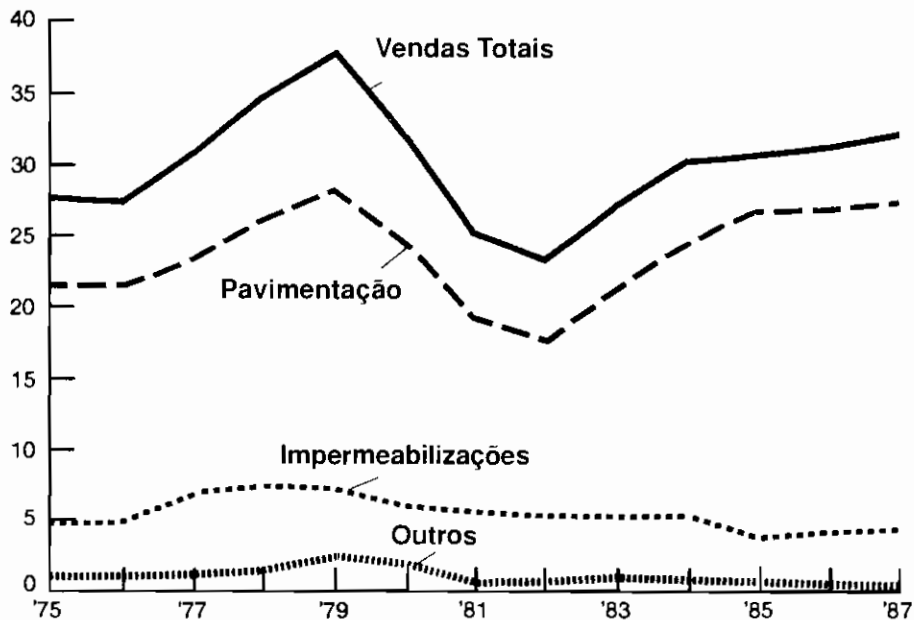
O asfalto é usado com muitas finalidades. O consumo anual de asfalto é superior a 90 milhões de toneladas. A produção e consumo de asfalto nos Estados Unidos cresceu, continuamente, de cerca de 1,4 milhões de toneladas em 1920, até cerca de 34 milhões de toneladas em 1979. (Figura 1.2).

O uso do asfalto na construção de estradas cresceu concomitantemente com o consumo total. De um total de 3.466.000 quilômetros de estradas pavimentadas nos Estados Unidos, tem-se 3.267.000 quilômetros, ou seja 94%, com revestimento asfáltico (Figura 1.3).

O objetivo principal deste manual é a descrição dos procedimentos de construção e projeto relacionados ao uso principal do asfalto: pavimentos para o tráfego de veículos. No entanto, conforme indica a tabela 1.1, usa-se hoje, como no passado, em grande número de aplicações e produtos.

Vendas Anuais de Cimento Asfáltico a Consumidores Domésticos nos EUA

(Em Milhões de US Tons)

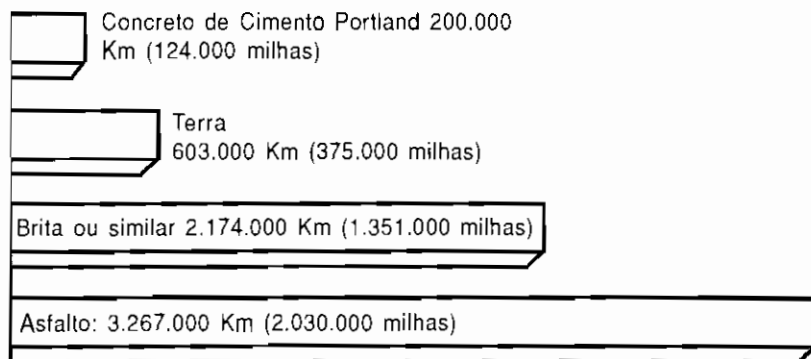
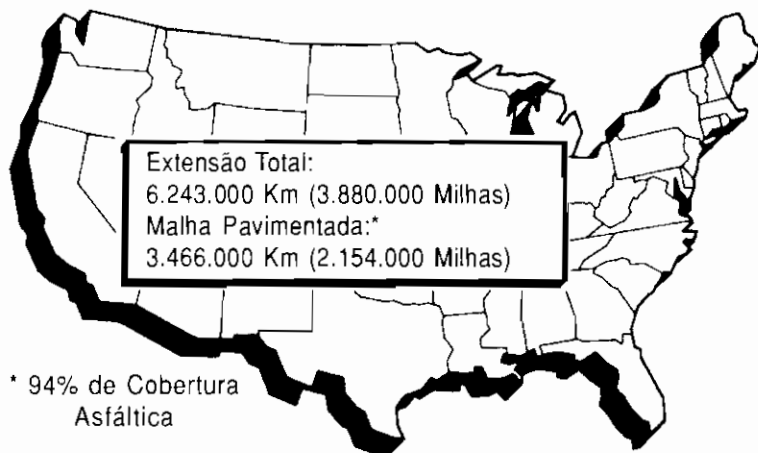


Fonte: U.S. Bureau of Mines
Departamento de Energia
Anuário do Asphalt Institute

* 1 Ton = 0.907 toneladas métricas

Figura 1.2 Consumo nos Estados Unidos de Asfalto.

Extensão Total de Estradas e Ruas Existentes nos EUA



Fonte: Federal Highway Administration.

Figura 1.3 Extensão de Estradas nos Estados Unidos

Tabela 1.1 Alguns Usos e Aplicações de Asfalto**AGRICULTURA**

(Ver também Edificações, Hidráulica e Pavimentação)
 Áreas de variação intempérica
 Barreiras de água e umidade (acima e abaixo do chão)
 Controle da erosão do vento e da água
 Desinfetantes
 Impermeabilização de tanques, barris, etc
 Palha de cobertura de áreas semeadas ("mulching")
 Papel de cobertura de áreas semeadas ("mulching paper")
 Pavimentos de pisos de estábulos, pátios de estábulos, plataformas de forragem, etc.
 Pintura de mourão de cerca
 Proteção de estrutura de concreto
 Proteção contra a umidade e impermeabilização, edificações e estruturas
 Pulverizador de gado

EDIFICAÇÕES

(ver também Industrial, Pavimentação)

Paredes, Revestimentos, Tetos

Base de estuque
 Blocos, compostos de feltros acusticos
 Blocos e papeis de construção
 Compostos de enchimento de juntas
 Compostos de revestimento de paredes ("siding")
 Decoração arquitetônica
 Isolante acústico
 Massa de calafate
 Painéis de gesso
 Placas de revestimento de paredes e tetos
 Revestimentos de alvenaria
 Revestimento asfáltico à feição de tijolos
 Revestimentos e compostos de proteção contra a umidade
 Taboas, tecidos, feltros e papel de isolamento
 Tijolos

Pisos

Compósitos de pisos, telhas, coberturas
 Pisos de degraus
 Proteção contra a umidade e impermeabilização
 Tecidos e papeis isolantes

Telhados

Adesivos, feltros e primeiras demãos para estruturação de telhados
 Cimento plásticos
 Compostos de calafetagem
 Compostos de cimento impermeabilizante
 Compostos de enchimento de juntas
 Compostos de lã de vidro
 Papeis para construção

Telhados (Cont.)

Revestimentos líquidos de telhados
 Tabuinhas
 Tecidos, feltros e papeis isolantes
 Telhado laminado, telhas finas
 Travas para telhados

Miscelânea

Encanamentos, tubos
 Madeira artificial
 Madeira ebanizada
 Tintas isolantes
 Tintas e vernizes que secam ao ar
 Toldos tratados

FERROVIAS

Dormentes de trilhos
 Impregnação e estabilização de dormentes
 Junções de trilhos
 Lastro e sub-lastro pavimentados
 Lubrificante dos trilhos nas curvas
 Passagens de nível, pátios de carga, plataformas de estação
 Tratamento contra pó
 Tratamento de lastro

HIDRÁULICA E CONTROLE DE EROSIÃO

Bacias de captação
 Bacias de rejeitos
 Colchões de proteção das margens de rios e diques
 Estabilização de dunas de areias
 Impermeabilização para confinamento de água
 Injeções em barragens
 Lagoas de esgoto, bacias de oxidação
 Molhes
 Piscinas de natação
 Proteção de aterros
 Proteção de barragens
 Proteção de diques
 Quebra-mares
 Recobrimentos
 Revestimentos de membranas, impermeabilizantes
 Revestimentos e proteção de barragens
 Revestimentos de reservatórios
 Revestimentos e selantes de canais
 Revestimentos de valas
 Sarjetas
 Tampões de lixiviação de minério

INDÚSTRIA

Compostos de lâminas de alumínio que usam asfalto
 Compostos de tintas
 Encapamento de tubos
 Feltros revestidos
 Isolamento e laminação de condutos
 Painéis isolantes
 Papeis
 Telhados

Tabela 1.1 Alguns Usos e Aplicações de Asfalto (Continuação)

Automóveis

Amortecedores do som de pisos
 Calço (falta de nivelamento) contra vibrações
 Compostos e feltros acústicos
 Elementos de atrito
 Feltros isolantes
 Placas de painel
 Revestimento de embreagem
 Sapatas de freio
 Tiras de aderência
 Vedação inferior

Composições

Compostos de costura de cabos
 Compostos de extinção de chamas
 Compostos de gravação ("etching")
 Composto de polimento
 Diluentes de borracha e outros
 Embalsamamento
 Fileres de juntas
 Fluido de perfuração de poços
 Graxa de lubrificação
 Graxa preta
 Isolador, ligador de dobras
 Plastificantes
 Preservativos
 Revestimentos, varetas, vedadores de juntas de canos
 Revestimentos de madeira
 Tintas de impressão

Elétricos

Caixas e carvões de bateria
 Carbono do rotor
 Composto de caixa de junção
 Compostos, papéis, fitas, revestimentos de fios para isolamento elétrico
 Condutos moldado

Materiais Impregnados e Tratados

Base de asfalto de tecidos de tapetes
 Base de capachos
 Canos e capas de canos
 Composto de serragem, cortiça e asfalto
 Couro tratado
 Impermeabilização de tecidos
 Impregnação de estopa
 Impregnação de tecido de cartas de baralho
 Papéis de embrulho
 Papéis de empacotamento
 Piso de vinil (ladrilho)
 Pranchas
 Prevenção de mofo
 Tecidos, feltros
 Tecidos reforçados com betume
 Tratamento de lona

Tintas, Vernizes, etc.

Anti-oxidantes e solventes
 Base de compostos solventes
 Composto de vedação de convés de barco

Tintas, Vernizes, etc (Cont.)

Esmaltes de forno resistente ao cozimento e ao calor
 Esmalte da marinha
 Esmaltes, mastiques e vernizes resistentes a ácido
 Lacas, charão
 Revestimentos resistentes a ácido
 Tintas anti-corrosão e anti-sujidade
 Tintas e vernizes que secam ao ar

Miscelânea

Artigos de argila
 Compostos moldados de borracha
 Correias
 Couro de imitação
 Criptas funerárias
 Depilatório
 Espoletas de detonação
 Fita isolante
 Gaxelas (juntas de vedação)
 Juntas de expansão
 Ligantes de briquetes
 Matriz de fundição
 Moldes de fundição
 Pombos-de-barro (alvo)
 Reforço de sapatos
 Registradores fotográficos
 Suporte de verso do espelho
 Tampos de mesa
 Vasos de plantas

PAVIMENTAÇÃO

(Ver também Hidráulica, Agricultura, Ferrovias, Recreação)
 Áreas de estacionamento, pistas de acesso
 Blocos de asfalto
 Estabilização de solos
 Estacionamento de terraços
 Fileres de tijolos
 Meios-fios, calhas e valas de drenagem
 Passeios, trilhas de pedestres
 Pisos de prédios, armazéns, garagens, etc.
 Pistas de pouso, taxi e estacionamento
 Revestimento de tabuleiro de ponte
 Rodovias, estradas, ruas, acostamentos
 Vedadores (fileres) de trinças
 Vedação inferior de pavimentos de concreto de cimento

RECREAÇÃO

Superfícies pavimentadas para:
 Áreas de recreio, pátios de escola
 Campos de tênis, campos de handebol
 Cinemas ao ar livre com estacionamento de automóveis ("drive in")
 Ginásios e arenas de esportes
 Pavilhões de dança
 Piscinas de natação e patinhar
 Pistas de corridas (jôquei)
 Pista de corrida (atletismo)
 Rinkes de patinação

Termos Relacionados ao Asfalto e suas Aplicações

Materiais Asfálticos

Asfalto – Material cimentante marron escuro ou negro cujos constituintes principais são betumes que ocorrem na natureza ou se obtêm do processamento do petróleo (ASTM* Designação D 8).

O asfalto existe em diferentes proporções na maioria dos petróleos crus.

Blocos de Asfalto – O concreto asfáltico moldado sob pressões elevadas. O tipo de composição de misturas com agregados, a quantidade e o tipo de asfalto e o tamanho e espessura dos blocos variam conforme os requisitos de utilização.

Asfalto Soprado ou Oxidado – Asfalto submetido a sopragem de ar na sua massa a temperaturas elevadas de modo a dar-lhe características pretendidas para alguns usos específicos tais como: em telhados, revestimento de canos, vedação inferior dos pavimentos de concreto de cimento Portland, membranas de encapsulamento e aplicações hidráulicas.

Asfalto Soprado Cataliticamente – Asfalto soprado produzido pelo uso de catalisador durante o processo de sopragem.

Cimento Asfáltico – Asfalto refinado que deve atender às especificações de pavimentação, aplicação industrial e finalidades especiais. (Ver as especificações de Cimento Asfáltico, ASTM Designação D946 e D 3381 ou AASHTO† Designação M 20 e M 226). Sua penetração está, usualmente, entre 40 e 300 dmm. Abrevia-se, freqüentemente: CAP (AC, em inglês).

Asfalto Diluído ou Dissolvido – Cimento asfáltico que se liqüefez misturando-o a solventes (ou diluentes) do petróleo. Exposto a condições atmosféricas os diluentes evaporam-se, e o cimento asfáltico fica disponível para sua função cimentante e impermeabilizante.

a. *Asfalto de Cura Rápida (CR ou RC, em inglês)* – Asfalto diluído composto de cimento asfáltico e um diluente de alta volatilidade do tipo nafta ou gasolina. (Ver Especificações de Asfalto de Cura Rápida, ASTM D 2028 ou AASHTO † Designação M 81).

b. *Asfalto de Cura Média (CM ou MC, em inglês)* – Asfalto diluído composto de cimento asfáltico e um diluente de média volatilidade do tipo querosene. (Ver Especificações de Asfalto de Cura Média, ASTM Designação D 2027 ou AASHTO Designação M 82).

c. *Asfalto de Cura Lenta (CL ou SC, em inglês)* – Asfalto diluído composto de cimento asfáltico e óleos de baixa volatilidade (Ver Especificações de Asfalto de Cura Lenta – “slow curing” – ASTM Designação D 2026).

d. *Asfalto Pesado* – É um óleo pesado do petróleo, usualmente do tipo de cura lenta (Ver Especificações de Asfalto de Cura Lenta, ASTM Designação D 2026).

Selantes Asfálticos de Junta – É um produto asfáltico usado na vedação de juntas e trincas de pavimentos e outras estruturas.

Selante Asfáltico Pré-moldado de Junta – Fitas pré-moldadas de asfalto misturado com substâncias minerais finas, materiais fibrosos, cortiça, serragem ou materiais similares; fabricadas nas dimensões adequadas para juntas de construção.

* American Society for Testing and Materials.

† American Association of State Highway and Transportation Officials.

Emulsão Asfáltica – É a emulsão do cimento asfáltico na água contendo pequena quantidade de agente emulsificador; um sistema heterogêneo de duas fases normalmente imiscíveis (asfalto e água) no qual a água forma a fase contínua de emulsão e os minúsculos glóbulos de asfalto formam a fase descontínua. As emulsões asfálticas tanto podem ser aniônicas- glóbulos asfálticos carregados de eletricidade negativa – ou catiônicas – glóbulos asfálticos carregados de eletricidade positiva, dependendo do agente emulsificador. (Ver Especificações de Emulsões Asfálticas, ASTM Designação D 977 ou AASHTO Designação M 140, e Especificações de Emulsões Asfálticas Catiônicas, ASTM Designação D 2397 ou AASHTO Designação M 208).

Asfalto com Substância Mineral – Asfalto contendo matéria mineral finamente dividida que passa na peneira de malha de 75 µm (nº 200).

Asfalto Natural (Nativo) – Asfalto existente na natureza que provem do petróleo através de processo natural de evaporação das frações voláteis restando as frações asfálticas. Os asfaltos naturais mais importantes são os dos depósitos dos lagos de Trinidad e Bermudez. São chamados asfaltos lacustres.

Tinta Asfáltica – Produto asfáltico líquido que pode conter outros materiais como negro-de-fumo, flocos de alumínio e pigmentos minerais.

Painéis Asfálticos Pré-moldados – Feitos geralmente de um núcleo de asfalto, minerais e fibras, cobertos de cada lado por uma camada de feltro ou tecido impregnado de asfalto, revestidos externamente por uma aplicação de asfalto a quente. Os painéis são fabricados sob pressão e calor, na largura de 0,9 m a 1,2 m, e espessura de 3 mm a 25 mm e no comprimento desejado.

Asfalto de Petróleo – Asfalto refinado do petróleo cru.

Pranchas de Asfalto – Misturas pré-moldadas de asfalto, fibra e filer mineral, às vezes reforçadas com malhas de aço ou de fibra-de-vidro. São, usualmente, fabricadas no comprimento de 0,9 m a 2,4 m e largura de 150 mm a 300 mm. As pranchas de asfalto podem conter, também, pó mineral que permite manter a textura de lixa por toda a vida.

Asfalto Pulverizado – Asfalto sólido ou duro triturado ou moído até ficar finamente dividido.

Asfalto de Imprimação – Produto de asfalto diluído, de baixa viscosidade, que penetra na base ou sub-base de agregados quando aplicado.

Rocha Asfáltica – Rocha porosa como o arenito e o calcário que foi impregnada de asfalto natural por processo geológico.

Asfalto Semi-Sólido – Asfalto intermediário na consistência entre os produtos de emulsão asfáltica e asfalto diluído e os de asfalto sólido ou duro – isto é, normalmente a penetração está entre 10 e 300 dmm.

Asfalto Sólido ou Duro – Asfalto que normalmente tem penetração inferior a 10 dmm.

Betume – Mistura de hidrocarbonetos de origem natural ou pirogênica ou de combinação de ambas; é, freqüentemente, acompanhada de derivados não-metálicos que podem ser gasosos, líquidos, semi-sólidos e sólidos; são totalmente solúveis no bissulfeto de carbono.

Óleo Fluidificante – Fração do petróleo viscosa e relativamente não-volátil que pode ser usada para amolecer o asfalto até a consistência desejada; é usada, freqüentemente, como matéria-prima na fabricação de asfaltos para telhado.

Gilsonita – Uma modalidade de asfalto natural, duro e quebradiço, que ocorre em fendas ou veios de rocha de onde é explorado.

Pavimentos Asfálticos e Tratamentos Superficiais

Agregado – Todo material mineral duro e inerte usado nas misturas como fragmentos graduados. Inclui: areia, pedregulho, pedra britada e escória.

Agregado Bem Graduado – Agregado que é regularmente graduado do tamanho máximo até o filer, com o objetivo de obter-se uma mistura asfáltica de índice de vazios controlado e elevada estabilidade.

Agregado de Graduação Aberta – O que contem pouco ou nenhum agregado fino, ou que tem espaços vazios relativamente grandes quando compactado.

Agregado de Graduação Fina – O que apresenta graduação contínua quanto ao tamanho das partículas das maiores às mais finas, com predominância das mais finas.

Agregado de Graduação Grossa – O que apresenta graduação contínua quanto ao tamanho das partículas das maiores às mais finas, com predominância das graúdas.

Agregado de Macadame – Agregado graúdo de tamanho uniforme usualmente de pedra britada, escória e pedregulho.

* *Agregado Fino* – O que passa na peneira de 4,75 mm (nº 4).

* *Agregado Graúdo* – O retido na peneira de 4,75 mm (nº 4).

Areia-Asfalto – A mistura de areia com cimento asfáltico, asfalto diluído ou emulsão asfáltica. Sua preparação pode ser feita com ou sem controle especial da graduação do agregado e pode conter ou não o filer mineral. Pode-se utilizar tanto a mistura “in situ” (na estrada) ou em usina. Aplica-se a areia-asfalto tanto em camadas de base como nas superficiais.

Camada Asfáltica de Regularização (ou Nivelamento) - Camada (mistura de asfalto e agregado) de espessura variável utilizada para eliminar irregularidades na conformação da superfície existente antes de sobrepor o tratamento ou a construção.

Camada Asfáltica Intermediária (às vezes chamada Camada de Ligação ou “Binder”). – Camada de pavimento asfáltico entre a camada de base e a de revestimento asfáltico.

Camada Asfáltica Superficial – É a camada superior de um pavimento asfáltico, às vezes chamada camada asfáltica de desgaste.

Camada de Base – É a camada de material imediatamente abaixo da camada superficial ou da intermediária. Pode ser constituída de pedra britada, escória britada, cascalho britado ou não e areia, ou combinações desses materiais. Pode ser, também, cimentada com asfalto (Ver Camada de Base Asfáltica).

Camada de Base Asfáltica – Uma camada de fundação ou de pavimento que consiste em agregado mineral, cujas partículas são interligadas pelo material asfáltico e sobre a qual uma camada ou sucessivas camadas são colocadas.

* Alguns autores consideram a separação dos agregados graúdos dos miúdos na peneira nº 8 (2,36 mm)

Capa de Imprimação Asfáltica – A aplicação de asfalto diluído de baixa viscosidade numa superfície absorvente. A imprimação penetra na base e tapa os vazios, endurece o topo e o ajuda a ligar-se à camada asfáltica sobreposta.

Capa Selante Asfáltica – Um tratamento superficial asfáltico delgado utilizado na impermeabilização e melhoria da textura de revestimentos asfálticos. De acordo com a finalidade, pode ser recoberto de agregado ou não. Os principais tipos de capas selantes são: capas selantes de agregado, névoas selantes, lamas selantes de emulsões e capas selantes de areia.

Concreto Asfáltico – Mistura a quente, totalmente controlada e de alta qualidade, de cimento asfáltico e agregado bem graduado, intensamente compactada numa massa uniforme e densa de tipo dado na Especificação ASTM D 3515.

Concreto Betuminoso Usinado à Quente (CBUQ) – Mistura de agregado e asfalto produzido em misturadora por bateladas (usina de dosagem e mistura) ou em misturadora de tambor e que deve ser espalhada e compactada enquanto a temperatura estiver elevada. A fim de secar o agregado e obter fluidez suficiente do cimento asfáltico, ambos devem ser aquecidos antes da mistura – donde a expressão mistura a quente.

Construção Asfáltica de Camadas Espessas – Prática de construção em que a camada asfáltica é colocada uma ou mais vezes nas espessuras de 100 mm ou mais após compactação.

Estabilização (Tratamento) Asfáltica de Solo – Tratamento de solos não-plásticos a moderadamente plásticos com asfalto ou emulsão asfáltica a temperaturas ambientes. A aeração e a compactação da mistura solo-asfalto produz camadas de base e sub-base resistentes à água e de qualidade de suporte das cargas melhorada.

Estrutura de Pavimento Asfáltico – Uma estrutura de pavimento com todas as camadas de misturas de asfalto e agregado, ou a combinação de camadas asfálticas e camadas de agregado não-tratado apoiadas no subleito ou no subleito melhorado.

Estrutura de Pavimento do Tipo Combinado ou Composto – Quando o revestimento asfáltico está sobre um antigo pavimento de concreto de cimento, uma base de concreto de cimento Portland, ou outro tipo de base rígida ou de base granular, a estrutura de pavimento diz-se ser do tipo combinado ou composto.

Estrutura do Pavimento – É constituída de todas as camadas de material escolhido que se sobrepõem ao solo de fundação ou subleito, e que não sejam as resultantes das operações de terraplenagem.

Filer Mineral – Produto mineral muito fino que passa, pelo menos, 70 por cento na peneira de 75 μm (n° 200). O filer produzido mais comum é o calcário pulverizado, embora outros possam ser usados: pó-de-pedra de outras rochas, cal hidratada, cimento portland, cinza volante, e certos depósitos naturais de minerais finamente divididos.

Lama de Emulsão Asfáltica – Mistura de emulsão asfáltica de ruptura lenta, agregado fino e filer mineral, com água, que se adiciona até a consistência de lama.

Macadame Asfáltico – Um tipo de construção de pavimento que utiliza agregado graúdo de graduação aberta, o qual é obtido, comumente, por britagem e peneiramento de pedra, escória e cascalho. Este agregado diz-se de agregado de macadame. Incorpora-se o asfalto neste tipo de construção por penetração ou por mistura.

Mastique Asfáltico – Mistura de asfalto e material mineral fino que pode ser vertido quente ou frio no local de aplicação e compactado por raspagem até obter-se uma superfície lisa.

Mistura na Estrada – Camada asfáltica produzida pela mistura de agregado mineral e asfalto diluído, ou emulsão asfáltica, na própria estrada por meio de usinas móveis, moto-niveladoras e equipamento especial de mistura na estrada.

Névoa Selante Asfáltica – Uma leve aplicação de emulsão asfáltica de ruptura lenta diluída na água, sem cobertura de agregado mineral.

Pano Asfáltico – É uma mistura a quente de cimento asfáltico, areia angular limpa e graduada e fíler mineral. Sua utilização normalmente se restringe à camada superficial, sendo espalhada usualmente sobre uma camada intermediária ou de nivelamento.

Pavimento Asfáltico Resistente em Profundidade – Este termo (registrado pelo Instituto do Asfalto junto ao Escritório de Patentes dos E.U.A) certifica que o pavimento é construído com asfalto no revestimento e base, de acordo com conceitos de projeto estabelecidos pelo Instituto (Ver a última edição do manual MS-1 sobre Dimensionamento).

Pavimentos Asfálticos – Pavimentos constituídos de uma camada superficial de agregado mineral revestido e cimentado por cimento asfáltico, sobre uma camada de apoio que pode ser: base asfáltica, pedra britada, escória e cascalho; ou sobre concreto de cimento Portland, tijolos e blocos.

Pavimento de Asfalto de Espessura Plena – Este termo (registrado pelo Instituto do Asfalto junto ao Escritório de Patentes dos EUA) assegura que o pavimento tem todas as suas camadas de mistura asfáltica, acima do subleito ou do subleito melhorado. O pavimento “full depth” é colocado diretamente sobre o subleito. (O símbolo matemático T_A significa Asfalto Total ou “Full Depth”).

REVESTIMENTO ASFÁLTICO RENOVÁVEL E RESISTENTE A DERRAPAGEM



Pavimentos de Blocos de Asfalto – Pavimentos em que a camada superficial é construída com blocos de mistura de agregados e asfalto. Estes blocos são colocados em camadas regulares como no caso de pavimento de tijolos.

Pavimentos de Rocha Asfáltica – Pavimentos construídos com rocha asfáltica – natural ou processada – tratada com asfalto ou óleo fluidificante de acordo com os requisitos da construção.

Pintura Asfáltica de Ligação – Aplicação muito leve de asfalto, usualmente uma emulsão asfáltica diluída na água. É utilizada para assegurar uma ligação entre a superfície a ser pavimentada e a camada sobreposta.

Pó Mineral – A parte do agregado fino que passa na peneira de 75 μm (nº 200).

Pré-Misturado (Mistura em Usina) Espalhado a Frio – Misturas em Usina que podem ser espalhadas e compactadas a temperaturas atmosféricas.

Reforço Asfáltico – Uma ou mais camadas de construção asfáltica sobre um pavimento existente. O reforço pode incluir uma camada de regularização ou nivelamento de correção da superfície do pavimento antigo, seguida de camada ou camadas uniformes para obter-se a espessura desejada.

Sub-base – É a camada da estrutura do pavimento asfáltico logo abaixo da base. Se o solo do subleito for de boa qualidade poderá servir de sub-base.

Subleito – É o solo preparado para suportar a estrutura ou o sistema do pavimento. Vem a ser a fundação da estrutura do pavimento. O solo do subleito também é chamado solo de fundação.

Subleito Melhorado – (1) A incorporação ao subleito de materiais granulares e estabilizadores como o cimento asfáltico, emulsão, asfalto diluído, cal e cimento Portland, transforma-o numa plataforma de trabalho que, assim preparada, pode suportar a estrutura ou o pavimento, ou (2) camada ou camadas de material escolhido ou melhorado assente no solo do subleito, abaixo da estrutura do pavimento.

Tratamentos Superficiais Asfálticos – O tratamento superficial asfáltico é um termo amplo que abrange vários tipos de aplicações de asfalto ou de asfalto e agregado, com espessuras inferiores a 25 mm, na superfície da estrada. Os tipos variam de leve aplicação de emulsões e asfaltos diluídos até camadas simples ou múltiplas de aplicações alternadas de asfalto e agregado.

Tratamentos Superficiais Múltiplos – Dois ou mais tratamentos superficiais de asfalto e agregado superpostos. O tamanho máximo do agregado de cada um dos tratamentos sucessivos é, usualmente, metade do tamanho do anterior, sendo que a espessura total é aproximadamente igual ao diâmetro máximo do agregado da primeira camada. Ou, então, pode-se considerar o tratamento superficial múltiplo como uma seqüência de tratamentos simples que produzem uma camada de revestimento asfáltico de até 38 mm ou mais. O tratamento superficial múltiplo é uma camada de desgaste e impermeabilizante mais densa do que a do tratamento superficial simples, contribui com alguma resistência, mas não se lhe consigna, normalmente, um coeficiente estrutural.

Tratamentos Superficiais Simples – Uma camada de asfalto sobre qualquer tipo de superfície de estrada, seguindo-se imediatamente uma camada de agregado de tamanho tão uniforme quanto possível. A espessura da camada é aproximadamente igual ao diâmetro máximo nominal das partículas. O tratamento superficial simples é utilizado como uma camada de desgaste e impermeabilizante.

Usina de Asfalto – É a mistura produzida numa instalação de mistura asfáltica e que consiste em agregados minerais uniformemente cobertos de cimento asfáltico, emulsão asfáltica ou asfalto diluído.

1.3 Pavimentos Asfálticos

Conceitos Básicos

Introdução

O propósito básico da construção de uma estrada ou área de estacionamento, para todas as estações do ano, a ser utilizada por veículos é o de preparar o subleito ou fundação, prover a drenagem necessária e construir um pavimento que deverá:

1. Ter espessura total e resistência interna suficientes para resistir às cargas de tráfego previstas.
2. Ser adequadamente compactado de modo a evitar a penetração ou o acúmulo interno da umidade, e
3. Apresentar a superfície superior lisa, resistente à derrapagem, desgaste, distorção e deterioração pelas intempéries e aos produtos químicos descongelantes.

É o subleito que, em última análise, suporta todas as cargas do tráfego. Portanto, a função estrutural do pavimento é resistir à ação das cargas das rodas que atuam na superfície, transferir e distribuir a carga ao subleito sem exceder, tanto a resistência do subleito como a resistência interna do próprio pavimento (Figura 1.4).

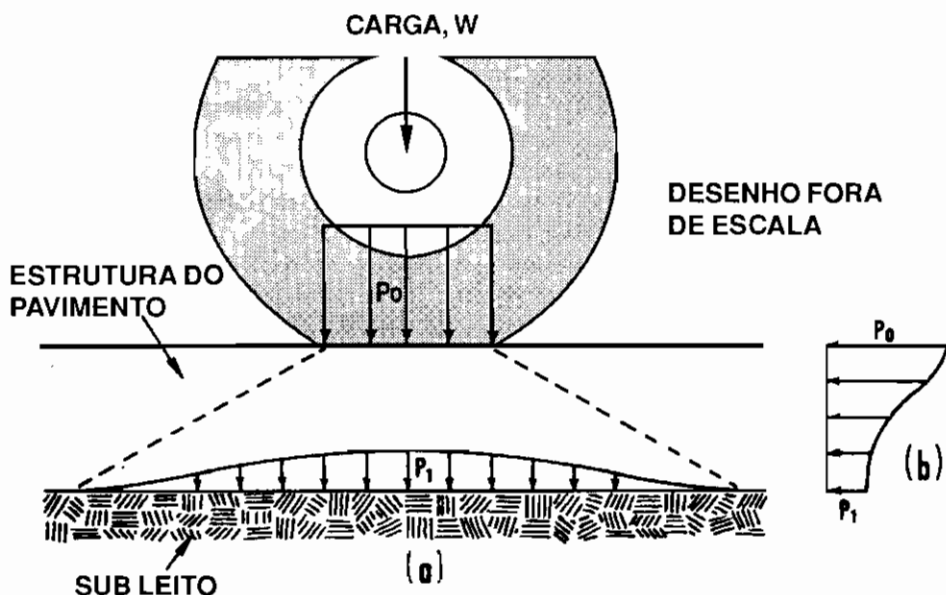


Figura 1.4 Espalhamento de Carga de Roda Através da Estrutura do Pavimento

A figura 1.4 mostra a carga de roda, W , transmitida à superfície do pavimento através do pneu com pressão vertical aproximadamente uniforme, P_0 . O pavimento espalha a carga da roda até o subleito onde atua a pressão máxima de, apenas, P_1 . Fazendo-se a escolha adequada dos materiais do pavimento e de sua espessura, a pressão P_1 será bastante pequena de modo a ser suportada facilmente pelo subleito.

Descrições e Definições

O termo pavimento asfáltico é aplicado genericamente a todo pavimento cuja superfície seja construída com asfalto (Figura 1.5). Normalmente, consiste numa camada superficial de agregado mineral revestido e cimentado pelo asfalto e de uma ou mais camadas de apoio, tais como:

1. Base asfáltica, consistindo em misturas de agregado e asfalto;
2. Pedra (rocha) britada, escória e cascalho; e
3. Concreto de cimento Portland.

A estrutura de um pavimento asfáltico consiste em todas as camadas ou estratos situados acima do subleito, ou fundação, preparado. A camada superior ou do topo do pavimento é a superfície asfáltica de desgaste. Sua espessura pode variar de menos de 25 mm até mais de 75 mm, dependendo de vários fatores e circunstâncias que estão explicadas com pormenores nos capítulos de projeto, construção e manutenção.

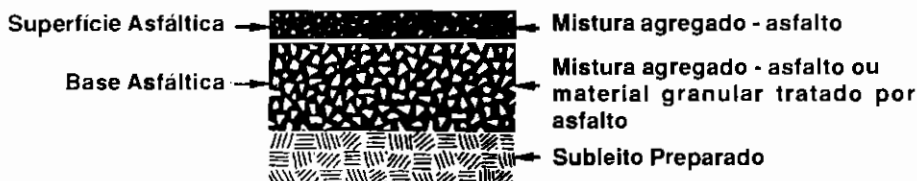
Embora se possa utilizar nas estruturas de pavimentos asfálticos vários tipo de bases e sub-bases, estas compreendem, freqüentemente, materiais granulares compactados (tais como rocha britada, escória, pedregulho, areia e combinação destes) e solo estabilizado. Uma das principais vantagens dos pavimentos asfálticos é a economia alcançada quando se utilizam materiais disponíveis no local.

É preferível, em geral, tratar o material granular utilizado nas bases. O tratamento mais comum é a mistura de asfalto com o material granular, o que produz uma base asfáltica. As vantagens do tratamento com asfalto foram mostradas na pista da AASHO em Illinois (1958 – 1960), sob o patrocínio da "American Association of State Highway Officials" (Associação Americana de Funcionários Rodoviários Estaduais), hoje "American Association of State Highway and Transportation Officials" (Associação Americana de Funcionários Rodoviários e de Transportes Estaduais), e a administração do "Highway Research Board" (Junta de Pesquisa Rodoviária), hoje "Transportation Research Board" (Junta de Pesquisa de Transporte) da Academia de Ciências dos E.U.A. Verificou-se que uma espessura de base asfáltica de 25 mm correspondia, em termos do desempenho quanto à resistência às cargas a, pelo menos 50 mm de material de base granular sem tratamento de asfalto. Pistas experimentais da Grã-Bretanha também demonstraram esta vantagem.

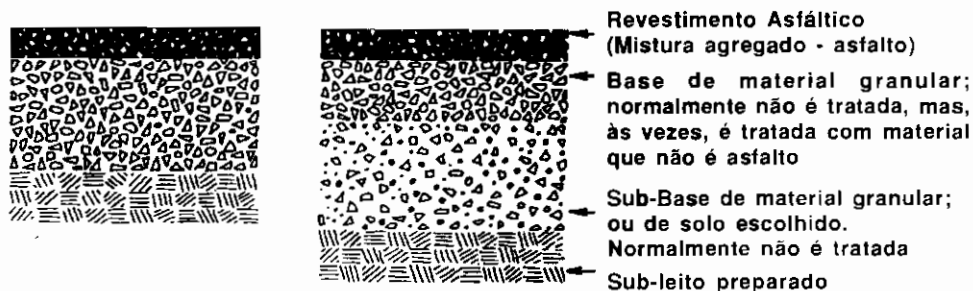
As bases e sub-bases não tratadas têm sido muito usadas. Entretanto, o crescimento atual do tráfego no peso e volume, tem mostrado as limitações do desempenho destas bases. Consequentemente, tem sido limitado o uso de bases não tratadas aos pavimentos projetados para estradas de tráfego mais leve.

Quando a estrutura do pavimento acima do subleito é inteiramente constituída de misturas asfálticas, recebe o nome de "Full-Depth"[®] (pavimento asfáltico de espessura plena). Este tipo de pavimento é considerado, geralmente, o mais vantajoso quanto ao custo e o mais confiável face ao tráfego atual.

Pavimento Asfáltico de Espessura Plena



Pavimento Asfáltico de Base (e sub-base não tratada)



Pavimento Asfáltico com Concreto de Cimento Portland ou Combinação de Concreto de Cimento Portland e Base-Asfáltica

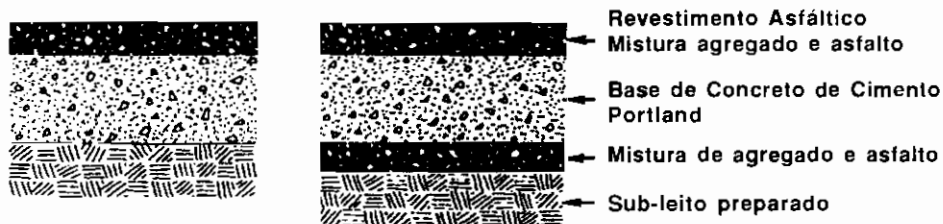


Figura 1.4 Seções Transversais de Pavimentos Mostrando Estruturas Típicas de Pavimentos Asfálticos.

Outros materiais são, também, usados no tratamento de misturas granulares de bases e sub-bases e de solos selecionados: cimento Portland, cal, mistura cal-cinzas volantes, alcatrão do carvão, cloreto de cálcio e sal (cloreto de sódio).

Propriedades Essenciais do Revestimento Asfáltico

A superfície do pavimento asfáltico sujeito ao tráfego de veículos deve resistir à distorção e oferecer uma superfície de rolamento lisa e resistente à derrapagem. Deve ser impermeável e ter declividade para que a água na superfície corra para as áreas laterais, o que protege toda a estrutura do pavimento asfáltico e o subleito do efeito enfraquecedor da umidade. O revestimento deve resistir ao desgaste causado pelo tráfego e, mesmo assim, manter as propriedades anti-derrapantes que são necessárias. Deve, também estar colado à camada subjacente.

Funções da Base e Sub-base

A base e a sub-base são elementos estruturais do pavimento. Juntamente com o revestimento asfáltico sobrejacente, têm como finalidade distribuir as cargas de roda do tráfego ao subleito ou fundação (Figura 1.4). A fim de desempenhar esta função devem apresentar as necessárias características de resistência intrínseca. Sob este aspecto, os pavimentos asfálticos "Full-Depth" têm uma vantagem especial em relação aos pavimentos de bases granulares. A Figura 1.6, por exemplo, mostra como a carga de roda, W , deflete um pouco a estrutura do pavimento, provocando tensões tanto de tração como de compressão no pavimento. As camadas asfálticas têm, tanto resistência à tração, como à compressão, de modo a resistir a estas tensões internas. As bases granulares não tratadas não têm resistência à tração. Portanto, as bases asfálticas espalham a carga da roda sobre áreas maiores do que no caso de bases granulares não tratadas. Em conseqüência, a espessura total da estrutura de pavimento é menor no caso de bases asfálticas. Isto se aplica a todas as condições de carregamento.

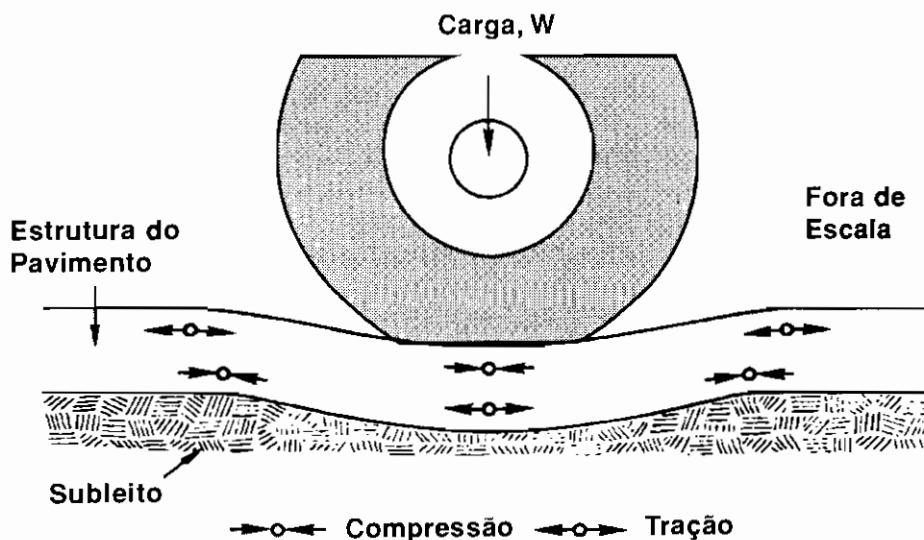


Figura 1.6 Deflexões no pavimento resultam em tensões de tração e compressão na estrutura do pavimento.

Determinação da Espessura de Pavimento Necessária

Constituiu um avanço significativo da engenharia rodoviária a compreensão e a demonstração de que o projeto estrutural dos pavimentos asfálticos é semelhante ao de qualquer outra estrutura de engenharia complexa. Quando se introduziu pela primeira vez o pavimento asfáltico, a determinação de sua espessura era uma questão empírica e opinativa baseada na experiência. Semelhantemente, igual situação já ocorreu na determinação das dimensões de arcos de alvenaria e estruturas de ferro e aço. Entretanto, estas técnicas antigas de há muito tempo se apresentam à análise de engenharia. Com base na análise aprofundada de vasto volume de dados acumulados, o projeto estrutural de pavimentos asfálticos tornou-se um procedimento de engenharia confiável. Prossegue a pesquisa na busca de refinamentos adicionais e de um método totalmente racional.

Não existe espessura padronizada para o pavimento. A espessura total necessária é determinada pelos procedimentos de projeto do engenheiro. Os fatores que se consideram nestes procedimentos são:

1. Tráfego a ser atendido inicialmente e ao longo da vida de serviço do projeto do pavimento;
2. Resistência e outras propriedades pertinentes do subleito preparado;
3. Resistência e outras características influentes dos materiais disponíveis, ou escolhidos, para as camadas ou estratos da estrutura toda do pavimento asfáltico.
4. Quaisquer fatores especiais próprios da estrada que se projeta, tais como fatores ambientais.

Construção por Etapas

Sendo o peso e o volume de tráfego normalmente crescentes a cada ano que passa, pode acontecer que o pavimento originalmente construído com a espessura necessária para atender ao tráfego de imediato, não seja bastante resistente para atender à demanda futura. No caso de pavimentos asfálticos este problema pode ser economicamente atendido, pela construção inicial da espessura necessária, acrescentando-se, quando necessário for, camadas de asfalto de modo a aumentar a espessura total do pavimento. Este procedimento é a *construção por etapas*. Evita-se o investimento inicial e, ao acrescentar outra camada asfáltica, a nova superfície de desgaste é igual ou melhor que a original.

Quando os recursos financeiros para a construção de estradas são limitados, pode-se construir uma base asfáltica resistente às intempéries e que se abre ao tráfego durante um ano ou mais. Ao se dispor de recursos adicionais, a camada de revestimento asfáltico pode ser construída. Da mesma forma, nos novos empreendimentos imobiliários, pode-se construir a base asfáltica em todas as novas ruas para atender à fase de construção com o tráfego de veículos pesados. A camada de revestimento é, em seguida, acrescentada, depois de reparar todo defeito existente ou afundamento sofrido pela base. Nesta altura as ruas têm a resistência total e o aspecto atraente que é apropriado às novas áreas residenciais.

Na construção de estradas interestaduais, são muitos os exemplos de construção, por etapas, planejada. Construíram-se pavimentos asfálticos de espessura suficiente para a serventia nos primeiros anos, com fundos programados de modo a adicionar espessura quando necessário pelo crescimento do tráfego.

Guia para Uso do Asfalto

A Tabela 1.2 contem os tipos e graus de asfalto usados em vários procedimentos de construção, manutenção, reabilitação e reciclagem de pavimento.

Tipos de Construção de Pavimentos Asfálticos

Mistura em Usina

As misturas asfálticas de pavimentação preparadas numa instalação central de mistura são conhecidas, tradicionalmente, como misturas em usina. O concreto asfáltico é considerado a mistura em usina de melhor qualidade. É uma mistura de agregado bem-graduado de alta qualidade e cimento asfáltico. O asfalto e o agregado são aquecidos separadamente de 121°C a 163°C, cuidadosamente medidos e dosados e, em seguida misturados até que as partículas do agregado sejam recobertas de asfalto. A mistura a quente é mantida quente no trajeto, sendo transportada ao canteiro de serviço, onde é espalhada na pista por máquina pavimentadora. Esta espalha uma camada regular que é, em seguida, compactada por rolos compressores até a densidade adequada, antes que o asfalto esfrie.

O concreto asfáltico é apenas um dos muitos tipos de misturas asfálticas a quente. Outras misturas como a areia-asfalto, pano asfáltico e mistura de graduação grossa, são preparadas e espalhadas na pista de modo semelhante. Todas com o ingrediente comum – o cimento asfáltico.

As misturas asfálticas de emulsão ou de asfalto diluído também podem ser preparadas em instalações centrais de mistura. O agregado pode ser parcialmente seco e aquecido ou misturado à medida que é retirado do depósito.

As misturas asfálticas preparadas com emulsão asfáltica e com alguns asfaltos diluídos podem ser espalhadas e compactadas na pista ainda a frio. Estas são misturas asfálticas preparadas em usina e espalhadas a frio. São transportadas e espalhadas a temperaturas ambiente. A fim de acelerar a evaporação da água da emulsão ou o solvente do asfalto diluído, estas misturas, depois de colocadas na pista, são processadas ou trabalhadas de um lado para outro lateralmente por uma motoniveladora antes do espalhamento e compactação.

Mistura no Local

As emulsões asfálticas e muitos asfaltos diluídos (estes em declínio) são suficientemente fluidos para serem espalhados sobre os agregados e a estes misturados nas condições de temperatura atmosférica moderada a elevada. Quando assim se procede, na área a pavimentar, a construção é chamada de *mistura no local*. Embora mistura no local seja o termo mais geral, que se aplica à construção em estrada, área de estacionamento e aeroporto, é o termo *mistura na estrada* mais específico de construção em rodovias.

Tabela 1.2 Guia para Usos do Asfalto

Tipo de Construção	Cimentos Asfálticos														
	Grau de Viscosidade - Original					Grau de Viscosidade - Resíduo					Grau de Penetração ¹				
	AC-40	AC-20	AC-10	AC-5	AC-2.5	AR-16000	AR-8000	AR-4000	AR-2000	AR-1000	40-50	60-70	85-100	120-150	200-300
Misturas de Agregado e Asfalto															
Concreto Asfáltico e Mistura de Usina Espalhada a Quente															
Base e Revestimentos de Pavimentos															
Estradas de Rodagem					7					7					7
Aeroportos															
Áreas de Estacionamento															
Pistas de Acesso															
Meios-Fios															
Pisos Industriais															
Blocos															
Quebra - Mares															
Revestimento de Barragens															
Revestimento de Canais e Reservatórios															
Mistura de Usina Espalhada a Frio ²															
Base e Revestimentos de Pavimentos															
Agregado de Graduação Aberta															
Agregado Bem Graduado															
Para Remendos, de uso imediato															
Para Remendos, Empilhado															
Mistura no Local ³															
Bases e Revestimentos de Pavimentos															
Agregado de Graduação Aberta															
Agregado Bem Graduado															
Área															
Solo Arenoso															
Para Remendos, de uso imediato															
Para Remendos, Empilhado															
Reciclagem															
Mistura a Quente															
Mistura a Frio ⁴															
Aplicações de Agregado Asfalto															
Tratamentos Superficiais															
Tratamento Superficial Simples															
Tratamento Superficial Múltiplo															
Capa Selante com Agregado															
Capa Selante com Areia															
Lama Asfáltica															
Aplicações de Asfalto															
Tratamento Superficial ⁵															
Névoa Selante															
Primura de Imprimação															
Primura de Ligação															
Assentamento da Póbera															
Proteção Superficial															
Membrana															
Revestimentos de Canais e Reservatórios															
Encapsulamento de Aterros															
Preenchimento de Trinças															
Pavimentos Asfálticos															
Pavimentos de Concreto de Cimento Portland	4					4					4				

¹Somente em imprimação²Diluído com água³Mistura em lama⁴Compostos asfálticos com borracha⁵Diluído com água pelo fabricante⁶Somente MS-2⁷Para uso em clima frio

A construção de mistura no local pode ser usada em camadas de revestimento, base e sub-base. Quando em revestimentos ou camadas de desgaste, é satisfatório para estradas de tráfego leve e médio e não para as de tráfego pesado. Contudo, se a camada de mistura no local for coberta por um revestimento de mistura asfáltica em usina, de alta qualidade, tem-se um pavimento adequado a tráfego pesado. As vantagens da mistura na estrada são:

- Utilização de agregado que já se encontra no leito ou é disponível de fontes próximas sendo aproveitado sem processamento extensivo.
- Eliminação da necessidade de uma usina central de mistura. A construção pode ser feita com uma variedade de equipamentos muitas vezes facilmente disponíveis, tais como motoniveladores, misturadores rotativos com dentes giratórios e usinas (ou plantas) misturadoras móveis.

Aplicações de Espargimento de Asfalto

São muitas as aplicações necessárias e úteis do asfalto de pavimentação – temporariamente fluidificados – quando espalhados em quantidade uniforme e controlada sobre a superfície. Por exemplo:

Tratamentos Superficiais – A aplicação de um jato de asfalto, espalhado numa camada superficial de desgaste, com ou sem uma delgada camada de agregado de cobertura, constitui o *tratamento superficial asfáltico*. Por definição têm 25 mm ou menos de espessura. Às vezes, estes tratamentos superficiais fazem parte da construção original, especialmente em estradas rurais de tráfego leve. São aplicados, por vezes, a pavimentos antigos após certo tempo, antes que a deterioração superficial por desgaste causado pelo tráfego e a intemperização prossigam além da conta.

A aspersão do asfalto permite melhorar ou restaurar a condição de impermeabilização da superfície do pavimento antigo. Permite, também, conter todo arrancamento ou desagregação da camada de desgaste. O acréscimo de uma cobertura de agregados sobre o asfalto espalhado restaura e melhora a resistência à derrapagem da camada de desgaste.

Tratamentos superficiais múltiplos – consistem em duas ou mais camadas alternadas de asfalto espalhado na superfície e cobertura de agregados.

Os tratamentos superficiais que têm como propósitos principais a impermeabilização ou a melhoria de textura, ou ambas, são chamados de *capas selantes*.

Os tratamentos simples ou múltiplos, com cobertura de agregado, também podem ser aplicados em estradas revestidas de material granular a fim de melhorá-las face ao tráfego. O tratamento elimina a poeira, protege a estrada permitindo que a água escoe, e proporciona uma superfície de rolamento mais suave. Trata-se de uma melhoria para todas as estações do ano, de baixo custo e útil nas estradas cobertas de material granular, porém sua capacidade de tráfego é limitada, devendo ser usado somente no caso de tráfego leve ou quando for restrito o período de serviço esperado.

Pinturas de Ligação e Pinturas de Imprimação – Deve-se enfatizar que cada camada de um pavimento asfáltico deve ser ligada à camada subjacente. Isto se realiza pelo espalhamento sobre a superfície da camada subjacente uma cobertura delgada de asfalto (usualmente emulsão asfáltica) de modo a interligar as camadas. Esta aplicação delgada de asfalto chama-se pintura de ligação. As pinturas de ligação são usadas para colar camadas asfálticas a bases de concreto de cimento Portland e a pavimentos asfálticos antigos.

Quando se deve colocar um pavimento asfáltico ou um tratamento superficial asfáltico sobre uma base granular, é aconselhável espalhar inicialmente um asfalto (usualmente asfalto diluído) que se infiltrará e penetrará na base. É a *imprimação*, sendo o tratamento chamado de *pintura de imprimação*. Tem como propósito colar a camada granular à camada de asfalto. A pintura de imprimação difere da pintura de ligação quanto ao tipo e quantidade de asfalto usado, mas, ambas são aplicações por aspersão.

Existem outros dois tratamentos superficiais que não utilizam o espalhamento de asfalto. Um é o pré-misturado e o outro é a lama de emulsão asfáltica e agregado fino.

Macadame de Penetração – Este é um tipo antigo de construção de pavimento asfáltico. Embora ainda estejam em serviço muitos quilômetros de pavimentos de macadame de penetração asfáltica, muito pequeno é seu uso em novas construções. Resumidamente, consiste numa ou mais camadas de pedaços de pedra e pedriscos de rocha entrosados por rolagem. Espalha-se asfalto fluido sobre cada camada, o qual penetra e interliga as pedras.

Costuma-se aplicar sobre o pavimento de macadame de penetração um tratamento superficial asfáltico ou uma mistura asfáltica qualquer, que funcione como revestimento.

Sumário

O uso adequado de materiais e misturas asfálticos é o sistema economicamente mais eficaz que se conhece na pavimentação. É importante que o engenheiro projetista compreenda claramente os diferentes tipos de asfaltos e a finalidade de cada um. Da mesma forma o engenheiro deve entender o que são os diferentes tipos de pavimentos – mistura a quente, mistura a frio, e tratamentos superficiais – e conhecer-lhes as aplicações específicas e limitações.

A compreensão aprofundada destes assuntos poderá exigir estudos adicionais fora do escopo desta publicação. O Instituto do Asfalto produz um grande número de outras publicações que apresentam a análise mais pormenorizada de assuntos individuais. Citam-se várias no início de cada capítulo deste manual. Além do mais, o Instituto mantém um corpo de engenheiros aptos a fornecer assistência sobre todos os aspectos do projeto, construção e manutenção.

Capítulo 2

Asfalto do Petróleo

Este capítulo concentra-se no asfalto como um material. Discutem-se suas propriedades, características, especificações e ensaios. Não se apresentam todos os pormenores e procedimentos dos ensaios. Em vez disso, discutem-se as propriedades do asfalto, de que maneira são medidas, as descrições dos ensaios e seus limites e as especificações referentes a asfaltos.

SEÇÃO 2.1 Refino e Propriedades do Cimento Asfáltico

Introdução

Refinamento do Petróleo Cru

Propriedades ou Características Desejadas do Cimento Asfáltico

Especificações e Ensaios do Cimento Asfáltico

SEÇÃO 2.2 Asfaltos Emulsionados e Diluídos

Introdução

Especificações e Ensaios de Emulsões Asfálticas

Especificações e Ensaios de Asfaltos Diluídos

SEÇÃO 2.3 Asfaltos Soprados

Introdução

Propriedades e Ensaios

SEÇÃO 2.4 Controle de Temperaturas de Mistura Asfáltica e de Espargimento

Temperatura de Mistura

Temperaturas de Espargimento

Precauções

SEÇÃO 2.5 Amostragem e Relações Temperatura-Volume, Medições e Cálculos

Amostragem

Relações Temperatura – Volume; Medições e Cálculos

SEÇÃO 2.6 Procedimentos de Segurança em Relação ao Asfalto Quente

BIBLIOGRAFIA

1. *Introdução ao Asfalto* ("Introduction to Asphalt"), MS-5, Asphalt Institute.
2. *Livro de Bolso de Informações Úteis* ("Asphalt Pocketbook of Useful Information"), MS-6, Asphalt Institute.
3. *Especificações de Asfaltos de Pavimentação e Industriais* ("Specifications for Paving and Industrial Asphalts"), SS-2, Asphalt Institute.
4. *Estocagem e Manuseio Seguro do Asfalto Quente* ("Safe Storage and Handling of Hot Asphalt"), IS-180, Asphalt Institute.
5. *Anuário de Normas da ASTM* ("Annual Book of ASTM Standards"), Sec. 4, vol. 04.03, Sociedade Americana de Ensaio e Materiais ("American Society for Testing and Materials").
6. *Especificações Normalizadas de Materiais e Métodos de Amostragem e Ensaio em Transportes* ("Standard Specifications for Transportation Materials and Methods of Sampling and Testing"), Parte II: Métodos de Amostragem e Ensaio ("Part II: Methods of Sampling and Testing"). Associação Americana de Funcionários Estaduais de Rodovias e Transportes ("The American Association of State Highway and Transportation Officials").
7. Traxler, R.N., *Asfalto; sua Composição, Propriedades e Usos* ("Asphalt; its Composition, Properties and Uses"), Reinhold Publishing Corporation, 1961.
8. Pfeiffer, J., *Propriedades dos Betumes Asfálticos* ("Properties of Asphaltic Bitumen"), Elsevier Publishing Co., 1950.
9. *Materiais Betuminosos* ("Bituminous Materials"), ed. por A. J. Hoiberg, Interscience Publishers, 1964.

AUDIOVISUAIS

1. *Asfalto ao Longo do Tempo* ("Asphalt Through the Ages"), VA-2V, fita VHS (cor/som, 12 min.), Asphalt Institute.
2. *Ensaio de Cimento Asfáltico* ("Testing Asphalt Cement"), VA-15, (132 diapositivos em cores, de 35 mm, narração em cassete, 17 min), Asphalt Institute.
3. *Ensaio de Emulsões Asfálticas* ("Testing Emulsified Asphalt"), VA-17, (108 diapositivos em cores, de 35 mm, narração em cassete, 24 min), Asphalt Institute.
4. *Ensaio de Viscosidade do Asfalto* ("Viscosity Tests of Asphalts"), VA-18, (79 diapositivos em cores, de 35 mm, narração em cassete, 26 min), Asphalt Institute.

2.1. Refino e Propriedades do Cimento Asfáltico

Introdução

De acordo com a "American Society for Testing and Materials - ASTM" (Sociedade Americana de Ensaios e Materiais), o asfalto é um material cimentante castanho escuro ou preto, em que os constituintes principais são betumes que ocorrem na natureza ou que se obtêm do processamento do petróleo. O asfalto se encontra em proporções variadas na maioria dos crus de petróleo.

Betume (de acordo com a ASTM) é uma classe de substâncias cimentantes pretas ou escuras (sólidas, semi-sólidas, viscosas), naturais ou fabricadas, compostas principalmente de hidrocarbonetos de alto peso molecular, de que são típicos os asfaltos, alcatrões, piches e asfaltitas.

Refino do Petróleo Cru

Os petróleos crus compõem-se de muitos produtos, inclusive o asfalto. O refino separa os vários produtos e permite que se extraia o asfalto. O fluxograma do asfalto do petróleo (Figura 2.1) mostra de um modo geral o fluxo do petróleo cru através uma refinaria. Enfatiza-se a parte do processo relacionada ao refino e produção do cimento asfáltico.

Durante o processo de refino, o petróleo cru vai para um trocador de calor ou aquecedor tubular, onde sua temperatura sobe rapidamente para o refino inicial. A seguir, entra numa torre de destilação atmosférica onde os componentes ou frações mais leves (mais voláteis) vaporizam-se e são retiradas para novo refino e produção de nafta, gasolina, querosene e muitos outros produtos do petróleo.

O resíduo deste processo de destilação atmosférica é a fração pesada do petróleo cru – comumente chamada cru reduzido. Pode ser usado como óleo combustível residual, ou por processamento adicional transformado em outros produtos, inclusive o asfalto. A destilação a vácuo pode remover frações de alto ponto ebulição o bastante para produzir o asfalto de destilação direta ou se o cru reduzido contiver componentes de volatilidade tão baixa que não possa ser removido economicamente por destilação, a extração por solvente do asfalto ou "desasfaltação por solvente" pode se tornar necessário a fim de produzir cimento asfáltico de consistência desejada. Na realidade, as refinarias que produzem cimento asfáltico podem usar combinadamente todos estes processos, de modo a produzir diversos graus de asfalto que são posteriormente misturados a fim de produzir graus intermediários.

Os asfaltos soprados são obtidos por jatos de ar a elevadas temperaturas no asfalto de consistência adequada. São descritos na Seção 2.3.

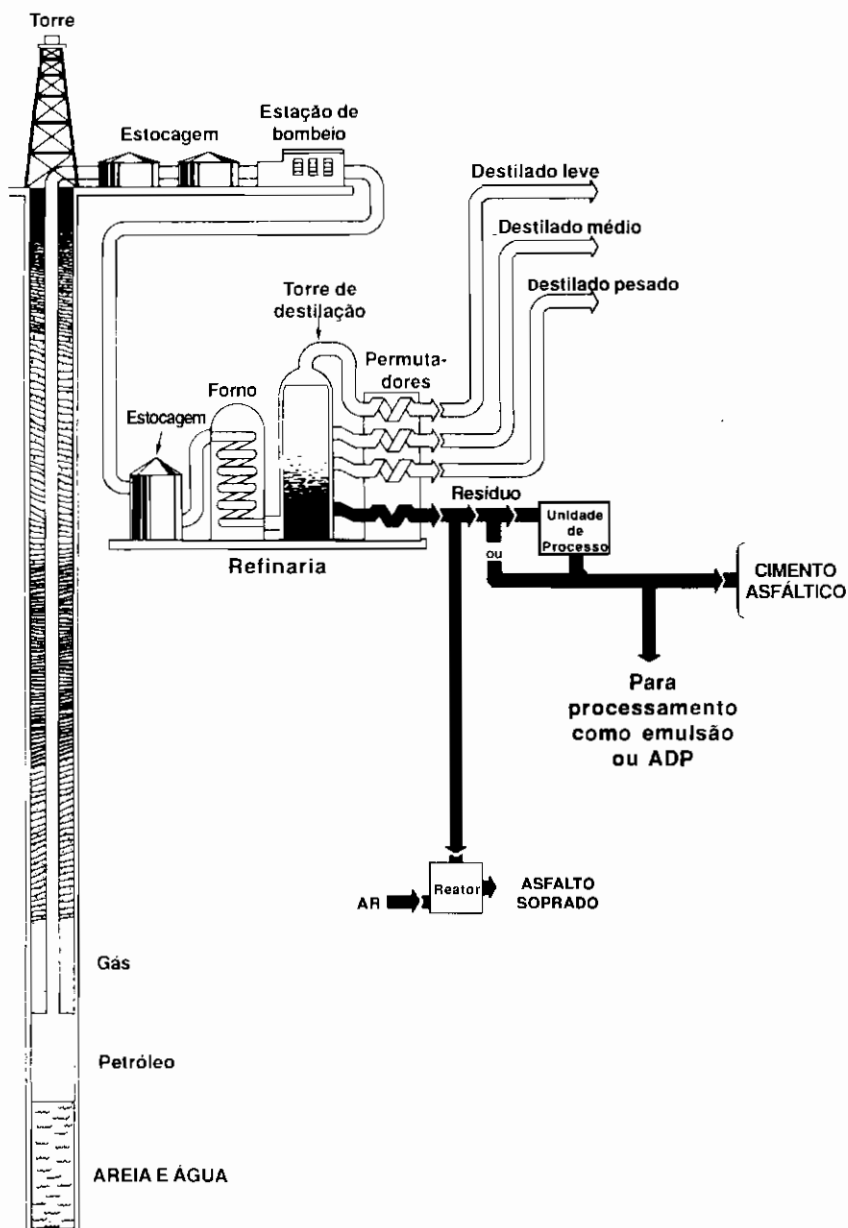


Figura 2.1. Fluxograma da Produção de Cimento Asfáltico

Propriedades ou Características Desejadas do Cimento Asfáltico

Para o projeto e construção são três as propriedades ou características do asfalto que têm importância: (1) consistência (também chamada muitas vezes viscosidade), (2) pureza, e (3) segurança.

Consistência

Os asfaltos são materiais termoplásticos porque se liqüefazem gradualmente quando aquecidos. A consistência é o termo empregado para descrever a viscosidade ou grau de fluidez do asfalto a qualquer temperatura que se considere. Sendo a consistência do cimento asfáltico variável com a temperatura, é preciso adotar uma temperatura padronizada quando se comparam as consistências dos cimentos asfálticos. Os cimentos asfálticos são graduados com base da faixa de consistência a uma temperatura padrão.

Quando o cimento asfáltico é exposto ao ar em películas delgadas à temperaturas elevadas, isto é, durante a mistura com o agregado, o asfalto tende a enrijecer. Isto quer dizer que a consistência ou viscosidade do asfalto cresce. Admite-se um aumento limitado. Todavia, o controle descuidado da temperatura e da mistura pode causar danos a um cimento asfáltico, pelo enrijecimento, maiores do que os de muitos anos de serviço da estrada concluída.

A consistência do asfalto de pavimentação é usualmente especificada e medida no ensaio de viscosidade ou no de penetração. (Utiliza-se o ensaio do ponto de amolecimento para os asfaltos soprados).

Pureza

O cimento asfáltico compõe-se quase inteiramente de betume, o qual, por definição, é totalmente solúvel no bissulfeto de carbono. Os asfaltos refinados são betumes quase puros e usualmente mais de 99,5 por cento solúveis em bissulfeto de carbono. As impurezas quando existentes são inertes.

Ao deixar a refinaria, o cimento asfáltico é, normalmente, isento de água ou umidade. Contudo, os veículos de transporte do asfalto podem ter um pouco de umidade nos seus tanques. Se existir um pouco de água, por descuido, isto causará espuma do asfalto quando aquecido acima de 100°C.

Segurança

A espuma do asfalto é um risco para a segurança, de modo que as especificações requerem usualmente que o asfalto não espume em temperaturas de até 175°C.

O cimento asfáltico se aquecido a temperaturas bastante elevadas, desprenderá vapores que irão chamejar por ação de uma centelha ou chama exposta. A temperatura em que tal fato ocorre é designada ponto de fulgor, sendo bem maior que as temperaturas usadas, normalmente, nas operações de pavimentação. Contudo para que se assegure uma margem de segurança adequada, mede-se e controla-se o ponto de fulgor do asfalto.

Especificações e Ensaios do Cimento Asfáltico

Especificações do Cimento Asfáltico

Os cimentos asfálticos são oferecidos comercialmente em várias gamas ou faixas padronizadas de consistência (tipos ou graus). Por muitos anos estas gamas referiam-se a medições do ensaio de penetração tão somente; dispunha-se de cimentos asfálticos de cinco graus padronizados: 40-50, 60-70, 85-100, 120-250 e 200-300 dmm, estes números indicando as gamas de penetração de cada tipo. O mais mole (200-300 dmm) é moderadamente rijo à temperatura ambiente; nesta temperatura uma suave pressão com o dedo deixa marca na superfície da amostra. O cimento asfáltico mais duro (40-50) tem uma consistência que só permite uma leve impressão do dedo polegar quando aplicado com força, estando o material à temperatura ambiente.

A graduação dos asfaltos com base no ensaio de penetração é um procedimento empírico que se sabe hoje inadequado diante da moderna tecnologia. A base mais fundamental é o ensaio de viscosidade*. Portanto, o método moderno é a graduação dos cimentos asfálticos de acordo com suas viscosidades em poises a 60°C. A unidade no sistema CGS é 1 g/cm.s (1 dina.s/cm²) e se chama poise (P). No SI a unidade de viscosidade é o Pa.s (1 N.s/m²) o que equivale a 10 P. Existem duas séries de graus de viscosidade dos cimentos asfálticos disponíveis. Uma consiste nos graus CAP-2,5, CAP-5, CAP-10, CAP-20 e CAP-40, às vezes o CAP-30, cujos valores numéricos indicam a viscosidade em centenas de poises a 60°C. A tolerância admitida para cada grau é de 20 por cento para mais ou para menos. A outra série consiste nos graus AR-1000, AR-2000, AR-4000, AR-8000 e AR-16000, em que os valores numéricos indicam a viscosidade em poises, porém determinada após submeter o asfalto ao ensaio RTFOT. Portanto, a série AR é a do cimento asfáltico envelhecido. A tolerância destes graus é de 25 por cento para mais ou para menos.

As especificações dos tipos padronizados de cimentos asfálticos foram adotadas pela AASHTO e a ASTM. Além do ensaio de viscosidade a 60°C ou o de penetração para definir o grau ou a consistência, são necessários vários outros ensaios a fim de determinar propriedades específicas destes produtos. Os ensaios com as designações dos métodos de ensaio da AASHTO e da ASTM estão na Tabela 2.1, que também indica as especificações e os ensaios requeridos pelas mesmas.

* Visto ser o ensaio de viscosidade fundamental e o da penetração empírico, não existe relação direta entre os dois. E mais, a relação entre penetração e viscosidade varia com diferentes asfaltos de diferentes crus.

Tabela 2.1 Ensaios Requeridos de Cimentos Asfálticos em Pavimentação

Ensaio	Método de Ensaio		Especif. do Cimento Asfáltico	
			AASHTO M226 ¹	AASHTO M20
	AASHTO	ASTM	Tipo por Viscos.	Tipo por pen.
Viscosidade a 60°C (140°F)	T202	D2171	X	---
Viscosidade a 135°C (175°F)	T201	D2170	X	---
Penetração a 25°C	T49	D5	X	X
Ponto de Fulgor (C.O.C.)	T48	D92	X	X
Ensaio de Estufa de Película Delgada	T179	D1754	X	X
Ensaio de Estufa de Película Delgada	T240	D2872	X	---
Rolante	T5	D113	X	X
Dutibilidade	T44	D2042	X	X
Solubilidade no Tricloroetileno	T102	---	X	X
Ensaio da Mancha ²	T55	D95	X	X
Água	---	---	---	---

¹ As especificações AASHTO M226 e ASTM D3381 têm 3 tabelas de limites de especificações. As duas primeiras basearam-se no asfalto original, e a Tabela 3 no resíduo do ensaio de estufa de película delgada rolante

² Requisito de ensaio opcional da AASHTO.

Ensaios de Viscosidade

As especificações de cimentos asfálticos classificados por viscosidade baseiam-se, normalmente, nas gamas de viscosidade a 60°C. Também se especifica, usualmente, um valor mínimo de viscosidade a 135°C. A finalidade é prescrever valores limites de consistência nestas duas temperaturas. A temperatura de 60°C foi escolhida por se aproximar da temperatura máxima das superfícies de pavimentos asfálticos em serviço nos Estados Unidos e em outras regiões do mundo onde se verifica substancial atividade de construção de estradas. A temperatura de 135°C foi escolhida por estar próxima das temperaturas de mistura e espalhamento nos pavimentos de misturas asfálticas a quente.

No ensaio de viscosidade a 60°C emprega-se o viscosímetro de tubo capilar. Há dois tipos mais usados. Um deles é o de vácuo do Asphalt Institute (Figura 2.2) e o outro é o de vácuo Cannon-Manning (Figura 2.3). Calibra-se cada viscosímetro com óleos de calibração padronizados. Determina-se então um “fator de calibração” para cada viscosímetro de que se fará uso como descrito adiante. Normalmente, os viscosímetros são calibrados pelo fabricante que fornece com os viscosímetros seus fatores de calibração.

Instala-se o viscosímetro num banho de temperatura constante, termostaticamente controlado (Figura 2.4). A água pode ser utilizada como o meio líquido do banho. Verte-se o asfalto pré-aquecido na parte mais larga do viscosímetro até atingir o traço de referência do enchimento. Mantém-se o viscosímetro com o asfalto no banho térmico, por um determinado tempo, de modo a permitir que o sistema atinja a temperatura de equilíbrio de 60°C.

Por ser o cimento asfáltico a 60°C demasiadamente viscoso para fluir prontamente no viscosímetro de tubo capilar, aplica-se um vácuo parcial na parte mais fina do viscosímetro para indução do fluxo. Mostra-se na Figura 2.4 um dispositivo de controle do vácuo. Ao sistema também se conecta uma bomba de vácuo.

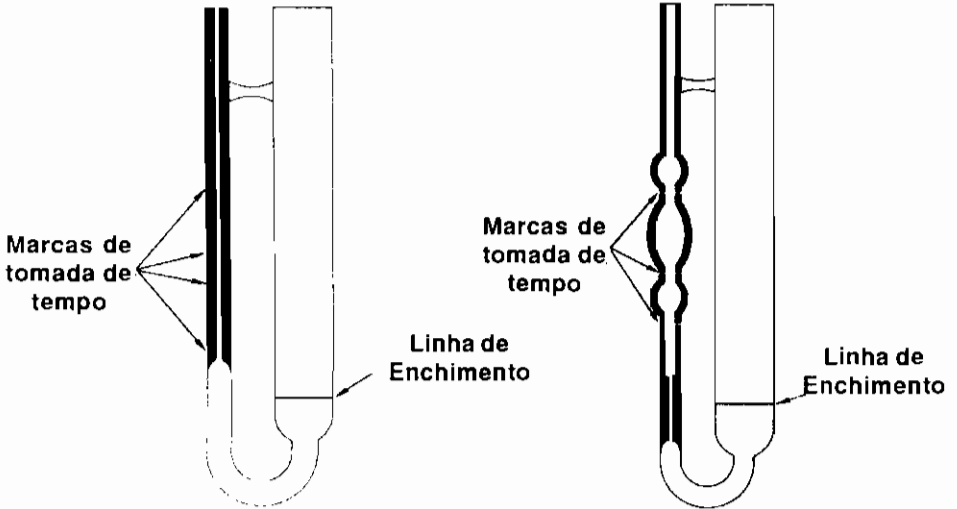


Figura 2.2 Viscosímetro a Vácuo do Asphalt Institute

Figura 2.3 Viscosímetro a Vácuo Cannon-Manning

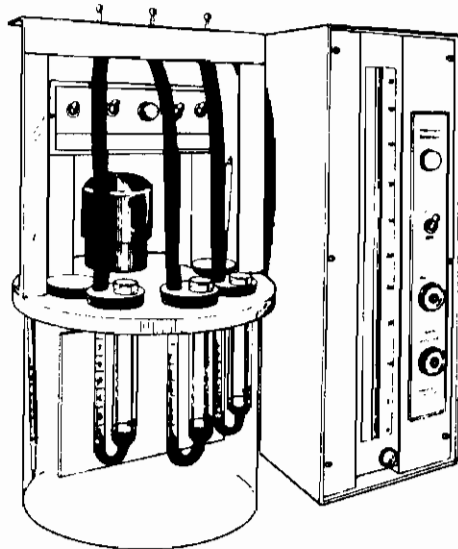


Figura 2.4 Viscosímetro no Banho

Depois que o banho, o viscosímetro e o asfalto se estabilizam a 60°C aplica-se o vácuo prescrito e mede-se com um cronômetro o tempo, em segundos, que leva o cimento asfáltico para deslocar-se entre as duas marcas de contagem do tempo. Multiplicando-se este tempo medido pelo fator de calibração do viscosímetro, obtém-se o valor da viscosidade em Poises, unidade padrão de medida da viscosidade.

O viscosímetro a vácuo do Asphalt Institute tem várias marcas de contagem do tempo. Isto permite usá-lo com asfaltos de consistências muito variáveis, simplesmente pela escolha adequada do par de marcas.

Os cimentos asfálticos de uso em pavimentação são suficientemente fluidos a 135°C de modo a escoarem-se nos tubos capilares sob a ação das forças gravitacionais apenas. Portanto, não se faz necessário o vácuo e um diferente tipo de viscosímetro pode ser usado. O mais comum é o viscosímetro Zeifuchs de braço transverso (Figura 2.5). Também se calibra este tipo de viscosímetro com óleos de calibração padronizados.

Visto serem os ensaios de viscosidade realizados a 135°C , deve-se usar um óleo claro adequado como líquido do banho. Instala-se o viscosímetro no banho (Figura 2.6) e verte-se o asfalto na abertura maior até atingir o traço de referência

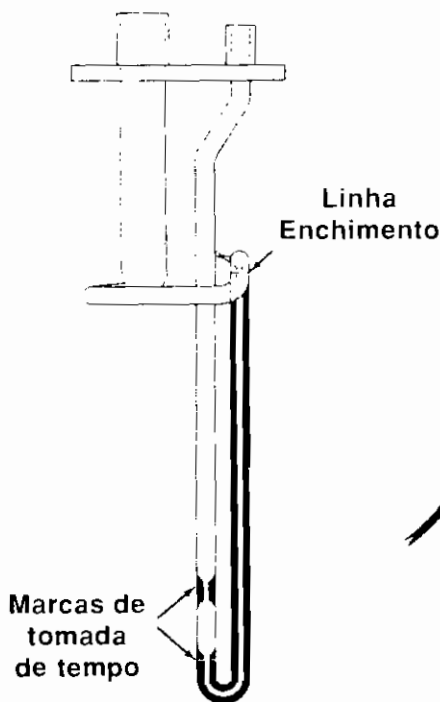


Figura 2.5 Viscosímetro Zeifuchs de braço transverso

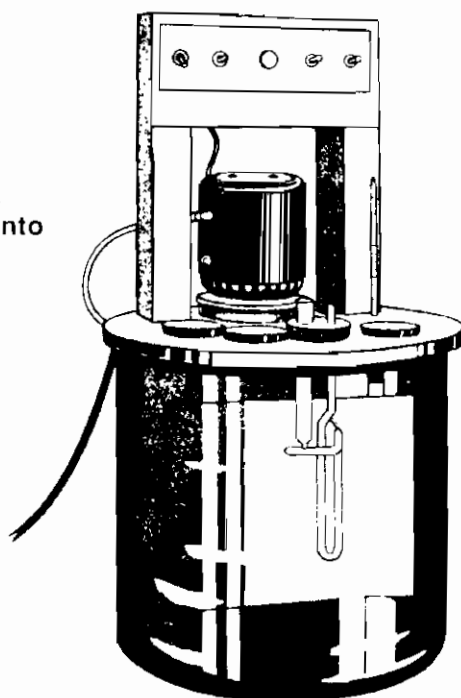


Figura 2.6 Viscosímetro no Banho

do enchimento. Permite-se que o sistema atinja a temperatura de equilíbrio como visto antes. Aplica-se uma leve pressão na abertura grande ou um pequeno vácuo na abertura pequena, a fim de iniciar o fluxo pela seção em sifão bem acima do traço de enchimento. O asfalto, então, passa a fluir para baixo na seção vertical de tubo capilar por ação das forças gravitacionais. Aciona-se o cronômetro quando o asfalto alcança a primeira marca de contagem de tempo e aciona-se o mesmo no sentido de término do tempo quando alcança a segunda marca. O intervalo de tempo cronometrado multiplicado pelo fator de calibração do viscosímetro fornece a viscosidade cinemática em centistokes.

Cabe observar que as medições de viscosidade a 135°C se exprimem em centistokes, enquanto que as medições a 60°C são em poises. A gravidade induz o fluxo no ensaio de viscosidade cinemática (resultados em centistokes), e a densidade do material influi na velocidade do fluxo no tubo capilar. Nos ensaios de viscosidade com resultados em poises, o fluxo pelo tubo capilar é induzido por vácuo parcial sendo desprezíveis os efeitos gravitacionais. As unidades de medidas destes dois ensaios – poises e stokes ou centipoises e centistokes – se inter-relacionam pela consideração da densidade do cimento asfáltico.

As medições de viscosidade feitas a duas temperaturas de ensaio são geralmente plotadas num gráfico de viscosidade – temperatura, traçando-se uma linha pelos dois pontos. A inclinação desta linha indica a susceptibilidade à temperatura. A marcação desta linha é importante na determinação da gama ótima de temperatura de mistura e compactação da mistura asfáltica a quente. Na preparação de amostra de mistura para projeto, o Asphalt Institute recomenda que se faça a misturação entre 150 e 190 centistokes e a compactação entre 250 e 310 centistokes.

Ensaio de Penetração

O ensaio de penetração é uma medição empírica da consistência do asfalto. É com base neste ensaio que os cimentos asfálticos foram classificados em graus ou tipos padronizados. A Figura 2.7 mostra o ensaio de penetração padronizado. No ensaio, aquece-se um recipiente com cimento asfáltico à temperatura padrão de ensaio, 25°C, num banho de água de temperatura controlada. Faz-se apoiar a ponta de uma agulha prescrita de 100 g na superfície do cimento asfáltico por 5 segundos. A distância em unidades de 0,1 mm que a agulha penetra no cimento asfáltico é a medida de penetração.

Por vezes, faz-se o ensaio de penetração a diferentes temperaturas. Quando isto acontece pode-se variar a carga da agulha ou o tempo de penetração, ou ambos.

Ensaio de Ponto de Fulgor

Quando se aquece o asfalto, este libera vapores que são combustíveis. O ponto de fulgor indica a temperatura na qual o asfalto se inflamará instantaneamente na presença de uma chama exposta. Esta temperatura, contudo, é usualmente bem inferior à que faria o material manter a combustão. A temperatura em que o material mantém a combustão é chamada de *ponto de combustão*, porém é raramente adotado em especificações de asfalto.

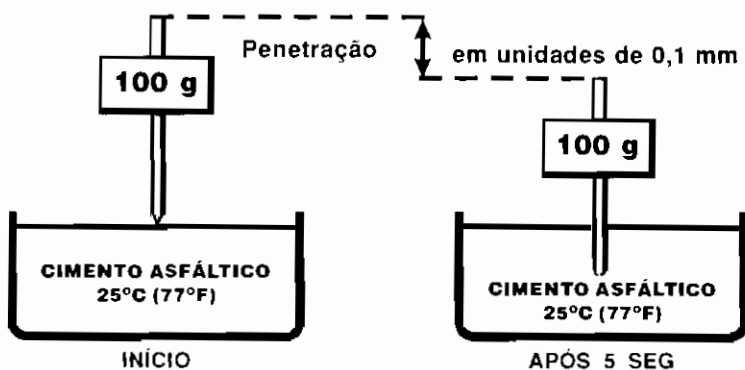


Figura 2.7 Ensaio de Penetração

O ponto de fulgor do cimento asfáltico mede-se usualmente no vaso aberto de Cleveland do ensaio de ponto de fulgor (Figura 2.8). Preenche-se um vaso de bronze com um volume especificado de asfalto que se aquece a determinada taxa. Passa-se uma pequena chama por cima da superfície do asfalto a intervalos de tempo prescritos. O ponto de fulgor é a temperatura em que a quantidade de voláteis liberados é suficiente para causar o flamejamento instantâneo.

Ensaio de Efeito do Calor e do Ar numa Estufa em Película Delgada

O ensaio de película delgada em estufa é, na verdade, um procedimento - não um ensaio - destinado a submeter uma amostra de asfalto a condições de enrijecimento aproximadas das que ocorrem nas operações de instalações das mistura a quente. A perda de massa no aquecimento e os ensaio de viscosidade e de penetração, feito na amostra, antes e após o ensaio TFO, são tidos como uma medida da resistência do material a mudanças em condições que causam o enrijecimento.

Faz-se o ensaio TFO colocando-se uma amostra de 50 ml de cimento asfáltico num tabuleiro de fundo chato de 140 mm de diâmetro interno e 10 mm de altura. A camada de asfalto tem cerca de 3 mm de espessura. A amostra de peso conhecido e o recipiente são colocados numa prateleira que gira à razão aproximada de 5 a 6 voltas por minuto durante 5 horas numa estufa com ventilação (Figura 2.9) mantida a 163°C. A perda de massa calcula-se pela perda de peso da amostra de ensaio expressa em porcentagem dos pesos originais. A seguir verte-se o cimento asfáltico num recipiente padrão usado para o ensaio de viscosidade ou o de penetração.

Ensaio de Película Delgada Rolante em Estufa

Uma variante do ensaio de película delgada em estufa foi desenvolvida por organismos do Oeste dos E.U.A., com referência ao sistema de graduação pela viscosidade do residuo do asfalto. É conhecido como ensaio de película rolante em estufa. Tem a mesma finalidade do ensaio TFO embora o equipamento e os procedimentos de ensaio sejam diferentes.

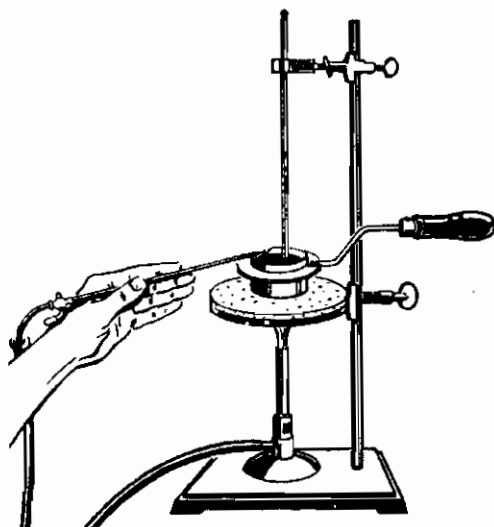


Figura 2.8 Ensaio de Ponto de Fulgor no Vaso Aberto de Cleveland

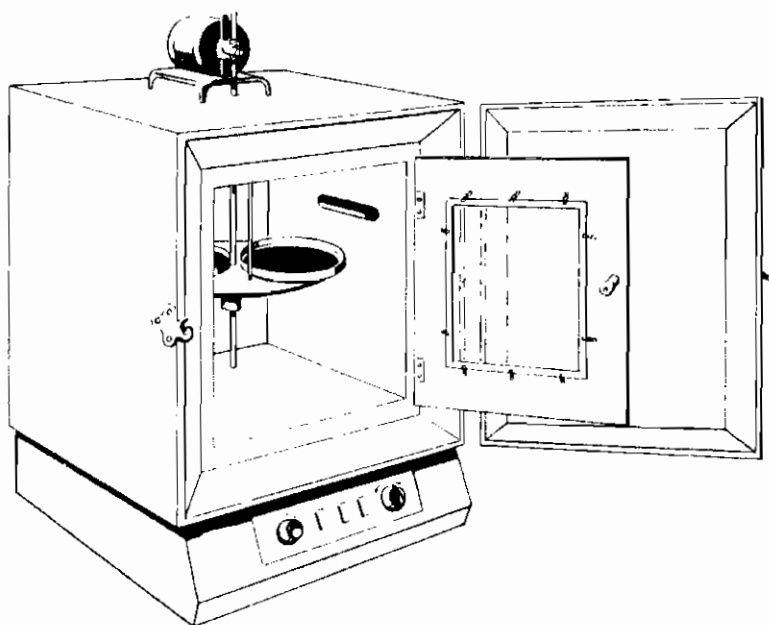


Figura 2.9 Ensaio em Estufa de Película Delgada (Efeito do Calor e do Ar)

A estufa utilizada no ensaio RTFO está ilustrado na Figura 2.10 juntamente com o frasco que se usa como recipiente da amostra de ensaio. Verete-se uma quantidade especificada de cimento asfáltico no frasco, o qual é colocado numa placa de encaixes que gira à velocidade prescrita segundo um eixo horizontal, estando a estufa à temperatura constante de 163°C. O frasco giratório expõe constantemente novas partes da película de cimento asfáltico. A cada rotação da placa, a abertura do frasco com a amostra passa diante de um jato de ar. O ar quente do jato evacua os vapores acumulados do frasco de amostra.

A estufa do ensaio de película delgada rolante acomoda um maior número de amostras do que a estufa do ensaio de película delgada. O tempo para completar um certo grau de enrijecimento é menor no ensaio de RTFO do que no ensaio de RFO. As propriedades do resíduo do RTFO determinam o tipo do asfalto original, na série de asfaltos residuais graduados pela viscosidade.

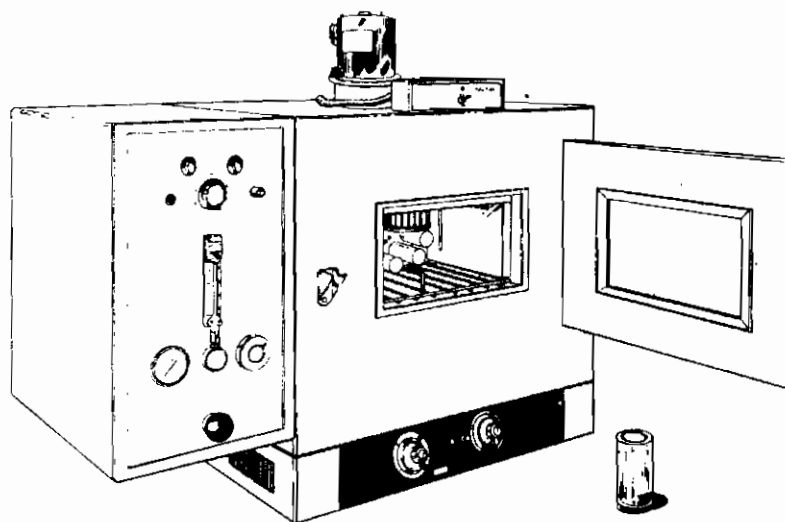


Figura 2.10 Ensaio em Estufa de Filme Fino Rotativo (Efeito do calor e do Ar)

Ensaio de Dutilidade

Alguns engenheiros consideram a dutilidade uma característica importante dos cimentos asfálticos. Entretanto, é a existência ou não de dutilidade que se considera usualmente mais importante do que o grau de dutilidade. Alguns cimentos asfálticos que tem um grau de dutilidade excessivamente grande também são mais susceptíveis à temperatura. Ou seja, a consistência varia muito com variação de temperatura.

A ductilidade do cimento asfáltico mede-se por um ensaio do tipo “alongamento” (Figura 2.11) em que um briquete (“gravatinha”) de cimento asfáltico é moldado em condições e dimensões padronizadas. É, a seguir, levado à temperatura de ensaio, normalmente 25°C. Uma parte é puxado afastando-se da outra a uma velocidade especificada, normalmente 5 cm por minuto até que o fio de asfalto que liga as duas partes quebre. O alongamento (em centímetros) em que se rompe o fio de material é chamado ductilidade do asfalto.

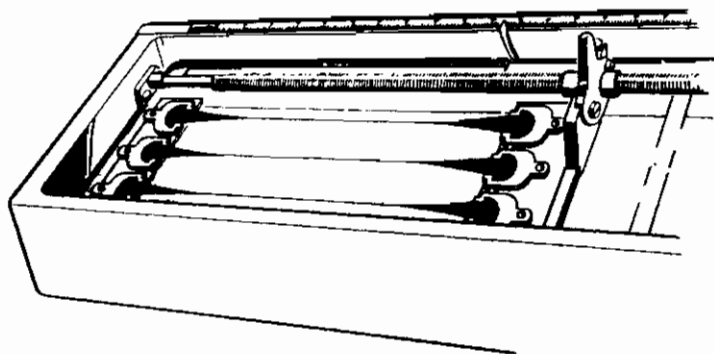


Figura 2.11 Ensaio de Dutilidade

Ensaio de Solubilidade

O ensaio de solubilidade mede a pureza do cimento asfáltico. A parte do cimento asfáltico solúvel no bissulfeto de carbono representa os constituintes cimentantes ativos. Somente os materiais inertes, como os sais, carbono livre e impurezas não orgânicas são insolúveis.

Por ser arriscado o uso do bissulfeto de carbono, o tricloretileno, também excelente solvente do cimento asfáltico, é empregado no ensaio de solubilidade.

A determinação da solubilidade é simplesmente um processo em que se dissolve cerca de 2 g de asfalto em 100 ml de solvente e se filtra a solução através de uma placa de fibra de vidro colocada num cadinho (Gooch) de porcelana. Determina-se a quantidade de material retido no filtro pesando-o e calcula-se a porcentagem em relação ao peso inicial da amostra.

2.2. Asfaltos Emulsionados e Diluídos

Introdução

Na seção anterior mostrou-se que o aquecimento é uma maneira de liquefazer o cimento asfáltico para uso em construção. O asfalto tem que ser liquefeito antes de bombeá-lo através de tubulações, de misturá-lo ao agregado ou espalhá-lo através dos bicos da barra distribuidora. Quando o cimento asfáltico esfria, torna-se um material aglutinante semi-sólido.

Existem, no entanto, outros modos de liqüefazer o asfalto para as operações de construção. Pode-se dissolvê-lo em solventes de petróleo apropriados ou emulsioná-lo com um agente emulsificador e água. O asfalto liqüefeito por esses métodos é conhecido como asfalto diluído (ou dissolvido) e asfalto emulsionado (ou emulsão asfáltica).

Quando se utilizam asfaltos diluídos, terminada a construção, o solvente evapora-se¹, e fica o cimento asfáltico no desempenho de sua função.

O fluxograma do processamento do petróleo foi expandido na Figura 2.12 de modo a mostrar a produção de asfaltos diluídos e emulsões asfálticas. É importante que se note ser, em cada caso, o cimento asfáltico o material básico que se liqüefaz por emulsificação e diluição.

Pode-se notar, também, que o asfalto diluído de cura lenta pode ser obtido por destilação direta. Tal pode acontecer quando o cru reduzido é de qualidade adequada, e pode ser refinado até a consistência que corresponda a um dos tipos de asfalto diluído de cura lenta.

Emulsões Asfálticas

No processo de emulsificação, processa-se a moagem mecânica do cimento asfáltico aquecido até obterem-se glóbulos minúsculos e dispersos na água tratada por pequena quantidade de agente emulsificador. Diz-se que água é a fase contínua e os glóbulos de asfalto são a fase descontínua. A máquina utilizada neste processo é o moinho coloidal, que produz glóbulos asfálticos extremamente pequenos, quase todos na gama do tamanho coloidal (5 a 10 micra ou menor).

Por seleção adequada do agente emulsificador e de outros controles de fabricação, produzem-se emulsões asfálticas de diferentes tipos e graus. Pela escolha do agente emulsificador, as emulsões asfálticas podem ser:

1. Aniônicas – glóbulos de asfalto são carregados eletronegativamente;
2. Catiônicas – glóbulos de asfalto são carregados eletropositivamente;
3. Não-iônicas – glóbulos de asfalto são neutros.

Na prática, os dois primeiros tipos são usados comumente na construção e manutenção de rodovias. As não iônicas, contudo, tornam-se cada vez mais usados à medida que progride a tecnologia das emulsões.

¹ Devido à evaporação do solvente, a regulamentação ambiental pode restringir ou proibir o uso dos asfaltos diluídos em várias áreas.

Poço de Petróleo

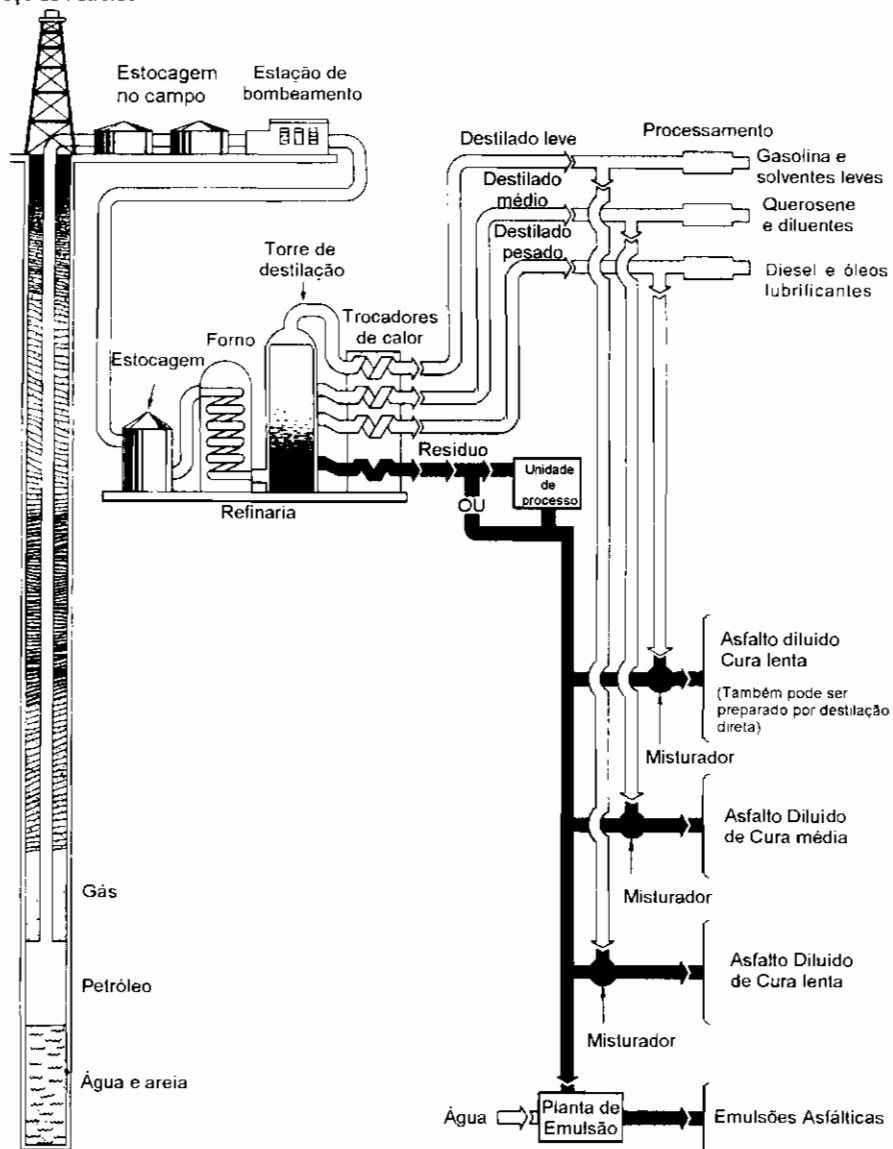


Figura 2.12 Fluxograma da Produção de Emulsões Asfálticas e Asfaltos Diluídos

Também por variações dos materiais e da fabricação, as emulsões asfálticas de tipos tanto aniônico como catiônico são fabricadas em diferentes graus:

Aniônicas	Catiônicas	
	EUA	Brasil
RS-1	CRS-1	RR-1C
RS-2	CRS-2	RR-2C
MS-1	—	—
MS-2	CMS-2	RM-2C
MS-2h	CMS-2h	—
HFMS-1	—	—
HFMS-2	—	—
HFMS-2h	—	—
HFMS-2s	—	—
SS-1	CSS-1	RL-1C
SS-1h	CSS-1h	—

Os símbolos RS, MS e SS (RR, RM e RL, no Brasil) dos tipos de emulsão indicam a taxa de ruptura da emulsão. A letra "h" colocada após alguns graus significa apenas que foi usado um asfalto de base mais dura. O "HF" que precede alguns dos graus MS indica alta flutuação, sendo medido pelo Ensaio de Flutuação (AASHTO T50 ou ASTM D 139). As emulsões de alta flutuação têm uma qualidade, conferida pela adição de certos produtos químicos, que permite uma película de asfalto mais espessa sobre as partículas de agregado, com uma probabilidade mínima de drenagem do ligante. Algumas usuários de emulsões especificam um outro grau de mistura de emulsão catiônica com areia, designada CMS – 2s, que contem mais solvente do que outros graus catiônicos. Nem todos os graus desta longa lista de emulsões ficam estocadas pela maioria dos produtores. A comunicação e o planejamento estabelecidos entre o usuário e o produtor facilitam a prestação do serviço e o suprimento de um determinado grau.

As emulsões, durante a construção, devem permanecer suficientemente fluidas para sua adequada aplicação. Os glóbulos de asfalto são mantidos separados pelo agente emulsificador até que a emulsão se deposite na superfície do terreno, do pavimento existente ou das partículas de agregado. Para que o asfalto da emulsão desempenhe sua função final de cimentar e impermeabilizar, a fase asfalto deve separar-se da fase água. Isto ocorre através da neutralização das cargas eletrostáticas e da evaporação da água, separada ou concomitantemente. As gotículas de asfalto coalescem e produzem uma película contínua de asfalto no agregado ou no pavimento. A coalescência das gotículas de asfalto ocorre mais rapidamente nas emulsões de ruptura rápida (RR). O tempo para que haja esta coalescência chama-se de tempo de ruptura. O modo e a rapidez da ruptura das emulsões depende muito da quantidade e propriedades do agente emulsificador usado na fabricação da emulsão, e das proporções relativas de água e asfalto.

Asfaltos Diluídos

Os solventes do petróleo utilizados na dissolução do cimento asfáltico são diversamente chamados destilado, diluente e agente de recorte. Se o solvente usado na produção do asfalto diluído for extremamente volátil, ele escapará rapidamente por evaporação. Os solventes de volatilidade menor evaporam-se mais lentamente. Tendo em conta a velocidade de evaporação dos asfaltos diluídos, estes se dividem em três tipos:

1. de cura rápida (CR ou "RC" em inglês) – cimento asfáltico e diluente leve de alta volatilidade geralmente na gama de ponto de ebulição da gasolina ou nafta (RC-70, 250, 800, 3000);
2. de cura média (CR ou "MC" em inglês) – cimento asfáltico e diluente médio de volatilidade intermediária, geralmente na gama do ponto de ebulição do querosene (MC-30, 70, 250, 800, 3000); e
3. de cura lenta (CL ou "SC" em inglês) – cimento asfáltico e óleos de baixa volatilidade (SC-70, 250, 800, 3000).

Os asfaltos diluídos de cura lenta (SC) são chamados freqüentemente de óleo rodoviários (não existe a fabricação deste tipo de asfaltos diluídos no Brasil). Originou-se este termo há muitos anos quando o óleo residual asfáltico era aplicado para proporcionar às estradas uma superfície de baixo custo e resistente às intempéries. O grau de liquidez que se apresenta em cada caso depende, principalmente, das proporções de solvente e cimento asfáltico. Em menor grau, a liquidez do asfalto diluído pode depender da dureza do asfalto de origem na fabricação do asfalto diluído. A fluidez maior ou menor resulta em diferentes graus de asfalto diluído – alguns muito fluidos a temperaturas comuns e outros pouco mais viscosos. Os de maior viscosidade podem requerer um ligeiro aquecimento para torná-los suficientemente fluidos nas aplicações de construção.

Usos de Emulsões Asfálticas e Asfaltos Diluídos

As emulsões asfálticas oferecem, em relação aos cimentos asfálticos aquecidos, a vantagem de poderem ser usadas com agregados à temperatura ambiente ou aquecidos, secos ou úmidos. A possibilidade de usar as emulsões asfálticas com agregados úmidos também representa uma vantagem em relação aos asfaltos diluídos.

As emulsões asfálticas são usadas não somente na construção rodoviária como em muitas aplicações especiais. Os graus de ruptura rápida são dosados de modo a reagir rapidamente com o agregado e passar do estado de emulsão ao de asfalto. Se utilizam, basicamente, em espargimentos de capas selantes de agregados (pedrisco), capa selante de areia (salgamento) e outros tratamentos superficiais semelhantes. Os graus RR-2C RS-2 e CRS-2 têm elevada viscosidade que os impede de escorrerem superficialmente. Os de ruptura média destinam-se à mistura com o agregados graúdos. Como não se verifica, nestes graus, a ruptura imediata da emulsão em contato com o agregado, as misturas podem ser trabalhadas por alguns minutos.

As emulsões são muito usadas em serviços com usina móvel e mistura na estrada. Os graus CMS de elevada viscosidade previnem o escoamento superficial. As emulsões de ruptura lenta oferecem a maior estabilidade nas operações de mistura. São usadas com agregados densamente graduados de elevado teor de finos. Aplicam-se em bases de agregado de graduação densa tratada com emulsão, estabilização de solo-betume, tratamento superficial e capas selantes tipo lama asfáltica.

Os asfaltos diluídos podem ser usados com agregados, com pequeno aquecimento. Os tipos de cura rápida e cura média foram muito utilizados em várias aplicações em estradas, aeroportos e outros fins. Entre suas aplicações mais importantes estavam: a mistura em campo, pré-misturados, e aplicações por espargimento (tais como camadas de imprimação, ligação e selantes). Entretanto, por serem os diluentes destes materiais asfálticos muito ativos que se perdem por evaporação e devido a regulamentações ambientais, foram os mesmos suplantados amplamente pelas emulsões asfálticas na maioria das aplicações. São também usados em pré-misturados nos remendos do pavimento, mistura em usina com agregados graduados, e eventualmente na imprimação. Nesta área sua utilização também é declinante. Sugere-se que a regulamentação ambiental da localidade seja examinada antes de usar asfalto diluído em solventes.

Especificações e Ensaios de Emulsões Asfálticas

Especificações de Emulsões Asfálticas

As emulsões asfálticas, produzidas numa variedade de viscosidades e propriedades de ruptura, a partir de diferentes tipos de cimentos asfálticos, são fabricadas para numerosas aplicações. A AASHTO e a ASTM estabeleceram especificações de emulsões asfálticas aniônicas e catiônicas. As emulsões asfálticas aniônicas são disponíveis em três tipos padronizados: ruptura rápida (RR, "RS" em inglês), ruptura média (RM, "MS" em inglês) e ruptura lenta (RL, "SS" em inglês). Os três tipos de ruptura são, também, disponíveis nas emulsões asfálticas catiônicas, designadas RRC ("CRS"), RMC ("CMS") e RLC ("CSS").

Nas especificações da ASTM foram acrescentados quatro graus de emulsões aniônicas de ruptura média e alta flutuação, designados HFMS. Estes graus são usados principalmente nas misturas em usina a frio e a quente, capas selantes de agregados graúdos e misturas na estrada. As emulsões de elevada flutuação têm a propriedade específica de permitirem uma película de recobrimento espessa sem o perigo de escorrimento.

São necessários vários ensaios a fim de determinar se as emulsões asfálticas obedecem às especificações. Na Tabela 2.2 estes ensaios estão relacionados. Alguns ensaios estabelecidos para os cimentos asfálticos também são necessários para as emulsões asfálticas. Estes ensaios são descritos na Seção 2.1. Descreve-se, sumariamente, os outros métodos de ensaios.

Ensaios de Viscosidade Saybolt Furol

O ensaio de viscosidade Saybolt Furol é usado na medição das propriedades de consistência (velocidade de escoamento) das emulsões asfálticas. Por questão de conveniência de ensaio e, também, para alcançar a acurácia adequada, o ensaio é realizado numa das duas temperaturas, 25 ou 50°C dependendo das características de viscosidade do tipo e grau da emulsão asfáltica específica.

A fim de realizar o ensaio a 25°C a amostra é cuidadosamente agitada e aquecida à temperatura de ensaio. É a seguir vertida através de um coador num tubo padronizado que tem a abertura tampada. Retira-se, então, a tampa e determina-se o tempo necessário para escoar 60 ml de asfalto pelo orifício (Figura 2.13). O intervalo de

Tabela 2.2 Ensaios Requeridos de Emulsões Asfálticas.

Ensaio	Tipo e Número da Especificação					
	Aniônica			Catiônica		
	AASHTO M140 ASTM D977			AASHTO M208 ASTM D2397		
Descrito em AASHTO T59 ASTM D244	RS	MS	SS	CRS	CMS	CSS
Viscosidade Saybolt Furol	X	X	X	X	X	X
Estabilidade de Estocagem	X	X	X	X	X	X
Classificação ¹	---	---	---	X	---	---
Desmulsibilidade	X	---	---	X	---	---
Capacidade de Recobrimento e Resistência à Água	---	X	---	---	X	---
Carga de Partícula	---	---	---	X	X	X
Mistura com Cimento	---	---	X	---	---	X
Peneiração	X	X	X	X	X	X
Destilação	X	X	X	X	X	X
Penetração ²	X	X	X	X	X	X
Dutilidade ³	X	X	X	X	X	X
Sol. em Tricloroetileno ⁴	X	X	X	X	X	X

¹ Requerido somente na ASTM D2397 - Ensaio de desmulsibilidade pode ser realizado no lugar de classificação

² Método de ensaio AASHTO T49 ou ASTM D5

³ Método de ensaio AASHTO T51 ou ASTM D113

⁴ Método de ensaio AASHTO T44 ou ASTM D2402

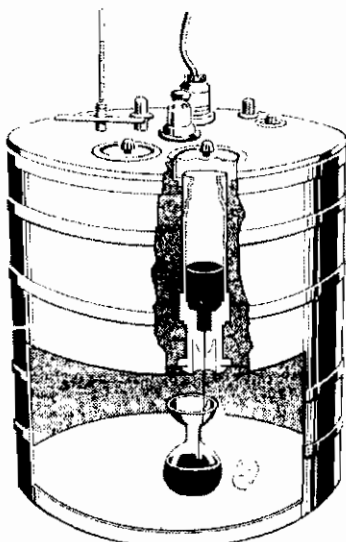


Figura 2.13 Ensaio de Viscosidade Saybolt Furol

tempo, medido em segundos, é chamado viscosidade Saybolt Furol. É evidente que quanto mais viscoso o material tanto maior será o tempo para que um determinado volume escoe pelo orifício. Deste modo, o acréscimo do número de viscosidade indica o aumento da viscosidade do asfalto.

No ensaio a 50°C a amostra é primeiramente aquecida na faixa de 50°C ± 3°C e, a seguir, vertida através de um coador no tubo e levada à temperatura de ensaio antes de retirar a tampa e cronometrar o escoamento como já descrito.

Ensaio de Sedimentação

O ensaio de sedimentação detecta a tendência de os glóbulos de asfalto precipitarem durante a estocagem das emulsões asfálticas. Fornece ao usuário um elemento de proteção quanto à separação do asfalto da água nas emulsões asfálticas instáveis que podem ficar estocadas por certo tempo.

Coloca-se uma amostra de 500 ml em duas provetas de vidro graduadas, que são tampadas e deixadas sem perturbação durante 5 dias. Retiram-se pequenas amostras das partes superior e inferior de cada proveta. Coloca-se cada amostra num béquer e pesa-se. A seguir, aquecem-se as amostras até que a água evapore: então, pesam-se os resíduos. Estes pesos obtidos permitem que se determinem as diferenças porventura existentes das quantidades de cimentos asfálticos nas partes superior e inferior da proveta graduada, o que dá uma medida da sedimentação.

Ensaio de Estabilidade na Estocagem

O ensaio de estabilidade na estocagem é útil para determinar a estabilidade da emulsão asfáltica quando estocada, num tempo comparativamente curto. Pode ser usado em vez do ensaio de sedimentação de 5 dias.

Coloca-se uma amostra de 500 ml em duas provetas de vidro graduadas, que são tampadas e deixadas sem perturbação por 24 horas. Amostras de 50 gramas são retiradas das partes superior e inferior de cada proveta. Coloca-se cada amostra num béquer, agita-se e pesa-se. A seguir aquecem-se as amostras numa estufa afim de evaporar a água. Pesam-se os resíduos e determinam-se as porcentagens médias de resíduos nas partes superior e inferior em relação às amostras originais. A diferença entre as porcentagens de resíduos superior e inferior registra-se como a estabilidade de estocagem.

Ensaio de Classificação

O ensaio de classificação é um procedimento que distingue as emulsões asfálticas catiônicas de ruptura rápida das de outros tipos pela falha no recobrimento de uma mistura de areia-cimento.

Mistura-se uma amostra seca ao ar de 461 gramas de Areia Ottawa num tabuleiro com 4 gramas de cimento Portland do tipo III. Adiciona-se uma amostra de 35 gramas de emulsão asfáltica e mistura-se intensamente com o agregado durante 2½ minutos. Ao final do período de mistura faz-se escoar todo excesso de emulsão e coloca-se parte da mistura sobre papel absorvente para o exame visual. O excesso de área não recoberta em relação a recoberta das partículas de areia considera-se o fator de avaliação das emulsões catiônicas de ruptura rápida.

Ensaio de Desemulsibilidade

O ensaio de desemulsibilidade indica a que taxa relativa os glóbulos coloidais de asfalto das emulsões asfálticas de ruptura rápida quebrarão quando espalhados em películas finas no solo ou no agregado. O cloreto de cálcio faz coalescerem ou diminutos glóbulos de asfalto dessas emulsões asfálticas. No ensaio, mistura-se intensamente uma solução de cloreto de cálcio e água com a emulsão asfáltica; a seguir verte-se numa peneira a fim de determinar o quanto coalescem os glóbulos de asfalto.

Quando se ensaiam emulsões de ruptura rápida (RR ou "RS"), a solução aquosa de cloreto de cálcio usada é muito fraca. As especificações prescrevem a concentração da solução e a quantidade mínima de asfalto que deve ficar retida na peneira. Um elevado grau de "desemulsibilidade" indica tratar-se de uma emulsão de ruptura rápida. Espera-se que a ruptura se dê quase que imediatamente ao contato com o agregado sobre o qual é aplicada.

No ensaio de emulsões catiônicas, a solução de dioctil sulfosuccinato de sódio na água é usada em vez da solução de cloreto de cálcio.

Ensaio da Mistura com o Cimento

O ensaio de mistura com o cimento é usado em vez do ensaio de desemulsibilidade, para as emulsões asfálticas de ruptura lenta. Especifica-se igualmente para os tipos aniônico e catiônico de modo a assegurar que os produtos sejam substancialmente imunes à coalescência rápida das partículas de asfalto em contato com solos de textura fina ou agregados com poeira.

No ensaio de mistura com cimento agita-se 100 ml da emulsão – diluída em água até 55% de resíduo – a 50 gramas de cimento portland de alta resistência inicial. Mais água adiciona-se à mistura que se agita. A seguir lava-se a mistura numa peneira de 1,40 mm (n° 14) e determina-se a porcentagem de material retido na peneira.

Capacidade de Recobrimento e Resistência à Água

Este ensaio tem triplo propósito. Permite determinar a capacidade de uma emulsão asfáltica quanto a: (1) recobrir completamente o agregado, (2) resistir à ação da mistura enquanto permanece como película do agregado e (3) resistir à ação de lavagem da água, concluída a mistura. Pretende-se que o ensaio identifique emulsões asfálticas de ruptura média adequadas à mistura com agregados calcários de textura grossa. Outros agregados podem ser usados no ensaio se o carbonato de cálcio for omitido ao longo de todo o método. Este ensaio não se adapta às emulsões asfálticas de ruptura rápida e de ruptura lenta.

O agregado de referência é recoberto com pó de carbonato de cálcio e depois misturado com a emulsão asfáltica. Cerca de metade da mistura é então colocada sobre papel absorvente para a inspeção visual da área superficial do agregado recoberto com emulsão asfáltica. O restante da mistura é lavada com água e enxaguada até que a água de enxágue corra limpa. Este material é, então, colocado em papel absorvente e inspecionado quanto ao recobrimento.

Da mesma forma cobre-se uma amostra do agregado da obra com pó de carbonato de cálcio. Mistura-se uma certa quantidade de água ao agregado coberto de pó. Adiciona-se emulsão asfáltica e se mistura intensamente. Fazem-se inspeções do modo que se descreveu antes para o agregado seco recoberto.

Ensaio de Carga de Partícula

Trata-se de um ensaio de identificação de emulsões asfálticas catiônicas de ruptura rápida e média.

Imergem-se numa amostra de emulsão asfáltica um eletrodo positivo (ânodo) e um eletrodo negativo (cátodo) - (Figura 2.14) - que se conectam a uma fonte elétrica de corrente contínua. Decorridos 30 minutos ou após cair a corrente elétrica para 2 miliamperes, os dois eletrodos são examinados a fim de determinar qual dos dois apresenta um depósito de asfalto. O depósito de asfalto no cátodo identifica a emulsão asfáltica catiônica.

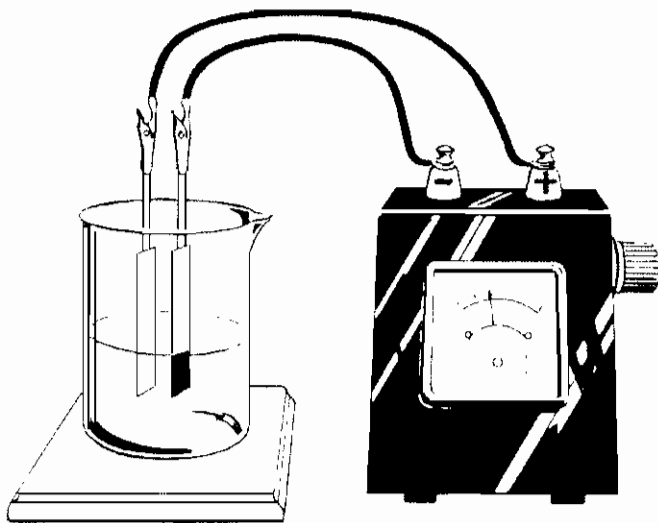


Figura 2.14 Ensaio de Carga de Partícula

Ensaio de Peneiração

O ensaio de peneiração complementa o de sedimentação e tem uma finalidade de certa forma semelhante. É usado para determinar quantitativamente o percentual de cimento asfáltico na forma de pedaços, fios ou glóbulos relativamente grandes.

Tais partículas não dispersas de asfalto podem entupir equipamentos e tendem a produzir recobrimentos asfálticos não uniformes das partículas de agregado. Esta falta de uniformidade poderia não ser detectada no ensaio de sedimentação, que só tem valor neste particular quando a diferença de densidades do asfalto e da água permite a sedimentação.

No ensaio de peneiração verte-se 1000 gramas de emulsão asfáltica através de uma peneira de $850\ \mu\text{m}$ (nº 20). Para emulsões asfálticas aniônicas, a peneira e o asfalto retido são enxaguados com uma solução de oleato de sódio fraca. Para as emulsões asfálticas catiônicas e enxágüe faz-se com água destilada. Depois de enxaguar, a peneira e o asfalto secam-se numa estufa e a quantidade relativa do asfalto retido é calculado.

Ensaio de Destilação

O ensaio de destilação é usado para determinar as proporções relativas de cimento asfáltico e água na emulsão asfáltica. Alguns graus de emulsão asfáltica também contêm um destilado de óleo; o ensaio de destilação fornece informações sobre a quantidade deste material na emulsão. Além disto, o ensaio de destilação produz um resíduo de cimento asfáltico, com o qual podem ser feitos ensaios adicionais (penetração, solubilidade e ductilidade), como descrito previamente para o cimento asfáltico.

O procedimento de ensaio é substancialmente o mesmo a que se submetem os asfaltos diluídos. Destila-se uma amostra de 200 gramas da emulsão a 260°C . A principal diferença neste ensaio de destilação de emulsões é que o ponto final da destilação é a 260°C em vez de 360°C , e que se utiliza um alambique e queimadores em anel de liga de ferro ou alumínio, (Figura 2.15) em vez de frasco de vidro e um

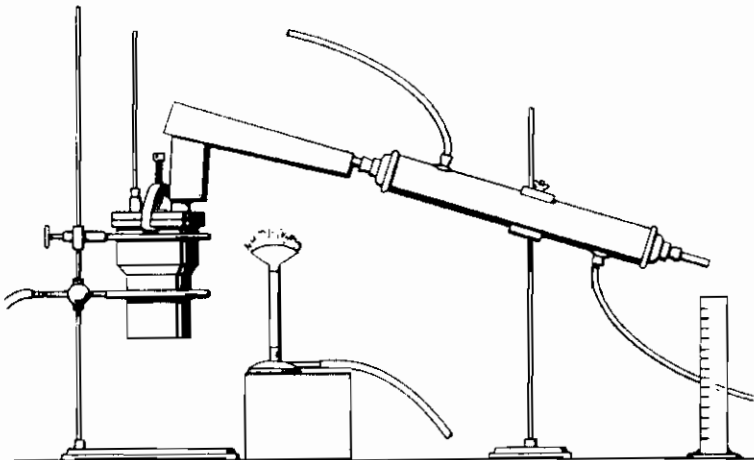


Figura 2.15 Ensaio de Destilação de Emulsões Asfálticas

bico (queimador) de Bunsen. Este equipamento diferente é projetado de modo a evitar contratempos que resultariam da espuma de emulsão asfáltica ao ser aquecida. O ponto final de destilação é 260°C, sendo esta temperatura mantida por 15 minutos a fim de produzir um resíduo homogêneo e suave.

Os graus de ruptura rápida e média das emulsões asfálticas catiônicas podem conter um destilado oleoso, cujo valor máximo é limitado, geralmente, pelas especificações. O destilado colhido na proveta graduada inclui tanto óleo como água da emulsão asfáltica. Visto que estes dois materiais se separam na proveta graduada, pode-se determinar a quantidade de cada um.

Especificações e Ensaios de Asfaltos Diluídos

Especificações de Asfaltos Diluídos

Os asfaltos diluídos são disponíveis por tipo e grau. Os tipos (CR, CM e CL ou RC, MC e SC) indicam a velocidade relativa de evaporação e os graus (70, 250, 800 e 3000) indicam a viscosidade cinemática mínima admissível em centistokes a 60°C. Um grau adicional, CM-30 ou MC-30, é usado em alguns lugares dos Estados Unidos como grau de imprimação especial. A viscosidade máxima admissível de cada grau é o dobro do valor mínimo admissível.

Os graus mais viscosos dos três asfaltos (CR-3000, CM-3000 e CL-3000 ou RC-3000, MC-3000 e SC-3000) são apenas moderadamente menos viscosos do que o grau do cimento asfáltico menos viscoso - AC-2.5. Os graus menos viscosos (CR-70, CM-30, CM-70 e CL-70 ou RC-70, MC-30, MC-70 e SC-70) podem ser prontamente vertidos à temperatura ambiente, 25°C. Apresentam consistência próxima à de creme de leite.

As especificações de asfaltos diluídos e óleos de estradas foram adotadas tanto pela AASHTO como pela ASTM. A fim de determinar as propriedades específicas destes produtos são necessários vários outros ensaios além do ensaio de viscosidade a 60°C. Estes ensaios estão relacionados na Tabela 2.3 junto com os métodos de ensaio apropriados da AASHTO e ASTM. Alguns ensaios de cimento

Tabela 2.3 Ensaios Requeridos de Asfaltos Diluídos e Óleos de Estrada

Ensaio	Método de Ensaio		Tipo e Número de Especificação		
			AASHTO M81	AASHTO M82	ASTM D 2026
	AASHTO	ASTM	CR	CM	CL
✓ Viscosidade a 60°C (140°F)	T 201	D 2170	X	X	X
Ponto de Fulgor (TOC) ↗	T 79	D 1310	X	X	---
Ponto de Fulgor (COC) ✓	T 48	D 92	---	---	X
Destilação ↓	T 78	D 402	X	X	X
Penetração ↘	T 49	D 5	---	---	---
Utilidade ✓	T 51	D 113	X	X	X
✓ Viscosidade a 135°C (275°F) *	T 202	D 2171	X	X	X
Resíduo de Penetração. 100	T 56	D 243	---	---	X
Presença de Água	T 56	D 95	X	X	X
Solubilidade em Tricloroetileno	T 44	D 2042	X	X	X
Ensaio da Mancha ¹	T 102	---	X	X	---

¹Apenas ensaio opcional requerido da AASHTO

asfáltico são requeridos nos ensaios de asfaltos diluídos do tipo CR, CM e CL ou RC, MC, e SC. Descreve-se, a seguir os métodos de ensaios que diferem dos utilizados com o cimento asfáltico.

Ensaio de Viscosidade Cinemática

O ensaio de viscosidade cinemática é usado como base para a classificação dos asfaltos diluídos CR, CM e CL ou RC, MC e SC em graus padronizados. O procedimento de ensaio é semelhante ao do ensaio de viscosidade cinemática do cimento asfáltico. Enquanto o ensaio de cimento asfáltico é feito a 135°C e exige o uso de óleo no banho controlado termostaticamente, no caso de asfaltos diluídos a temperatura de ensaio é 60°C e se usa água no **banho térmico**. Faz-se, também, o ensaio de viscosidade cinemática a 60°C com o resíduo asfáltico do CL ou SC, após a destilação. Salvo quanto a algumas diferenças nos procedimentos de preparação de amostra – principalmente para evitar que os voláteis escapem – conduz-se o ensaio na forma descrita antes.

Ensaio de Ponto de Fulgor

A finalidade e o significado do ensaio de ponto de fulgor são os mesmos descritos anteriormente para o cimento asfáltico. A determinação do ponto de fulgor para os asfaltos diluídos de cura lenta é feita no vaso **aberto de Cleveland**, o mesmo ensaio usado nos cimentos asfálticos. O procedimento de ensaio dos asfaltos diluídos de cura rápida e média é, também, essencialmente o mesmo exceto que o aquecimento faz-se indiretamente devido à natureza volátil do diluente destes produtos. Utiliza-se neste ensaio o aparelho do vaso **aberto Tag** (Figura 2.16). O vaso é de vidro em vez de metal e o aquecimento faz-se num **banho de água** em vez de usar a chama direta.

Os asfalto diluídos são utilizados comumente a temperaturas superiores ao do ponto de fulgor. Os asfálticos diluídos de cura rápida podem inflamar-se a temperaturas baixas como 27°C. Quanto mais volátil é o solvente do asfalto diluído, tanto maior o risco no seu uso. Todos estes materiais oferecem algum perigo no uso e devem ser manuseados adequadamente.

Ensaio de Destilação

Como se disse antes, os graus de asfaltos diluídos CR, CM ou RC, MC e, por vezes, CL ou SC, são composições de cimento asfáltico e diluentes apropriados. As propriedades desses materiais são importantes na sua aplicação e desempenho.

O cimento asfáltico e o diluente separam-se no ensaio de destilação (Figura 2.17) de modo a determinar suas quantidades e para identificação adicional. Vertem-se cerca de 200 ml de asfalto diluído, num balão de vidro de destilação, ligado a um tubo condensador de resfriamento pela água. À medida que se aquece lentamente o balão, vaporiza-se o diluente no balão de destilação e segue-se sua liquefação no tubo condensador. O material condensado escoar-se para uma proveta graduada. Determina-se a quantidade de material condensado extraído a várias temperaturas especificadas, o que constitui uma indicação das características de volatilidade do

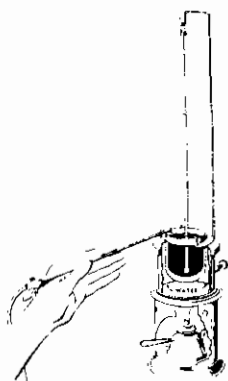


Figura 2.16 Ensaio Ponto de Fulgor em Vaso Aberto Tag

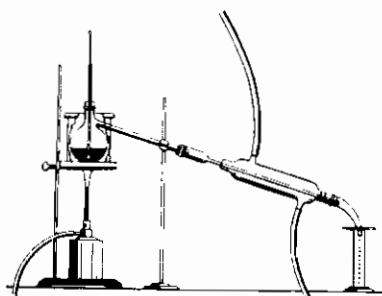


Figura 2.17 Ensaio de Destilação do Asfalto Diluído

diluído. Ao se atingir 360°C , o material remanescente no balão de destilação se considera ser cimento asfáltico. No caso de asfaltos diluídos de cura rápida e média determinam-se as propriedades de penetração, dutilidade e solubilidade do resíduo como se viu para o cimento asfáltico.

Os destilados que se evaporam a várias temperaturas têm pouco interesse para os asfaltos diluídos CL ou SC. Os destilados que se evaporam abaixo do ponto final, especificado de 360°C , são, em grande parte, de natureza oleosa de modo que suas taxas de evaporação em serviço são bem pequenas. Portanto, mede-se apenas a quantidade total de destilado extraído até 360°C . Considera-se representativo da parte asfáltica do asfalto diluído CL ou SC, o resíduo da destilação a 360°C . Determina-se sua consistência pelo ensaio de viscosidade cinemática.

O ensaio de solubilidade também se faz com o asfalto diluído CL ou SC, porém no próprio material e não no resíduo da destilação.

Ensaio do Resíduo Asfáltico de Penetração 100

Este ensaio, realizado apenas com os graus de asfaltos CL ou SC, talvez seja o de menor significado para o consumidor de todos os ensaios normalmente feitos com estes materiais. Visto ser bastante lenta a taxa de cura em serviço de um asfalto diluído CL ou SC, poderá o mesmo atingir ou não a penetração 100 durante a vida de serviço. O valor principal deste é que o resíduo formado pode ser submetido aos ensaios usuais dos cimentos asfálticos.

Faz-se o ensaio pelo aquecimento de uma amostra de asfalto diluído CL ou SC de 249°C a 260°C e mantendo-se nesta temperatura até alcançar a penetração 100. Determina-se a quantidade proporcional em peso do resíduo asfáltico remanescente. Faz-se, então, um ensaio de dutilidade a 25°C no resíduo asfáltico de penetração 100 dmm. A finalidade e o procedimento deste ensaio foram descritos

previamente para cimentos asfálticos.

Ensaio da Água

Os materiais asfálticos, à exceção das emulsões asfálticas, têm especificada a ausência total ou substancial da água, pela razão de que a água produz espuma quando o material é aquecido, o que cria uma condição de risco.

A fim de determinar a quantidade de água, se existir, no asfalto diluído, verte-se um volume medido de asfalto no alambique de vidro ou metal e mistura-se intensamente com xileno ou nafta de petróleo de gama de elevada ebulição. Liga-se um condensador de refluxo ao alambique, o qual descarrega num sifão graduado. Aquece-se o alambique e recolhe-se qualquer água existente no sifão. Calcula-se, então, a percentagem de água em volume.

2.3 Asfaltos Soprados

Introdução

Propriedades especiais podem ser conferidas ao asfalto, soprando ar no resíduo atmosférico – RAT ou no resíduo de vácuo – RV resultantes do processo de refino.

O processo regular de destilação é interrompido a certa altura enquanto o resíduo da coluna ainda se encontra líquido. Coloca-se, então, este resíduo num conversor, nele se soprando ar enquanto se mantém a temperatura elevada. Este processo continua até que o asfalto atinja as propriedades desejadas. Frequentemente, estes asfaltos são chamados asfaltos oxidados. Contudo, isto não é, estritamente, um termo correto pois ocorrem, além da oxidação a vaporização, desidrogenação, condensação, polimerização e outras reações, durante o processo de sopro do ar.

Uma das propriedades mais significativa do asfalto soprado é a maior temperatura em que o asfalto torna-se mole. Chama-se esta temperatura, usualmente, ponto de amolecimento do asfalto. Mesmo a esta temperatura o asfalto mantém ainda sua capacidade de impermeabilização e sua durabilidade. Contudo, há certa redução na utilidade quando comparada à do cimento asfáltico com finalidade de pavimentação.

Os asfaltos soprados são usados numa grande variedade de finalidades industriais e específicas. Eis algumas: diferentes aplicações em telhados, esmaltes de recobrimento de tubos, asfaltos de vedação inferior que preenchem cavidades sob pavimentos de concreto de cimento Portland, e membranas impermeabilizantes no revestimento de canais e reservatórios. Em muitas situações aplicam-se os asfaltos soprados tal como produzidos. Em outros casos, misturam-se pós minerais muito finos (fileres) ao asfalto soprado antes de aplicá-lo. Muito raramente, se tanto, são os asfaltos soprados usados em misturas de asfalto-agregado com a finalidade de pavimentação.

Propriedades e Ensaios

Propriedades e Especificações

Embora semelhantes, sob vários aspectos, aos cimento asfálticos normais de pavimentação discutidos anteriormente, o processo de sopragem de ar produz materiais que amolecem a temperaturas mais elevadas do que o fazem os cimentos asfálticos. Por ser o ponto de amolecimento uma propriedade importante e desejada dos asfaltos soprados, estes se classificam, usualmente, em termos do ensaio de ponto de amolecimento de anel e bola, em vez de viscosidade ou penetração.

Embora os asfaltos soprados sejam graduados com base no ponto de amolecimento, ainda existem requisitos de ensaio de penetração a três temperaturas 0°C, 25°C e 46°C. Estes requisitos permitem certo grau de controle da susceptibilidade à temperatura, ou a taxa de variação de consistência com a temperatura, destes materiais.

A AASHTO e a ASTM adotaram especificações para usos específicos. Embora os asfaltos soprados não sejam normalmente especificados pelo nome, é necessário, usualmente, um processo de sopro que produza o asfalto que atenda às especificações. Os ensaios requeridos por algumas especificações especializadas estão na Tabela 2.4 juntamente com os métodos de ensaios apropriados da AASHTO e ASTM. Descrevem-se estes ensaios resumidamente nos parágrafos seguintes, exceto se forem os mesmos dos cimentos asfálticos discutidos na Seção 2.1.

Tabela 2.4 Ensaios Requeridos para Alguns Cimentos Asfálticos Soprados

Ensaio	Método de Ensaio		Especificação e Finalidade		
			Vedação sob CCP (Concreto)	Impermeabilizantes	Membranas de Revestimentos ("Linings")
	AASHTO	ASTM	AASHTO M238 ASTM D 3141	AASHTO M 115 ASTM D 449	AASHTO M 239 ASTM D 2521
Ponto de Amolecimento	T53	D36	X	---	---
Ponto de Fulgor (C.O.C.)	T48	D92	X	X	X
Penetração	T49	D5	X	X	X
Dutibilidade	T51	D113	X	X	X
Perda por Aquecimento	T47	D6	X	X	X
Solubilidade	T44	D2042	X	X	X

Ensaio do Ponto de Amolecimento

O ensaio do ponto de amolecimento é usado para a medição básica de consistência para a graduação dos asfaltos soprados. A Figura 2.18 mostra o aparelho de ensaio.

Amostras de asfalto confinadas em anéis de bronze são carregadas com bolas de aço; os anéis com as amostras estão suspensos num béquer com água, glicerina ou etilenoglicol, 25 mm acima de uma placa de metal. Aquece-se, então, o líquido à taxa prescrita. À medida que o asfalto amolece, as bolas e o asfalto gradualmente afundam na direção da placa. No momento em que o asfalto toca a placa, determina-se a temperatura da água, que se designa de ponto de amolecimento (de anel e bola) do asfalto.

Ensaios de Penetração

As especificações indicam que os ensaios de penetração sejam realizados a:

- 0°C com agulha de 200 g para 60 s.
- 25°C com agulha de 100 g para 5 s, e
- 46°C com agulha de 50 g para 5s.

O procedimento para a realização do ensaio de penetração, descrito na Seção 2.1, é essencialmente o mesmo exceto no que se notou acima.

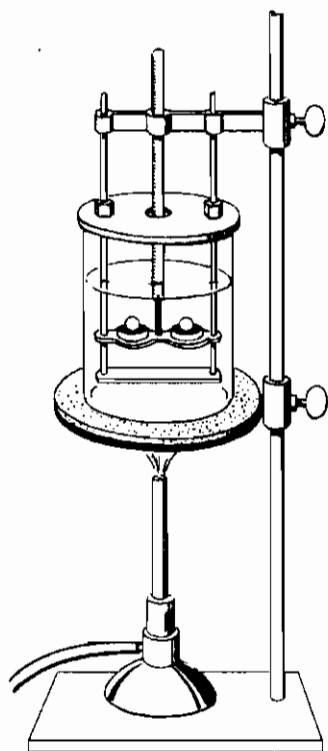


Figura 2.18 Ensaio de Ponto de Amolecimento

Perda de Peso por Aquecimento

O ensaio de perda de peso por aquecimento é, de um modo geral, semelhante ao ensaio em estufa de película delgada como descrito para cimentos asfálticos. Diferem apenas nas dimensões da amostra de asfalto. Enquanto que a amostra de asfalto no ensaio TFO é de cerca de 140 mm de diâmetro e 3 mm de espessura, no ensaio de perda por aquecimento é de cerca de 55 mm de diâmetro e 35 mm de espessura. Em ambos os ensaios o asfalto e o recipiente são colocados num tabuleiro rotativo de estufa ventilada e mantidos a 163°C durante 5 horas. O tabuleiro gira à cerca de cinco a seis rotações por minuto.

Tal como no ensaio TFO, a perda de peso por aquecimento também condiciona o asfalto para outros ensaios. Submete-se o asfalto a condições de enrijecimento semelhantes aos esperados nos processos de aplicação. Faz-se usualmente o ensaio de penetração no asfalto após a perda no ensaio de aquecimento para comparação com a penetração do asfalto antes do ensaio.

2.4 Controle de Temperaturas de Mistura Asfáltica e de Espargimento

O asfalto é um material termoplástico cuja viscosidade diminui quando a temperatura sobe. A relação entre temperatura e viscosidade, entretanto, pode não ser a mesma para diferentes fontes ou tipos e graus do material asfáltico.

Temperatura de Mistura

A temperatura de mistura numa instalação de mistura asfáltica é governada pelos requisitos de colocação e de compactação. A mais baixa temperatura que permita o tempo suficiente para transportar, colocar e compactar a mistura deve ser a utilizada. Entretanto, a temperatura máxima de mistura nunca deve exceder 177°C.

Ambos, o asfalto e o agregado, devem ser aquecidos antes de serem misturados – o asfalto para que tenha a fluidez suficiente para ser bombeado e o agregado seco e quente bastante para manter o asfalto fluido enquanto estiver recobrimo as partículas. A quantidade de calor do agregado seco controla a temperatura da mistura de asfalto e agregado, porque a temperatura do cimento asfáltico ajusta-se rapidamente à do agregado quando se misturam os dois.

As temperaturas para as misturas de emulsão asfáltica com agregados e as de asfaltos diluídos de cura rápida e média com agregados são substancialmente inferiores às temperaturas necessárias para as misturas asfálticas à quente. Ainda que tais temperaturas de mistura mais baixas possam não propiciar agregados bem secos, a experiência tem mostrado que podem ser satisfatórias para a finalidade pretendida, especialmente quando se usam emulsões asfálticas.

Apresentam-se nas Tabelas 2.5 e 2.6 gamas típicas de temperaturas de misturas.

Temperaturas de Espargimento

As temperaturas mais baixas são as mais críticas para o espargimento dos cimentos asfálticos e dos asfaltos diluídos; portanto, somente temperaturas mínimas estão mostradas nas Tabelas 2.5 e 2.6 para estes materiais asfálticos. A temperatura mais elevada para o espargimento é aquela em que não ocorre névoa quando o material asfáltico sai pelos bicos espargidores. As Tabelas 2.5 e 2.6 apresentam gamas típicas de temperaturas de espargimento para as emulsões asfálticas.

Tabela 2.5 Temperaturas para Usos do Asfalto – Graus Celsius (°C)

Tipo e Grau do Asfalto	Temperaturas de Mistura ¹		Temperatura de Espargimento ²	
	Misturas de Gradação Densa	Misturas de Gradação Aberta	Misturas na Estrada	Tratamentos Superficiais
Cimento Asfálticos				
AC-2 5	115-140	80-120	—	130+
AC-5	120-145	80-120	—	140+
AC-10	120-155	80-120	—	140+
AC-20	130-165	80-120	—	145+
AC-40	130-170	80-120	—	150+
AR-1000	105-135	80-120	—	135+
AR-2000	135-165	80-120	—	140+
AR-4000	135-165	80-120	—	145+
AR-8000	135-165	80-120	—	145+
AR-16000	150-175	80-120	—	—
200-300 pen.	115-150	80-120	—	130+
120-150 pen	120-155	80-120	—	130+
85-100 pen.	120-165	80-120	—	140+
60-70 pen	130-170	80-120	—	145+
40-50 pen	130-175	80-120	—	150+
Emulsões Alifáticas				
RS-1	—	—	—	20-60
RS-2	—	—	—	50-85
MS-1	10-70 ²	—	20-70	20-70
MS-2	10-70 ²	—	20-70	—
MS-2h	10-70 ²	—	20-70	—
HFMS 1	10-70 ²	—	20-70	20-70
HFMS 2	10-70 ²	—	20-70	—
HFMS-2h	10-70 ²	—	20-70	—
HFMS-2s	10-70 ²	—	20-70	—
SS-1	10-70 ²	—	20-70	—
SS-1h	10-70 ²	—	20-70	—
CRS-1	—	—	—	50-85
CRS-2	—	—	—	50-85
CMS-2	10-70 ²	—	20-70	—
CMS-2h	10-70 ²	—	20-70	—
CSS-1	10-70 ²	—	20-70	—
CSS-1h	10-70 ²	—	20-70	—
Asfaltos Diluídos (RC, MC, SC)⁴				
30 (apenas MC)	—	—	—	30+
70	—	—	20+	50+
250	55-80 ⁵	—	40+	75+
800	75-100 ⁵	—	55+	95+
3000	80-115 ⁵	—	—	110+

Notas: Conversões de F em °C arredondadas de 5°C mais próximos

- As temperaturas para os cimentos asfálticos e asfaltos diluídos são apenas orientações gerais

1. Temperatura da mistura logo após a descarga da instalação de mistura e não a temperatura do cimento asfáltico ou do asfalto diluído.
2. Temperatura da emulsão asfáltica durante a mistura
3. A temperatura da aplicação pode, em alguns casos, estar acima do ponto de fulgor do material. É preciso cuidado para evitar incêndio ou explosão.
4. Os graus de cura rápida (RC) não se recomendam para misturas a quente
5. A temperatura máxima (cimento asfáltico e asfalto diluído) deve ser menor que a temperatura em que se forma a nevea.

Tabela 2.6 Temperaturas para Usos do Asfalto – Graus Fahrenheit (°F)

Tipo e Grau do Asfalto	Temperaturas de Mistura ¹		Temperatura de Espargimento ⁵	
	Misturas de Graduação Densa	Misturas de Graduação Aberta	Misturas na Estrada	Tratamentos Superficiais
Cimento Asfálticos				
AC-2.5	235-280	180-250	—	270+
AC-5	250-295	180-250	—	280+
AC-10	250-315	180-250	—	280+
AC-20	265-330	180-250	—	295+
AC-40	270-340	180-250	—	300+
AR-1000	225-275	180-250	—	275+
AR-2000	275-250	180-250	—	285+
AR-4000	275-325	180-250	—	290+
AR-8000	275-325	180-250	—	295+
AR-16000	300-350	180-250	—	—
200-300 pen.	235-250	180-250	—	265+
120-150 pen.	245-310	180-250	—	270+
85-100 pen.	250-325	180-250	—	280+
60-70 pen.	265-335	180-250	—	295+
40-50 pen.	270-350	180-250	—	300+
Emulsões Alifáticas				
RS-1	—	—	—	70-140
RS-2	—	—	—	125-175
MS-1	50-160 ²	—	70-160	70-160
MS-2	50-160 ²	—	70-160	—
MS-2h	50-160 ²	—	70-160	—
HFMS-1	50-160 ²	—	70-160	70-160
HFMS-1h	50-160 ²	—	70-160	—
HFMS-2h	50-160 ²	—	70-160	—
HFMS-2s	50-160 ²	—	70-160	—
SS-1	50-160 ²	—	70-160	—
SS-1h	50-160 ²	—	70-160	—
CRS-1	—	—	—	125-175
CRS-2	—	—	—	125-175
CMS-2	50-160 ²	—	70-160	—
CMS-2h	50-160 ²	—	70-160	—
CSS-1	50-160 ²	—	70-160	—
CSS-1h	50-160 ²	—	70-160	—
Asfaltos Diluídos (RC, MC, SC)³				
30 (apenas MC)	—	—	—	80+
70	—	—	65+	120+
250	135-175 ⁴	—	105+	165+
800	165-210 ⁴	—	135+	200+
3000	180-240 ⁴	—	—	230+

Notas: Ver Tabela 2.5

Precauções

O propósito das Tabelas 2.5 e 2.6 é indicar as gamas de temperaturas necessárias para que os graus de asfalto indicados tenham a viscosidade adequada para o espargimento e a mistura. É preciso reconhecer, contudo, que as gamas de temperaturas indicadas nos quadros estão geralmente acima do ponto de fulgor mínimo dos materiais de asfaltos diluídos CR, CM, CL ou RC, MC e SC. Na verdade, alguns asfaltos lampejarão a temperaturas inferiores às gamas indicadas. Por conseguinte, tornam-se imperativas precauções adequadas quanto à segurança sempre que se lidar com estes asfaltos diluídos. Estas precauções de segurança incluem, sem que se limitem aos mesmos, os itens seguintes:

- 1) Não se deve permitir chamas expostas e centelhas perto destes materiais. Deve-se proceder controladamente no aquecimento de caldeiras, misturadores, distribuidores e outros equipamentos projetados e aprovados com esta finalidade.
- 2) Não se deve usar chamas expostas para inspecionar ou examinar tambores, caminhões e outros recipientes de estocagem desses materiais.
- 3) Todos os veículos que transportam estes materiais devem ser adequadamente arejados.
- 4) Somente pessoas com experiência devem ter permissão para supervisionar o manejo destes materiais.
- 5) Devem ser atendidos todos os requisitos comerciais intraestaduais e interestaduais que se aplicarem.

2.5. Amostragem e Relações Temperatura - Volume, Medições e Cálculos

Amostragem

Para ser significativa, a amostra do asfalto expedido deve ser verdadeiramente representativa, e deve ser manuseada cuidadosamente para que não se contamine ou se altere de modo algum antes de ser ensaiada. Caso a amostra não for verdadeiramente representativa, os resultados de ensaios da amostra poderão ser enganosos.

Amostragem de Asfalto de Caminhões

A melhor maneira de se obter uma amostra representativa do asfalto de um caminhão é utilizar uma válvula de amostragem do tanque do caminhão. Localizasse, usualmente, na parte inferior da parede traseira do tanque. Usando-se a válvula de amostragem de modo adequado, podem obter-se amostras fácil e rapidamente.

O procedimento nada mais é do que abrir a válvula, deixando escorrer, pelo menos, 1 litro para remover o primeiro material e, a seguir, encher completamente o recipiente de amostragem. Há algumas precauções a serem tomadas, no entanto, a fim de evitar contaminação. Por exemplo, os recipientes de amostra devem ser novos, limpos e secos; depois de cheios devem ser firme e terminantemente vedados logo após a coleta da amostra. O recipiente de amostra não deve ser submerso em solvente ou esfregado com um pano saturado de solvente. Todo material derramado na parte exterior do recipiente deve ser esfregado com um pano seco e limpo logo após ter-se vedado o recipiente.

Como o asfalto está quase sempre aquecido, medidas de precaução são imperativas a todo o momento durante a amostragem. Deve-se usar luvas e as mangas da camisa desenroladas e presas sobre as luvas enquanto se estiver coletando amostra e vedando os recipientes. Também são imprescindíveis anteparos para o rosto e não se deve permitir fumar. Pinças ou dispositivos semelhantes devem ser utilizados para segurar o recipiente de amostragem enquanto se obtém a amostra, e o encarregado da amostragem deve ficar acima e afastado da válvula e do lado de onde sopra o vento. Deve-se ter cuidado de evitar que o material quente salpique por se coletar lentamente a amostra.

Logo após o enchimento, a vedação e a limpeza requeridos, identificam-se os recipientes de amostras, com um lápis de marcar, na parede e não na tampa. Pode-se usar etiquetas desde que adequadamente presas ao recipiente da amostra.

Contaminação

É extremamente importante que se evite a contaminação dos produtos asfálticos – desde a saída da refinaria até sua incorporação na obra que se completa. Estes procedimentos se estendem à amostra e aos procedimentos de amostragem. Os ensaios realizados para assegurar enquadramento às especificações só têm sentido quando realizados em amostras verdadeiramente representativas do material usado.

Podem ser numerosas as causas que contribuem para que os asfaltos não satisfaçam os requisitos das especificações, porém a contaminação é a culpada na maioria dos casos. Investigações têm mostrado que muitas amostras fora das especificações têm ponto de fulgor muito baixo, penetração excessivamente elevada, viscosidade demasiadamente baixa e resultados erráticos dos ensaios de destilação. Isto tudo é típico de contaminações do solvente. Por exemplo, experimentos indicaram que 0,1% de óleo diesel nos cimentos asfálticos podem baixar o ponto de fulgor de até 28°C no ensaio de ponto de fulgor Pensky - Martens, e aumentar a penetração de até 10 pontos. Tal contaminação representa apenas 19 litros em 19.000 litros de asfalto, ou 0,001 litro num litro de amostra, porém os efeitos nas propriedades do asfalto são substanciais.

Condições do Caminhão no Carregamento do Asfalto

O transportador deve manter uma folha de registro que indique o material transportado no carregamento anterior. Deve indicar se o tanque foi limpo ou apenas drenado após a última carga. Se solicitado, deve o transportador certificar que o tanque está apto a receber o produto especificado. A Tabela 2.7 pode ser usada como guia ou lista de verificação. A bomba, a linha de descarga e toda a tubulação do caminhão devem ser esvaziadas. Providencias adequadas devem ser tomadas para obter uma amostra representativa do conteúdo do tanque depois de completar o carregamento. Uma amostra por imersão na parte superior do produto recentemente carregado não é representativa normalmente.

Relações Temperatura - Volume, Medições e Cálculos

Densidade Relativa

O asfalto tem a densidade (massa específica) de cerca de 1 g/cm³ e densidade relativa de 1,0. Não há requisito de especificações para a densidade porque, tal como nas relações de temperatura - viscosidade, a densidade varia um pouco com os diferentes asfaltos. Contudo, há necessidade, freqüentemente, de conhecer o valor exato da densidade de um asfalto. Usa-se este valor, por exemplo, para calcular o volume de asfalto a determinadas temperaturas com a finalidade de fazer os pagamentos na compra, ou para a dosagem de misturas asfalto - agregado.

Aqui "densidade" é massa por unidade de volume a 15°C expressa em kg/litro. Densidade relativa é a razão da massa de determinado volume de material para a massa de igual volume de água, ambos à temperatura especificada, usualmente 25°C.

Tabela 2.7 Guia de Carregamento de Produtos Asfálticos

O Último Produto no Tanque	Produto a ser Carregado			
	Cimento Asfáltico	Asfalto Diluído	Emulsão Catiônica	Emulsão Aniônica
Cimento Asfáltico	OK para carregar	OK para carregar	Vazio ou sem Quantidade Mensurável	Vazio ou sem Quantidade Mensurável
Asfalto Diluído	Vazio*	OK para carregar	Vazio ou sem Quantidade Mensurável	Vazio ou sem Quantidade Mensurável
Emulsão Catiônica	Vazio*	Vazio ou sem Quantidade Mensurável	OK para carregar	Vazio ou sem Quantidade Mensurável
Emulsão Catiônica	Vazio*	Vazio ou sem Quantidade Mensurável	Vazio ou sem Quantidade Mensurável	OK para carregar
Petróleo Cru e Óleos Combustíveis Residuais	Vazio*	Vazio ou sem Quantidade Mensurável	Vazio ou sem Quantidade Mensurável	Vazio ou sem Quantidade Mensurável
Outros produtos não relacionados acima	O tanque deve ser limpo	O tanque deve ser limpo	O tanque deve ser limpo	O tanque deve ser limpo

*Qualquer quantidade de material remanescente produzirá condições perigosas

Nos cimentos asfálticos e asfaltos diluídos viscosos, faz-se o ensaio usualmente com o picnômetro. O asfalto ocupa parte do frasco picnométrico, sendo o volume de asfalto determinado pela diferença entre o volume do frasco e o da água necessária para enchê-lo totalmente. No caso de asfaltos mais fluidos e emulsões asfálticas utiliza-se hidrômetro.

Para bem caracterizar as condições de determinação da densidade relativa deve-se indicar a temperatura do asfalto e da água. Assim, um valor a 15,6/15,6°C indica que ambos os materiais estavam a 15,6°C. O valor de 15,6/15,6°C pode ser determinado a partir do obtido a 25/25°C. Este procedimento está explicado nos parágrafos seguintes.

Relações Temperatura - Volume e Cálculos

Todos os líquidos e a maioria dos sólidos sofre variações de volume com variações de temperatura. Expandem-se ao serem aquecidos e contraem-se ao serem esfriados. A variação de unidade de volume por grau de variação de temperatura chama-se coeficiente de expansão, fator este que varia com as variações de densidade do produto asfáltico.

Tabelas de correção temperatura-volume para materiais **asfálticos** estão publicadas em ASTM D 4311 e aqui reproduzidas nas Tabelas 2.8 (°C) e 2.9 (°F). Em cada tabela tem-se duas colunas de fatores de correção. A escolha da coluna apropriada (A ou B) depende da densidade do asfalto, conforme indicado nas notas de rodapé das tabelas. Os fatores da coluna A aplicam-se à maioria dos asfaltos. Relações de temperatura - volume de emulsões asfálticas estão na Tabela 2.10.

Os multiplicadores dados nas tabelas são usados para converter um volume conhecido a determinada temperatura no volume a 15°C, que se emprega costumeiramente como a base padronizada da determinação de volume do asfalto.

$$V = V_T M_T \quad (1)$$

onde V = volume a 15°C ou 60°F
 V_T = volume à temperatura dada, e
 M_T = multiplicador da tabela apropriada

Exemplo:

A densidade relativa de um produto asfáltico foi determinada 0,985 a 15,6°C. O volume medido deste material é de 34.000 litros a 82,2°C. A coluna A da Tabela 2.8 aplica-se visto que a densidade excede 0,967. Para a temperatura de 82,2°C o fator de correção M_T é 0,9587. Assim o volume de material a 15,6°C é $34.000 \times 0,9587 = 32.596$ litros.

Cálculos de Densidade Relativa

A expressão básica da densidade relativa de uma substância é a massa no ar da unidade de volume da substância à temperatura estabelecida, dividida pela massa no ar de igual volume de água destilada, livre de gás, à temperatura estabelecida. Ou:

$$G_x = \frac{W_x}{W_x} \quad (2a) \quad \text{ou} \quad G_x = \frac{W_x}{V_x \gamma_w} \quad (2b)$$

onde: G_x = densidade relativa da substância
 W_x = massa da unidade de volume da substância
 W_w = massa da unidade de volume da água destilada sem gás
 V_x = volume da substância
 γ_w = densidade da água

O volume de asfalto, variável com a temperatura, pode ser determinado pela Eq. 1. Contudo, o volume de água (ou sua densidade) também varia com a temperatura, conforme se apresenta nos parágrafos seguintes.

Tabela 2.8 Correções Temperatura-Volume para Materiais Asfálticos (Graus Celsius)

Fator de Correção de Temperatura			Fator de Correção de Temperatura			Fator de Correção de Temperatura			Fator de Correção de Temperatura		
Temperatura Observada, °C	Volume ^c para 15°C	A	Temperatura Observada, °C	Volume ^c para 15°C	B	Temperatura Observada, °C	Volume ^c para 15°C	B	Temperatura Observada, °C	Volume ^c para 15°C	B
-25.0	1.0254	1.0290	12.5	1.0016	1.0018	50.0	0.9782	0.9752	87.5	0.9552	0.9492
-24.5	1.0251	1.0286	13.0	1.0012	1.0014	50.5	0.9779	0.9749	88.0	0.9548	0.9489
-24.0	1.0248	1.0283	13.5	1.0009	1.0014	51.0	0.9776	0.9745	88.5	0.9545	0.9485
-23.5	1.0244	1.0279	14.0	1.0006	1.0007	51.5	0.9773	0.9742	89.0	0.9542	0.9482
-23.0	1.0241	1.0276	14.5	1.0003	1.0004	52.0	0.9770	0.9738	89.5	0.9539	0.9478
-22.5	1.0238	1.0272	15.0	1.0000	1.0000	52.5	0.9767	0.9735	90.0	0.9536	0.9475
-22.0	1.0235	1.0269	15.5	0.9997	0.9998	53.0	0.9763	0.9731	90.5	0.9533	0.9472
-21.5	1.0232	1.0265	16.0	0.9994	0.9993	53.5	0.9760	0.9728	91.0	0.9530	0.9468
-21.0	1.0228	1.0261	16.5	0.9991	0.9989	54.0	0.9757	0.9724	91.5	0.9527	0.9465
-20.5	1.0225	1.0258	17.0	0.9988	0.9985	54.5	0.9754	0.9721	92.0	0.9524	0.9461
-20.0	1.0222	1.0254	17.5	0.9985	0.9982	55.0	0.9751	0.9717	92.5	0.9521	0.9458
-19.5	1.0219	1.0250	18.0	0.9981	0.9978	55.5	0.9748	0.9714	93.0	0.9518	0.9455
-19.0	1.0216	1.0247	18.5	0.9978	0.9975	56.0	0.9745	0.9710	93.5	0.9515	0.9451
-18.5	1.0212	1.0243	19.0	0.9975	0.9971	56.5	0.9742	0.9707	94.0	0.9512	0.9448
-18.0	1.0209	1.0239	19.5	0.9972	0.9968	57.0	0.9739	0.9703	94.5	0.9509	0.9444
-17.5	1.0206	1.0236	20.0	0.9969	0.9964	57.5	0.9736	0.9700	95.0	0.9506	0.9441
-17.0	1.0203	1.0232	20.5	0.9966	0.9961	58.0	0.9732	0.9696	95.5	0.9503	0.9438
-16.5	1.0200	1.0228	21.0	0.9963	0.9957	58.5	0.9729	0.9693	96.0	0.9500	0.9434
-16.0	1.0196	1.0224	21.5	0.9959	0.9954	59.0	0.9726	0.9689	96.5	0.9497	0.9431
-15.5	1.0193	1.0221	22.0	0.9956	0.9950	59.5	0.9723	0.9686	97.0	0.9494	0.9427
-15.0	1.0190	1.0217	22.5	0.9953	0.9947	60.0	0.9720	0.9682	97.5	0.9491	0.9424
-14.5	1.0187	1.0213	23.0	0.9950	0.9943	60.5	0.9717	0.9679	98.0	0.9488	0.9421
-14.0	1.0184	1.0210	23.5	0.9947	0.9940	61.0	0.9714	0.9675	98.5	0.9485	0.9417
-13.5	1.0180	1.0206	24.0	0.9943	0.9936	61.5	0.9711	0.9672	99.0	0.9482	0.9414
-13.0	1.0177	1.0203	24.5	0.9940	0.9933	62.0	0.9708	0.9668	99.5	0.9479	0.9410
-12.5	1.0174	1.0199	25.0	0.9937	0.9929	62.5	0.9705	0.9665	100.0	0.9476	0.9407
-12.0	1.0171	1.0195	25.5	0.9933	0.9925	63.0	0.9701	0.9661	100.5	0.9473	0.9404
-11.5	1.0168	1.0192	26.0	0.9934	0.9922	63.5	0.9698	0.9658	101.0	0.9470	0.9400
-11.0	1.0164	1.0188	26.5	0.9926	0.9918	64.0	0.9695	0.9654	101.5	0.9467	0.9397
-10.5	1.0161	1.0185	27.0	0.9925	0.9915	64.5	0.9692	0.9651	102.0	0.9464	0.9393
-10.0	1.0158	1.0181	27.5	0.9922	0.9911	65.0	0.9689	0.9647	102.5	0.9461	0.9390
-9.5	1.0155	1.0177	28.0	0.9918	0.9907	65.5	0.9686	0.9644	103.0	0.9458	0.9387
-9.0	1.0152	1.0174	28.5	0.9915	0.9904	66.0	0.9683	0.9640	103.5	0.9455	0.9383
-8.5	1.0148	1.0170	29.0	0.9912	0.9900	66.5	0.9680	0.9637	104.0	0.9452	0.9380
-8.0	1.0145	1.0166	29.5	0.9909	0.9897	67.0	0.9677	0.9633	104.5	0.9449	0.9376
-7.5	1.0142	1.0163	30.0	0.9906	0.9893	67.5	0.9674	0.9630	105.0	0.9446	0.9373
-7.0	1.0139	1.0159	30.5	0.9903	0.9889	68.0	0.9670	0.9626	105.5	0.9443	0.9370
-6.5	1.0136	1.0155	31.0	0.9900	0.9886	68.5	0.9667	0.9623	106.0	0.9440	0.9366
-6.0	1.0132	1.0151	31.5	0.9897	0.9882	69.0	0.9664	0.9619	106.5	0.9437	0.9363
-5.5	1.0129	1.0148	32.0	0.9894	0.9879	69.5	0.9661	0.9616	107.0	0.9434	0.9359
-5.0	1.0126	1.0144	32.5	0.9891	0.9875	70.0	0.9658	0.9612	107.5	0.9431	0.9356
-4.5	1.0123	1.0140	33.0	0.9887	0.9871	70.5	0.9655	0.9609	108.0	0.9428	0.9353
-4.0	1.0120	1.0137	33.5	0.9884	0.9868	71.0	0.9652	0.9605	108.5	0.9425	0.9349
-3.5	1.0117	1.0133	34.0	0.9881	0.9864	71.5	0.9649	0.9602	109.0	0.9422	0.9346
-3.0	1.0114	1.0130	34.5	0.9878	0.9861	72.0	0.9646	0.9598	109.5	0.9419	0.9342
-2.5	1.0111	1.0126	35.0	0.9875	0.9857	72.5	0.9643	0.9595	110.0	0.9416	0.9339
-2.0	1.0107	1.0122	35.5	0.9872	0.9854	73.0	0.9640	0.9592	110.5	0.9413	0.9336
-1.5	1.0104	1.0119	36.0	0.9869	0.9850	73.5	0.9637	0.9588	111.0	0.9410	0.9332
-1.0	1.0101	1.0115	36.5	0.9866	0.9847	74.0	0.9634	0.9585	111.5	0.9407	0.9329
-0.5	1.0098	1.0112	37.0	0.9863	0.9843	74.5	0.9631	0.9581	112.0	0.9404	0.9325
0	1.0095	1.0106	37.5	0.9860	0.9840	75.0	0.9628	0.9578	112.5	0.9401	0.9322
0.5	1.0092	1.0104	38.0	0.9856	0.9836	75.5	0.9625	0.9575	113.0	0.9397	0.9319
1.0	1.0089	1.0101	38.5	0.9853	0.9833	76.0	0.9622	0.9571	113.5	0.9394	0.9315
1.5	1.0085	1.0097	39.0	0.9850	0.9829	76.5	0.9619	0.9568	114.0	0.9391	0.9312
2.0	1.0082	1.0094	39.5	0.9847	0.9826	77.0	0.9616	0.9564	114.5	0.9388	0.9308
2.5	1.0079	1.0090	40.0	0.9844	0.9822	77.5	0.9613	0.9561	115.0	0.9385	0.9305
3.0	1.0076	1.0086	40.5	0.9841	0.9819	78.0	0.9609	0.9557	115.5	0.9382	0.9302
3.5	1.0073	1.0083	41.0	0.9838	0.9815	78.5	0.9606	0.9554	116.0	0.9379	0.9298
4.0	1.0069	1.0079	41.5	0.9835	0.9812	79.0	0.9603	0.9550	116.5	0.9376	0.9295
4.5	1.0066	1.0076	42.0	0.9832	0.9808	79.5	0.9600	0.9547	117.0	0.9373	0.9292
5.0	1.0063	1.0072	42.5	0.9829	0.9805	80.0	0.9597	0.9543	117.5	0.9371	0.9289
5.5	1.0060	1.0068	43.0	0.9825	0.9801	80.5	0.9594	0.9540	118.0	0.9368	0.9285
6.0	1.0057	1.0065	43.5	0.9822	0.9798	81.0	0.9591	0.9536	118.5	0.9365	0.9282
6.5	1.0053	1.0061	44.0	0.9819	0.9794	81.5	0.9588	0.9533	119.0	0.9362	0.9279
7.0	1.0050	1.0058	44.5	0.9816	0.9791	82.0	0.9585	0.9529	119.5	0.9359	0.9275
7.5	1.0047	1.0054	45.0	0.9813	0.9787	82.5	0.9582	0.9526	120.0	0.9356	0.9272
8.0	1.0044	1.0050	45.5	0.9810	0.9784	83.0	0.9578	0.9523	120.5	0.9353	0.9269
8.5	1.0041	1.0047	46.0	0.9807	0.9780	83.5	0.9576	0.9519	121.0	0.9350	0.9265
9.0	1.0037	1.0043	46.5	0.9804	0.9777	84.0	0.9573	0.9516	121.5	0.9347	0.9262
9.5	1.0034	1.0040	47.0	0.9801	0.9773	84.5	0.9570	0.9512	122.0	0.9344	0.9258
10.0	1.0031	1.0036	47.5	0.9798	0.9770	85.0	0.9567	0.9509	122.5	0.9341	0.9255
10.5	1.0028	1.0032	48.0	0.9794	0.9766	85.5	0.9564	0.9506	123.0	0.9338	0.9252
11.0	1.0025	1.0029	48.5	0.9791	0.9763	86.0	0.9561	0.9502	123.5	0.9335	0.9248
11.5	1.0022	1.0025	49.0	0.9788	0.9759	86.5	0.9558	0.9499	124.0	0.9332	0.9245
12.0	1.0019	1.0022	49.5	0.9785	0.9756	87.0	0.9555	0.9495	124.5	0.9329	0.9241

^c use fatores da coluna A para os asfaltos de densidade a 15°C de 966 kg/m³ ou mais

^d use fatores da coluna B para os asfaltos de densidade a 15°C de 850 a 965 kg/m³

Tabela 2.8 (Continuação) Correções Temperatura-Volume para Materiais Asfálticos (Graus Celsius)

Temperatura Observada, °C	Fator de Correção de Volume ^{c,o} para 15°C		Temperatura Observada, °C	Fator de Correção de Volume ^{c,o} para 15°C		Temperatura Observada, °C	Fator de Correção de Volume ^{c,o} para 15°C		Temperatura Observada, °C	Fator de Correção de Volume ^{c,o} para 15°C	
	A	B		A	B		A	B		A	B
125.0	0.9326	0.9238	162.5	0.9104	0.8991	200.0	0.8886	0.8749	237.5	0.8673	0.8514
125.5	0.9323	0.9235	163.0	0.9101	0.8987	200.5	0.8883	0.8746	238.0	0.8670	0.8510
126.0	0.9320	0.9231	163.5	0.9098	0.8984	201.0	0.8880	0.8743	238.5	0.8667	0.8507
126.5	0.9317	0.9228	164.0	0.9095	0.8981	201.5	0.8877	0.8739	239.0	0.8664	0.8504
127.0	0.9314	0.9225	164.5	0.9092	0.8977	202.0	0.8874	0.8736	239.5	0.8661	0.8501
127.5	0.9311	0.9222	165.0	0.9089	0.8974	202.5	0.8872	0.8733	240.0	0.8658	0.8498
128.0	0.9308	0.9218	165.5	0.9086	0.8971	203.0	0.8869	0.8730	240.5	0.8655	0.8495
128.5	0.9305	0.9215	166.0	0.9083	0.8968	203.5	0.8866	0.8727	241.0	0.8652	0.8492
129.0	0.9302	0.9212	166.5	0.9080	0.8964	204.0	0.8863	0.8723	241.5	0.8650	0.8489
129.5	0.9299	0.9208	167.0	0.9077	0.8961	204.5	0.8860	0.8720	242.0	0.8647	0.8486
130.0	0.9296	0.9205	167.5	0.9075	0.8958	205.0	0.8857	0.8717	242.5	0.8644	0.8483
130.5	0.9293	0.9202	168.0	0.9072	0.8955	205.5	0.8854	0.8714	243.0	0.8641	0.8480
131.0	0.9290	0.9199	168.5	0.9069	0.8952	206.0	0.8851	0.8711	243.5	0.8638	0.8477
131.5	0.9287	0.9195	169.0	0.9065	0.8948	206.5	0.8849	0.8708	244.0	0.8636	0.8474
132.0	0.9284	0.9191	169.5	0.9063	0.8945	207.0	0.8846	0.8705	244.5	0.8633	0.8471
132.5	0.9281	0.9188	170.0	0.9060	0.8942	207.5	0.8843	0.8702	245.0	0.8630	0.8468
133.0	0.9278	0.9185	170.5	0.9057	0.8939	208.0	0.8840	0.8698	245.5	0.8627	0.8465
133.5	0.9275	0.9181	171.0	0.9054	0.8935	208.5	0.8837	0.8695	246.0	0.8624	0.8462
134.0	0.9272	0.9178	171.5	0.9051	0.8932	209.0	0.8835	0.8692	246.5	0.8622	0.8459
134.5	0.9269	0.9174	172.0	0.9048	0.8929	209.5	0.8832	0.8689	247.0	0.8619	0.8456
135.0	0.9266	0.9171	172.5	0.9046	0.8926	210.0	0.8829	0.8686	247.5	0.8616	0.8453
135.5	0.9263	0.9168	173.0	0.9043	0.8922	210.5	0.8826	0.8683	248.0	0.8613	0.8449
136.0	0.9260	0.9164	173.5	0.9040	0.8919	211.0	0.8823	0.8680	248.5	0.8610	0.8446
136.5	0.9257	0.9161	174.0	0.9037	0.8916	211.5	0.8820	0.8676	249.0	0.8608	0.8443
137.0	0.9254	0.9158	174.5	0.9034	0.8912	212.0	0.8817	0.8673	249.5	0.8605	0.8440
137.5	0.9251	0.9155	175.0	0.9031	0.8909	212.5	0.8815	0.8670	250.0	0.8602	0.8437
138.0	0.9248	0.9151	175.5	0.9028	0.8906	213.0	0.8812	0.8667	250.5	0.8599	0.8434
138.5	0.9246	0.9148	176.0	0.9025	0.8903	213.5	0.8809	0.8664	251.0	0.8596	0.8431
139.0	0.9242	0.9145	176.5	0.9022	0.8899	214.0	0.8806	0.8660	251.5	0.8594	0.8428
139.5	0.9239	0.9141	177.0	0.9019	0.8896	214.5	0.8803	0.8657	252.0	0.8591	0.8425
140.0	0.9236	0.9138	177.5	0.9017	0.8893	215.0	0.8800	0.8654	252.5	0.8588	0.8422
140.5	0.9233	0.9135	178.0	0.9014	0.8890	215.5	0.8797	0.8651	253.0	0.8585	0.8418
141.0	0.9230	0.9131	178.5	0.9011	0.8887	216.0	0.8794	0.8648	253.5	0.8582	0.8415
141.5	0.9227	0.9128	179.0	0.9008	0.8883	216.5	0.8792	0.8645	254.0	0.8580	0.8412
142.0	0.9224	0.9125	179.5	0.9005	0.8880	217.0	0.8789	0.8642	254.5	0.8577	0.8409
142.5	0.9222	0.9122	180.0	0.9002	0.8877	217.5	0.8786	0.8639	255.0	0.8574	0.8406
143.0	0.9219	0.9118	180.5	0.8999	0.8874	218.0	0.8783	0.8635	255.5	0.8571	0.8403
143.5	0.9216	0.9115	181.0	0.8996	0.8871	218.5	0.8780	0.8632	256.0	0.8568	0.8400
144.0	0.9213	0.9112	181.5	0.8993	0.8867	219.0	0.8778	0.8629	256.5	0.8566	0.8397
144.5	0.9210	0.9108	182.0	0.8990	0.8864	219.5	0.8775	0.8626	257.0	0.8563	0.8394
145.0	0.9207	0.9105	182.5	0.8988	0.8861	220.0	0.8772	0.8623	257.5	0.8560	0.8391
145.5	0.9204	0.9102	183.0	0.8985	0.8858	220.5	0.8769	0.8620	258.0	0.8557	0.8388
146.0	0.9201	0.9098	183.5	0.8982	0.8855	221.0	0.8766	0.8617	258.5	0.8555	0.8385
146.5	0.9198	0.9095	184.0	0.8979	0.8851	221.5	0.8763	0.8614	259.0	0.8552	0.8382
147.0	0.9195	0.9092	184.5	0.8976	0.8848	222.0	0.8760	0.8611	259.5	0.8549	0.8379
147.5	0.9192	0.9089	185.0	0.8973	0.8845	222.5	0.8758	0.8608	260.0	0.8546	0.8376
148.0	0.9189	0.9085	185.5	0.8970	0.8842	223.0	0.8755	0.8604	260.5	0.8543	0.8373
148.5	0.9186	0.9082	186.0	0.8967	0.8839	223.5	0.8752	0.8601	261.0	0.8540	0.8370
149.0	0.9183	0.9079	186.5	0.8964	0.8835	224.0	0.8749	0.8598	261.5	0.8538	0.8367
149.5	0.9180	0.9075	187.0	0.8961	0.8832	224.5	0.8746	0.8595	262.0	0.8535	0.8364
150.0	0.9177	0.9072	187.5	0.8959	0.8829	225.0	0.8743	0.8592	262.5	0.8532	0.8361
150.5	0.9174	0.9069	188.0	0.8956	0.8826	225.5	0.8740	0.8589	263.0	0.8529	0.8357
151.0	0.9171	0.9065	188.5	0.8953	0.8823	226.0	0.8737	0.8586	263.5	0.8526	0.8354
151.5	0.9168	0.9062	189.0	0.8950	0.8819	226.5	0.8735	0.8582	264.0	0.8524	0.8351
152.0	0.9165	0.9059	189.5	0.8947	0.8816	227.0	0.8732	0.8579	264.5	0.8521	0.8348
152.5	0.9163	0.9056	190.0	0.8944	0.8813	227.5	0.8729	0.8576	265.0	0.8518	0.8345
153.0	0.9160	0.9052	190.5	0.8941	0.8810	228.0	0.8726	0.8573	265.5	0.8515	0.8342
153.5	0.9157	0.9049	191.0	0.8938	0.8807	228.5	0.8723	0.8570	266.0	0.8512	0.8339
154.0	0.9154	0.9046	191.5	0.8935	0.8803	229.0	0.8721	0.8566	266.5	0.8510	0.8336
154.5	0.9151	0.9042	192.0	0.8932	0.8800	229.5	0.8718	0.8563	267.0	0.8507	0.8333
155.0	0.9148	0.9039	192.5	0.8930	0.8797	230.0	0.8715	0.8560	267.5	0.8504	0.8330
155.5	0.9145	0.9036	193.0	0.8927	0.8794	230.5	0.8712	0.8557	268.0	0.8501	0.8326
156.0	0.9142	0.9033	193.5	0.8924	0.8791	231.0	0.8709	0.8554	268.5	0.8498	0.8323
156.5	0.9139	0.9029	194.0	0.8921	0.8787	231.5	0.8707	0.8551	269.0	0.8496	0.8320
157.0	0.9136	0.9026	194.5	0.8918	0.8784	232.0	0.8704	0.8548	269.5	0.8493	0.8317
157.5	0.9133	0.9023	195.0	0.8915	0.8781	232.5	0.8701	0.8545	270.0	0.8490	0.8314
158.0	0.9130	0.9020	195.5	0.8912	0.8778	233.0	0.8698	0.8541	270.5	0.8487	0.8311
158.5	0.9127	0.9017	196.0	0.8909	0.8775	233.5	0.8695	0.8538	271.0	0.8484	0.8308
159.0	0.9124	0.9013	196.5	0.8906	0.8772	234.0	0.8693	0.8535	271.5	0.8482	0.8305
159.5	0.9121	0.9010	197.0	0.8903	0.8768	234.5	0.8690	0.8532	272.0	0.8479	0.8302
160.0	0.9118	0.9007	197.5	0.8901	0.8765	235.0	0.8687	0.8529	272.5	0.8476	0.8299
160.5	0.9115	0.9004	198.0	0.8898	0.8762	235.5	0.8684	0.8526	273.0	0.8473	0.8296
161.0	0.9112	0.9000	198.5	0.8895	0.8759	236.0	0.8681	0.8523	273.5	0.8470	0.8293
161.5	0.9109	0.8997	199.0	0.8892	0.8755	236.5	0.8678	0.8520	274.0	0.8468	0.8290
162.0	0.9106	0.8994	199.5	0.8889	0.8752	237.0	0.8675	0.8517	274.5	0.8465	0.8287

^c use fatores da coluna A para os asfaltos de densidade a 15°C de 966 kg/m³ ou mais

^o use fatores da coluna B para os asfaltos de densidade a 15°C de 850 a 965 kg/m³

Tabela 2.9 Correções Temperaturas - Volume para Materiais Asfálticos (Graus Fahrenheit)

Temperatura Observada, °F	Fator de Correção de Volume para 60°F ^{A,B}		Temperatura Observada, °F	Fator de Correção de Volume para 60°F ^{A,B}		Temperatura Observada, °F	Fator de Correção de Volume para 60°F ^{A,B}		Temperatura Observada, °F	Fator de Correção de Volume para 60°F ^{A,B}	
	A	B		A	B		A	B		A	B
0	1.0211	1.0241	75	0.9948	0.9940	150	0.9689	0.9647	225	0.9436	0.9361
1	1.0208	1.0237	76	0.9944	0.9936	151	0.9686	0.9643	226	0.9432	0.9358
2	1.0204	1.0233	77	0.9941	0.9932	152	0.9682	0.9639	227	0.9429	0.9354
3	1.0201	1.0229	78	0.9937	0.9929	153	0.9679	0.9635	228	0.9426	0.9350
4	1.0197	1.0225	79	0.9934	0.9925	154	0.9675	0.9632	229	0.9422	0.9346
5	1.0194	1.0221	80	0.9930	0.9921	155	0.9672	0.9628	230	0.9419	0.9343
6	1.0190	1.0217	81	0.9927	0.9917	156	0.9669	0.9624	231	0.9416	0.9339
7	1.0186	1.0213	82	0.9923	0.9913	157	0.9665	0.9620	232	0.9412	0.9335
8	1.0183	1.0209	83	0.9920	0.9909	158	0.9662	0.9616	233	0.9409	0.9331
9	1.0179	1.0205	84	0.9916	0.9905	159	0.9658	0.9612	234	0.9405	0.9328
10	1.0176	1.0201	85	0.9913	0.9901	160	0.9655	0.9609	235	0.9402	0.9324
11	1.0172	1.0197	86	0.9909	0.9897	161	0.9652	0.9605	236	0.9399	0.9320
12	1.0169	1.0193	87	0.9906	0.9893	162	0.9648	0.9601	237	0.9395	0.9316
13	1.0165	1.0189	88	0.9902	0.9889	163	0.9645	0.9597	238	0.9392	0.9313
14	1.0162	1.0185	89	0.9899	0.9885	164	0.9641	0.9593	239	0.9389	0.9309
15	1.0158	1.0181	90	0.9896	0.9881	165	0.9638	0.9589	240	0.9385	0.9305
16	1.0155	1.0177	91	0.9892	0.9877	166	0.9635	0.9585	241	0.9382	0.9301
17	1.0151	1.0173	92	0.9889	0.9873	167	0.9631	0.9582	242	0.9379	0.9298
18	1.0148	1.0169	93	0.9885	0.9869	168	0.9628	0.9578	243	0.9375	0.9294
19	1.0144	1.0164	94	0.9882	0.9865	169	0.9624	0.9574	244	0.9372	0.9290
20	1.0141	1.0160	95	0.9878	0.9861	170	0.9621	0.9570	245	0.9369	0.9286
21	1.0137	1.0156	96	0.9875	0.9857	171	0.9618	0.9566	246	0.9365	0.9283
22	1.0133	1.0152	97	0.9871	0.9854	172	0.9614	0.9562	247	0.9362	0.9279
23	1.0130	1.0148	98	0.9868	0.9850	173	0.9611	0.9559	248	0.9359	0.9275
24	1.0126	1.0144	99	0.9864	0.9846	174	0.9607	0.9555	249	0.9356	0.9272
25	1.0123	1.0140	100	0.9861	0.9842	175	0.9604	0.9551	250	0.9352	0.9268
26	1.0119	1.0136	101	0.9857	0.9838	176	0.9601	0.9547	251	0.9349	0.9264
27	1.0116	1.0132	102	0.9854	0.9834	177	0.9597	0.9543	252	0.9346	0.9260
28	1.0112	1.0128	103	0.9851	0.9830	178	0.9594	0.9539	253	0.9342	0.9257
29	1.0109	1.0124	104	0.9847	0.9826	179	0.9590	0.9536	254	0.9339	0.9253
30	1.0105	1.0120	105	0.9844	0.9822	180	0.9587	0.9532	255	0.9336	0.9249
31	1.0102	1.0116	106	0.9840	0.9818	181	0.9584	0.9528	256	0.9332	0.9245
32	1.0098	1.0112	107	0.9837	0.9814	182	0.9580	0.9524	257	0.9329	0.9242
33	1.0095	1.0108	108	0.9833	0.9810	183	0.9577	0.9520	258	0.9326	0.9238
34	1.0091	1.0104	109	0.9830	0.9806	184	0.9574	0.9517	259	0.9322	0.9234
35	1.0088	1.0100	110	0.9826	0.9803	185	0.9570	0.9513	260	0.9319	0.9231
36	1.0084	1.0096	111	0.9823	0.9799	186	0.9567	0.9509	261	0.9316	0.9227
37	1.0081	1.0092	112	0.9819	0.9795	187	0.9563	0.9505	262	0.9312	0.9223
38	1.0077	1.0088	113	0.9816	0.9791	188	0.9560	0.9501	263	0.9309	0.9219
39	1.0074	1.0084	114	0.9813	0.9787	189	0.9557	0.9498	264	0.9306	0.9216
40	1.0070	1.0080	115	0.9809	0.9783	190	0.9553	0.9494	265	0.9302	0.9212
41	1.0067	1.0076	116	0.9806	0.9779	191	0.9550	0.9490	266	0.9299	0.9208
42	1.0063	1.0072	117	0.9802	0.9775	192	0.9547	0.9486	267	0.9296	0.9205
43	1.0060	1.0068	118	0.9799	0.9771	193	0.9543	0.9482	268	0.9293	0.9201
44	1.0056	1.0064	119	0.9795	0.9767	194	0.9540	0.9478	269	0.9289	0.9197
45	1.0053	1.0060	120	0.9792	0.9763	195	0.9536	0.9475	270	0.9286	0.9194
46	1.0040	1.0056	121	0.9788	0.9760	196	0.9533	0.9471	271	0.9283	0.9190
47	1.0046	1.0052	122	0.9785	0.9756	197	0.9530	0.9467	272	0.9279	0.9186
48	1.0042	1.0048	123	0.9782	0.9752	198	0.9526	0.9463	273	0.9276	0.9182
49	1.0038	1.0044	124	0.9778	0.9748	199	0.9523	0.9460	274	0.9273	0.9179
50	1.0035	1.0040	125	0.9775	0.9744	200	0.9520	0.9456	275	0.9269	0.9175
51	1.0031	1.0036	126	0.9771	0.9740	201	0.9516	0.9452	276	0.9266	0.9171
52	1.0028	1.0032	127	0.9768	0.9736	202	0.9513	0.9448	277	0.9263	0.9168
53	1.0024	1.0028	128	0.9764	0.9732	203	0.9509	0.9444	278	0.9259	0.9164
54	1.0021	1.0024	129	0.9761	0.9728	204	0.9506	0.9441	279	0.9256	0.9160
55	1.0017	1.0020	130	0.9758	0.9725	205	0.9503	0.9437	280	0.9253	0.9157
56	1.0014	1.0016	131	0.9754	0.9721	206	0.9499	0.9433	281	0.9250	0.9153
57	1.0010	1.0012	132	0.9751	0.9717	207	0.9496	0.9429	282	0.9246	0.9149
58	1.0007	1.0008	133	0.9747	0.9713	208	0.9493	0.9425	283	0.9243	0.9146
59	1.0003	1.0004	134	0.9744	0.9709	209	0.9489	0.9422	284	0.9240	0.9142
60	1.0000	1.0000	135	0.9740	0.9705	210	0.9486	0.9418	285	0.9236	0.9138
61	0.9997	0.9995	136	0.9737	0.9701	211	0.9483	0.9414	286	0.9233	0.9135
62	0.9993	0.9992	137	0.9734	0.9697	212	0.9479	0.9410	287	0.9230	0.9131
63	0.9990	0.9988	138	0.9730	0.9693	213	0.9476	0.9407	288	0.9227	0.9127
64	0.9986	0.9984	139	0.9727	0.9690	214	0.9472	0.9403	289	0.9223	0.9124
65	0.9983	0.9980	140	0.9723	0.9686	215	0.9469	0.9399	290	0.9220	0.9120
66	0.9979	0.9976	141	0.9720	0.9682	216	0.9466	0.9395	291	0.9217	0.9116
67	0.9976	0.9972	142	0.9716	0.9678	217	0.9462	0.9391	292	0.9213	0.9113
68	0.9972	0.9968	143	0.9713	0.9674	218	0.9459	0.9388	293	0.9210	0.9109
69	0.9969	0.9964	144	0.9710	0.9670	219	0.9456	0.9384	294	0.9207	0.9105
70	0.9965	0.9960	145	0.9706	0.9666	220	0.9452	0.9380	295	0.9204	0.9102
71	0.9962	0.9956	146	0.9703	0.9662	221	0.9449	0.9376	296	0.9200	0.9098
72	0.9958	0.9952	147	0.9699	0.9659	222	0.9446	0.9373	297	0.9197	0.9094
73	0.9955	0.9948	148	0.9696	0.9655	223	0.9442	0.9369	298	0.9194	0.9091
74	0.9951	0.9944	149	0.9693	0.9651	224	0.9439	0.9365	299	0.9190	0.9087

^A use fatores da coluna A para os asfaltos de densidade API a 60°F de 14,9° ou menos ou de densidade 60/60°F de 0,967 ou mais.

^B use fatores da coluna B para os asfaltos de densidade API a 60°F de 15,0° a 34,9° ou densidade 60/60°F de 0,850 a 0,966

Tabela 2.9 (Continuação) Correções Temperaturas - Volume para Materiais Asfálticos (Graus Fahrenheit)

Temperatura Observada °F	Fator de Correção de Volume para 60°F ^{A,1}		Temperatura Observada °F	Fator de Correção de Volume para 60°F ^{A,1}		Temperatura Observada °F	Fator de Correção de Volume para 60°F ^{A,1}		Temperatura Observada °F	Fator de Correção de Volume para 60°F ^{A,1}	
	A	B		A	B		A	B		A	B
300	0.9187	0.9083	350	0.9024	0.8902	400	0.8864	0.8724	450	0.8705	0.8550
301	0.9184	0.9080	351	0.9021	0.8899	401	0.8861	0.8721	451	0.8702	0.8547
302	0.9181	0.9076	352	0.9018	0.8895	402	0.8857	0.8717	452	0.8699	0.8543
303	0.9177	0.9072	353	0.9015	0.8891	403	0.8854	0.8714	453	0.8696	0.8540
304	0.9174	0.9069	354	0.9011	0.8888	404	0.8851	0.8710	454	0.8693	0.8536
305	0.9171	0.9065	355	0.9008	0.8884	405	0.8848	0.8707	455	0.8690	0.8533
306	0.9167	0.9061	356	0.9005	0.8881	406	0.8845	0.8703	456	0.8687	0.8529
307	0.9164	0.9058	357	0.9002	0.8877	407	0.8841	0.8700	457	0.8683	0.8526
308	0.9161	0.9054	358	0.8998	0.8873	408	0.8838	0.8696	458	0.8680	0.8522
309	0.9158	0.9050	359	0.8995	0.8870	409	0.8835	0.8693	459	0.8677	0.8519
310	0.9154	0.9047	360	0.8992	0.8866	410	0.8832	0.8689	460	0.8674	0.8516
311	0.9151	0.9043	361	0.8989	0.8863	411	0.8829	0.8686	461	0.8671	0.8512
312	0.9146	0.9039	362	0.8986	0.8859	412	0.8826	0.8682	462	0.8668	0.8509
313	0.9145	0.9036	363	0.8982	0.8856	413	0.8822	0.8679	463	0.8665	0.8505
314	0.9141	0.9032	364	0.8979	0.8852	414	0.8819	0.8675	464	0.8661	0.8502
315	0.9138	0.9029	365	0.8976	0.8848	415	0.8816	0.8672	465	0.8658	0.8498
316	0.9135	0.9025	366	0.8973	0.8845	416	0.8813	0.8668	466	0.8655	0.8495
317	0.9132	0.9021	367	0.8969	0.8841	417	0.8810	0.8665	467	0.8652	0.8492
318	0.9128	0.9018	368	0.8966	0.8838	418	0.8806	0.8661	468	0.8649	0.8488
319	0.9125	0.9014	369	0.8963	0.8834	419	0.8803	0.8658	469	0.8646	0.8485
320	0.9122	0.9010	370	0.8960	0.8831	420	0.8800	0.8654	470	0.8643	0.8481
321	0.9118	0.9007	371	0.8957	0.8827	421	0.8797	0.8651	471	0.8640	0.8478
322	0.9115	0.9003	372	0.8953	0.8823	422	0.8794	0.8647	472	0.8636	0.8474
323	0.9112	0.9000	373	0.8950	0.8820	423	0.8791	0.8644	473	0.8633	0.8471
324	0.9109	0.8996	374	0.8947	0.8816	424	0.8787	0.8640	474	0.8630	0.8468
325	0.9105	0.8992	375	0.8944	0.8813	425	0.8784	0.8637	475	0.8627	0.8464
326	0.9102	0.8989	376	0.8941	0.8809	426	0.8781	0.8633	476	0.8624	0.8461
327	0.9099	0.8985	377	0.8937	0.8806	427	0.8778	0.8630	477	0.8621	0.8457
328	0.9096	0.8981	378	0.8934	0.8802	428	0.8775	0.8626	478	0.8618	0.8454
329	0.9092	0.8978	379	0.8931	0.8799	429	0.8772	0.8623	479	0.8615	0.8451
330	0.9089	0.8974	380	0.8928	0.8795	430	0.8768	0.8619	480	0.8611	0.8447
331	0.9086	0.8971	381	0.8924	0.8792	431	0.8765	0.8616	481	0.8608	0.8444
332	0.9083	0.8967	382	0.8921	0.8788	432	0.8762	0.8612	482	0.8605	0.8440
333	0.9079	0.8963	383	0.8918	0.8784	433	0.8759	0.8609	483	0.8602	0.8437
334	0.9076	0.8960	384	0.8915	0.8781	434	0.8756	0.8605	484	0.8599	0.8433
335	0.9073	0.8956	385	0.8912	0.8777	435	0.8753	0.8602	485	0.8596	0.8430
336	0.9070	0.8952	386	0.8908	0.8774	436	0.8749	0.8599	486	0.8593	0.8427
337	0.9066	0.8949	387	0.8905	0.8770	437	0.8746	0.8595	487	0.8590	0.8423
338	0.9063	0.8945	388	0.8902	0.8767	438	0.8743	0.8592	488	0.8587	0.8420
339	0.9060	0.8942	389	0.8899	0.8763	439	0.8740	0.8588	489	0.8583	0.8416
340	0.9057	0.8938	390	0.8896	0.8760	440	0.8737	0.8585	490	0.8580	0.8413
341	0.9053	0.8934	391	0.8892	0.8756	441	0.8734	0.8581	491	0.8577	0.8410
342	0.9050	0.8931	392	0.8889	0.8753	442	0.8731	0.8578	492	0.8574	0.8406
343	0.9047	0.8927	393	0.8886	0.8748	443	0.8727	0.8574	493	0.8571	0.8403
344	0.9044	0.8924	394	0.8883	0.8744	444	0.8724	0.8571	494	0.8568	0.8399
345	0.9040	0.8920	395	0.8880	0.8742	445	0.8721	0.8567	495	0.8565	0.8396
346	0.9037	0.8916	396	0.8876	0.8738	446	0.8718	0.8564	496	0.8562	0.8393
347	0.9034	0.8913	397	0.8873	0.8735	447	0.8715	0.8560	497	0.8559	0.8389
348	0.9031	0.8909	398	0.8870	0.8731	448	0.8712	0.8557	498	0.8556	0.8386
349	0.9028	0.8906	399	0.8867	0.8728	449	0.8709	0.8554	499	0.8552	0.8383
									500	0.8549	0.8379

^A use fatores da coluna A para os asfaltos de densidade API a 60° F de 14,9° ou menos ou de densidade 60/60 °F de 0,967 ou mais.

^B use fatores da coluna B para os asfaltos de densidade API a 60° F de 15,0° a 34,9° ou densidade 60/60° F de 0,850 a 0,966

Tabela 2.10 Correções Temperatura – Volume para Emulsões Asfálticas

Legenda: T = temperatura observada em graus Fahrenheit (Celsius)

M = multiplicador para correção de volume para a base de 15,6°C (60°F)

T	M	T	M	T	M			
°C	°F	°C	°F	°C	°F			
10,0	50	1,00250	35,0	95	99125	57,8	136	.98100
10,6	51	1,00225	35,6	96	99100	58,3	137	.98075
11,1	52	1,00200	36,1	97	99075	58,9	138	.98050
11,7	53	1,00175	36,7	98	99050	59,4	139	.98025
12,2	54	1,00150	37,2	99	99025	60,0	140	.98000
12,8	55	1,00125	37,8	100	99000	60,6	141	.97975
13,3	56	1,00100	38,3	101	98975	61,1	142	.97950
13,9	57	1,00075	38,9	102	98950	61,7	143	.97925
14,4	58	1,00050	39,4	103	98925	62,2	144	.97900
15,0	59	1,00025	40,0	104	98900	62,8	145	.97875
15,6	60	1,00000	40,6	105	98875	63,3	146	.97850
16,1	61	.99975	41,1	106	98850	63,9	147	.97825
16,7	62	.99950	41,7	107	98825	64,4	148	.97800
17,2	63	.99925	42,2	108	98800	65,0	149	.97775
17,8	64	.99900	42,8	109	98775	65,6	150	.97750
16,3	65	.99875	43,3	110	98750	66,1	151	.97725
18,9	66	.99850	43,9	111	98725	66,7	152	.97700
19,4	67	.99825	44,4	112	98700	67,2	153	.97675
20,0	68	.99800	45,0	113	98675	67,8	154	.97650
20,6	69	.99775	45,6	114	98650	68,3	155	.97625
21,1	70	.99750	46,1	115	98625	68,9	156	.97600
21,7	71	.99725	46,7	116	98600	69,4	157	.97575
22,2	72	.99700	47,2	117	98575	70,0	158	.97550
22,8	73	.99675	47,8	118	98550	70,6	159	.97525
23,3	74	.99650	48,3	119	98525	71,1	160	.97500
23,9	75	.99625	48,9	120	98500	71,7	161	.97475
24,4	76	.99600	49,4	121	98475	72,2	162	.97450
25,0	77	.99575	50,0	122	98450	72,8	163	.97425
25,6	78	.99550	50,6	123	98425	73,3	164	.97400
26,1	79	.99525	51,1	124	98400	73,9	165	.97375
26,7	80	.99500	51,7	125	98375	74,4	166	.97350
27,2	81	.99475	52,2	126	98350	75,0	167	.97325
27,8	82	.99450	52,8	127	98325	75,6	168	.97300
28,3	83	.99425	53,3	128	98300	76,1	169	.97275
28,9	84	.99400	53,9	129	98275	76,7	170	.97250
29,4	85	.99375	54,4	130	98250	77,2	171	.97225
30,0	86	.99350	55,0	131	98225	77,8	172	.97200
30,6	87	.99325	55,6	132	98200	78,3	173	.97175
31,1	88	.99300	56,1	133	98175	78,9	174	.97150
31,7	89	.99275	56,7	134	98150	79,4	175	.97125
32,2	90	.99250	57,2	135	98125			
32,8	91	.99225						
33,3	92	.99200						
33,9	93	.99175						
34,4	94	.99150						

Uma vez determinada a densidade relativa do asfalto a 25/25°C, pode-se calcular esta grandeza a 15,6/15,6°C, pela aplicação da Eq. 2b para ambas as temperaturas; combinando-as e substituindo na Eq.1, após simplificar, obtém-se:

$$G_{15,6/15,6} = \frac{G_{25/25} \gamma_{w25}}{M_{25} \gamma_{w15,6}} \quad \text{ou} \quad \left(G_{60/60} = \frac{G_{77/77} \gamma_{w77}}{M_{77} \gamma_{w60}} \right) \quad (3)$$

onde: γ_{w25} (γ_{77}) = densidade da água a 25°C (77°F) = 0,9970 g/ml

$\gamma_{w15,6}$ (γ_{60}) = densidade da água a 15,6°C (60°F) = 0,9988 g/ml

M_{25} (M_{77}) = multiplicador das Tabelas 2.8, 2.9 e 2.10

Seja a densidade relativa de um cimento asfáltico a 77/77°F, 1,003. Pela Tabela 2.9, M é 0,9941 para 77°F (Coluna A). A densidade relativa a 60/60°F será:

$$\frac{1.003 (0,9970)}{0.9941 (0,9988)} = 1,007$$

Medições em Tanques Horizontais

Muitos recipientes de transporte e estocagem de asfaltos são tanques cilíndricos em posição horizontal. As medições do volume do material no tanque consistem na medição da sua profundidade. A Tabela 2.11 fornece quantidades em termos de percentual da capacidade total em função da profundidade expressa em porcentagem do diâmetro.

Os volumes de asfalto são usualmente expressos em litros (ou em galões), e a fórmula para determinar a capacidade do tanque cilíndrico é :

$$V = 785 D^2L \quad (V = 5,88 D^2L) \quad (4)$$

onde V = volume, litros (gal)
D = diâmetro interno do tanque, m (pé); e
L = comprimento interno do tanque, ou (pé).

Exemplo: (Unidades Americanas Costumeiras)

Seja um tanque horizontal de capacidade de 12.740 gal (48220 litros) e diâmetro de 7 pés e 6 pol. (114 cm). Se a profundidade do asfalto no tanque for de 7 pés 3,5 pol (87,5 cm), a porcentagem de profundidade cheia é:

$$\frac{7,29 (100)}{9,5} \quad \text{ou} \quad \frac{87,5 (100)}{114} = 76,8 \%$$

Por interpolação na Tabela 2.11, tem-se o volume de asfalto no tanque:

$$\frac{12.740 (82,40)}{100} = 10.498 \text{ gal (39.730 l)}$$

Quando o tanque está mais de metade cheio, tal como no exemplo, pode ser mais conveniente determinar o volume da parte não preenchida e deduzi-lo da capacidade do tanque. Com o mesmo exemplo anterior, faz-se o cálculo seguinte:

$$12.740 - 12.740 \frac{(100-82,40)}{100} = 12.740 - 2.242 = 10.498 \text{ gal (39.730 l)}$$

Tabela 2.11 Capacidades Percentuais para Várias Profundidades de Tanques Cilíndricos na Posição Horizontal

Porcentagem							
Profundidade Preenchida	Capacidade	Profundidade Preenchida	Capacidade	Profundidade Preenchida	Capacidade	Profundidade Preenchida	Capacidade
1	0.20	26	20.73	51	61.27	76	81.50
2	0.50	27	21.86	52	52.55	77	82.60
3	0.90	28	23.00	63	53.81	78	83.68
4	1.34	29	24.07	54	55.08	79	84.74
5	1.87	30	25.31	55	56.34	80	85.77
6	2.45	31	26.48	66	57.60	81	86.77
7	3.07	32	27.66	57	58.86	82	87.76
8	3.74	33	28.84	58	60.11	83	88.73
9	4.45	34	30.03	59	61.36	84	89.68
10	5.20	35	31.19	60	62.61	85	90.60
11	5.98	36	32.44	61	63.86	86	91.50
12	6.80	37	33.66	62	55.10	87	92.36
13	7.64	36	34.90	63	66.34	88	93.20
14	8.50	39	36.14	64	67.56	89	94.02
15	9.40	40	37.39	65	68.81	90	94.80
16	10.32	41	36.64	66	69.97	91	95.55
17	11.27	42	39.89	67	71.16	92	96.26
18	12.24	43	41.14	68	72.34	93	96.93
19	13.23	44	42.40	69	73.52	94	97.55
20	14.23	45	43.66	70	74.69	95	98.13
21	15.26	46	44.92	71	75.93	96	98.66
22	16.32	47	46.19	72	77.00	97	99.10
23	17.40	48	47.45	73	78.14	98	99.50
24	18.50	49	48.73	74	79.27	99	99.80
25	19.61	50	50.00	75	80.39		

2.6 Procedimentos de Segurança em Relação ao Asfalto Quente

Visto que os produtos asfálticos são freqüentemente estocados e manuseados a altas temperaturas, a prevenção de incêndios é extremamente importante. Um dos maiores riscos no manuseio do asfalto quente é expô-lo a uma fonte de ignição. Deve-se proibir ou controlar com rigor as fontes de ignição, tais como centelhas de origem elétrica ou outra natureza, chamas expostas e material incandescente (cigarros acesos), nas vizinhanças de operações com o asfalto.

Muitas superfícies metálicas de usinas de mistura asfáltica e em coberturas ou operações de processamento excedem 65°C e, por vezes, são bem superiores a 93°C. As temperaturas do asfalto usado nessas áreas comumente excedem 149°C. Tubulações e superfícies expostas podem causar queimaduras no corpo mesmo em contatos rápidos – 65°C ou mais. Além disso, podem existir riscos semelhantes em outras áreas; junto a secadores, casas de caldeiras, áreas de recepção e manuseio do asfalto, e locais semelhantes.

Portanto:

- Tenha cuidado com os riscos de queimaduras no local de trabalho.
- O perigo de queimaduras deve ser nitidamente indicado por sinais de advertência.
- Use roupas que dêem proteção adequada.
- Siga os procedimentos adequados de segurança. Utilize os passadiços, guarda-fogos, cercas, e anteparos como proteção contra o vapor, asfalto quente, superfícies quentes e perigos semelhantes.

Só entre num tanque vazio se este estiver bem ventilado e expurgado de emanções do asfalto. É aconselhável para evitar que não se perca consciência por falta de oxigênio que haja sempre uma outra pessoa nas proximidades como observador.

Sempre que alguém se acidentar pela exposição às emanções do asfalto ou ao asfalto quente, deve-se assegurar atenção imediata de primeiros socorros e assistências médica. Caso o asfalto quente fique em contato com a pele, deve-se imergir a parte afetada em água fresca. Não tente limpar o asfalto quente com um pano pois se poderá arrancar a pele junto com o asfalto. A fim de prevenir complicações médicas futuras, deve a vítima ser examinada por um médico, mesmo que o ferimento não aparente ser sério.

Sob o ponto de vista da segurança, recomenda-se estocar o asfalto à temperatura bem abaixo do ponto de fulgor. Contudo, deve-se reconhecer que os valores obtidos no ensaio de ponto de fulgor são válidos para os procedimentos de ensaio empregados e não são necessariamente representativos de atmosferas ocupadas por vapor na estocagem.

A Tabela 2.12 apresenta as temperaturas de estocagem recomendadas para vários tipos e graus de asfalto. São diretrizes sem pretensão de padrões rígidos, mas que indicam as temperaturas para a boa prática, inclusive a estocagem, o

Tabela 2.12 Temperaturas de Referência para Estocagem e Manuseio dos Produtos Asfálticos

Tipo e Grau	Especificação	Ponto de fulgor, temp. mínima °C (°F)	Temperatura de Estocagem °C(°F)
AC-2.5	AASHTO M226	163 (325)	160 (320)
AC-5	ASTM D 3381	177 (350)	166 (330)
AC-10		219 (425)	174 (345)
AC-20		232 (450)	177 (350)
AC-40		232 (450)	177 (350)
AR-1000	AASHTO M226	205 (400)	163 (325)
AR-2000	ASTM D 3381	219 (425)	168 (335)
AR-4000		227 (440)	177 (350)
AR-8000		232 (450)	177 (350)
AR-16000		238 (460)	177 (350)
Pen 40-50	AASHTO M20	232 (450)	177 (350)
Pen 60-70	ASTM D 946	232 (450)	177 (350)
Pen 85-100		232 (450)	177 (350)
Pen 120-150		219 (425)	177 (350)
Pen 200-300		177 (350)	168 (335)
MC-30	AASHTO M82	38 (100)	54 (130)
MC-70	ASTM D 2027	38 (100)	71 (160)
MC-250		66 (150)	91 (195)
MC-800		66 (150)	99 (210)
MC-3000		66 (150)	99 (210)
RC-70	AASHTO M81	- -	71 (160)
RC-250	ASTM D 2028	27 (80)	91 (195)
RC-800		27 (80)	99 (210)
RC-3000		27 (80)	99 (210)
SC-70		66 (150)	71 (160)
SC-250	ASTM D 2026	79 (175)	91 (195)
SC-800		93 (200)	99 (210)
SC-3000		107 (225)	99 (210)
Todos os graus de emulsões asfálticas	AASHTO M140 & 208 ASTM D 977 & 2397	- -	82 (180)
À prova de umidade	A AASHTO M 115	175 (350)	182 (360)
	B ASTM D 449	205 (400)	210 (410)
	C	205 (400)	218 (450)
Mat. de Imprimação	AASHTO M116	- -	54 (130)
	ASTM D 41	- -	54 (130)
Selagem Inferior	AASHTO M238 ASTM D 3141	218 (425)	232 (450)
Membrana	AASHTO M239 ASTM D 2521	218 (425)	232 (450)
"B-U Roofing"	I ASTM D 312	225 (437)	191 (375)
	II	225 (437)	218 (425)
	III	225 (437)	232 (450)
	IV	225 (437)	246 (475)
Fluxos Residuais	Fontes para industrias	260 (500)	177 (350)
		288 (550)	191 (375)

bombeamento e concordância na aplicação da regulamentação ambiental.

As temperaturas de estocagem na gama de 100 a 130°C são especialmente preocupantes. As temperaturas de estocagem devem ficar aquém de 100°C ou acima de 130°C. Particularmente, não se deve deixar que as temperaturas oscilem acima e abaixo do ponto de ebulição da água.

Capítulo 3

Agregados Minerais

Este capítulo focaliza os agregados, os quais formam a maior parte (de 90 a 95% em peso) de toda mistura asfáltica. O conhecimento aprofundado dos agregados ajuda a compreender suas relações com o asfalto. A descrição das características e propriedades dos agregados e de suas fontes ajuda também a compreensão da dosagem, construção e desempenho das misturas asfálticas.

Os métodos de determinação de proporções de agregados descritos neste capítulo são projetados para fornecer um meio de obter misturas com sucesso com um mínimo de soluções por tentativa-erro.

SEÇÃO 3.1 Agregados de Misturas Asfálticas

Introdução
Origem das Rochas
Fontes de Agregados
Propriedades dos Agregados

SEÇÃO 3.2 Análise de Agregados

Graduação
Densidade Relativa
Área Superficial

SEÇÃO 3.3 Cálculo de Combinação de Graduação

Introdução
Determinações de Combinações
Ajustes da Graduação

BIBLIOGRAFIA

1. Métodos de Dosagem de Concreto Asfáltico e Outros Tipos de Misturas a Quente ("Mix Design Methods for Asphalt Concrete and Other Hot-Mix Types"), MS-2, Asphalt Institute.
2. Causa e Prevenção do Descolamento em Pavimentos Asfálticos ("Cause and Prevention of Stripping in Asphalt Pavements"), ES-10, Asphalt Institute.
3. Wallace, H. A.; Martin, J.R., Engenharia de Pavimentos Asfálticos ("Asphalt Pavement Engineering"). McGraw-Hill, 1967.
4. Ritter, L.J.; Paquette, R.J., Engenharia Rodoviária ("Highway Engineering"). Ronald Press, 1967.

5. Anuário de Normas da ASTM; Solo e Rocha ("Annual Book of ASTM Standards; Soil and Rock") Sec. 4, vol. 04.08.
6. Especificações Normalizadas de Materiais rodoviários e Métodos de Amostragem e Ensaio rodoviários Parte II: Métodos de Amostragem e Ensaio ("Standard Specifications for Highway Materials and Methods of Sampling and Testing, Part II: Methods of Sampling and Testing"). Associação Americana de Funcionários Estaduais de Rodovias e Transportes ("The American Association of State Highway and Transportation Officials").

SOFTWARE DE COMPUTADOR

1. Análise de Misturas Asfálticas com Ajuda de Computador ("Computer-Assisted Asphalt Mixture Analysis – CAMA"), CP-6, Asphalt Institute.

3.1 – Agregados de Misturas Asfálticas

Introdução

A quantidade de agregado mineral em misturas asfálticas de pavimentação é geralmente de 90 a 95 por cento em peso e 75 a 85 por cento em volume. O agregado mineral é fundamentalmente responsável pela capacidade de suporte de cargas dos pavimentos; portanto, o desempenho dos pavimentos asfálticos é muito influenciado pelo agregado.

Tem-se definido o agregado mineral como todo material mineral inerte, resistente, usado nas misturas sob a forma de partículas ou fragmentos graduados. Inclui areia, pedregulhos, rocha britada, escória e pó-de-pedra.

Existem outras definições de agregado mineral que geralmente refletem a finalidade de sua aplicação. Por exemplo, a especificação D 8 da ASTM define o agregado: “um material granular de **composição** mineral, como a areia, pedregulho, conchas, escória e pedra britada, que misturado a um material cimentante constitui argamassas ou concreto ou, ainda, isoladamente é usado em camadas de base, lastros ferroviários, etc”.

Origem das Rochas

Não se pretende descrever nesta Seção, pormenorizadamente, a natureza das rochas matrizes, das quais provêm todos os agregados minerais. Uma breve discussão será apresentada pois o conhecimento da origem das rochas é importante para o entendimento da produção dos agregados minerais.

Todas as rochas podem classificar-se em três grandes grupos: sedimentares, ígneas e metamórficas (Figura 3.1). Estes grupos indicam o modo como se formam as rochas.

Rochas Sedimentares

As rochas sedimentares são formadas pelo acúmulo de sedimentos na água ou depositados pelo vento. O sedimento pode consistir numa rocha ou fragmentos minerais de partículas de vários tamanhos (conglomerado, arenito, folhelho); restos ou produtos de animais e plantas (alguns calcários e carvão); produtos da ação química ou evaporação (sal, gipsita); ou misturas desses materiais. Alguns depósitos sedimentares consistem de partículas lançadas por vulcões e depositadas na terra ou na água. Uma feição característica dos depósitos sedimentares é a estrutura estratificada. Esta resulta diretamente do método de formação, por ter sido o material depositado num lago ou no fundo do mar.

Classe	Tipo	Família
Sedimentar	Calcário	Calcário Dolomita
	Silício	Folhelho Arenito Sílex Conglomerado ¹ Brecha ¹
Ígneo	Intrusivo (textura grossa)	Granito ² Sienito ² Diorito ² Gabro Peridoto Piroxenito Hornblendito
	Extrusivo (textura fina)	Obsidiana Púmice Tufo Riolito ^{2,3} Traquito ^{2,3} Andesito ^{2,3} Basalto ² Diabásio
Metamórfico	Foliáceo	Gnaisse Xisto Anfibolito Ardósia
	Não Foliáceo	Quartzito Mármore Serpentinita

¹ Pode, também, ser composta parcial ou inteiramente de materiais calcários.

² Ocorre, frequentemente, como rocha porfírica.

³ Incluído no termo geral "felsito" quando os minerais constituintes não podem ser determinados quantitativamente.

Figura 3.1 Diferentes Classes de Agregados

As rochas ígneas formam-se pelo resfriamento e solidificação do material fundido quente (magma) expelido ou intrusivo na crosta terrestre. Divide-se em rochas extrusivas e intrusivas. As rochas extrusivas são formadas pelo material derramado na superfície terrestre, tal como resultante da atividade vulcânica, e se distinguem,

em geral, por sua estrutura próxima da vítrea (riolito, andesito, basalto, etc.). As rochas intrusivas são formadas por resfriamento e solidificação a grandes profundidades no interior da crosta terrestre. Têm textura totalmente cristalina (granito, diorito, gabro, etc.). Embora, originalmente formados sob a superfície terrestre, estão muitas vezes expostos como resultado de movimentos terrestres e processos de erosão.

Rochas Metamórficas

As rochas metamórficas formam-se geralmente pela modificação de rochas sedimentares e ígneas como resultado de pressões elevadas produzidas por intensos movimentos terrestres, e por calor e solubilizações excessivas. Os fatores causadores desta modificação são complexos, sendo difícil, freqüentemente, determinar a forma original da rocha que se alterou. Um aspecto distinto das rochas metamórficas são os planos paralelos em que se arrumam os minerais da rocha. Este arranjo chama-se folheação. Estes planos são zonas de fraqueza segundo as quais pode-se partir as rochas muito mais facilmente do que em outras direções. São exemplos de rochas foliáceas os gnaisses e os xistos (transformação de rocha ígnea) e as ardósias (transformação do folhelho). Os mármore (transformação do calcário) e quartzito (transformação do arenito) são tipos comuns de rochas metamórficas de textura maciça, usualmente sem folheação.

Fontes de Agregados

Os agregados de pavimentação asfáltica são geralmente classificados conforme sua fonte e o modo de preparação. Incluem agregados corridos de escavações e terraços, agregados processados e agregados sintéticos ou artificiais.

Materiais Corridos de Escavação e Terraço

O pedregulho e a areia são agregados naturais e tipicamente materiais corridos de escavações e terraços. O pedregulho define-se usualmente como constituído de partículas de tamanho entre 75 mm (3 pol) e 4,75 mm (nº 4). A areia compreende partículas na gama de 4,75 mm (nº 4) e 75 µm (nº 200). A parte de dimensões inferiores a 75 µm (nº 200) inclui a fração silte.

As rochas expostas são erodidas e degradadas por vários processos naturais, tanto físicos como químicos. Os produtos da degradação são usualmente transportados pelo vento, pela água e pelo gelo em movimento, e depositados como mineral de solo sob várias formas de terreno.

Os pedregulhos distribuem-se amplamente, porém os depósitos quase sempre têm certa proporção de areia e mesmo silte. Os solos arenosos têm freqüentemente um pouco de argila e silte. Areias de praia, algumas bem para o interior, atualmente, são materiais de tamanho uniforme, porém as areias de rio contém, freqüentemente, grandes quantidades de pedregulho, silte e argila.

Os agentes de transporte também influenciam a forma das partículas. Matácões e seixos arredondados encontrados nos depósitos de áreas de glaciação constituem

um exemplo. Outro exemplo é o das partículas arredondadas de pedregulhos e areias nos cursos de água.

Os depósitos de pedregulhos e areia são usualmente peneirados no tamanho adequado e lavados para remover a terra antes de utilizá-los em pavimentação.

Agregados Processados

Os agregados processados incluem pedregulho natural e pedra britada e peneirada. Às vezes brita-se o pedregulho natural a fim de torná-lo mais adequado às misturas asfálticas de pavimentação. A britagem (esmagamento) tipicamente traz melhoria à forma das partículas arredondadas tornando-as mais angulares na forma e melhora a distribuição e gama de tamanho de partículas.

A brita graduada resulta da britagem de fragmentos de rocha matriz ou de matações, em que todas as partículas de agregado têm faces provenientes da fratura. Para a produção de brita, pedaços inteiriços de rocha são partidos da pedreira por ação de explosivos e, a seguir, reduzidos de tamanho nos britadores. Os produtos britados são peneirados para alcançar os tamanhos de agregados desejados. Às vezes, por razões de economia, o produto britado é utilizado tal como sai do britador com pouco ou nenhum peneiramento. É o que se conhece como agregado de "brita corrida", que pode ser utilizado satisfatoriamente, em muitos casos, na pavimentação asfáltica, de preferência se a graduação das partículas for razoavelmente distribuída.

Ao se processar a britagem do calcário, o pó de pedra produzido na britagem é separado, usualmente, do outro material britado de 6 mm ou mais de diâmetro. Este material tanto pode ser usado como areia britada ou reduzido ainda mais até o diâmetro máximo de 0,6 mm e usado como filer mineral nas misturas asfálticas de pavimentação.

Agregados Sintéticos ou Artificiais

Os agregados que resultam da modificação dos materiais por processos tanto de natureza física como química, são às vezes chamados de agregados sintéticos ou artificiais. Podem ser subprodutos no beneficiamento de minérios ou especialmente produzidos ou processados de materiais brutos para uso final como agregados.

A escória de alto-forno é o agregado artificial mais comumente usado. É o subproduto da fundição do minério de ferro no alto-forno. É não-metálico e flutua na massa de ferro fundido, de onde é retirado a intervalos. Seu tamanho é diminuído seja por resfriamento brusco na água ou por britagem após resfriamento ao ar.

Os agregados manufaturados são relativamente novos na pavimentação asfáltica. São leves, via de regra, e têm resistência ao desgaste acima do usual. Têm muitas vezes a preferência na pavimentação de tabuleiros de pontes e de terraços de prédios e nas camadas superficiais de pavimentos em que se requer alto grau de resistência à derrapagem. Estes agregados são manufaturados por calcinação a partir de argila, folhelho, ardósia, terra diatomácea processada, vidros vulcânicos, escória expandida e outros materiais semelhantes. São produzidos e negociados sob vários nomes comerciais.

Propriedades dos Agregados

A escolha de um agregado para uso num pavimento asfáltico depende da disponibilidade, custo e qualidade do material, assim como do tipo de construção pretendida. A adequação dos agregados para uso em construção asfáltica é determinada pela avaliação do material quanto ao seguinte:

1. Tamanho e graduação
2. Limpeza
3. Rigidez
4. Textura superficial
5. Forma das partículas
6. Absorção
7. Afinidade pelo asfalto

Tamanho e Graduação

O tamanho máximo de um agregado corresponde à menor malha de peneira pela qual passa 100 por cento do material. O tamanho máximo nominal é o da malha da maior peneira em que algum agregado fica (ou se permite que fique) retido.

O tamanho máximo e graduação do agregado são sempre sujeitos à prescrição de especificações sobre a distribuição granulométrica para determinado agregado mineral. A espessura de espalhamento mínima de uma mistura asfáltica a quente está relacionada ao tamanho máximo de agregado. A Figura 3.2 ilustra uma especificação típica de tamanho e graduação de um agregado para camada superficial de concreto asfáltico. Os agregados são às vezes descritos quanto à sua graduação, por exemplo: (a) graduação densa, (b) graduação aberta, (c) de tamanho único, (d) graduação grossa, (e) graduação fina, (f) graduação descontínua.

Limpeza

Alguns agregados contêm certas substâncias estranhas e nocivas que os tornam impróprios em misturas asfálticas de pavimentação, a menos que esta matéria estranha seja reduzida. As especificações para estes agregados normalmente têm um item em que se indica quais são as substâncias nocivas e a quantidade permitida de cada uma. São tipicamente condenáveis: vegetais, folhelhos, partículas moles, torrões de argila e películas de argila na cobertura de partículas de agregado graúdo.

Muitas vezes é possível determinar a limpeza dos agregados por inspeção visual, mas o peneiramento com lavagem costuma ser uma prova cabal. O ensaio de equivalência de areia, desenvolvido pela Divisão de Estradas da Califórnia, descrito nas especificações ASTM D 2419 (AASHTO T 176) permite determinar a proporção de pó fino e material argiloso nocivos, na fração de agregado que passa na peneira de 4,75 mm ($n^{\circ} 4$).

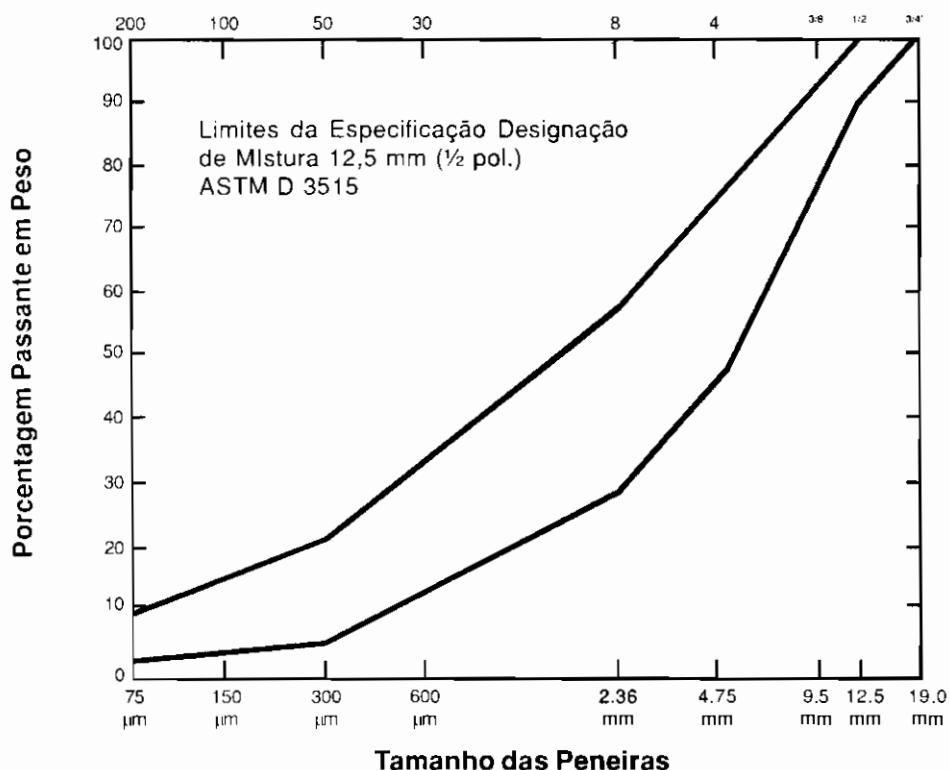


Figura 3.2 Curva de Graduação de Combinação de Agregados para uma Camada de Revestimento de Concreto Asfáltico

Rigidez

Os agregados estão sujeitos a esforços adicionais de esmagamento e abrasão durante a fabricação, espalhamento e compactação das misturas asfálticas. Os agregados também estão sujeitos à abrasão sob a ação das cargas do tráfego. Espera-se que tenha, em certo grau, a capacidade de resistir a esmagamento, degradação e desintegração. Os agregados na superfície do pavimento devem ter rigidez maior do que os situados em camadas inferiores cujas pressões são menores ou menos concentradas.

O ensaio de abrasão Los Angeles mede o desgaste ou a resistência à abrasão do agregado mineral. O equipamento e os procedimentos deste ensaio estão descritos nas especificações ASSHTO T 96 e ASTM C 131. A máquina de abrasão está representada na Figura 3.3 de pavimentos asfálticos. Os agregados de maior perda por abrasão, dentro de certos limites, podem ser usados em camadas mais profundas onde não estarão sujeitos às tensões elevadas causadas pelo tráfego.

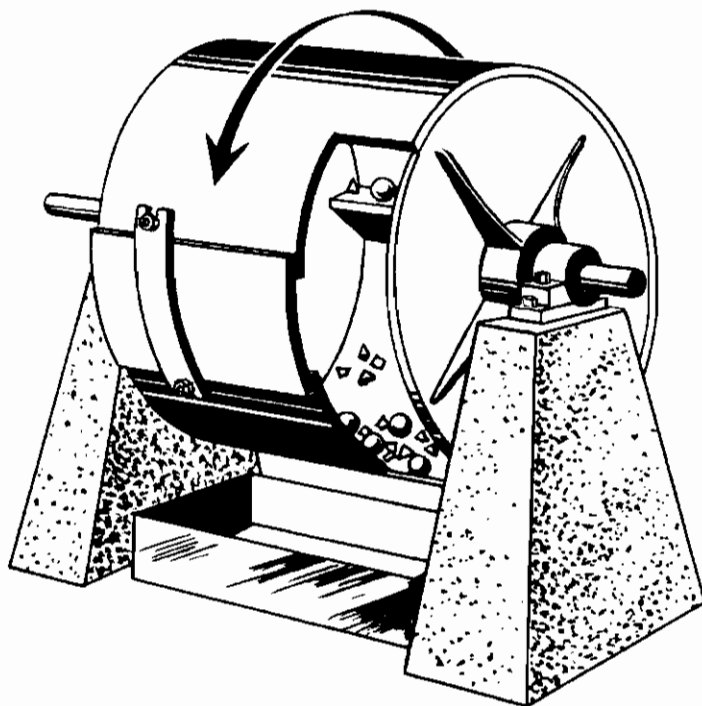


Figura 3.3 Máquina de Abrasão Los Angeles

Textura Superficial

Tal como a forma das partículas, a textura superficial também influi na trabalhabilidade e resistência das misturas asfálticas de pavimentação. A textura superficial tem sido considerada muitas vezes mais importante do que a forma das partículas do agregado. Comparada à superfície lisa, a textura superficial do tipo lixa, rugosa, tende a aumentar a resistência da mistura asfáltica e exige asfalto adicional para compensar a perda de trabalhabilidade. Os vazios no agregado mineral compactado também são, usualmente, maiores, o que resulta em espaço adicional para o asfalto.

Os pedregulhos naturais como os de rio têm, freqüentemente, uma textura superficial lisa e, também, partículas arredondadas. Por britagem, contudo, produz-se freqüentemente a textura superficial rugosa (principalmente na face produzida pela fratura) e modificações na forma das partículas. Os agregados de superfície lisa podem ser mais facilmente recobertos por uma película de asfalto, porém o asfalto adere mais prontamente quando o agregado é de superfícies rugosas.

Não existe um método estabelecido de medição da textura superficial, porém, assim como a forma das partículas, esta característica reflete-se nos ensaios de resistência e na trabalhabilidade de muitas misturas asfálticas.

Forma das Partículas

A forma das partículas modifica a trabalhabilidade da mistura de pavimentação e, também, o esforço de compactação necessário para obter a densidade especificada. A forma das partículas também influi na resistência da mistura asfáltica. As partículas irregulares ou angulares, tais como as de pedra e pedregulho britados, e alguns pedregulhos e areias naturais, tendem ao entrosamento quando compactados e a resistir ao deslocamento. Obtém-se, geralmente, o melhor entrosamento quando as partículas têm forma cúbica e arestas bem definidas; o pior entrosamento dá-se nas partículas arredondadas.

As partículas arredondadas, como as da maioria dos pedregulhos naturais e areias de leitos de rios, têm sido usadas com êxito nas misturas asfálticas de pavimentação. Entretanto, sendo possível obter densidades maiores com agregados de partículas arredondadas, a quantidade de asfalto na mistura é usualmente um fator mais crítico nas misturas densamente graduadas.

Muitas misturas asfálticas contêm tanto partículas angulares como arredondadas. A fração de agregado graúdo é usualmente, pedra britada ou pedregulho britado, e a fração fina é, usualmente, areia natural (partículas arredondadas) ou pedriscos. Estas misturas dependem principalmente do agregado britado para a resistência e de partículas arredondadas de areia para a trabalhabilidade e facilidade de compactação.

É possível, geralmente, tornar as misturas asfálticas mais estáveis e resistentes ao afundamento de trilha de roda, especificando-se que parte significativa (i.e. 50%) do agregado graúdo seja britado e angular.

Absorção

A porosidade de um agregado é geralmente indicada pela quantidade de água que absorve quando embebido na água. O agregado poroso também absorve asfalto o que resulta numa mistura asfáltica seca ou menos coesiva.

Deve-se incorporar uma quantidade adicional de asfalto, na mistura asfáltica, a fim de compensar a absorção de asfalto pelo agregado. Além do mais, os agregados muito porosos costumam exigir uma quantidade significativa de asfalto adicional para levar em conta o alto teor de absorção. Os agregados muito porosos não são usados normalmente a não ser que possuam algumas qualidades ou propriedades adicionais que os tornem aceitáveis apesar da elevada absorção. A escória de alto-forno e vários agregados sintéticos ou fabricados são agregados leves, também muito porosos. A baixa densidade das partículas e a alta resistência à abrasão sobrepujam, freqüentemente, as altas taxas de absorção na utilização em pavimentação.

Afinidade pelo Asfalto

O descolamento da película de asfalto do agregado pela ação da água, pode tornar um agregado impróprio para misturas asfálticas de pavimentação. Diz-se ser hidrofílico (avidez por água). Os agregados silícicos como o quartzito e alguns granitos são exemplos de agregados que podem exigir atenção do ponto de vista do descolamento.

Os agregados que apresentam um alto grau de resistência ao descolamento da película na presença de água são geralmente adequados a misturas asfálticas de pavimentação.

Diz-se serem hidrofóbicos (aversão à água). O calcário, dolomita e basalto são usualmente resistentes ao descolamento da película de asfalto.

Por que razão os agregados são hidrofóbicos ou hidrofílicos não há compreensão completa. A explicação não é tão importante quando a capacidade de detectar suas propriedades e evitar a utilização de agregados propensos ao descolamento do asfalto.

Descreve-se nas especificações ASTM D 1664 um método de ensaio para a determinação da cobertura e descolamento das misturas de asfalto e agregado. A mistura não compactada é embebida na água e as partículas recobertas são avaliadas visualmente. Outro ensaio comumente conhecido como de imersão-compressão, está descrito em ASTM D 1075 e AASHTO T 165. Compara-se a resistência de uma mistura asfáltica compactada, de pavimentação, após embebição na água, com a de um corpo-de-prova que não foi embebido. A redução de resistência dá uma indicação da qualidade do agregado do ponto de vista da resistência ao descolamento na água. A porcentagem de resistência mantida que se exige é estabelecida pela organização usuária.

Entre outros métodos de ensaio estão o procedimento Lottman da AASHTO T 283, o procedimento Root-Tunnicliff descrito no Relatório 274 do Programa Nacional Cooperativo de Pesquisa Rodoviária dos EUA e o ensaio expedito de fervura da ASTM D 3625.

Quando agregados impróprios ou duvidosos têm que ser usados, isto pode ocorrer muitas vezes de forma satisfatória quando se consegue alcançar uma relação densidade-vazios adequada através do ajuste da graduação e do cimento asfáltico. Pode-se ajustar a graduação do material duvidoso misturando-o a outros agregados. Então, selecionando-se o teor de asfalto apropriado de modo a diminuir os vazios, o pavimento compactado será mais impermeável. Estes pavimentos tornam-se mais resistentes aos efeitos deletérios da água.

Dispõe-se de certo número de aditivos melhoradores de adesividade que melhoram a resistência à água. Além disto, a cal hidratada pode ser usada com a mesma finalidade.

Informações adicionais podem ser encontradas na publicação ES-10 do Asphalt Institute: *Causa e Prevenção do Descolamento em Pavimentos Asfálticos* ("Cause and Prevention of Stripping in Asphalt Pavements").

3.2. Análise de Agregados

Gradação

A gradação do agregado é a distribuição dos tamanhos de partículas expressa em porcentagem do peso total. A gradação obtém-se fazendo passar o material através de uma série de peneiras empilhadas e de aberturas progressivamente menores, e pesando-se o material retido em cada peneira (Figura 3.4). Os tamanhos de peneiras mais usadas em geral na análise granulométrica dos agregados de misturas asfálticas de pavimentação, estão na Tabela 3.1, embora nem todos os tamanhos sejam necessariamente usados em cada especificação de gradação.

Tabela 3.1 Dimensões Nominais das Peneiras Padronizadas Americanas

DESIGNAÇÃO DE PENEIRA		ABERTURA DE PENEIRA	
PADRÃO	ALTERNATIVA	mm	pol.
38,1 mm	1 1/2-pol.	38.1	1.50
25,0 mm	1 - in.	25.0	1.00
19,0 mm	3/4-pol.	19.0	0.750
12,5 mm	1/2-pol.	12.5	0.500
09,5 mm	3/8-pol.	9.5	0.375
4,75 mm	Nº 4	4.75	0.187
2,36 mm	Nº 8	2.36	0.0937
1,18 mm	Nº 16	1.18	0.0469
600 µm	Nº 30	0.600	0.0234
300 µm	Nº 50	0.300	0.0117
150 µm	Nº 100	0.150	0.0059
75 µm	Nº 200	0.075	0.0029

As especificações de gradação de agregados foram desenvolvidas porque havia necessidade de: (a) controlar os materiais de construção para obter um pavimento adequado e de qualidade; (b) obter a utilização ótima de materiais locais disponíveis, e (c) reduzir custos pela padronização dos tamanhos. As especificações de gradação são cuidadosamente estabelecidas por repartições federais, estaduais e locais, e por associações industriais. A gradação de um agregado pode ser expressa como o percentual total passante, percentual total retido ou o percentual passante-retido.

Os tamanhos de peneiras a utilizar estão indicados nas especificações impostas. A determinação das percentagens em peso obtidas pela análise de peneiramento está ilustrada na Figura 3.5. As gradações são usualmente expressas com base no percentual total passante, que indica o percentual total de agregado em peso que passa em cada uma das peneiras. O percentual total retido é apenas o oposto: percentual total em peso retido em cada uma das peneiras. A porcentagem passante-retida, de dois tamanhos sucessivos de peneiras ou porcentagem individual de cada tamanho, indica o percentual retido em peso em cada peneira na análise por peneiramento.

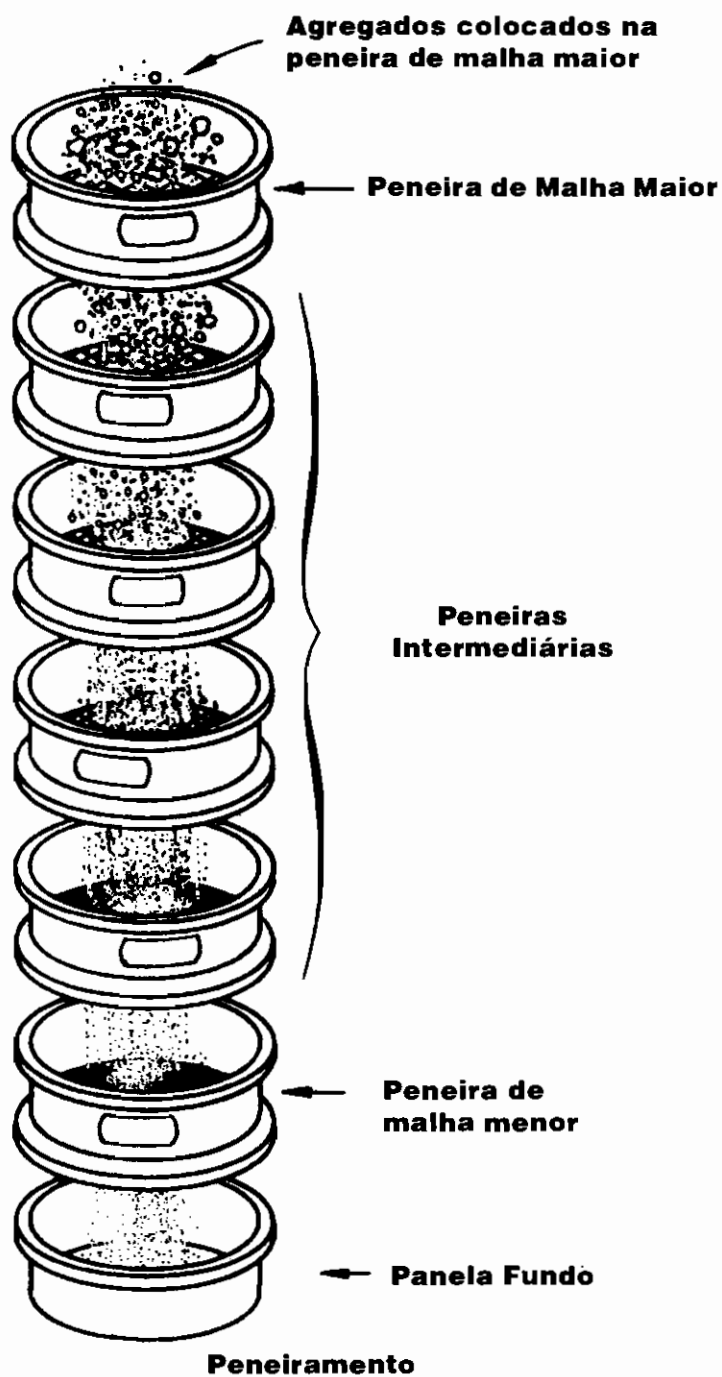


Figura 3.4 Análise por Peneiramento

Alguns termos descritivos que se utilizam em relação à graduação de agregados são os seguintes:

- Agregado graúdo, todo o material retido na peneira de 2,36 mm (nº 8).
- Agregado miúdo, todo o material que passa na peneira de 2,36 mm (nº 8)
- Filer mineral, agregado fino, pelo menos 70 por cento do mesmo passante na peneira de 75 μm (nº 200).

Especificações de Tamanho de Agregado

Todas as especificações de pavimentos asfálticos de mistura a quente estabelecem que as partículas de agregado estejam dentro de uma gama de tamanhos e que cada tamanho de partícula esteja presente em certa proporção. A distribuição dos vários tamanhos de partículas do agregado usado é conhecida como graduação do agregado ou graduação da mistura. A fim de determinar se uma graduação de agregado satisfaz ou não as especificações é preciso compreender como se procede à medição do tamanho das partículas e da graduação.

Tamanho das Peneiras	Retido cada Peneira (g)	Passante cada Peneira (g)	Porcentagem Passante Total	Porcentagem Retida Total	Porcentagem, Passante - Retida*
19,0 mm (¾ -pol)	0	1135	100	0	5
12,5 mm (½ -pol)	56	1079	95	5	15
9,5 mm (⅜ -pol)	171	908	80	20	23
4,75 mm (Nº 4)	262	646	57	43	18
2,36 mm (Nº 8)	203	443	39	61	16
0,60 mm (Nº 30)	182	261	23	77	6
0,30 mm (Nº 50)	68	193	17	83	5
0,15 mm (Nº 100)	57	136	12	88	4,5
0,075 mm (Nº 200)	51	85	7,5	92,5	7,5
Panela (Fundo)	85				

Total = 1135

* Passante na peneira designada, retido na peneira menor seguinte

Figura 3.5 Dados de Análise por Peneiramento Convertidos em Graduação do Agregado.

Porque as especificações indicam o tamanho máximo de partículas de cada agregado usado, o tamanho das partículas maiores na amostra deve ser determinado. Existem duas designações de tamanho máximo de partícula:

- Tamanho nominal máximo de partícula, especificada como tamanho de peneira maior do que a primeira peneira que retêm mais de 10 por cento de uma série padronizada de peneiras.
- Tamanho máximo de partícula, definida como a peneira de tamanho imediatamente maior que o tamanho nominal máximo de partículas. Tipicamente, esta será a menor peneira através da qual passa 100 por cento de partículas do agregado.

A fim de ilustrar a diferença destas duas designações, considere este exemplo:

Uma amostra de agregado a ser usado numa mistura de pavimentação é submetida a uma análise por peneiramento. A peneira de 19 mm captura 4 por cento das partículas de agregado. A peneira de 12,5 mm, situada logo abaixo da peneira de 19 mm, captura ao todo 18 por cento das partículas de agregado. Neste caso, o tamanho nominal máximo é 19 mm e o diâmetro máximo é 25 mm.

Classifica-se a mistura asfáltica tanto pelo seu tamanho máximo como pelo tamanho máximo nominal. Portanto, de acordo com o tamanho máximo do agregado, descrito no exemplo, tem-se uma mistura designada de 25 mm; de acordo com seu tamanho nominal máximo, a mistura seria designada de 19 mm.

Os números de peneira e tamanhos mais empregados em graduação de agregados para misturas asfálticas de pavimentação estão mostrados na Figura 3.6.

Tamanho de Peneira	<i>Designação da Mistura e Tamanho Nominal Máximo do Agregado</i>				
	37,5 mm (1½ - pol)	25,0 mm (1 - pol)	19,0 mm (¾ - pol)	12,5 mm (½ - pol)	9,5 mm (3/8 - pol)
Porcentagem Passante Total (em peso)					
50 mm (2 - pol)	100	-	-	-	-
37,5 mm (1½ - pol)	90 a 100	100	-	-	-
25,0 mm (1 - pol)	-	90 a 100	100	-	-
19,0 mm (¾ - pol)	56 a 80	-	90 a 100	100	-
12,5 mm (½ - pol)	-	56 a 80	-	90 a 100	100
9,5 mm (3/8 - pol)	-	-	56 a 80	-	90 a 100
4,75 mm (Nº 4)	23 a 53	29 a 59	35 a 65	44 a 74	55 a 85
2,36 mm (Nº 8)*	15 a 41	19 a 45	23 a 49	28 a 58	32 a 67
1,18 mm (Nº 16)	-	-	-	-	-
0,60 mm (Nº 30)	-	-	-	-	-
0,30 mm (Nº 50)	4 a 16	5 a 17	5 a 19	5 a 21	7 a 23
0,15 mm (Nº 100)	-	-	-	-	-
0,075 mm (Nº 200)**	0 a 5	1 a 17	2 a 8	2 a 10	2 a 10
Cimento Asfáltico, Porcentagem em Peso da Mistura Total***	3 a 8	3 a 9	4 a 10	4 a 11	5 a 12
Números de Tamanho Sugeridos para os Agregados Graúdos (ver Figura 3.7)					
	4 e 67 ou 4 e 68	5 e 7 ou 57	67 ou 68 ou 6 e 8	7 ou 78	8

*Quando se consideram características de graduação total de uma mistura asfáltica de pavimentação, a quantidade passante na peneira de 2,36 mm (nº 8) é um ponto de controle de campo significativo e conveniente entre o agregado miúdo e graúdo. Quando as graduações se aproximam do valor máximo permitido passante na peneira de 2,36 mm (nº 8) resultarão revestimentos de textura comparativamente fina, enquanto que as graduações que se aproximam do valor mínimo passante na peneira de 2,36 mm (nº 8) resultarão revestimentos de textura comparativamente grossa.

**Q material passante na peneira de 0,075 mm (nº 200) pode ser constituído de partículas finas de agregado ou de filler mineral, ou de ambos. Deve estar isento de matéria orgânica e de partículas de argila e seu índice de plasticidade não pode ser superior a 4 quando ensaiado de acordo com ASTM – Métodos D 423 e D 424.

***A quantidade de cimento asfáltico é dada em termos de porcentagem em peso da mistura total. A ampla diferença de densidade relativa dos vários agregados, assim como a diferença considerável de absorção, resulta numa gama comparativamente grande das quantidades limites especificados do cimento asfáltico. A quantidade de asfalto necessário para uma dada mistura deve ser determinada em ensaios de laboratório apropriados ou com base na experiência anterior com misturas semelhantes, ou por uma combinação dos dois.

Figura 3.6 Composições Típicas de Concreto Asfáltico

Quantidades mais finas do que cada peneira de Laboratório (Malha Quadrada), porcentagem em peso																
Número do tamanho	Tamanho Nominal, Malha Quadrada	100- mm (4-in)	90- mm (3 1/2-in)	75- mm (3-in)	63- mm (2 1/2-in)	50- mm (2-in)	37.5- mm (1 1/2-in)	25.0- mm (1-in)	19.0- mm (3/4-in)	12.5- mm (1/2-in)	9.5- mm (3/8-in)	4.75- mm (No 4)	2.36- mm (No 8)	1.18- mm (No 16)	300- µm (No 50)	150- µm (No 100)
1	90 to 37.5-mm (3 1/2 to 1 1/2-in.)	100	90 to 100	...	25 to 60	...	0 to 15	...	0 to 5	...	...	...	...	...	...	...
2	63 to 37.5-mm (2 1/2 to 1 1/2-in.)	...	100	90 to 100	35 to 70	0 to 15	...	0 to 5	...	...	...	...	...	...	...	...
24	63 to 19.0-mm (2 1/2 to 3/4-in.)	...	100	90 to 100	...	25 to 60	0 to 10	0 to 5	...	...	...	...	...	...	...	...
3	50 to 25.0-mm (2 to 1-in.)	...	...	100	90 to 100	35 to 70	0 to 15	...	0 to 5	...	...	...	...	...	...	...
357	50 to 4.75-mm (2-in. to No. 4)	...	100	95 to 100	...	35 to 70	...	10 to 30	...	0 to 5	...	...	...	...	...	...
4	37.5 to 19.0-mm (1 1/2 to 3/4-in.)	...	...	100	90 to 100	...	20 to 55	0 to 15	...	0 to 5	...	...	...	...	...	...
467	37.5 to 4.75-mm (1 1/2 to No. 4)	...	...	100	95 to 100	...	35 to 70	...	10 to 30	0 to 5	...	...	...	...	...	...
5	25.0 to 12.5-mm (1 to 1/2-in.)	...	...	...	...	100	90 to 100	20 to 55	0 to 10	0 to 5	...	...	...	...	...	...
56	25.0 to 9.5-mm (1 to 3/8-in.)	...	...	...	...	100	90 to 100	40 to 75	15 to 35	0 to 5	0 to 5	...	...	...	...	...
57	25.0 to 4.75-mm (1-in. to No. 4)	...	...	...	...	100	95 to 100	...	25 to 60	...	0 to 10	0 to 5	...	...	...	...
6	19.0 to 9.5-mm (3/4 to 3/8-in.)	...	...	...	...	...	100	90 to 100	20 to 55	0 to 5	0 to 5	...	...	...	...	...
67	19.0 to 4.75-mm (3/4-in. to No. 4)	...	...	...	...	...	100	90 to 100	...	20 to 55	0 to 5	0 to 5	...	...	...	...
68	19.0 to 2.36-mm (3/4-in. to No. 8)	...	...	...	...	...	100	90 to 100	...	30 to 65	5 to 25	0 to 10	0 to 5	...	...	...
7	12.5 to 4.75-mm (1/2-in. to No. 4)	...	...	...	...	...	100	90 to 100	...	90 to 100	40 to 70	0 to 15	0 to 5	...	...	...
76	12.5 to 2.36-mm (1/2-in. to No. 8)	...	...	...	...	...	100	90 to 100	...	100	85 to 100	10 to 30	0 to 10	0 to 5	...	...
8	9.5 to 2.36-mm (3/8-in. to No. 8)	...	...	...	...	...	...	...	...	100	90 to 100	20 to 55	5 to 30	0 to 10	0 to 5	...
89	9.5 to 1.18-mm (3/8-in. to No. 16)	...	...	...	...	...	...	...	...	100	85 to 100	10 to 40	0 to 10	0 to 5	...	...
9	4.75 to 1.18-mm (No. 4 to No. 16)	...	...	...	...	...	...	...	...	...	100	85 to 100	10 to 40	0 to 10	0 to 5	...
10	4.75-mm (No. 4 to 0 ¹)	...	...	...	...	...	...	...	...	...	100	85 to 100	10 to 40	0 to 10	0 to 5	10 to 30

Figura 3.7 Tamanhos padronizados de Agregados Graúdos.

Amostragem

Os resultados da análise por peneiramento devem, evidentemente, refletir a condição e as características de todo o agregado do qual se obteve a amostra. A não ser que a amostra seja verdadeiramente representativa, o exame dos ensaios feitos com a amostra aplica-se tão-somente à amostra e não à remessa total ou ao monte de agregado acumulado. A acurácia da amostragem é, portanto, tão importante quanto a acurácia nos ensaios.

Deve-se tomar muito cuidado na obtenção de uma amostra realmente representativa dos depósitos de agregados fino e grosso. No material depositado ocorre, geralmente, a segregação, em que as partículas mais grossas rolam até a base do depósito. Quando se trata de amostrar areia de um depósito é necessário, usualmente, remover apenas a camada seca onde ocorre segregação e amostrar o material úmido subjacente.

Quando se procede a amostragem de agregado graúdo de depósitos, as amostras devem ser retiradas do topo, base e posição intermediária, ou próximo a essas posições. Deve-se empurrar uma tábua logo acima da área de amostragem para evitar mais segregação durante a amostragem. Os depósitos de agregado miúdo podem ser amostrados com tubo amostrador de 30 mm de diâmetro e 2 m de comprimento. As especificações ASTM D 75 e AASHTO T 2 apresentam descrições de procedimentos de amostragem. Quando for possível, as amostras de agregados devem ser obtidas de uma correia transportadora e alimentadora visto serem estas amostras mais representativas do que as do depósito.

O peso de amostra necessário para a análise granulométrica baseia-se no tamanho máximo de partícula do agregado; quanto maior o tamanho, tanto maior o peso de amostra necessário. Sugerem-se os seguintes pesos máximos de amostra dos diferentes tamanhos de agregados.

Tamanho Nominal Máximo de Agregado	Amostra kg (lb)
2,36 mm (nº 8)	10 (25)
4,75 mm (nº 4)	10 (25)
9,5 mm (3/8 pol)	10 (35)
12,5 mm (1/2 pol)	15 (35)
19,0 mm (3/4 pol)	25 (55)
25,0 mm (1 pol)	50 (110)
37,5 mm (1 1/2 pol)	75 (165)
50,0 mm (2 pol)	100 (220)

Análise por Peneiramento a Seco

A análise por peneiramento a seco e a análise por peneiramento com lavagem são dois métodos de determinação das proporções relativas dos vários tamanhos de partículas numa amostra de agregado. Os procedimentos padronizados de análise por peneiramento a seco são dados nas normas AASHTO T 27 e ASTM C 136. O procedimento da análise por peneiramento a seco vem, bastante resumido, a seguir:

1. As amostras para a análise por peneiramento são preparadas por métodos de quarteamento ou com um repartidor de amostras. As amostras de agregado miúdo reduzidas por quarteamento são primeiramente misturadas numa condição úmida.

2. Os agregados que contêm materiais graúdos e miúdos são separados em dois tamanhos pela peneira de 4,75 mm ($n^{\circ}4$).
3. Secam-se as amostras até peso constante.
4. Peneiram-se as amostras separadamente, usando-se um procedimento específico.
5. O peso das frações retidas em cada peneira e na panela de fundo são determinadas para verificar a graduação de cada amostra. No caso em que as frações fina e grossa processadas representem uma amostra, combinam-se as duas graduações na porcentagem que passa na peneira de 4,75 mm ($n^{\circ}4$).

Análise por Peneiramento com Lavagem

O ensaio de peneiramento a seco sozinho costuma ser suficientemente satisfatório para os ensaios de rotina de agregados normalmente graduados. Quando os agregados contêm pó muito fino ou argila, que fica agarrado às partículas graúdas de agregado, deve-se fazer a análise por peneiramento com lavagem. O procedimento é descrito com pormenores nas normas AASHTO T11 e ASTM C 117. Preparam-se as amostras da mesma forma que no peneiramento a seco, porém antes do peneiramento faz-se o seguinte:

1. Os pesos de amostra são determinados após secagem até peso constante.
2. A amostra dentro de um recipiente é imersa na água tendo um agente molhante.
3. O material no recipiente é agitado vigorosamente e a água de lavagem é vertida sobre as peneiras encaixadas e superpostas.
4. Repete-se a operação até que a água de lavagem esteja clara.
5. O material retido nas peneiras é reunido à amostra lavada e o agregado lavado é seco até peso constante.
6. Pesa-se o material, sendo que a perda de peso representa a quantidade de material que passa na peneira de 75 μm ($n^{\circ}200$).
7. A amostra lavada é peneirada pelo procedimento do peneiramento a seco.
8. Convertem-se os pesos em porcentagens, sem esquecer que o peso seco original antes da lavagem é o peso verdadeiro que deve corresponder a 100 %.

Densidade Relativa

Definições

A densidade relativa de um agregado é a razão do peso de uma unidade de volume do material para o peso do mesmo volume de água a 20 a 25°C. Existem três tipos de densidade relativa do agregado, a saber:

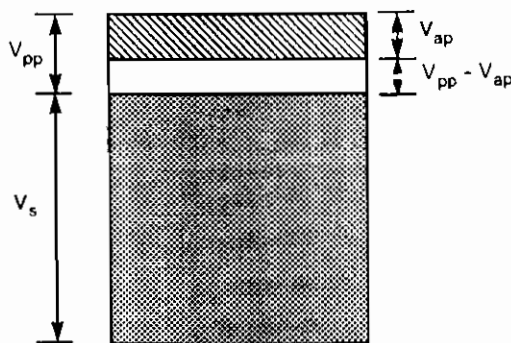
1. Densidade relativa real
2. Densidade relativa aparente
3. Densidade relativa efetiva.

Observando-se a Figura 3.8 a densidade relativa real considera o volume como sendo o do próprio agregado. Não inclui o volume de quaisquer poros ou capilares que são preenchidos pela água após embebição de 24 horas.

A densidade relativa aparente considera o volume total das partículas de agregado, inclusive os poros preenchidos pela água após embebição de 24 horas.

A densidade relativa efetiva considera o volume total do agregado excluindo o volume dos poros que absorvem asfalto, sendo, aproximadamente, a média das densidades relativas real e aparente.

Os poros com ar da camada de pavimento asfáltico compactado existem em toda a mistura como pequenas bolsas de ar entre as partículas de agregado cobertas de asfalto. A escolha da densidade relativa de um agregado, usado nos cálculos de misturas asfálticas, pode ter efeito considerável no cálculo da quantidade de poros ou vazios de ar do pavimento compactado. A densidade relativa que de fato tem o agregado na mistura depende do grau de absorção de asfalto pelo agregado. Quando se utiliza a densidade relativa real, supõe-se que o asfalto seja absorvido por todos os poros permeáveis à água. Se for a densidade relativa aparente, supõe-se que o asfalto não é absorvido pelos poros permeáveis à água. Exceto em casos raros nenhuma das duas densidades é a verdadeira. O conceito de densidade relativa efetiva é o que melhor se aproxima do valor correto, na determinação dos vazios de uma mistura asfáltica compactada de pavimentação. A densidade relativa aparente pode ser, contudo, utilizada, desde que se leve em conta o asfalto absorvido pelo agregado.



Peso de Agregado seco na estufa = W_s
 Massa específica da água, $\gamma_w = 1 \text{ g / cm}^3$

(Para simplificar, utilizam-se tipicamente medidas métricas nos cálculos)

- V_s = Volume de sólidos
- V_{pp} = Volume de poros permeáveis à água
- V_{pa} = Volume de poros que absorvem asfalto
- $V_{pp} - V_{pa}$ = Volume de poros permeáveis à água, que não absorvem asfalto.

$$\text{Densidade relativa real} = G_{so} = \frac{W_s}{V_s \cdot \gamma_w}$$

$$\text{Densidade relativa aparente} = G_{sb} = \frac{P_s}{(V_{pp} + V_s) \gamma_w}$$

$$\text{Densidade relativa efetiva} = G_{se} = \frac{P_s}{(V_s + V_{pp} - V_{ap}) \gamma_w}$$

Figura 3.8 Relações entre as Diferentes Densidades Relativas de uma Partícula de Agregado

Na combinação de agregados, as quantidades de agregados componentes podem exigir ajustes devido a densidades diferentes das partículas. Quando isto se faz necessário, utilizam-se, usualmente, as densidades relativas aparentes nos cálculos.

Determinações de Agregado Graúdo

A aparelhagem e os procedimentos de determinação da densidade relativa de agregados graúdos estão esboçados nas normas AASHTO T 85 e ASTM C 127. Esboça-se o método a seguir:

1. Cerca de 5 kg de agregado intensamente lavado retido na peneira de 4,75 mm (n° 4) é seco em estufa até peso constante.
2. Imerge-se a amostra seca na água por 24 horas.
3. Retira-se o agregado da água e seca-se a superfície das partículas até as películas visíveis de água serem removidas, embora as superfícies ainda pareçam úmidas.
4. Obtém-se o peso da amostra com a superfície enxugada como explicado no item anterior.
5. A amostra de partículas saturadas com a superfície enxugada é colocada numa cesta metálica e seu peso submerso na água é determinado.
6. Seca-se, então, a amostra em estufa até peso constante e anota-se o "peso".
7. As densidades relativas são calculadas como segue, onde:
 A = "peso" do agregado seco na estufa, g
 B = "peso" do agregado saturado de superfície enxugada, g, e
 C = "peso" do agregado submerso na água, g,

então:

$$\text{Densidade Relativa Real, } G_{sa} = \frac{A}{A-C} \quad (1)$$

$$\text{Densidade Relativa Aparente, } G_{sb} = \frac{A}{B-C} \quad (2)$$

$$\text{Absorção} = \frac{(B-A)100}{A} \quad (3)$$

Determinações de Agregado Miúdo

As aparelhagens e os procedimentos de determinação da densidade relativa real e da densidade relativa aparente dos agregados miúdos são pormenorizados nas normas AASHTO T 84 e ASTM C 128.

Esboça-se o método a seguir:

1. Cerca de 1000 g de agregado miúdo é seco em estufa até peso constante.
2. Imerge-se o material na água por 24 horas.
3. Espalha-se a amostra numa superfície plana que se expõe a uma corrente de ar quente, aplicada suavemente.
4. Atinge-se uma situação de agregado saturado de superfície seca, quando uma amostra de material levemente compactada num cone invertido cai quando este é retirado.
5. Coloca-se 500 g de amostra do material saturado de superfície seca num frasco. Este é, então, cheio de água segundo procedimento especificado e pesado.
6. Remove-se o agregado miúdo do frasco, seca-se na estufa até peso constante e, então, pesa-se o material.
7. Calculam-se as densidades relativas na forma que segue, sendo:
 - A = peso da amostra seca em estufa, g
 - B = peso do picnômetro preenchido com água, g
 - C = peso do picnômetro com a amostra e água até a marca de calibração, g

$$\text{Densidade relativa Real} = G_{sa} = \frac{A}{B+A-C} \quad (4)$$

$$\text{Densidade relativa Aparente} = G_{sb} = \frac{A}{B+500-C} \quad (5)$$

$$\text{Absorção} = \left(\frac{500-A}{A} \right) 100 \quad (6)$$

Densidade Relativa Efetiva

O procedimento de determinação da densidade relativa efetiva não é especificado pela AASHTO e a ASTM. Os dados obtidos na determinação da densidade relativa máxima de misturas asfálticas (ASTM D 2041) podem, entretanto, ser usados nos cálculos.

O procedimento envolve a mistura de quantidades conhecidas de agregado e asfalto, usando-se procedimentos de mistura conhecidos. Depois de esfriar a mistura, determina-se o volume absoluto do material, pesando a mistura primeiramente ao ar, a seguir submersa, e registrando a diferença de pesos.

A fórmula de cálculo da densidade relativa efetiva do agregado é a seguinte:

$$G_{se} = \frac{P_s}{\frac{P_{mix}}{G_{mm}} - \frac{P_b}{G_b}}$$

onde:

- P_s = percentagem de agregado no peso total da mistura
 P_b = percentagem de asfalto no peso total da mistura
 P_{mix} = peso da mistura, 100%
 $P_b + P_s = 100\%$
 G_{mm} = densidade relativa máxima da mistura determinada por ASTM D 2041
 G_b = densidade relativa do cimento asfáltico

O cálculo é visto mais pormenorizadamente na apresentação da dosagem de misturas asfálticas.

Área Superficial

Função

Na dosagem de misturas asfálticas pelo método de Hveem, o teor de asfalto é estimado a partir do método da área superficial. A teoria da área superficial exprime-se:

$$\text{Porcentagem de asfalto} = 100 A t \gamma_b$$

onde

A = área superficial do agregado em m^2/kg (pe^2/lb)

t = espessura da película de cobertura de asfalto, m (pé), e

γ_b = massa específica do asfalto, kg/m^3 ($lb/pé^3$)

Cálculos

O método de Hveem para a dosagem em laboratório de misturas asfálticas de pavimentação (descrito no Capítulo 4) faz uso do cálculo de área superficial e do ensaio de absorção, a fim de escolher um teor de asfalto como ponto de partida de uma série de ensaios. A área superficial do agregado é determinada pela multiplicação das percentagens de material passante numa série de peneiras por um conjunto de fatores de área superficial e somam-se os produtos. A Figura 3.9 mostra como a área superficial é determinada para um dado agregado quando sua graduação é conhecida. É importante assinalar que todos os tamanhos de peneiras mostrados devem ser usados neste método.

Tamanho de peneira	Porcentagem Passante	X	Fator de Área Superficial, m ² /kg (pé ² /lb)	=	Área Superficial, m ² /kg (pé ² /lb)
19.0mm (3/4 pol.)	100		-----		
12.5 mm (1/2 pol.)	95		-----		.41 (2.0)
9.5 mm (3/8 pol.)	80		-----		
4.75 mm (Nº 4)	57		.41 (2)		.23 (1.1)
2.36 mm (Nº 8)	39		.82 (4)		.32 (1.6)
1.18 mm (Nº 16)	31		1.64 (8)		.51 (2.5)
600µm (Nº 30)	23		2.87 (14)		.66 (3.2)
300 µm (Nº 50)	17		6.14 (30)		1.04 (5.1)
150 µm (Nº 100)	12		12.29 (60)		1.47 (7.2)
75 µm (Nº 200)	7.5		32.77 (160)		2.46 (12.0)
					Σ 7.1 (34.7)

* fator de área superficial do material retido na peneira de 4,75 mm (nº 4) é 0,41

Figura 3.9 Cálculo da Área Superficial

3.3. Cálculo de Mistura de Graduação de Agregados

Introdução

Razões para a Combinação de Graduações

A combinação de dois ou mais agregados de diferentes graduações para produzir uma mistura que satisfaça as especificações de granulometria de determinado tipo de mistura asfáltica, é um fato comum na construção asfáltica. A determinação das quantidades relativas dos vários agregados, necessárias para obter a graduação desejada, é um problema de dosagem que se pode resolver por diferentes métodos.

Fórmula Básica

Independentemente do número de agregados combinados ou do método pelo qual as proporções são determinadas, a fórmula básica que exprime a mistura é:

$$P = Aa + Bb + Cc \quad \text{etc.} \quad (1)$$

onde

$P =$ porcentagem de material passante em determinada peneira para a mistura dos agregados A, B, C, etc;

A, B, C, etc. = porcentagens de material passante em determinada peneira para os agregados A, B, C, etc.; e

a, b, c, etc. = proporções de agregados A, B, C, etc, usadas na combinação em que o total = 1,00.

As porcentagens da mistura, P, da Eq. 1 deverão ser bem próximas das porcentagens desejadas para a combinação dos diversos tamanhos de peneiras. Nenhuma poderá situar-se fora dos limites estabelecidos nas especificações de graduação. É óbvio que poderão existir várias combinações aceitáveis. Uma combinação ótima será a que tiver as porcentagens da mistura tão próximas quanto possível das porcentagens desejadas, estabelecidas de início.

Desenvolveram-se procedimentos matemáticos sofisticados para determinar uma combinação ótima de agregados. Mesmo com uma calculadora, estes métodos mostram-se complicados e demorados. Usualmente, um método de tentativas orientado pelo raciocínio, constitui o procedimento mais fácil para determinar condições satisfatórias. O programa de computação *Análise de Misturas Asfálticas com Uso de Computador do Asphalt Institute*, é capaz de fazer a combinação de até dez agregados diferentes. O programa CAMA pode otimizar combinação quanto aos limites de controle superior e inferior, bem como desenvolver a mistura de menor custo que atenda aos requisitos das especificações.

Determinação das proporções

A Combinação de Dois Agregados

A fórmula básica (Eq. 1) da combinação de dois agregados é

$$P = Aa + Bb \quad (2)$$

Visto que $a+b=1$ tem-se $a = 1 - b$. Substituindo na Eq. 2 e resolvendo para b :

$$b = \frac{P-A}{B-A} \quad (3)$$

Pode-se encontrar, também, uma expressão para a :

$$a = \frac{P-B}{A-B} \quad (4)$$

Seja uma pilha de um agregado simples, que deve ser misturado com areia a fim de atender aos requisitos de graduação de uma mistura asfáltica de pavimentação. O dados destes materiais estão apresentados na Figura 3.10a como agregados A e B. Realiza-se uma combinação de agregados como segue:

1. Exame das duas graduações para determinar qual o agregado que contribuirá mais com material em certas peneiras. No caso presente, a maior parte da fração menor que 2,36 mm (nº 8) será fornecida pelo agregado B.

2. Usando-se as porcentagens da peneira de 2,36 mm (nº 8) e substituindo-se na Eq. 3, as proporções são determinadas de modo a atender ao ponto central das especificações (Fig. 3.10 b).

3. A inspeção da graduação da mistura mostra que a porcentagem passante na peneira de 75 μ m (nº 200) está próxima ao limite inferior da especificação. Aumentando-se a proporção do agregado B para 0,55 e refazendo-se o cálculo, chega-se à gradação da mistura apresentada na Figura 3.10 c.

4. A inspeção mostra, agora, que a graduação combinada se situa muito próxima ao limite superior da especificação para a peneira de 600 μ m (nº 30). Deve-se fazer um ajuste final reduzindo-se a proporção de B, para 0,52 ou 0,53.

Combinação de Três Agregados

Admita-se que o fíler mineral - C deva ser combinado com os agregados A e B para obter uma graduação que atenda as especificações requeridas. A especificação e as graduações estão na Figura 3.11a.

1. Uma inspeção das graduações indica que existe uma separação bastante nítida entre a fração retida na peneira 2,36 mm (nº 8) e a passante nesta peneira. O agregado A fornece a maior parte do material maior que 2,36 mm (nº 8).

2. Determina-se a proporção aproximada do agregado A necessária para obter 4,25 % que passa na peneira de 2,36 mm (nº 8), usando a Eq. 4 (Fig. 3.11b).

3. Examinam-se, a seguir, as porcentagens que passam na peneira 75 μ m (nº 200). Substituem-se os valores na Eq. 1. O restante dos cálculos dispensa explicação.

Percentual Passante

	19.0mm	12.5mm	9.5mm	4.75mm	2.36mm	600µm	300µm	150µm	75µm
Peneira	3/4"	1/2"	3/8"	Nº 4	8	30	50	100	200
Especificação	100	80-100	70-90	50-70	35-50	18-29	13-23	8-16	4-10
Agregado A	100	90	59	16	3.2	1.1	0	0	0
Agregado B	100	100	100	96	82	51	36	21	9.2

$$(N^{\circ} 8), b = \frac{P-A}{B-A} = \frac{42.5 - 3.2}{82 - 3.2} = 0.50, a = 1 - 0.50 = 0.50$$

(a) Especificações de Graduação e Análise por Peneiramento do Agregado

Percentual Passante

	19.0mm	12.5mm	9.5mm	4.75mm	2.36mm	600µm	300µm	150µm	75µm
Peneira	3/4"	1/2"	3/8"	Nº 4	8	30	50	100	200
.50 x A	50	45.5	29.5	8.0	1.6	0.6	0	0	0
.50 x B	50	50.0	50.0	48.0	41.0	25.0	18.0	10.5	4.6
Total	100	95.5	79.5	56.0	42.6	25.6	18.0	10.5	4.6
Especificação	100	80-100	70-90	50-70	35-50	18-29	13-23	8-16	4-10

Menor que Nº 200 se apresentou baixo, aumentar "b" para 0,55 e "a" para 0,45

(b) Primeira tentativa de combinação de dois agregados

Percentual Passante

	19.0mm	12.5mm	9.5mm	4.75mm	2.36mm	600µm	300µm	150µm	75µm
Peneira	3/4"	1/2"	3/8"	Nº 4	8	30	50	100	200
.45 x A	45	40.5	26.6	7.2	1.4	0.5	0	0	0
.55 x B	55	55.0	55.0	52.8	45.1	28.0	19.8	11.5	5.1
Total	100	95.5	81.6	60.0	46.5	28.5	19.8	11.5	5.1
Especificação	100	80-100	70-90	50-70	35-50	18-29	13-23	8-16	4-10

Menor que Nº 30 se apresentou alto, alterar "b" para 0,52 e "a" para 0,48

(c) Segunda tentativa de combinação de dois agregados

Figura 3.10 Solução por Tentativas da Mistura de Dois Agregados

Se a graduação da mistura cair fora dos limites da especificação, deve-se alterar a proporção que é, aparentemente, responsável, enquanto as demais proporções são modificadas para compor o total de 100%. Às vezes é necessário suprimir um agregado proposto e obter um substituto quando não se consegue uma combinação satisfatória com o agregado sugerido inicialmente.

É isto que vem a ser soluções por tentativas. A inspeção da graduação para obter indicações que ajudem a estabelecer proporções reduz o número de soluções consideravelmente.

Percentual Passante

	19.0mm	12.5mm	9.5mm	4.75mm	2.36mm	600µm	300µm	150µm	75µm
Peneira	3/4"	1/2"	3/8"	Nº 4	8	30	50	100	200
Especificação	100	80-100	70-90	50-70	35-50	18-29	13-23	8-16	4-10
Agregado A	100	90	59	16	3.2	1.1	0	0	0
Agregado B	100	100	100	96	82	51	36	21	9.2
Agregado C	100	100	100	100	100	100	98	93	82

(a) Especificações de Graduação e Análise por Peneiramento do Agregado

$$(N^{\circ} 8), \quad b = \frac{P-B}{A-B} = \frac{4,25 - 8,2}{3,2 - 82} = 0,50$$

$$(N^{\circ} 200), \quad P = Aa + Bb + Cc$$

$$7 = 0,5 + 9,2b + 82c \quad \text{Assumindo } a = 0,5 \quad b+c = 1-0,50 = 0,50$$

$$7 = 9,2(0,50 - c) + 82c, \quad c = \frac{7 - 4,6}{82 - 9,2} = b = 0,5 - 0,03 = 0,47$$

Percentual Passante

	19.0mm	12.5mm	9.5mm	4.75mm	2.36mm	600µm	300µm	150µm	75µm
Peneira	3/4"	1/2"	3/8"	Nº 4	8	30	50	100	200
.50 x A	50	4.50	29.5	8.0	1.6	0.6	0	0	0
.47 x B	47	47.0	47.0	45.1	38.5	24.0	16.9	9.9	4.3
.03 x C	3	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	2.8	2.5
Total	100	95.0	79.5	56.1	43.1	27.6	19.9	12.7	6.8
Especificação	100	80-100	70-90	50-70	35-50	18-29	13-23	8-16	4-10

(b) Primeira tentativa de combinação de três agregados

Figura 3.11 Solução por Tentativas da Combinação de Três Agregados

Ajustes da Graduação

Ajuste para Diferentes Densidades Relativas

As graduações dos agregados e as curvas granulométricas são determinadas e expressas em porcentagens do peso total. As especificações de graduação, entretanto, são estabelecidas para atender a requisitos volumétricos na mistura asfáltica de pavimentação. Na medida em que a densidade relativa dos materiais dos agregados combinados seja razoavelmente próxima, as porcentagens em peso podem ser interpretadas como porcentagens em volume para fins práticos. Quando as densidades relativas dos agregados individuais diferem significativamente (usualmente de 0,20 ou mais), devem-se ajustar as proporções. O ajuste baseia-se no fato:

$$\text{Volume} \times \text{Densidade Relativa} \times \text{Peso Específico da Água} = \text{Peso}$$

$$V \times G_s \times \gamma_w = P$$

Admita-se que foram calculadas as seguintes combinações para três agregados de densidades relativas diferentes:

Agregado	Dens. Rel.	Proporção	$\gamma_w = 1 \text{ g/cm}^3$
A	1.00	0.52	
B	2.00	0.45	
C	3.00	0.03	

Os cálculos para o ajuste estão na Figura 3.12.

Agregado	% Vol.	Dens. Rel.	Peso	% Peso
A	52.0	1.00	52.00	34.4
B	245.0	2.00	90.00	59.6
C	3.0	3.00	9.00	6.0
Total	100.0	-----	151.00	100.0

$$(1) \text{ Peso} = \text{Vol.} \times \text{Dens. Rel.} \times \gamma_w$$

$$(2) \% \text{ Peso} = \frac{\text{Peso Individual}}{\text{Peso Total}} + 100 = \frac{P}{151} + 100$$

Figura 3.12 Ajuste de Porcentagens em Volume para Porcentagens em Peso

Ajuste com Descarte

Quando a principal fonte de agregado for uma escavação local de beira de estrada, acontece, freqüentemente, que os agregados britados corridos são mais finos ou mais grossos do que o desejado. Quando se tem um material excessivamente graúdo é possível acrescentar um material fino. Mas, quando se tem um material excessivamente fino, é usualmente mais econômico proceder ao descarte da fração fina. A maioria das centrais de britagem faz a separação na peneira de 4,75 mm ($n^\circ 4$) ou, eventualmente na de

2,36 mm (n° 8). Quando há excesso nos tamanhos menores faz-se a correção descartando-se a parte menor que 4,75 mm (n° 4). A quantidade descartada exprime-se em percentagem, considerando-se 100 por cento o total de material de brita corrida.

As fórmulas de análise da graduação antes e após o descarte são as seguintes:
(Tamanhos acima da peneira de descarte)

$$R_b = \frac{R_2 \cdot R_a}{R_1} \quad (5)$$

(Tamanhos abaixo da peneira de descarte)

$$P_b = \frac{P_2 \cdot P_a}{P_1} \quad (6)$$

onde:

P_a, R_a = percentagens passantes e retidas, de determinado tamanho antes do descarte;

P_b, R_b = percentagens ajustadas passantes e retidas, de determinado tamanho após o descarte;

P_1, R_1 = percentagens passantes e retidas, do tamanho de descarte antes do descarte e

P_2, R_2 = percentagens passantes e retidas, do tamanho do descarte após lavagem.

A percentagem de descarte, D , é calculada como segue:

$$D = \frac{(P_1 - P_2) 100}{(100 - P_2)} \quad (7)$$

Admita-se que há a produção de uma única pilha de agregado de escavação local à beira da estrada. Os limites da especificação e a graduação da brita corrida estão na Figura 3.13. Nota-se que, o tamanho de 4,75 mm (n° 4) está acima dos limites especificados e que as outras percentagens aproximam-se dos limites superiores da especificação. Faz-se o descarte de parte da fração inferior a 4,75 mm (n° 4) a fim de reduzir a fração que passa na peneira de 4,75 mm de 75 para 70 por cento. Determinam-se as percentagens da fração inferior a 4,75 mm (n° 4) pela Eq. 6 como apresentado. As percentagens dos tamanhos maiores que 4,75 mm (n° 4) são primeiramente convertidas em percentagem retida e determinada a percentagem ajustada retida na peneira de 4,75 mm (n° 4). A percentagem de tamanhos graúdos é determinada pela Eq. 5 e convertida em percentagens passantes.

Outro modo de encarar o problema é como segue. A amostra de agregado original pode ser dividida em material retido na peneira de 4,75 mm (n° 4) e material passante nesta mesma peneira. Se a amostra original pesava 50 kg, então 12,5 kg ou 25% do material fica retido na peneira de 4,75 mm (n° 4) e 37,5 kg, ou 75% do material passa na peneira de 4,75 mm (n° 4). Para enquadrar

a graduação na especificação, deve-se descartar uma parte do material que passa na peneira de 4,75 mm (nº 4). A fim de calcular a porcentagem de material descartado, cabe lembrar que na graduação nova ou ajustada, os 12,5 kg agora representam 30% da amostra, conforme a Figura 3.13. Agora, deve-se determinar o peso do material da fração menor que 4,75 mm (nº 4), que representa 70% da amostra. Este pode ser calculado pela equação vista abaixo, em que X é o peso do material da fração inferior a 4,75 mm (nº 4) na nova amostra.

$$12,5 \text{ kg} = \frac{(27,5 \text{ lb})}{30\%} = \frac{X \text{ lb}}{70\%} \quad (8)$$

$$X = 29,2 \text{ kg (64,2 lb)}$$

Observe-se que a amostra original continha 37,5 kg do material passante na peneira de 4,75 mm (nº 4) e que após a lavagem a amostra passa a conter 29,2 kg de material passante na peneira de 4,75 mm (nº 4). A diferença entre os pesos original e o final, 8,3 kg representa o material inferior a 4,75 mm (nº 4) que foi descartado. Portanto, o percentual descartado pode ser calculado como segue:

$$\frac{\text{Peso de Material Descartado}}{\text{Peso Original da Amostra}} = \frac{8,3 \text{ Kg (18,3 lb)}}{50 \text{ Kg (110 lb)}} (100) = 16,7\% \quad (9)$$

	19.0mm	12.5mm	9.5mm	4.75mm	2.36mm	600µm	150µm	75µm
Peneira	3/4"	1/2"	3/8"	Nº 4	8	30	50	200
Especificação	100	80-100	70-90	55-73	40-55	20-30	10-18	4-10
% Passante P _a	100	98	87	75	54	28	17	9
% Retido R ₃	0	2	13	25				
% Ajust Ret R _b	0	2	16	30				
% Ajust Pass P _b	100	98	84	70	50	26	16	8.4

$$P_b = \frac{P_2}{P_1} \quad P_a = \frac{70}{75} \quad P_a = 0,93 \quad P_a \quad R_b = \frac{R_2}{R_1} \quad R_a = \frac{30}{25} \quad R_a = 1,20 \quad R_a$$

$$\text{Descarte, } D = \frac{100 (P_1 - P_2)}{(100 - P_2)} = \frac{100 (75 - 70)}{(100 - 70)} = 16,7\%$$

[Cálculos baseados no ajuste da porcentagem passante 4,75 mm (Nº 4)]

Figura 3.13 Ajuste de Graduação por Descarte

Capítulo 4

Mistura Asfáltica a Quente

Dosagem da Mistura

Este capítulo descreve a combinação de dois materiais (cimento asfáltico e agregado) em proporções que produzam misturas satisfatórias de pavimentação a quente. Discutem-se vários métodos e práticas de dosagem de misturas. Incluem-se vários cálculos para a avaliação das propriedades das misturas em termos da análise densidade – vazios.

SEÇÃO 4.1 Propriedades das Misturas Asfálticas a Quente

Introdução

Considerações sobre Dosagem de Misturas

Procedimentos de Dosagem de Misturas

SEÇÃO 4.2 Procedimentos de Análise de uma Mistura Compactada de Pavimentação

Introdução

Esboço de Procedimento

Dados de Misturas de Pavimentação para Cálculo de Amostras

Densidade Relativa Aparente de Agregado

Densidade Relativa Efetiva de Agregado

Densidades Relativas Máximas de Misturas com Diferentes Teores de Asfalto

Absorção de Asfalto

Teor de Asfalto Efetivo de uma Mistura Asfáltica

Porcentagem de VAM - Vazios no Agregado Mineral de Misturas Asfálticas Compactadas

Cálculos de Vazios de Ar na Mistura Compactada

Porcentagem de VCA - Vazios cheios de asfalto de Misturas Asfálticas Compactadas

Seção 4.3 Métodos de Dosagem de Misturas Asfálticas a Quente

Introdução

Método de Marshall de Dosagem de Mistura

Método de Hveem de Dosagem de Mistura

BIBLIOGRAFIA

1. *Métodos de Dosagem de Concreto Asfáltico e Outros Tipos de Misturas a Quente* ("Mix Design Methods for Asphalt Concrete and Other Hot-Mix Types"), MS-2, Asphalt Institute.
2. *Especificações de Construção Modelares para Concreto Asfáltico e Outros Tipos de Misturas em Usina* ("Model Construction Specifications for Asphalt Concrete and Other Plant-Mix Types"), SS-1, Asphalt Institute.
3. Wallace, H. A. ; Martin, J. R., *Engenharia de Pavimentação Asfáltica* ("Asphalt Pavement Engineering") Mc Graw – Hill, 1967.
4. Woods, K. B. (ed.), *Manual de Engenharia Rodoviária* ("Highway Engineering Handbook"), Mc Graw-Hill, 1960.
5. Anuário de Normas da ASTM; Materiais Rodoviários e de Pavimentação ("Annual Handbook of ASTM Standards; Road and Paving Materials"), Sec. 4, Vol. 4.03.
6. Especificações Normalizadas de Materiais de Transportes e Métodos de Amostragem e Ensaio. Parte II: Métodos de Amostragem e Ensaio ("Standard Specifications for Transportation Materials and Methods of Sampling and Testing. Part II: Methods of Sampling and Testing"). Associação Americana de Funcionários Estaduais de Rodovias e Transportes ("The American Association of State Highway and Transportation Officials").

AUDIOVISUAIS

1. *Método de Marshall de Dosagem de Misturas* ("Marshall Method of Mix Design"), VA-5 (75 diapositivos em cores de 35 mm, narração em cassete, 19 min), Asphalt Institute .
2. *Método de Hveem de Dosagem de Misturas* ("Hveem Method of Mix Design"), VA-6 (80 diapositivos em cores de 35 mm, narração em cassete, 19 min), Asphalt Institute.

SOFTWARE DE COMPUTADOR

1. *Análise de Misturas Asfálticas com Ajuda de Computador* ("Computer-Assisted Asphalt Mixture Analysis - CAMA"), CP-6, Asphalt Institute.

4.1. Propriedades das Misturas Asfálticas a Quente

Introdução

Definição de Mistura a Quente

A mistura asfáltica a quente consiste na combinação de agregado uniformemente misturado e recoberto com asfalto. A fim de secar o agregado e conseguir fluidez suficiente do cimento asfáltico para uma boa mistura e trabalhabilidade, tanto o agregado como o asfalto devem ser aquecidos previamente à mistura – daí o nome mistura asfáltica a quente.

Os agregados e o asfalto são combinados numa instalação de mistura misturador de modo que em que todos os materiais constituintes são aquecidos, proporcionados e misturados para produzir a mistura asfáltica que se deseja obter. Completada a mistura na usina, a mistura quente é transportada para o local do serviço de pavimentação e espalhada numa camada pouco compactada, uniforme, de superfície regular, com uma acabadora máquina pavimentadora. Com a mistura de pavimentação ainda quente, prossegue a compactação do material com rolos automotores pesados, até produzir uma camada de pavimento bem consolidada e lisa.

Classificação de Misturas a Quente

As misturas asfálticas a quente, de pavimentação, podem ser produzidas a partir da gama ampla de combinações de agregados, cada uma com suas características adequadas à dosagem específica e à construção. Além da quantidade e do grau tipo de asfalto usado, tem-se que as principais características da mistura são determinadas pelas quantidades relativas de:

- agregado graúdo, retido na peneira de 4,75 mm (nº 4); *
- agregado miúdo, passante na peneira de 4,75 mm (nº 4);
- filer mineral, passante na peneira de 75 µm (nº 200).

O concreto asfáltico é um tipo de mistura a quente que deve satisfazer a requisitos rigorosos. É uma mistura de alta qualidade e cuidadosamente controlada, a quente, de cimento asfáltico e agregado de alta qualidade e bem graduado, perfeitamente compactada até obter-se uma massa densa, uniforme, que é representada pelas misturas de pavimentação densamente graduadas.

Considerações Sobre a Dosagem de Misturas

Propriedades Desejadas

Os procedimentos correntes de dosagem de misturas são considerados empíricos, isto é, baseiam-se em valores de ensaio que se estabeleceram com base em observações do desempenho no campo. Visto não existir relação quantitativa entre os valores de ensaios e um determinado nível de desempenho do pavimento, pode-se argumentar que a dosagem de mistura corrente é uma combinação de arte e ciência.

* Alguns autores consideram a separação dos agregados graúdos dos miúdos na peneira 2,36 mm (nº 8).

Estão em curso, presentemente, pesquisas para desenvolver procedimentos mecanísticos de projeto que correlacionem as propriedades das misturas com o desempenho de campo. Os procedimentos de projetos de mistura existentes, no entanto, tem uma longa história de aceitabilidade. Estes procedimentos quando convenientemente aplicados fornecem uma formulação de mistura satisfatória e um sistema de controle de qualidade.

Independentemente do procedimento de laboratório adotado, a dosagem de uma mistura asfáltica densamente graduada, para um fim específico, deverá considerar as seguintes propriedades desejáveis da mistura:

- Estabilidade
- Durabilidade
- Flexibilidade
- Resistência à fadiga
- Resistência à derrapagem
- Impermeabilidade
- Trabalhabilidade

Estabilidade é a capacidade das misturas asfálticas de pavimentação de resistirem à deformação imposta pelas cargas. Os pavimentos instáveis são caracterizados marcados pelo afundamento de trilha de roda e corrugações. A estabilidade depende tanto do atrito interno como da coesão.

O atrito interno depende da textura superficial, graduação do agregado, forma das partículas, densidade da mistura, e quantidade e tipo de asfalto. A estabilidade é função da resistência de atrito e entrosamento dos agregados na mistura. A resistência de atrito aumenta com a rugosidade superficial e a angularidade angulosidade das partículas de agregado. Também, aumenta com a área de contato das partículas. A resistência do entrosamento depende do tamanho das partículas e de sua forma. Para um determinado agregado, a estabilidade aumenta com a densidade da mistura compactada. O asfalto em excesso numa mistura tende a atuar como lubrificante e reduzir o atrito interno do arcabouço de pedras, o que reduz a estabilidade da mistura.

A coesão é a força interna de ligação que é inerente na mistura asfáltica de pavimentação. O asfalto serve para manter os pontos de contato das partículas de agregado. A coesão varia diretamente com a velocidade de carregamento, área carregada, e viscosidade do asfalto; esta varia inversamente com a temperatura. A coesão aumenta com o teor de asfalto crescente até um ponto ótimo, caindo em seguida.

Durabilidade é a propriedade da mistura asfáltica de pavimentação que representa sua capacidade de resistir aos efeitos nocivos do ar, água, temperatura e tráfego. Intemperização são as modificações das características do asfalto, tais como oxidação e volatilização, e modificações no pavimento e no agregado devido à ação da água, inclusive o congelamento e o degelo.

A durabilidade é melhorada, geralmente, por elevados teores de asfalto, graduações densas de agregados e misturas bem compactadas e impermeáveis. Um argumento favorável aos teores de asfalto maiores é o aumento que resulta na espessura da película de asfalto que recobre os agregados. As películas mais espessas resistem

mais ao enrijecimento com o tempo, isto é, requer-se um período de tempo maior para que uma película espessa atinja o mesmo grau de fragilidade de uma película fina. Outro argumento favorável é o de que o aumento da quantidade de asfalto reduz o tamanho dos poros ou vazios interconectados, ou os mantém selados na mistura – o que torna mais difícil à água e ao ar de permearem na mistura. Porém, deve-se ter muita cautela visto que as espessuras maiores de películas podem resultar em misturas mais susceptíveis ao afundamento de trilha e à deformação plástica (escorregamento) de revestimento.

A fim de resistir à ação da água aplicam-se os mesmos requisitos: agregados densamente graduados, elevados teores de asfalto e compactação adequada. Deve-se procurar usar os agregados que mantêm a película de asfalto na presença de água. As misturas densas são mais resistentes ao deslocamento do asfalto do agregado. Contudo, se o agregado for de natureza hidrofílica (avidez pela água) pode tornar-se necessário incorporar um aditivo melhorador de adesividade anti-descolamento ao cimento asfáltico.

Deve-se incorporar uma quantidade suficiente de asfalto, para promover propriedades de ligação apropriadas à resistência às forças abrasivas do tráfego. Havendo insuficiência de asfalto podem os agregados ser deslocados da superfície – é a desagregação. Pode ocorrer, também, a abrasão quando o asfalto torna-se quebradiço. O superaquecimento do asfalto no processo de mistura a quente, é causador, mais tarde, do estado quebradiço, o que acarreta a abrasão do pavimento construído.

Embora a mistura de alto teor de asfalto, de vazios completamente preenchidos de asfalto pudesse ser melhor quanto à durabilidade, já quanto à estabilidade seria inconveniente. Colocada numa pista, causaria o afundamento nas trilhas e deslocamentos superficiais do revestimento sob a ação do tráfego. Dar-se-ia, também, a exsudação do asfalto na superfície.

Não se atinge a estabilidade máxima da massa de agregado com asfalto antes que a quantidade de asfalto que recobre as partículas tenha alcançado um valor crítico. Qualquer asfalto a mais tenderá a atuar como lubrificante e não como ligante, o que faz reduzir a estabilidade da mistura e aumentar sua durabilidade. Portanto, muitas vezes, deve-se conciliar o teor de asfalto maior possível, embora garantindo a estabilidade adequada.

Flexibilidade é a capacidade de uma mistura asfáltica de pavimento fletir levemente, sem trincar, e de se conformar com os graduais assentamentos e movimentos de base e subleito. Ocorrem, eventualmente, recalques diferenciais de aterros. É muito difícil obter a mesma densidade em todo o subleito durante a construção, e que todos os trechos tenham exatamente a mesma capacidade de suporte. É por isto que os pavimentos asfálticos devem ser capazes de se adaptarem a recalques pequenos localizados ou a recalques diferenciais sem trincamento. Em geral, acentua-se a flexibilidade de uma mistura asfáltica de pavimentação, com altos teores de asfalto e agregados de graduação relativamente aberta, mas os critérios globais de dosagem devem ser equilibrados de modo a atender a uma fórmula de mistura que se mostre satisfatória nos serviços.

Resistência à Fadiga é a capacidade dos pavimentos asfálticos de suportarem flexões repetidas causadas pela passagem das cargas de rodas. Tem-se mostrado, através de ensaios, que a quantidade de asfalto é muitíssimo importante para a resistência à fadiga de misturas de pavimentação. Como regra geral, quanto maior o teor de asfalto, maior é a resistência à fadiga. Os ensaios indicam que as misturas asfálticas densamente graduadas apresentam resistência à fadiga maior do que a das misturas de graduação aberta. Os agregados bem graduados que permitem maiores teores de asfalto sem causar exsudação no pavimento compactado devem ser usados na mistura.

Resistência à Derrapagem é a capacidade da superfície de pavimento asfáltico, principalmente quando molhada, de oferecer resistência ao deslizamento ou derrapagem. Os fatores que levam à alta resistência à derrapagem são geralmente os mesmos que permitem obter alta estabilidade. Teores de asfalto apropriados e agregados de textura superficial rugosa são os fatores que mais contribuem para a boa resistência. Embora se possam utilizar agregados com tendência ao polimento, em camadas subjacentes ao revestimento, seu uso deve ser evitado nas camadas superficiais. Os agregados de minerais não sujeitos ao polimento, mas de diferentes características de desgaste ou abrasão, proporcionam renovação permanente da textura do pavimento, assim mantendo uma superfície resistente à derrapagem.

As misturas em que o asfalto por seus teores elevados preenche os vazios do pavimento compactado, podem causar a exsudação na superfície. A presença de asfalto livre na superfície do pavimento é indesejável e pode acarretar condições escorregadias quando o pavimento estiver molhado.

Permeabilidade é a resistência que um pavimento asfáltico apresenta à entrada de ar e água e ao seu movimento através da mistura. Embora o teor de vazios possa ser uma indicação da suscetibilidade de uma mistura de pavimentação compactada à passagem do ar e da água, mais significativo é a intercomunicação dos vazios e de seu acesso à superfície. A impermeabilidade ao ar e à água também é necessária para a durabilidade das misturas asfálticas de pavimentação.

Trabalhabilidade é a facilidade com que pode ser espalhada e compactada uma mistura de pavimentação. Quando se cuida adequadamente da dosagem da mistura e se utiliza uma máquina espalhadora, a trabalhabilidade não constitui um problema. Por vezes, os agregados cujas propriedades conduzem à elevada estabilidade das misturas asfálticas, fazem com que estas sejam espalhadas e compactadas com dificuldade. Visto que os problemas de estabilidade são descobertos mais freqüentemente durante a operação de construção do pavimento, é neste momento que talvez se tenha que ajustar, rapidamente, a dosagem da mistura, a fim de que possa o serviço prosseguir do modo mais eficiente possível.

Objetivos

O projeto de misturas de pavimentação asfáltica tal como o projeto de outros materiais de engenharia, é muito uma questão de escolha e proporcionamento de materiais, a fim de obter as qualidades e propriedades desejadas na construção concluída. O objetivo final é a determinação de uma combinação e graduação de agregados econômica (dentro dos limites especificados) e do teor do asfalto correspondente de modo a obter um mistura com as propriedades seguintes:

- Asfalto suficiente para assegurar um pavimento durável.
- Estabilidade suficiente de mistura, que **satisfaça a** demanda de tráfego sem distorções ou deslocamentos.
- Vazios em quantidade suficiente na mistura **compactada** total de modo a permitir a expansão térmica do asfalto e agregado **nas temperaturas** de verão, sem lavagem, exsudação e perda de estabilidade, **contudo**, em pequena quantidade que evite efeitos danosos do ar e umidade.
- Trabalhabilidade suficiente que permita a **colocação adequada** da mistura sem segregação.

Aplicações do Ensaio de Dosagem das Misturas

Normalmente, os ensaios de dosagem de misturas têm três aplicações importantes no conjunto dos serviços de construção. São os ensaios **preliminares de dosagem**, controle de misturas na obra e o controle rotineiro da construção.

Ensaio Preliminares de Dosagem – O objetivo principal é determinar se as fontes em perspectiva podem fornecer agregados de qualidade satisfatória para produzir uma mistura de pavimentação que **satisfaça os requisitos das especificações** referentes à graduação e dosagem. O asfalto, **também, deve satisfazer** os requisitos especificados e ser compatível com os **agregados disponíveis**. Misturas de tentativa iniciais, devem ser feitas com uma graduação de **agregado** próxima à mediana dos limites da graduação. Quando se consideram **diversas** fontes de agregado, combinações experimentais podem determinar qual a **mais econômica** de se usar. Os resultados da dosagem preliminar da mistura **servem de base** para as estimativas preliminares de custo. Estes resultados **também indicam se os** requisitos de dosagem podem ser obtidos segundo o arcabouço das **especificações**.

O ensaio de aceitação da fonte é realizado, **frequentemente**, após a assinatura do contrato e após o empreiteiro ter indicado as **fontes propostas** de todos os materiais de agregados e o asfalto. O objetivo principal deste ensaio é a determinação da combinação **mais econômica** de agregados **que satisfaçam** os requisitos de graduação e dosagem de misturas. Isto assegura a **escolha dos materiais adequados** e permite ao empreiteiro começar a estocar estes materiais no canteiro de serviço.

Controle de Mistura na Obra – Os ensaios de controle de mistura na obra são realizados no início da produção da usina e em associação com a calibração da usina central de mistura para a fórmula da mistura na obra. Esta fórmula identifica a graduação dos materiais de agregados combinados e o teor de asfalto selecionado. Na produção de misturas asfálticas de pavimentação em usina, são inevitáveis algumas variações na mistura. A fórmula de mistura na obra tem tolerâncias que permitem variações razoáveis na graduação e nos teores de asfalto sem a necessidade de ajustes.

No caso de instalação de usinas intermitentes ou em bateladas, as misturas experimentais iniciais de controle na obra por ensaios, podem ser preparadas com amostras de agregado obtidas dos silos quentes da usina. Estes ensaios servem para determinar se a mistura de pavimentação produzida pela fórmula da mistura na obra atende a todos os requisitos especificados.

Controle Rotineiro de Construção – O ensaio de controle da construção é

realizado como um item de inspeção rotineiro e periódico durante a pavimentação. Obtêm-se amostras randômicas da mistura a quente de pavimentação na instalação central de mistura, que são submetidas a testes de verificação das propriedades de projeto.

Os resultados destes ensaios comparam-se aos de controle da mistura na obra e aos requisitos gerais das especificações. Se ocorrerem irregularidades e os limites da fórmula de mistura na obra forem ultrapassados, fazem-se necessárias correções apropriadas na usina. Embora este tipo de ensaio da mistura de projeto seja de natureza rotineira, ele requer muita atenção. Sua importância é enfatizada porque os resultados servem de base para a aceitação final ou a rejeição do serviço de pavimentação.

Procedimentos de Dosagem de Misturas

Discutem-se os procedimentos gerais de dosagem das misturas asfálticas de pavimentação nos próximos parágrafos. Métodos específicos de dosagem de misturas segundo os procedimentos de Marshall e Hveem descrevem-se na Seção 4.3.

Escolha e Combinação de Agregados

Nas empreitadas é o contratado que faz, usualmente, a escolha do agregado. Materiais disponíveis ao local, como cascalhos e areias podem ser cogitados. O engenheiro pode reduzir o custo da produção de misturas asfálticas de pavimentação, caso encontre uma combinação econômica de agregados que satisfaça os requisitos de qualidade e que resulte na graduação que se deseja.

Os procedimentos de proporcionamento dos agregados para produzir uma graduação combinada foram discutidas no Capítulo 3.

Determinação de Densidade Relativa

Os procedimentos de determinação das densidades relativas do asfalto e dos agregados já foram explicados. Utilizam-se, em geral, as seguintes densidades relativas:

- Cimento asfáltico: densidade relativa a 25°C, G_b
- Agregado graúdo: densidade relativa aparente, G_{sb}
- Agregado fino: densidade relativa aparente, G_{sb}
- Filer mineral: densidade relativa real, G_{sa}

A densidade relativa da combinação de agregados é dada por:

$$G_{sb} = \frac{100}{\frac{P_1}{G_1} + \frac{P_2}{G_2} + \dots + \frac{P_n}{G_n}} \quad (1)$$

onde

G_{sb} = densidade relativa aparente da combinação

P_1, P_2, \dots, P_n = Porcentagens, respectivamente, dos agregados 1, 2, etc, e $P_1 + P_2 + \dots + P_n = 100$

G_1, G_2, \dots, G_n = Densidades relativas globais, respectivamente, dos agregados 1, 2, etc

Preparação de Corpos-de Prova Experimentais

Preparam-se em laboratório corpos-de-prova compactados das misturas asfálticas de pavimentação. Um certo número de corpos-de-prova é preparado a vários teores de asfalto. O método correto de preparação e compactação dos corpos-de-prova vem passo a passo no método de ensaio empregado. Dois métodos de ensaios de dosagem de misturas – o Método Marshall (ASTM D 1559) e o Método de Hveem (ASTM D 1560, D 1561), de ampla aceitação, estão descritos na seção 4.3.

Densidade Relativa do Corpo-de-Prova

Depois de compactar o corpo-de-prova de laboratório, extraí-lo do molde e resfriá-lo, determina-se sua densidade relativa aparente através de várias pesagens dos corpo-de-prova antes de prosseguir o ensaio (ASTM D 1188). Resumidamente, o processo envolvido é o seguinte:

- 1) Pesar o corpo-de-prova ao ar;
- 2) Cobrir o corpo-de-prova com parafina;
- 3) Pesar o corpo-de-prova revestido ao ar;
- 4) Pesar o corpo-de-prova revestido submerso na água.

No caso de corpos-de-prova de concreto asfáltico, lençol asfáltico e outras misturas de textura superficial fina ou superfície vedada, pode-se omitir as etapas 2 e 3. Em vez disso, o peso do material saturado e de superfície seca pode ser obtido após o peso submerso, como pormenorizado na ASTM D 2726.

As etapas 2 e 3 são indispensáveis quando a superfície do corpo-de-prova é porosa ou permite a infiltração de água na pesagem submersa.

Ensaio de Estabilidade

A estabilidade de cada corpo-de-prova é determinada de acordo com o método de dosagem de mistura que se usar. Em se tratando de ensaio destrutivo, todas as pesagens e medições devem ser feitas antes do ensaio.

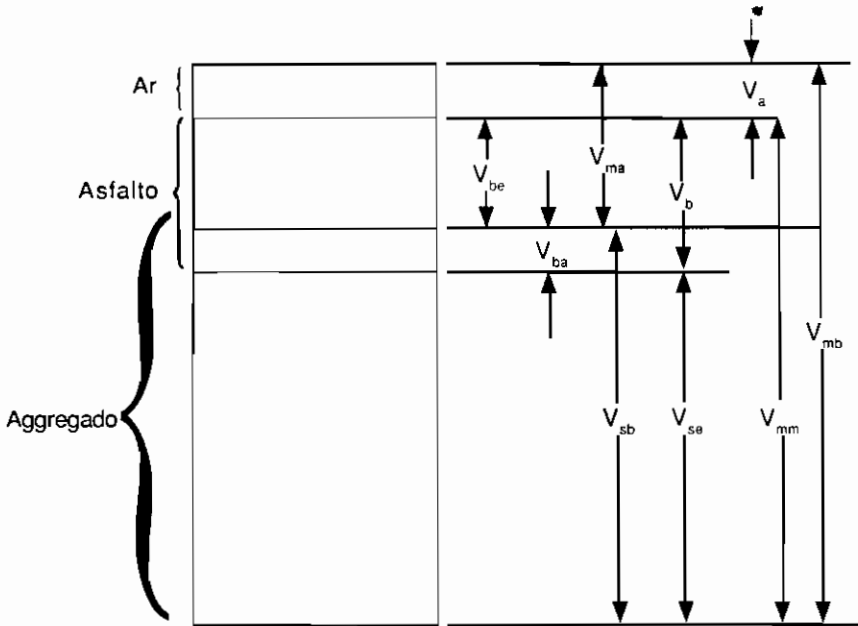
Análise Densidade – Vazios

Determinam-se três propriedades de corpos-de-prova compactados de mistura asfáltica de pavimentação, na análise de densidade e vazios. São as seguintes:

- Densidade e/ou densidade relativa do corpo-de-prova compactado;
- Vazios no agregado mineral;
- Vazios de ar na mistura compactada;

A densidade do corpo-de-prova compactado no ensaio e na análise da dosagem da mistura exprime-se, usualmente, em g/cm^3 . A densidade aparente do corpo-de-prova multiplicada pela densidade de água, de $1,0 \text{ g/cm}^3$ dá a densidade da amostra compactada.

Conhecidas a massa da amostra e as porcentagens de asfalto e agregado, bem como as densidades relativas de cada um, pode-se determinar os volumes dos materiais respectivos. Estes volumes são mostrados na Figura 4.1. O volume aparente é o volume de água deslocado pela amostra compactada.



- V_{ma} = Volume de vazios no agregado mineral
- V_{mb} = Volume do corpo-de-prova compactado
- V_{mm} = Volume da mistura excluídos os vazios
- V_a = Volume de vazios de ar
- V_b = Volume de asfalto (betume)
- V_{ba} = Volume de asfalto (betume) absorvido
- V_{be} = Volume de asfalto efetivo
- V_{be} = Volume de agregado (pela densidade aparente)
- V_{se} = Volume de agregado (pela densidade efetiva)
- W_p = Peso do asfalto
- W_s = Peso do agregado
- γ_w = Densidade da água 1,0 g/cm³ (62,4 lb/pe³)
- G_{mb} = Densidade relativa aparente da amostra compactada de mistura de pavimentação

$$\text{Densidade do corpo-de-prova compactado} = \left(\frac{W_b + W_s}{V_{mb}} \right) \times \gamma_w = G_{mb} \gamma_w$$

$$\text{Perc. de vazios no agregado mineral} = \left(\frac{V_{be} + V_a}{V_{mb}} \right) 100$$

$$\text{Perc. de vazios no corpo-de-prova compact.} = \left(\frac{V_a}{V_{mb}} \right) 100$$

Figura 4.1 Relações de Densidade – Vazios e Volumétricas de um Corpo-de-Prova Compactado de Mistura Asfáltica de Pavimentação.

Os vazios no agregado mineral (VAM) exprimem-se como percentagem do volume total do corpo-de-prova. Representam o volume da mistura compactada que não é ocupado pelo agregado e o asfalto.

Os vazios na mistura, V_v , também se exprimem como percentagem do volume total do corpo-de-prova. Representam o volume que não é ocupado pelo asfalto nem pelo agregado. A menos que se leve em conta a quantidade de asfalto absorvido pelo agregado, pode-se chegar a uma percentagem calculada de vazios de ar na mistura ilusoriamente pequena.

Avaliação e Ajuste das Dosagem de Misturas

Quando se desenvolve uma dosagem de mistura, é necessário, muitas vezes, fazer várias tentativas afim de satisfazer os critérios de determinado método de dosagem em uso. Quando estas tentativas de misturas deixam de atender os critérios de dosagem, é necessário modificar a dosagem ou, em alguns casos, fazer nova dosagem. Alguns ajustes na graduação da combinação de agregados, dentro dos limites da especificação, podem ser necessários para corrigir a deficiência.

Ao avaliar e ajustar as dosagens da mistura, o engenheiro deve ter sempre em mente que a mistura definitiva deve conseguir um balanço favorável entre os requisitos de estabilidade e durabilidade. O alvo deve ser a estabilidade adequada e a durabilidade máxima.

4.2. Procedimentos de Análise de uma Mistura Compactada de Pavimentação .

Introdução

O procedimento analítico que segue, aplica-se a misturas de pavimentação compactadas em laboratório e a amostras indeformadas cortadas de pavimentos compactados.

Quando se analisa uma mistura de pavimentação compactada em relação ao volume de vazios com ar na mistura e o volume de ar no agregado mineral (VAM, "VMA"), pode ser determinada alguma indicação de sua provável durabilidade e do desempenho em serviço. Os vazios de ar são os pequenos espaços com ar entre as partículas de agregado revestido; o VAM vem a ser os espaços vazios intergranulares do agregado com asfalto na mistura compacta. Exprime-se como volume percentual do volume total da mistura compactada.

É possível desenvolver muitas equações para usar em análises de densidade – vazios. Quando se tem a compreensão dos conceitos básicos, o desenvolvimento de novas equações que representem um conjunto particular de medições é um processo relativamente simples.

As informações sobre os ingredientes das misturas asfálticas de pavimentação devem ser obtidas antes que qualquer cálculo peso-volume seja feito. Incluem-se: a densidade relativa do asfalto, a densidade aparente de cada agregado e as proporções de cada ingrediente na mistura.

Além disso, deve-se proceder a uma série de pesagens em amostra não-compactada da mistura, para determinar a quantidade de asfalto absorvido pelo agregado. Com esta informação, é possível fazer uma análise de densidade – vazios de corpos-de-prova compactados, cujos pesos e volume aparente sejam conhecidos.

A fim de ajudar na compreensão dos fundamentos envolvidos, mostra-se na Figura 4.1 um diagrama resumido de mistura asfáltica de pavimentação. As propriedades estão em termos de volume, porém, também, podem ser expressas ponderalmente, com os mesmos subscritos. Deve-se reportar à Figura 4.1, constantemente, quando se desenvolverem as equações.

Os dados de todos os cálculos ilustrativos desta seção baseiam-se nas informações contidas na Tabela 4.1. Todos os cálculos de densidade – vazios envolvem medições dos materiais a 25°C, inclusive as densidades relativas. Em alguns casos são necessários os pesos submersos. Embora a densidade da água seja 0,997 g/cm³ a 25°C, admite-se o valor de 1 g/cm³. Considera-se insignificante o erro induzido por esta asserção.

Esboço do Procedimento

O que segue é um esboço dos passos a tomar na análise das misturas de pavimentação:

- (1) Medir a densidade relativa aparente do agregado graúdo (AASHTO T 85 ou ASTM C.127) e do agregado fino (AASHTO T 84 ou ASTM C 128).
- (2) Medir as densidades relativas do cimento asfáltico (AASHTO T 228 ou ASTM D 70) e do fíler mineral (AASHTO T 100 ou ASTM D 854).
- (3) Calcular a densidade relativa aparente da combinação de agregados na mistura de pavimentação.
- (4) Medir a densidade relativa máxima da mistura de pavimentação solta (ASTM D 2041).
- (5) Medir a densidade relativa aparente da mistura de pavimentação compactada (ASTM D 1188 ou ASTM D 2726).
- (6) Calcular a densidade relativa efetiva dos agregados.
- (7) Calcular a absorção de asfalto do agregado.
- (8) Calcular o teor de asfalto efetivo da mistura de pavimentação.
- (9) Calcular o percentual de vazios do agregado mineral na mistura de pavimentação compactada.
- (10) Calcular o percentual de vazios com ar na mistura de pavimentação compactada.
- (11) Calcular o percentual de vazios preenchidos de asfalto da mistura de pavimentação compactada.

Dados de Misturas de Pavimentação para Cálculo de Amostras

A Tabela 4.1 apresenta os dados básicos para constituir uma amostra de mistura de pavimentação. Estes dados de dosagem são usados no cálculo de amostra empregado no restante do capítulo. (Tabela 4.1)

Tabela 4.1 Dados Básicos para Amostra de Mistura de Pavimentação

Material	Densidade Relativa		Composição da Mistura			
	Aparente	Método AASHTO	Método ASTM	Porcentagem em Peso da Mistura Total	Porcentagem em Peso do Agregado Total	
Cimento Asfáltico	1.010 (G_b)	—	T 228	O 70	6,96 (P_b)	7,48 (P_b)
Agregado Graúdo	2,606 (G_1)	T 85	T 85	C 127	51,45 (P_1)	55,30 (P_1)
Agregado Fino	2,711 (G_2)	T 84	T 84	C 128	34,24 (P_2)	36,80 (P_2)
Fíler Mineral	0,677 (G_3)	—	T 100	D 854	7,35 (P_3)	7,90 (P_3)

(b) Mistura de Pavimentação

Densidade relativa aparente da amostra de mistura de pavimentação compactada, G_m

(ASTM) D2726 — 2,344

Densidade relativa máxima da amostra de mistura de pavimentação, G_{mm}

(ASTM D 2041) — 2,438

Densidade Relativa Aparente de Agregado

Quando o agregado total consiste de frações separadas de agregado graúdo, agregado fino e filer mineral, todos com diferentes densidades relativas, a combinação de agregado terá uma densidade aparente que se pode calcular:

$$G_{sb} = \frac{P_1 + P_2 + \dots + P_n}{\frac{P_1}{G_1} + \frac{P_2}{G_2} + \dots + \frac{P_n}{G_n}} \quad (1)$$

onde

G_{sb} = densidade relativa aparente do agregado total
 P_1, P_2, P_n = porcentagens em peso dos agregados 1, 2, n; e
 G_1, G_2, G_n = densidade aparente dos agregados 1, 2, n.

A densidade relativa aparente do filer mineral é, atualmente, de difícil determinação. Contudo, utiliza-se, no seu lugar, a densidade relativa real, sendo o erro, usualmente, desprezível.

O cálculo utilizando-se os dados da tabela 4.1:

$$G_{sb} = \frac{51,450 + 34,240 + 7,350}{\frac{51,450}{2,606} + \frac{34,240}{2,711} + \frac{7,350}{2,697}} = \frac{93,040}{19,743 + 12,630 + 2,725} = 2,651$$

Densidade Relativa Efetiva de Agregado

A densidade relativa efetiva, G_{se} , do agregado, quando baseada na densidade relativa máxima de uma mistura de pavimentação, G_{mm} , inclui todos os espaços vazios nas partículas de agregado, exceto os que absorvem asfalto. Determina-se como segue:

$$G_{se} = \frac{P_{mm} - P_b}{\frac{P_{mm}}{G_{mm}} - \frac{P_b}{G_b}} \quad (2)$$

onde

G_{se} = densidade relativa efetiva do agregado

P_{mm} = mistura solta total, em porcentagem do peso total da mistura (= 100 por cento)

P_b = asfalto, em porcentagem do peso total da mistura

G_{mm} = densidade relativa máxima da mistura de pavimentação (sem vazios com ar) ASTM D 2041

G_b = densidade relativa do asfalto

Cálculo utilizando-se os dados da Tabela 4.1.

$$G_{se} = \frac{100 - 6,960}{\frac{100 - 6,960}{2,438} \frac{1,010}{1,010}} = \frac{93,040}{34,126} = 2,726$$

NOTA:

O volume de ligante asfáltico absorvido por um agregado é quase sempre menor do que o volume de água absorvida. Conseqüentemente, o valor da densidade relativa efetiva de um agregado deve ficar entre suas densidades relativas real e aparente. Quando a densidade relativa efetiva cai fora destes limites, deve-se considerar que seu valor está errado. Os cálculos, a densidade relativa máxima teórica da mistura total segundo a ASTM D 2041, e a composição da mistura em termos do agregado e do teor total de asfalto devem ser, então, verificados de novo a fim de detectar a causa do erro.

Sendo a densidade relativa real do agregado graúdo 2,759 e a do agregado fino 2,905 para a amostra de mistura de pavimentação da Tabela 4.1, a densidade relativa real, G_{sa} , do agregado total pode ser calculada pela mesma fórmula da aparente, usando-se a densidade relativa real de cada agregado constituinte. Neste exemplo, então, a densidade relativa real calculada, G_{sa} , é

$$G_{sa} = \frac{51,450 + 34,240 + 7,350}{\frac{51,450}{2,759} + \frac{34,240}{2,905} + \frac{7,350}{2,697}} = \frac{93,040}{33,160} = 2,806$$

No exemplo dado, as três densidades relativas são as seguintes :

Densidade Relativa Aparente, G_{sb} 2,651

Densidade Relativa Efetiva, G_{se} 2,726

Densidade Relativa Real, G_{sa} 2,806

Densidades Relativas Máximas de Misturas com Diferentes Teores de Asfalto

Ao dosar uma mistura de pavimentao com um determinado agregado,  necessário conhecer as densidades relativas máximas, G_{mm} , a diferentes teores de asfalto a fim de calcular a percentagem de vazios de ar para cada teor de asfalto. Enquanto se pode determinar essa mesma densidade relativa máxima para cada teor de asfalto pelo método de ensaio ASTM D 2041, a precisão do ensaio  melhor quando a mistura está proxima do teor ótimo de asfalto. Além disso, é preferivel medir a densidade relativa máxima em duplicata ou triplicata.

Depois de tirar a média dos resultados destes ensaios e calcular a densidade relativa efetiva do agregado, a densidade relativa máxima de qualquer outro teor de asfalto pode ser obtida como mostrado abaixo. Para todos os efeitos, a densidade relativa efetiva do agregado  constante porque a absorcao de asfalto não varia apreciavelmente com as variaoes de teor de asfalto.

$$G_{mm} = \frac{P_{mm}}{\frac{P_s}{G_{se}} + \frac{P_b}{G_b}} \quad (3)$$

onde

G_{mm} = densidade relativa máxima da mistura asfáltica (vazios de ar nulo)

P_{mm} = mistura total solta, percentagem do peso total da mistura (= 100)

P_s = agregado, percentagem do peso total da mistura

P_b = asfalto, percentagem do peso total da mistura

G_{se} = densidade relativa efetiva do agregado

G_b = densidade relativa do asfalto

Cálculos feitos utilizando-se os dados de densidade relativa da Tabela 4.1, a densidade relativa efetiva, G_{se} , determinada acima, e mais o teor de asfalto, P_b , de 7,46 por cento:

$$G_{mm} = \frac{100}{\frac{92,540}{2,726} + \frac{7,460}{1,010}} = \frac{100}{41,333} = 2,419$$

Absorção de Asfalto

A absorção é expressa como percentagem em peso do agregado em vez de percentagem do peso total da mistura. Determina-se a absorção de asfalto (P_{ba}) como segue:

$$P_{ba} = 100 \left(\frac{G_{se} - G_{sb}}{G_{se} G_{sb}} \right) G_b \quad (4)$$

onde

- P_{ba} = asfalto absorvido, percentagem em peso do agregado
- G_{se} = densidade relativa efetiva do agregado
- G_{sb} = densidade relativa aparente do agregado
- G_b = densidade relativa do asfalto

Calculando-se com os dados de densidade relativa da Tabela 4.1

$$P_{ba} = 100 \frac{2,726 - 2,651}{2,651 \times 2,726} 1,010 = 100 \frac{0,075}{7,227} 1,010 = 1,05$$

Teor de Asfalto Efetivo de uma Mistura de Asfáltica

O teor de asfalto efetivo (P_{be}) de uma mistura de pavimentação é o teor total de asfalto menos a quantidade de asfalto perdida por absorção pelas partículas de agregado. É a porção do teor de asfalto total que permanece como cobertura do lado de fora das partículas de agregado, e é deste teor de asfalto que depende o desempenho de serviço de uma mistura asfáltica de pavimentação. A formula é:

$$P_{be} = P_b - \left(\frac{P_{ba}}{100} \right) P_s \quad (5)$$

onde

- P_{be} = teor de asfalto efetivo, em percentagem do peso total da mistura
- P_b = asfalto, em percentagem do peso total da mistura
- P_{ba} = asfalto absorvido, em percentagem do peso do agregado
- P_s = agregado, percentagem do peso total da mistura

Segue-se um exemplo com os dados calculados nos exemplos prévios.

$$P_{be} = 6,96 - \frac{1,05}{100} 93,04 = 6,96 - 0,98 = 5,98$$

Porcentagem de VAM - Vazios no Agregado Mineral de Misturas Asfálticas Compactadas.

Os vazios no agregado mineral, VAM, definem-se como o espaço intergranular de vazios entre as partículas de agregado numa mistura de pavimentação compactada, que inclui os vazios de ar e o teor de asfalto efetivo, expresso como percentagem do volume total. Calcula-se o VAM com base na densidade relativa aparente do agregado, que se exprime como percentagem do volume aparente da mistura de pavimentação compactada. Portanto, o VAM pode ser calculado por subtração do volume de agregado determinado por sua densidade relativa aparente, do volume global da mistura de pavimentação compactada. Ilustra-se o método de cálculo como segue:

Se a composição de mistura for determinada em percentagem do peso da mistura total:

$$\text{VAM} = 100 - \left(\frac{G_{mb} P_s}{G_{sb}} \right) \quad (6)$$

onde

VAM = vazios no agregado mineral (percentagem do volume global)

G_{sb} = densidade relativa aparente do agregado

G_{mb} = densidade relativa aparente da mistura compactada (ASTM D 2726)

P_s = agregado, percentagem do peso total da mistura

Calculando-se com os dados da Tabela 4.1

$$\text{VAM} = 100 - \frac{2,344 \times 93,04}{2,651} = 100 - 82,27 = 17,73$$

Ou se a composição da mistura for determinada em percentagem do peso do agregado:

$$\text{VAM} = 100 - \frac{G_{mb}}{G_{sb}} \times \frac{100}{100 + P_b} 100 \quad (7)$$

onde:

P_b = asfalto, percentagem do peso do agregado

Calculando-se com os dados da Tabela 4.1

$$\text{VAM} = 100 - \frac{2,344}{2,651} \times \frac{100}{100 + 7,48} 100 = 100 - 82,27 = 17,73$$

Cálculos de Vazios de Ar na Mistura Compactada

Os vazios de ar, P_a , numa mistura de pavimentação compactada consiste no pequeno espaço de ar entre as partículas de agregado recobertas. Pode-se determinar a percentagem de vazios de ar na mistura compactada, pela equação seguinte:

$$P_a = 100 \frac{G_{mm} - G_{mb}}{G_{mm}} \quad (8)$$

onde

P_a = vazios de ar na mistura compactada, em percentagem do volume total;

G_{mm} = densidade relativa máxima da mistura de pavimentação (tal como determinada na apresentação anterior, ou determinada diretamente na mistura de pavimentação segundo o método ASTM D 2041).

G_{mb} = densidade relativa aparente da mistura compactada

O cálculo feito com os dados da Tabela 4.1.

$$P_a = 100 \frac{2,438 - 2,344}{2,438} = \frac{9,400}{2,438} = 3,86$$

A Percentagem de VCA (Vazios Cheios de Asfalto) Misturas Asfálticas Compactada

Os vazios cheios de asfalto, VCA, vem a ser a percentagem do espaço intergranular de vazios entre as partículas de agregado (VAM) que é preenchido por asfalto. O VCA, não incluindo o asfalto absorvido, é determinado por:

$$VCA = \frac{100 (VAM - P_a)}{VAM}$$

onde

VCA = vazios cheios de asfalto, percentagem de VAM

VAM = vazios no agregado mineral, percentagem do volume global

P_a = vazios de ar da mistura compactada, percentagem

O cálculo feito com os dados da Tabela 4.1.

$$VCA = \frac{100 (17,73 - 3,86)}{17,73} = 78,2\%$$

4.3. Métodos de Dosagem de Misturas Asfálticas a Quente

Introdução

Métodos e Requisitos de Dosagem

Os métodos de dosagem e os requisitos de dosagem de misturas formam uma parte essencial das especificações de construção de todos os serviços de pavimentação importantes. Qualquer que seja a dosagem de mistura utilizada, esta torna-se parte das especificações e não uma "autoridade" superior e acima das especificações.

A agência ou entidade responsável pela construção de pavimentos geralmente estabelece o método e os requisitos de dosagem das misturas. Uma vez estabelecidos, passa a ser a responsabilidade do engenheiro e do técnico desenvolver a dosagem da mistura respeitado o arcabouço de outros requisitos especificados.

Os métodos de Marshall e de Hveem de dosagem de misturas têm ampla utilização com resultados satisfatórios. Em cada método, desenvolveram-se critérios correlacionando os resultados de ensaios de laboratório de misturas de pavimentação compactadas com o desempenho de misturas nas condições de serviço. Em cada situação, no entanto, fez-se a correlação dentro de certos limites aqui apresentados para cada método. Um método de dosagem não se aplica a todos os tipos de misturas. A aplicabilidade dos métodos de dosagem de laboratório para diferentes tipos de misturas é dada na Tabela 4.2.

Tabela 4.2. Adequação dos Métodos de Dosagem de Laboratório

Especificação ASTM de Misturas de Pavimentação*		Marshall	Hveem
37,5 mm	(1 ½ pol)	U	U
25,0 mm	(1 pol)	0	0
19,0 mm	(¾ pol)	V	V
12,5 mm	(½ pol)	V	V
9,5 mm	(¾ pol)	V	V
4,75 mm	(nº 4)	V	V
2,36 mm	(nº 8)	V	V
1,18 mm	(nº 16)	V	V

V = Adequado

0 = Adequado se diâmetro máximo do agregado for 25 mm ou menos.

U = Inadequado, sendo necessárias modificações na dosagem da mistura

*ASTM D 3515, Tabela 1.

Lista de Amostras e Ensaios

Com antecedência aos ensaios de dosagem de misturas, deverá o engenheiro ou o inspetor determinar, a seu conteúdo, se as amostras representativas de agregado e de asfalto foram amplamente fornecidas de modo a poder realizar o número de ensaios requeridos. Sugere-se a seguinte lista de quantidades:

- 4 litros de cimento asfáltico;
- 23 kg de agregado graúdo (ou rocha);
- 23 kg de agregado fino (ou areia);
- 9 kg de filer mineral (quando necessário).

Pode ser necessário dispor de maiores quantidades de agregado, caso as quantidades acima resultarem em considerável descarte na combinação de materiais para as graduações de dosagem, ou se forem estudadas várias combinações de agregados graúdo e fino.

Cada amostra de material deve ser identificada quanto à localização da fonte, localização da obra e número da obra ou serviço. As amostras de cimento asfáltico devem estar em pequenos recipientes metálicos limpos, com tampas ou coberturas estanques, para evitar o reaquecimento de todo o suprimento cada vez que se ensaiar uma misturas. As amostras de agregado individuais devem ficar em sacos de pano de textura cerrada, bem amarrados.

A lista ou seqüência de ensaios a executar, deve ser compilada pelo inspetor. Os ensaios devem ser relacionados numa seqüência própria e lógica. É importante que todos os demais ensaios das especificações tenham sido concluídos antes de começar os ensaios de dosagem da mistura. Desta forma, eliminam-se as fontes de agregados de qualidade inferior que deixam de ser cogitados nos estudos de dosagem.

Preparação de Misturas Experimentais

Os procedimentos gerais de preparação de misturas experimentais estão ilustrados nas Figuras 4.2 a 4.5. O procedimento geralmente consiste em:

1. Secagem dos agregados até peso constante;
2. Peneiramento seco dos agregados para obter as frações de tamanhos desejados;
3. Pesagem dos agregados para as misturas de bateladas;
4. Aquecimento dos agregados da batelada na estufa;
5. Colocação dos agregados da batelada na panela da misturadora;
6. Adição das quantidades prescritas de asfalto quente à batelada;
7. Mistura do agregado com o asfalto.

Método Marshall de dosagem de Mistura , Desenvolvimento e Aplicação.

Os conceitos do método Marshall de dosagem de mistura de pavimentação foram formulados por Bruce Marshall, que foi Engenheiro de Betumes do Departamento Estadual de Estradas de Rodagem do Mississippi. Os engenheiros militares americanos ("U.S. Corps of Engineers"), após pesquisas extensas e estudos de correlação, melhoraram o procedimento do ensaio Marshall e acrescentaram-lhe alguns itens, e finalmente, desenvolveram critérios de



Figura 4.2 Pesagem dos Agregados para as Misturas de Batelada



Figura 4.3 Aquecimento de Bateladas de Agregado na Estufa



Figura 4.4 Adicionando Asfalto a um recipiente de Aquecimento de Asfalto Controlado Termostaticamente.



Figura 4.5 Misturador Mecânico usado na Mistura de uma Batelada de Asfalto e Agregado.

dosagem de mistura. Os procedimentos de ensaio Marshall foram padronizados pela Sociedade Americana de Ensaio e Materiais: ASTM Designação D 1559, Resistência ao Fluxo Plástico de Misturas Betuminosas Utilizando o Aparelho Marshall¹. Os procedimentos de ensaio aqui apresentados são basicamente os mesmos do Método ASTM. (Recomenda-se que sejam seguidos exatamente os procedimentos AASHTO ou ASTM quando se referir a um ou outro método.)

O método Marshall como se apresenta aqui é aplicável apenas a misturas asfálticas de pavimentação, usando cimentos asfálticos graduados pela penetração ou pela viscosidade e contendo agregados de tamanho máximo de 25 mm ou menos. Este método destina-se à dosagem em laboratório de misturas asfálticas a quente de pavimentação.

Esboço do Método

O procedimento do ensaio Marshall começa dos corpos-de-prova. Preliminarmente se requer o seguinte com a preparação:

- (1) Que os materiais propostos para utilização atendam os requisitos das especificações da obra;
- (2) Que as combinações de agregado atendam os requisitos de graduação das especificações da obra; e
- (3) Que, nas análises de densidade e vazios, a densidade aparente dos agregados usados na combinação, e a densidade relativa do cimento asfáltico, sejam determinadas.

Estes requisitos são assuntos de ensaios de rotina, especificações e técnica de laboratório que devem ser considerados, mas não são exclusivos de um método particular de dosagem de mistura.

O método Marshall utiliza corpos-de-prova cilíndricos padronizados de 64 mm de altura e 102 mm de diâmetro. Os corpos-de-prova são preparados segundo um procedimento especificado de aquecimento, mistura e compactação das misturas de asfalto e agregado. Os dois aspectos principais do método Marshall de dosagem de misturas são a análise da densidade e vazios e o ensaio de estabilidade e fluência dos corpos-de-prova compactados.

A estabilidade do corpo-de-prova é a carga máxima a que resiste, em newton, o corpo-de-prova, à temperatura de 60°C, quando ensaiado como se esboça adiante. O valor de fluência é o movimento total ou a deformação, em unidade de 0,25 mm, que ocorre no corpo-de-prova entre o início sem carga e na carga máxima, durante o ensaio de estabilidade.

Preparação dos Corpos-de-Prova

Na determinação do teor ótimo de asfalto para uma combinação ou graduação de agregados particular pelo método Marshall, prepara-se uma série de corpos-

¹O AASHTO T245 "Resistência ao Fluxo Plástico de Misturas Betuminosas Utilizando o Aparelho Marshall" coincide com o ASTM D 1559, exceto as prescrições do soquete operado mecanicamente. No AASHTO T245, Par. 2.3, Nota 2 – Em vez de um soquete operado manualmente e o equipamento associado, pode ser usado um soquete operado mecanicamente contanto que tenha sido calibrado de modo a dar resultados comparáveis ao soquete operado manualmente.

de-prova para uma gama de diferentes teores de asfalto, de tal forma que as curvas de dados de ensaio mostrem um valor "ótimo" bem definido. Os ensaios devem se programados com base em acréscimos de ½ por cento de teor de asfalto, tendo pelo menos dois teores de asfalto acima do "ótimo" e dois abaixo do "ótimo".

O equipamento necessário para a preparação dos corpos-de-prova vem, a seguir, relacionado.

Bandejas de metal, fundo plano, para o aquecimento dos agregados.

Paneles de metal, redondas, cerca de 4 litros de capacidade, para misturar asfalto e agregado.

Estufa e Placa Quente, elétricas, para aquecimento de agregados, asfalto e utensílios como requerido.

Concha, para recolher o agregado.

Recipientes, latinhas, béqueres, canecas ou caçarolas para aquecer asfalto.

Termômetros, blindados, de vidro, de mostrador e haste metálica e eletrônicos, 10°C a 232°C, para determinar a temperatura de agregados, asfalto e misturas asfálticas.

Balança, capacidade de 5 kg, sensível a 1 g para pesar agregados e asfalto.

Balança, capacidade de 2 kg, sensível a 0,1 g para pesar corpos-de-prova compactados.

Colher de misturar, grande, e pá de pedreiro ou trolha, pequena.

Espátula, grande.

Misturador mecânico (opcional), *masseira comercial* de capacidade de 4 litros ou maior, equipada com duas gamelas metálicas de mistura e dois agitadores de fios metálicos.

Banho de Água Fervente, consistindo numa placa quente e balde com água, afim de aquecer o soquete de compactação e o molde.

Pedestal de compactação, Figura 4.6, constituído de soco de madeira de 200 x 200 x 468 mm capeado com placa de aço de 305 x 305 x 25 mm. O soco de madeira deve ser carvalho, pinho amarelo ou outra madeira de massa específica seca de 673 a 769 kg/m³. O soco de madeira deve ser preso por quatro garras dobradas a uma placa de concreto resistente. A placa de aço do capeamento deve ser presa com firmeza ao soco. O pedestal deve ser instalado de modo que o soco esteja apurcado, a placa de capeamento nivelada e não sujeita a deslocamento durante a compactação.

Molde de compactação, constituído de uma placa de base, molde conformador e colarinho de extensão. O molde conformador tem o diâmetro interno de 101,6 mm e altura aproximada de 75 mm; a placa de base e o colarinho de extensão são construídos de modo a serem utilizados nos dois extremos do molde.

Soquete de Compactação, constituído de uma face batente circular plana de 98,4 mm de diâmetro, tendo "peso" de 4,5 kg construído de modo a obter-se a altura de queda especificada de 457 mm.

*Prendedor do Molde** constituído de dispositivo de mola de tração que se

*A aparelhagem do ensaio Marshall deve estar de acordo com os requisitos do método de ensaio ASTM D 1559

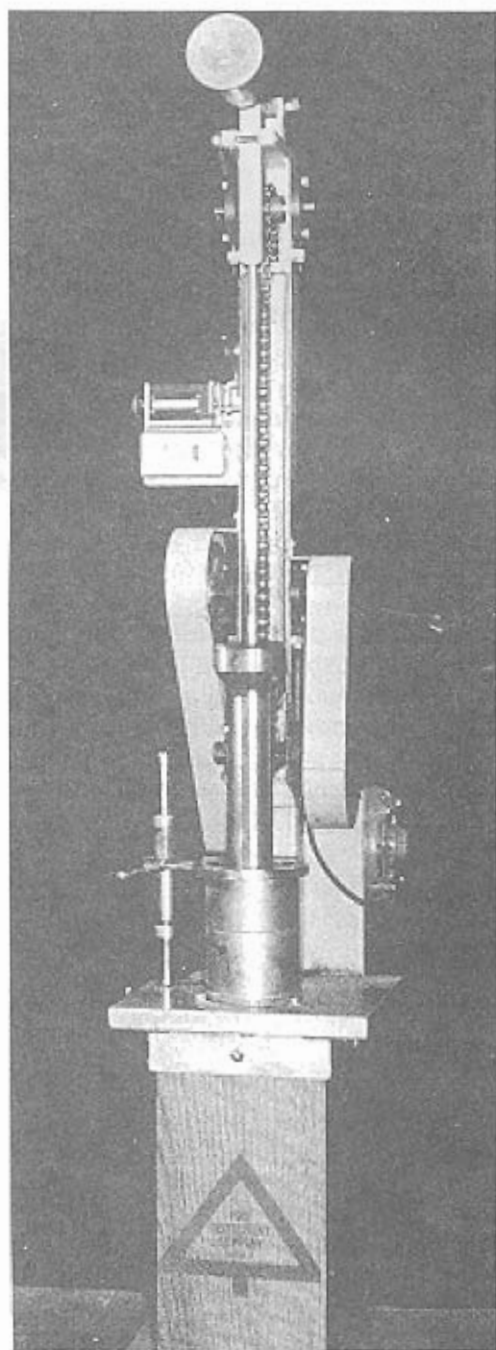


Figura 4.6 Soquete Mecânico Usado na Preparação de Corpos-de-Prova do Ensaio Marshall

*Macaco de Extrusão** ou prensa automática para extrusão de corpos-de-prova compactados do molde.

Luvas de soldadores, para manusear equipamentos quentes. Luvas de borracha, para retirar os corpos-de-prova de banho térmico.

Lápis de marcar, para identificar corpos-de-prova.

A obtenção de dados adequados, estabelece que corpos-de-prova em *triplicata* constitui o mínimo a preparar para cada teor de asfalto. Assim, no estudo de dosagem de mistura a quente com seis teores de asfalto diferentes exige-se, normalmente, dezoito corpos-de-prova, pelo menos. Cada corpo-de-prova, usualmente, exige cerca de 1,2 kg de agregado. Portanto, a quantidade mínima de agregados necessária para uma série de corpos-de-prova de uma combinação e graduação será de, aproximadamente, 23 kg. Será bastante quatro litros, aproximadamente, de cimento asfáltico. Deve-se seguir os seguintes passos na preparação dos corpos-de-prova.

(a) *Número de Corpos-de-Prova* – Preparar pelo menos três, ou de preferência, cinco corpos-de-prova para cada combinação de agregados e cimento asfáltico.

(b) *Preparação de Agregados* – Secar os agregados, até peso constante, de 105°C a 110°C e separar os agregados por peneiramento seco na fração de tamanho que se deseja. Recomendam-se os seguintes tamanhos de frações considerados adequados: 25,0 a 19,0 mm (1 a ¾ pol), 19,0 a 9,5 mm (¾ a 3/8 pol), 9,5 a 4,75 mm (3/8 pol a nº 4), 4,75 a 2,36 mm (nº 4 a nº 8) e passante 2,36 mm (nº 8).

(c) *Determinação das Temperaturas de Mistura e Compactação* – As temperaturas de mistura e de compactação foram estabelecidas como sendo, respectivamente, as temperaturas em que o asfalto apresenta viscosidades cinemáticas de 170 ± 20 centistokes e 280 ± 30 centistokes.

(d) *Preparação do Molde e Soquete* – Limpar perfeitamente o conjunto de moldagem do corpo-de-prova e a face do soquete compactador e aquece-los num banho de água fervente ou sobre uma placa quente até uma temperatura entre 93°C e 149°C. Colocar um pedaço de papel encerado recortado no tamanho do fundo do molde antes de colocar a mistura dentro do molde.

(e) *Preparação das Misturas* – Pesar em painelas separadas para cada corpo-de-prova a quantidade de cada fração de tamanho necessário para produzir a batelada que resultará num corpo-de-prova de $63,5 \pm 1,3$ mm de altura. Esta quantidade é normalmente de cerca de 1,2 kg. Deve-se, geralmente, preparar um corpo-de-prova de tentativa antes de preparar as bateladas de agregado. Caso a altura do corpo-de-prova de tentativa cair fora dos limites, a quantidade de agregado usado no corpo-de-prova pode ser ajustado como segue:

No Sistema Internacional de Unidades (SI),

$$\text{Massa ajustada de agregado} = \frac{63,5 \text{ (massa de agregado usado)}}{\text{altura (mm) do corpo-de-prova obtido}}$$

$$\text{Sistema Costumeyiro dos EUA,} \\ \text{Peso ajustado de agregado} = \frac{2,5 \text{ (massa de agregado usado)}}{\text{altura (pol) do corpo-de-prova obtido}}$$

Colocar as bandejas na estufa ou sobre uma placa quente e aquecer até uma temperatura de aproximadamente, 28°C superior à temperatura de mistura especificada em (c). Se a placa quente for usada, deve-se providenciar um espaço morto, um anteparo de separação ou um banho de areia entre a bandeja e a placa quente a fim de evitar sobreaquecimento localizado. Colocar o agregado aquecido na panela de mistura e misturá-lo a seco intensamente. Formar uma cratera no agregado combinado seco e pesar a quantidade de asfalto necessária na mistura de acordo com os pesos acumulativos das bateladas. Neste ponto as temperaturas do agregado e do asfalto devem estar dentro dos limites da temperatura de mistura estabelecidas no parágrafo (c). Não se deve manter o asfalto à temperatura de mistura por mais de uma hora antes de usá-lo. Misturar o agregado e o cimento asfáltico preferentemente com um misturador mecânico ou, então, manualmente com uma pá de pedreiro, tão rápida e intensamente quanto possível a fim de que resulte uma mistura que apresente a distribuição uniforme do asfalto em todas as partes.

(f) *Compactação dos corpos-de-prova* – Colocar a batelada toda no molde, espadar a mistura vigorosamente com uma espátula ou pá de pedreiro aquecida, 15 vezes ao longo do perímetro e dez vezes no centro. Remover o colarinho e alisar a superfície obtendo-se uma forma levemente arredondada. A temperatura da mistura pouco antes da compactação deve estar dentro dos limites de temperatura de compactação estabelecidos no parágrafo (c); de outra maneira, deverá ser descartada. Não se deve, de forma alguma reaquecer a mistura.

(g) Recolocar o colarinho, colocar o conjunto do molde no pedestal de compactação no predador do molde. Aplicar um número de golpes de 35, 50 ou 75, conforme especificado, de acordo com a categoria de tráfego projetado, com o soquete de compactação com queda livre de 457 mm. Manter o eixo do soquete de compactação tanto quanto possível perpendicular à base do conjunto do molde durante a compactação. Remover a placa de base e o colarinho; inverter e montar novamente o molde. Aplicar o mesmo número de golpes de compactação na face do corpo-de-prova invertido. Pode-se usar um compactador mecânico, mas a relação entre a compactação manual e a mecânica deve ser estabelecida. Depois da compactação, remover a placa de base e deixar que o corpo-de-prova esfrie ao ar até que não se deforme quando retirado do molde.

Para se obter um esfriamento mais rápido pode-se usar ventiladores de mesa, mas não a água a não ser que o corpo-de-prova esteja num saco plástico. Remover o corpo-de-prova do molde por meio de um macaco de extrusão ou outro aparelho de compressão, e então colocá-lo numa superfície lisa e nivelada até que esteja pronto para ensaiar. Normalmente, deixa-se que os corpos-de-prova esfriem durante a noite.

Procedimento de Ensaio para Dosagem de Mistura

No método de ensaio Marshall submete-se cada corpo-de-prova aos seguintes ensaios e determinações na ordem listada.

- Determinação de Densidade Relativa Aparente
- Ensaio de Estabilidade e Fluência
- Análise de Densidade e Vazios

O equipamento necessário para o ensaio de corpos-de-prova de 102 mm de diâmetro por 64 mm de altura consiste num dispositivo de ensaio de compressão e um banho d'água. O dispositivo de ensaio de compressão pode ser qualquer máquina de ensaio mecânica ou hidráulica desde que a capacidade e a sensibilidade satisfaçam os requisitos esboçados na norma ASTM D 1559. Alternativamente, uma prensa de ensaio como a indicada na Figura 4.8 pode ser usada nos ensaios de estabilidade e fluência. O banho d'água deve ter pelo menos 150 mm de profundidade e ser controlado termostaticamente a $60^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$. O tanque deve ter um fundo falso perfurado ou ser provido de uma prateleira que suspenda os corpos-de-prova a, pelo menos, 50 mm acima do fundo do banho.

(a) *Determinação da Densidade Relativa Aparente*

O ensaio de densidade aparente pode ser realizado assim que o corpo-de-prova recém-compactado tiver estriado até a temperatura ambiente do laboratório. Faz-se este ensaio de acordo com a norma ASTM D 1188 – Densidade Relativa Aparente de Misturas Betuminosas Compactadas Usando Corpos-de-Prova Revestidos de Parafina ou a norma ASTM D 2726 - Densidade Relativa Aparente de Misturas Betuminosas Compactadas Usando Corpos-de-Prova Saturados de Superfície Seca.

(b) *Ensaio de Estabilidade e Fluência*

Após determinar a densidade relativa aparente dos corpos-de-prova de ensaio, fazem-se os ensaios de estabilidade e fluência utilizando um dispositivo de ensaio de compressão como nas Figuras 4.7. e 4.8. Os passos seguintes aplicam-se à prensa de ensaio da Figura 4.7.

1. Zerar o medidor de fluência, fazendo-se a inserção de um cilindro metálico de 101,6 mm de diâmetro na cabeça de carga, e a colocação do medidor de fluência sobre um dos pinos-guia com o ajuste do medidor no zero.

(Nota: Este ajuste deve-se fazer no pino-guia marcado com "0" e no lado do segmento superior da cabeça de carga marcado com um "0" do mesmo lado do pino-guia com a citada marca. Nos ensaios dos corpos-de-prova, a montagem da cabeça de carga e do medidor de fluência deve ser a mesma. Os corpos-de-prova devem ter $101,6 \pm 0,25$ mm; de outro modo há que se fazer leituras inicial e final do medidor de fluência a fim de determinar o valor de fluência).

2. Imergir os corpos-de-prova no banho d'água a $60^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ durante 30 a 40 minutos antes dos ensaios.

3. Limpar cuidadosamente a superfície interna da cabeça de carga. A temperatura da cabeça deve ser mantida entre 21° e $37,8^{\circ}\text{C}$, utilizando-se um banho d'água quando necessário. Lubrificar os pinos-guia com fina película de óleo de modo que a parte superior da cabeça de carga deslize livremente sem prender. Se for usado um anel dinamométrico para medir a carga aplicada, verificar se o extensômetro está firmemente preso e zerado para a posição "sem carga".

(4) Com os aparelhos de ensaio já preparados, remover os corpos-de-prova do banho d'água e secar sua superfície cuidadosamente. Colocar o corpo-de-prova na placa de carga inferior e centrá-lo; a seguir, colocar a cabeça de carga superior ajustadamente na sua posição e centrar o conjunto completo no dispositivo de carregamento. Colocar o medidor de fluência sobre o pino-guia marcado como visto em (1) acima.

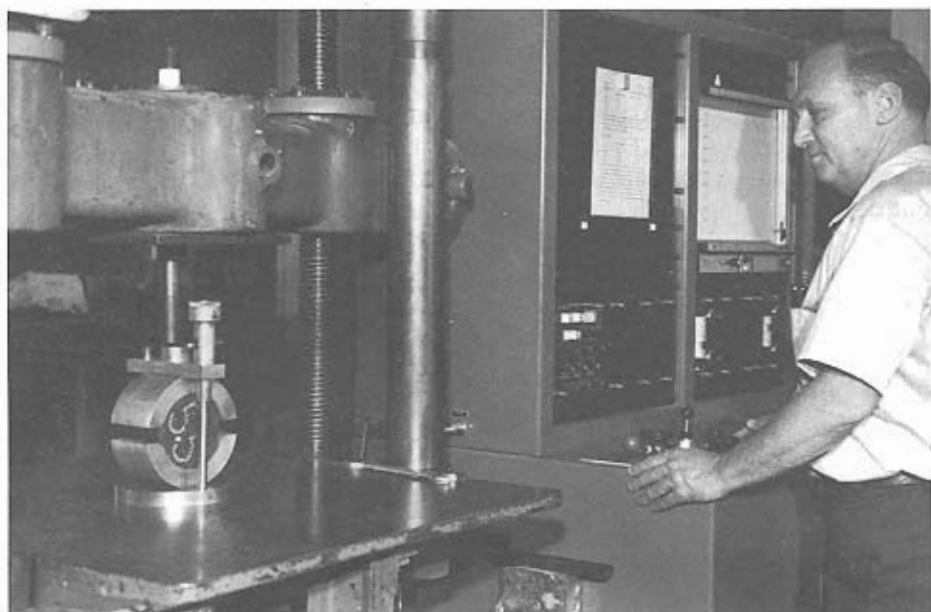


Figura 4.7 Procedimento Marshall – Equipamento de Ensaio de Compressão



Figura 4.8 Prensa de Ensaios. (Cortesia de Pine Instrument Co.)

(5) Fazer o carregamento do corpo-de-prova a uma taxa de deslocamento constante, 51 mm por minuto, até que haja ruptura. O ponto de ruptura define-se pela leitura de carga máxima feita. A força total em newtons necessária para causar a ruptura do corpo-de-prova a 60°C deve ser anotada como sendo o valor de estabilidade Marshall.

(6) Enquanto está em curso o ensaio de estabilidade, segurar firmemente o medidor de fluência na posição sobre o pino-guia e largá-lo assim que a carga começa a diminuir; fazer a leitura e anotá-la. A leitura é o valor de fluência do corpo-de-prova, expresso em unidades de 0,25 mm. Por exemplo, se o corpo-de-prova deformar-se de 3,8 mm o valor de fluência será 15.

(7) O procedimento completo, dos ensaios de estabilidade e fluência, a começar da remoção do corpo-de-prova do banho d'água, deve completar-se num período de trinta segundos.

(c) *Análise Densidade - Vazios*

Concluídos os ensaios de estabilidade e fluência faz-se uma análise de cada série de corpos-de-prova conforme se esboça na discussão prévia e mostrado na Figura 4.9.

Interpretação dos Dados de Ensaios

Os dados de estabilidade, valor de fluência e vazios preparam-se como segue.

(1) Os valores de estabilidade medidos de corpos-de-prova cujas espessuras se afastam do padrão de 63,5 mm devem ser convertidos para um valor equivalente a 63,5 mm por meio de um fator de conversão. A Tabela 4.3 apresenta razões de correlação que permitem converter os valores medidos de estabilidade. Notar que a conversão pode ser feita tanto na base da espessura medida quanto do volume medido.

(2) Tomar a média dos valores de fluência e dos valores convertidos de estabilidade para todos os corpos-de-prova de um determinado teor de asfalto. Os valores que estão obviamente errados não se deve incluí-los na média.

(3) Preparar gráficos separados com as marcações dos seguintes valores conforme ilustra a Figura 4.10.

- Estabilidade vs. Teor de Asfalto
- Fluência vs. Teor de Asfalto
- Massa Específica da Mistura Total vs. Teor de Asfalto
- Porcentagem de Vazios de Ar vs. Teor de Asfalto
- Porcentagem de Vazios no Agregado Mineral (VAM) vs. Teor de Asfalto
- Porcentagem de Vazios Cheios de Asfalto (VCA, "VFA" em inglês) vs. Teor de Asfalto.

Em cada caso, ligar os pontos marcados por uma curva suave que seja a melhor ajustada de todos os valores.

Verifica-se que as curvas de propriedades de ensaios, Figura 4.10, seguem um padrão razoavelmente consistente para as misturas de pavimentação densamente graduadas. Esboçam-se, a seguir, as tendências que geralmente se notam:

- O valor de estabilidade cresce com o aumento do teor de asfalto até o máximo, após o que a estabilidade decresce.
- O valor de fluência cresce com o aumento do teor de asfalto.

% CASP em peças na mistura Experimental	Altura do Corpo do corpo por prova	No. de Peças	No. de Água	Slit Superfície Seca (cm²)	Volume Aparente (cm³)	Densidade Aparente (kg/m³)	Densidade Teórica (kg/m³)	Densidade Relativa (kg/m³)	Massa Específica (kg/m³)	Vazios (%)	VW	ICA	Mistura Experimental:		Eficiência (0 a 100%)		
													Medida	Ajustado		Obra	Local
																Data:	Data:
3.5-A	1240.6	726.4	1246.3	519.9	2.386	148.9			148.9				2440	2440	8		
3.5-B	1238.7	725.3	1242.6	519.3	2.385	148.8			148.8				2420	2420	7		
3.5-C	1240.1	724.1	1245.9	521.8	2.377	148.3			148.3		14.0	48.0	2510	2510	7		
Média					2.383	148.7			148.7	7.3			2457	2457	7		
4.0-A	1244.3	727.2	1246.6	519.4	2.396	149.5			149.5				2180	2180	9		
4.0-B	1244.6	727.0	1247.6	520.6	2.391	149.2			149.2				2260	2260	9		
4.0-C	1242.6	727.9	1244.0	516.1	2.408	150.2			150.2				2310	2310	8		
Média					2.398	149.6			149.6	6.0	13.9	57.1	2250	2250	9		
4.5-A	1249.3	735.6	1250.2	514.4	2.429	151.5			151.5				2420	2420	9		
4.5-B	1250.8	728.1	1251.6	523.5	2.389	149.1			149.1				2410	2410	9		
4.5-C	1251.6	735.3	1253.1	517.8	2.417	150.8			150.8				2340	2340	9		
Média					2.412	150.5			150.5	4.7	13.9	66.1	2358	2358	9		
5.0-A	1256.7	739.8	1257.6	517.8	2.427	151.4			151.4				2290	2290	9		
5.0-B	1258.7	742.7	1259.3	516.6	2.437	152.0			152.0				2190	2190	8		
5.0-C	1258.4	737.5	1259.1	521.6	2.413	150.5			150.5				2240	2240	9		
Média					2.425	151.3			151.3	3.4	13.8	75.2	2240	2240	9		
5.5-A	1263.8	742.6	1264.3	521.7	2.422	151.2			151.2				2210	2210	9		
5.5-B	1268.8	741.4	1259.4	518.0	2.430	151.6			151.6				2300	2300	10		
5.5-C	1259.0	742.5	1259.5	517.0	2.435	152.0			152.0				2210	2240	9		
Média					2.429	151.6			151.6	2.5	14.1	82.1	2240	2240	9		

Figura 4.9

Ficha de Relatório de Ensaio com Dados de Ensaios de Dosagem Típica pelo Método Marshall

Tabela 4.3. Razões de Correlação da Estabilidade

Volume do Corpo-de-Prova cm ³	Espessura Aproximada do corpo-de-prova		Razão de Correlação
	mm	pol	
200 a 213	25.4	1	5.56
214 a 225	27.0	1 1/16	5.00
226 a 237	28.6	1 1/8	4.55
238 a 250	30.2	1 3/16	4.17
251 a 264	31.8	1 1/4	3.85
265 a 276	33.3	1 5/16	3.57
277 a 289	34.9	1 3/8	3.33
290 a 301	36.5	1 7/16	3.03
302 a 316	38.1	1 1/2	2.78
317 a 328	39.7	1 9/16	2.50
329 a 340	41.3	1 5/8	2.27
341 a 353	42.9	1 11/16	2.08
354 a 367	44.4	1 3/4	1.92
368 a 379	46.0	1 13/16	1.79
380 a 392	47.6	1 7/8	1.67
393 a 405	49.2	1 15/16	1.56
406 a 420	50.8	2	1.47
421 a 431	52.4	2 1/16	1.39
432 a 443	54.0	2 1/8	1.32
444 a 456	55.6	2 3/16	1.25
457 a 470	57.2	2 1/4	1.19
471 a 482	58.7	2 5/16	1.14
483 a 495	60.3	2 3/8	1.09
496 a 508	61.9	2 7/16	1.04
509 a 522	63.5	2 1/2	1.00
523 a 535	64.0	2 9/16	0.96
536 a 546	65.1	2 5/8	0.93
547 a 559	66.7	2 11/16	0.89
560 a 573	68.3	2 3/4	0.86
574 a 585	71.4	2 13/16	0.83
586 a 598	73.0	2 7/8	0.81
599 a 610	74.6	2 15/16	0.78
611 a 625	76.2	3	0.76

Notas:

1. A estabilidade medida de um corpo-de-prova multiplicado pela razão de correlação para a espessura do corpo-de-prova fornece a estabilidade corrigida para um corpo-de-prova de 63,5 mm.
2. As relações de volume-espessura baseiam-se no corpo-de-prova de diâmetro de 101,6 mm.

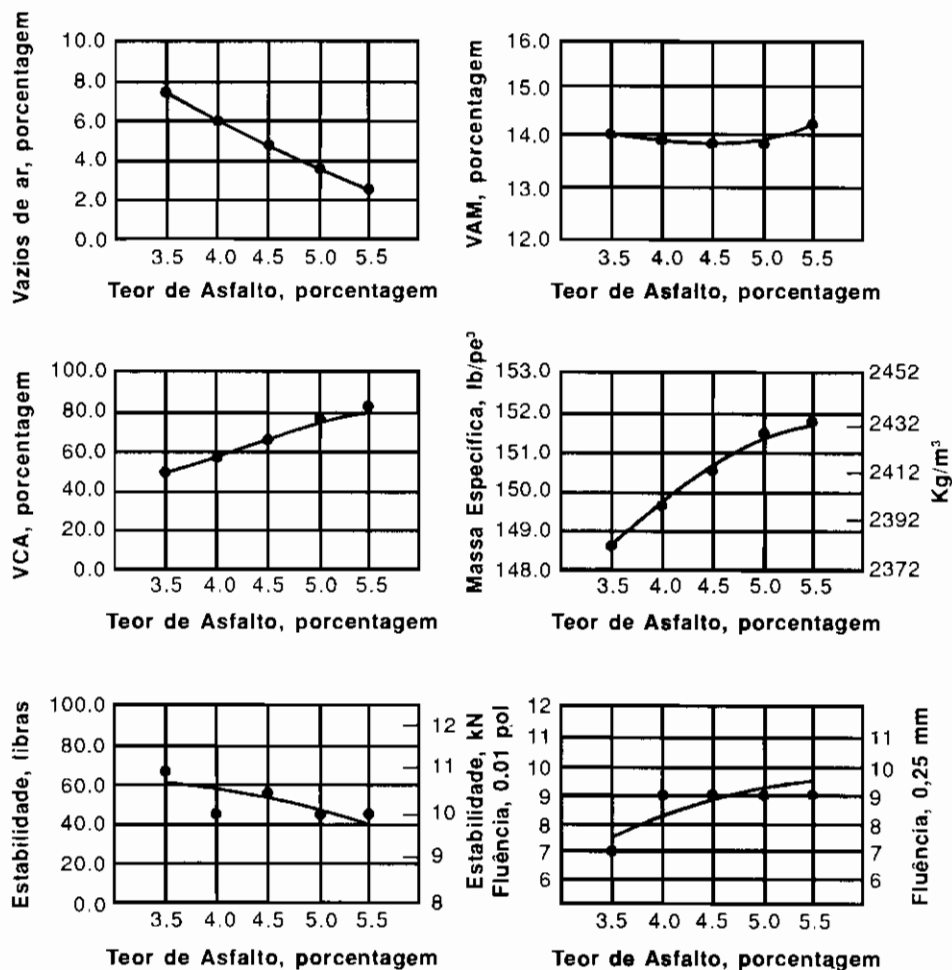


Figura 4.10 Curvas das Propriedades Teste para a Dosagem de Misturas Asfálticas a Quente pelo Método Marshall

- A curva de massa específica da mistura total é semelhante à da estabilidade, mas a densidade máxima usualmente (nem sempre) ocorre para um teor de asfalto levemente superior ao da estabilidade máxima.

- A porcentagem de vazios de ar diminui com o aumento do teor de asfalto, ao fim aproximando-se de um teor de vazios mínimo.

- A porcentagem de vazios no agregado mineral, geralmente, decresce até um valor mínimo e, a seguir, cresce, com o aumento do teor de asfalto.

- A porcentagem de vazios cheios de asfalto cresce com o aumento do teor de asfalto.

O teor de asfalto dosado (ou projetado) da mistura asfáltica de pavimentação é determinado pela consideração dos dados de ensaio descritos acima. Primeiramente, determinar o teor de asfalto em que a porcentagem de vazios de ar é igual a quatro por cento. A seguir, todas as propriedades da mistura, calculadas e medidas, para este teor de asfalto devem ser avaliadas comparando-as aos critérios de dosagem de misturas da Tabela 4.4.

Tabela 4.4 Critérios de Projeto de Dosagem Marshall

Método Marshall Critério de Mistura ¹	Tráfego Leve Revest. & Base		Tráfego Médio Revest. & Base		Tráfego Pesado Revest. & Base	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Compactação, número de golpes em cada extremo do corpo-de-prova	35		50		75	
Estabilidade, N (lb)	3336	–	5328	–	8006	–
	(750)	–	(1200)	–	(1800)	–
Fluência, 0,25 mm (0.01 pol)	8	18	8	16	8	14
Porcentagem de Vazios de Ar	3	5	3	5	3	5
Porcentagem de Vazios no Agregado Mineral (VAM)	<i>Ver Figura 4.11</i>					
Porcentagem de Vazios Cheios de Asfalto (VCA)	70	80	65	78	65	75

Notas:

1. Todos os critérios, não apenas o valor de estabilidade sozinho, devem ser considerados na dosagem de uma mistura asfáltica de pavimentação. As bases asfálticas de misturas a quente que não atendem estes critérios quando ensaiadas a 60°C são satisfatórias caso atendam os mesmos critérios quando ensaiadas a 38°C e colocadas a 100 mm ou mais abaixo da superfície. Esta recomendação aplica-se somente a regiões de gama de condições climáticas semelhantes às que prevalecem por quase todas as partes dos Estados Unidos. Pode-se considerar uma temperatura de ensaio inferior diferente em regiões de condições climáticas mais severas.
2. Classificação de Tráfego
 Leve Condições de tráfego que resultem em "EAL" de Projeto < 10⁴
 Médio Condições de tráfego que resultam em "EAL" de Projeto entre 10⁴ e 10⁵
 Pesado Condições de tráfego que resultem em "EAL" de Projeto > 10⁵.
3. Os esforços de compactação em laboratório devem ficar bem próximos da densidade máxima obtida no pavimento sob tráfego.
4. O valor de fluência refere-se ao ponto em que a carga começa a diminuir.
5. A parte do cimento asfáltico perdido por absorção pelas partículas de agregado deve ser levada em conta ao se calcular a porcentagem de vazios de ar.
6. A porcentagem de vazios no agregado mineral deve ser calculada com base na densidade aparente dos agregados segundo o ASTM.

Critérios para Misturas de Pavimentação Satisfatórias

Para saber se uma mistura asfáltica de pavimentação será satisfatória ou não, no teor de asfalto de projeto, tem-se certos critérios limitantes aplicáveis aos dados de ensaios da mistura no seu teor de asfalto da dosagem. Os critérios de dosagem da Tabela 4.4 são recomendados pelo Instituto do Asfalto. Se todos os critérios são satisfeitos, tem-se, então, o teor de asfalto de projeto. Se não se satisfizerem todos os critérios, então faz-se necessário algum ajuste da mistura ou deve esta ser dosada novamente.

A dosagem de mistura que se seleciona para uso num pavimento é, usualmente, aquela que atende economicamente a todos os critérios estabelecidos. Entretanto, não se deve dosar a mistura para otimizar uma propriedade em particular. Por exemplo, misturas que tenham estabilidade anormalmente elevada, são freqüentemente menos satisfatórias porque os pavimentos construídos tendem a ser menos duráveis e podem trincar prematuramente sob pesados volumes de tráfego. Quaisquer variações dos critérios de dosagem só devem ser admitidas em condições especiais, quando o desempenho em serviço de misturas com determinados agregados indicar ser mistura de pavimentação satisfatória.

Tamanho de Partícula Máximo Nominal ^{1,2}		VAM mínimo %		
		Vazios de Ar Dosados, porcentagem ³		
mm	pol	3.0	4.0	5.0
1.18	n.16	21.5	22.5	23.5
2.36	n.8	19.0	20.0	21.0
4.75	n.4	16.0	17.0	18.0
9.5	3/8	14.0	15.0	16.0
12.5	1/2	13.0	14.0	15.0
19.0	3/4	12.0	13.0	14.0
25.0	1.0	11.0	12.0	13.0
37.5	1.5	10.0	11.0	12.0
50	2.0	9.5	10.5	11.5
63	2.5	9.0	10.0	11.0

1. Especificação Normalizadas de Peneiras de Tela Metálica para Ensaio, ASTM E 11 (AASHTO M 92)
2. O tamanho de partícula máximo nominal é de um tamanho maior do que a primeira peneira que retém mais de 10 por cento.
3. Interpolar o mínimo de vazios no agregado mineral (VAM) para vazios de ar de dosagem entre os valores listados.

Figura 4.11 Percentual Mínimo de Vazios no Agregado Mineral

Método de Hveem de Dosagem de Mistura

O método de Hveem de dosagem de mistura é um procedimento de laboratório que se baseia em duas propriedades de corpos-de-prova compactados: coesão e atrito. A densidade e os vazios do corpo-de-prova são estabelecidos antes da medição da estabilidade com o estabilômetro. O estabilômetro é uma aparelhagem de ensaio triaxial em que se aplicam cargas verticais e se medem as pressões laterais resultantes.

Desenvolvimento e Aplicação

Os conceitos do método de Hveem de projeto de misturas asfálticas de pavimentação foram apresentadas e desenvolvidas sob a direção de Francis N. Hveem, que foi, em tempos passados, Engenheiro de Materiais e Pesquisa do Departamento de Transportes da Califórnia. Os procedimentos de ensaio e suas aplicações foram desenvolvidas em pesquisas extensas e estudos de correlação em pavimentos asfálticos de rodovias.

O método de Hveem tal como foi desenvolvido e usado no Departamento de Transportes da Califórnia aplica-se a misturas de pavimentação que utilizam graus de asfalto referentes tanto a penetração como a viscosidade e contendo agregados de tamanho máximo até 25 mm. O método que aqui se mostra, aplica-se na dosagem de misturas asfálticas de pavimentação densamente graduadas e a quente.

Os procedimentos de ensaios do método de Hveem foram padronizados pela Sociedade Americana de Ensaio e Materiais. Estes procedimentos são encontrados em ASTM D 1560, Resistência à Deformação e Coesão de Misturas Betuminosas por Meio do Aparelho de Hveem, e ASTM D 1561, Preparação de Corpo-de-Prova de Misturas Betuminosas por Meio do Compactador por Amassamento da Califórnia. Os procedimentos de ensaio aqui apresentados são basicamente os mesmos dos métodos de ensaio da ASTM. (Recomenda-se que ao se referir seja a AASHTO ou a ASTM, sigam-se exatamente os procedimentos específicos).

O procedimento do método de Hveem aqui apresentado, tem início com a preparação dos corpos-de-prova. Como preliminar desta operação é requerido o seguinte:

- (1) Que os materiais propostos para uso atendam os requisitos das especificações de projeto;
- (2) Que as combinações de agregados sejam determinadas de modo a atender os requisitos de graduações das especificações de projeto; e
- (3) Que um suprimento amplo de agregados seja seco e fracionado segundo o tamanho.

Estes requisitos são questões de ensaios de rotina, especificações e técnica de laboratório, que devem ser consideradas, mas não são restritos a um método de dosagem de misturas em particular. Contudo, deve-se notar que o tamanho máximo de agregados que se usa nas misturas de ensaio não deve exceder 25 mm. Se acontecer que as especificações da mistura de pavimentação cogitada requeiram tamanhos de agregado maiores que 25 mm, pode-se separar por peneiramento o excedente desde que este não seja superior a 25 por cento, sem efeitos marcantes nos valores do estabilômetro.

O método de Hveem utiliza corpos-de-prova de 64 mm de altura por 102 mm de diâmetro; estes são preparados utilizando-se um procedimento específico

de aquecimento, mistura e compactação das misturas de asfalto e agregados. Os aspectos característicos principais do método de Hveem de dosagem de misturas são os ensaios de embebição no óleo e de equivalente centrífugo de querosene dos agregados para estimar os requisitos de asfalto da mistura, seguido de ensaio do estabilômetro, ensaio do coesímetro*, ensaio de expansão e análise densidade-vazios de corpos-de-prova de mistura de pavimentação compactada. O ensaio do estabilômetro utiliza um tipo especial de câmara de ensaio triaxial para medir a resistência da mistura compactada aos deslocamentos laterais sob carga vertical, e o ensaio de expansão mede a resistência da mistura à ação da água. Os corpos-de-prova são mantidos a 60°C nos ensaios de estabilidade, enquanto que os ensaios de expansão são realizados à temperatura ambiente.

Determinação dos Requisitos de Asfalto Aproximados

O primeiro passo do método de dosagem de Hveem é a determinação da demanda aproximada de asfalto pelos ensaios de embebição no óleo e Equivalente Centrífugo de Querosene** , e o cálculo das áreas superficiais. Para um determinado agregado ou combinação de agregados, o teor de asfalto aproximado é determinado com a utilização de uma série de gráficos. Apresentam-se aqui estes gráficos, acompanhados de exemplos típicos que demonstrem sua aplicação.

(a) Equipamento

O equipamento (Figura 4.12) e os materiais necessários à determinação dos requisitos de asfalto aproximados são os seguintes:

Repartidor de Amostras, pequeno, para obter amostras representativas do agregado fino;

Bandejas de 114 mm de diâmetro por 25 mm de profundidade;

Querosene, 4 litros;

Óleo, SAE nº 10, lubrificante, 4 litros;

Béqueres, 1500 ml;

Funis Metálicos, 89 mm de diâmetro superior, 114 mm de altura, 13 mm de orifício com pedaço de tela de peneira de 2,00 mm (nº 10) soldada na abertura inferior;

Cronômetro;

Centrifugador, operado manualmente, completo com taças, capaz de produzir 400 vezes a gravidade (um centrifugador motorizado é disponível na Soiltest, Inc., 2205 Lee Street, Evanston, Illinois 60602, de nº AP-275 do Catálogo dessa firma, ou o equivalente).

Papel de filtro, de 55 mm de diâmetro (nº 611, de Eaton - Dikeman Co., Mt. Holly Springs, Pennsylvania, ou equivalente).

*O valor de coesímetro é raramente utilizado, de modo que o ensaio não foi incluído neste manual. Caso se necessite realizá-lo tem-se sua descrição na ASTM - *Método Normalizado de Ensaio de Resistência à Deformação e Coesão de Misturas Betuminosas por Meio do Aparelho de Hveem*, D 1560.

**O desenvolvimento deste método de determinação do teor ótimo de asfalto está esboçado em "Estabelecimento do Teor de Óleo de Misturas Betuminosas Densamente Graduadas", de F.N. Hveem, *California Highways and Public Works*, jul-ago, 1941. Note-se que se o equipamento C.K.E. não for disponível, pode-se adotar um teor ótimo de asfalto que seja aproximado pela experiência anterior. Só se admite isto sob critério de engenharia adequado.



Figura 4.12 Aparelho para Ensaio C.K.E. de Hveem

(b) Área Superficial

A graduação do agregado ou da mistura de agregados empregados é usada para calcular a área superficial dos agregados. Este cálculo consiste em multiplicar a porcentagem total que passa em cada peneira por um "fator de área superficial" como apresentado na Tabela 4.5. Adicionam-se os produtos assim obtidos de modo que o total representará a área superficial equivalente da amostra em m^2/kg . É importante notar que todos os fatores de área superficial devem ser usados no cálculo. Também, se usada uma série diferente de peneiras, outros fatores de área superficial são necessários.

Tabela 4.5 Fatores de Área Superficial

Porcentagem Total		4,75	2,36	1,18	600	300	150	75
Passante Peneira	Tamanho	mm	mm	mm	μm	μm	μm	μm
Nº	Máximo	(nº4)	(nº8)	(nº16)	(nº30)	(nº50)	(nº100)	(nº200)
Fator Área-Superfície,*								
m^2/kg	41	41	82	1.64	2.87	6.14	12.29	32.77
(pe^2/lb)	(2)	(2)	(4)	(8)	(14)	(30)	(60)	(160)

*Os fatores de área superficial mostrados são aplicáveis apenas quando todas as peneiras relacionadas acima forem utilizadas na análise por peneiração

Nos dados tabelados a seguir, mostra-se o cálculo da área superficial por este método.

Tamanho de Peneira	Porcentagem Passante	X	Fator de Área Superficial	=	Área Superficial
19.0 mm (^{3/4} pol)	100	}	.41 (2)		.41 (2)
9.5 mm (^{3/8} pol)	90				
4.75 mm (n.4)	75		.41 (2)		.31 (1.5)
2.36 mm (n.8)	60		.82 (4)		.49 (2.4)
1.18 mm (n.16)	45		1.64 (8)		.74 (3.6)
600 μm (n.30)	35		2.87 (14)		1.00 (4.9)
300 μm (n.50)	25		6.14 (30)		1.54 (7.5)
150 μm (n.100)	18		12.29 (60)		1.21 (10.8)
75 μm (n.200)	10		32.77 (160)		3.28 (16.0)

Área Superficial 9,98 m²/kg
(48,7 pe²/lb)

(c) Ensaios C.K.E. de Agregados Finos

(1) Colocar exatamente 100 g de agregado seco [representativo do material passante na peneira de 4,75 mm (n^o 4) que está sendo usado] no conjunto de taça provida de peneira e um disco de papel de filtro, de tara conhecida, do centrifugador.

(2) Colocar o fundo da taça de centrifugação no querosene até que o agregado se sature.

(3) Centrifugar a amostra saturada durante dois minutos com uma força centrífuga de 400 vezes a gravidade. (Para o centrifugador sugerido esta força pode ser obtida, girando-se a manivela a 45 rotações por minuto).

(4) Pesar a amostra após a centrifugação e determinar a quantidade de querosene retido como porcentagem do peso de agregado seco; este valor é chamado Equivalente Centrífugo de Querosene. (Nota: Amostras duplicadas são sempre preparadas afim de balancear o centrifugador e verificar os resultados. A média de dois valores de C.K.E. é adotada a não ser que haja grande discrepância, neste caso devendo-se refazer o ensaio).

(5) Caso a densidade relativa das amostras for superior a 2,70 ou inferior a 2,60, fazer uma correção do valor C.K.E., usando a fórmula na parte inferior do gráfico da Figura 4.13.

(d) Ensaio de Capacidade Superficial (Embebição no Óleo) do Agregado Graúdo.

(1) Colocar num funil metálico a quantia exata de 100 g do agregado seco passante na peneira de 9,5 mm e retido na peneira de 4,74 mm (n^o 4) (considere esta fração representativa do agregado graúdo na mistura).

(2) Imergir a amostra e o funil num béquer contendo óleo lubrificante SAE n^o 10, à temperatura ambiente durante 5 minutos.

(3) Drenar durante 2 minutos.

(4) Remover o funil e a amostra do óleo e drenar por 15 minutos à temperatura de 60°C.

(5) Pesar a amostra após drenagem e determinar a quantidade de óleo retirado como líquido de agregado seco (Nota: mostra em duplicata são preparadas para checar resultados. Utiliza-se o valor médio, a não ser que haja grande discrepância, neste caso devendo-se refazer o ensaio).

(6) Caso a densidade relativa for superior a 2,70 ou inferior a 2,60, fazer uma correção na porcentagem de óleo retido, usando a fórmula na parte superior do gráfico na Figura 4.14.

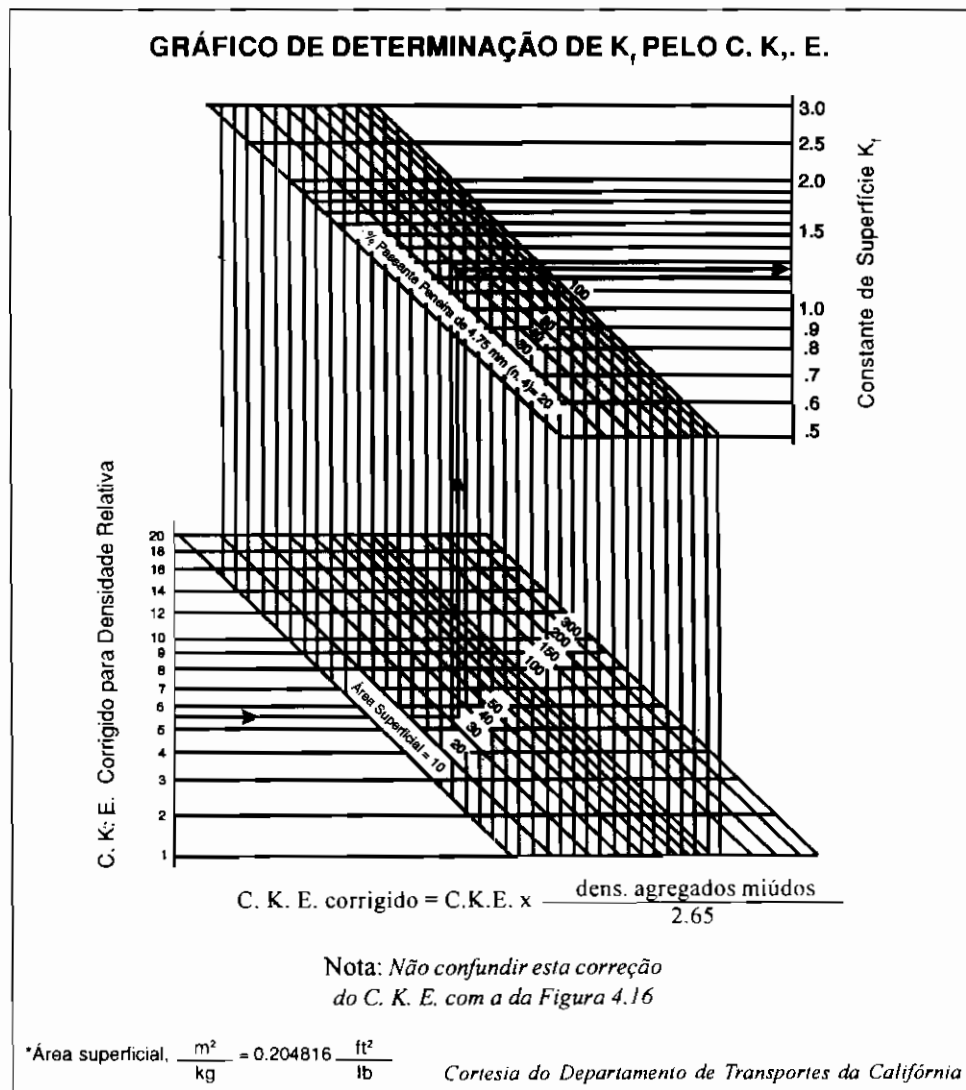
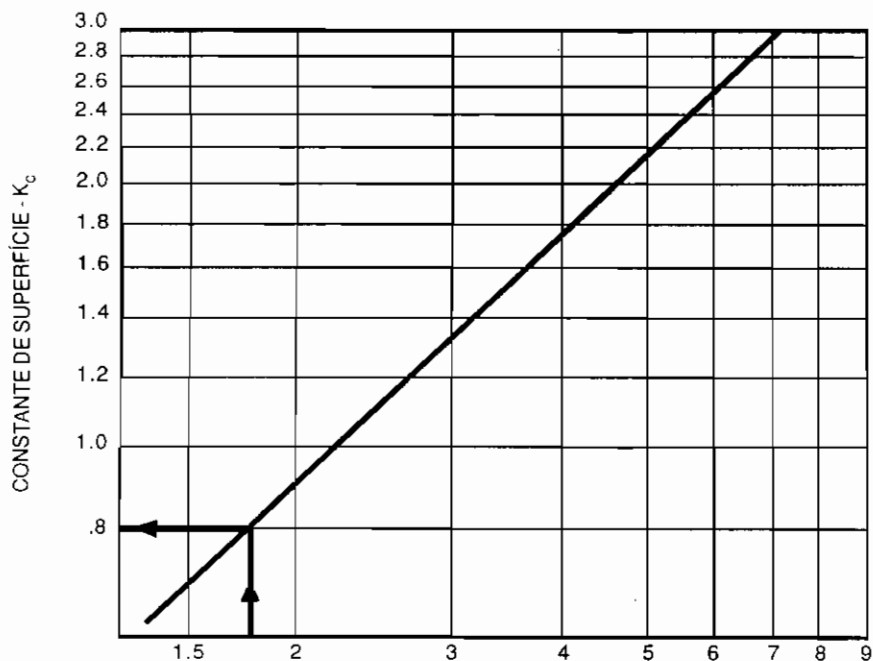


Figura 4.13 Gráfico de Determinação da Constante de Superfície de Material Fino, K_f , do Ensaio C. K. E., Método de Dosagem de Hveem.



PORCENTAGEM DE ÓLEO RETIDO - CORRIGIDO PARA A DENS. REL. DO AGREGADO

Material Usado: Agregado, Pass. Pen. 9,5 mm (3/8 pol), Ret. Pen. 4,75 mm (n° 4)

Óleo - SAE 10

$$\% \text{ Óleo Ret. Corrigido} = \% \text{ Óleo Ret.} \times \frac{\text{dens. rel. do Agregado Graúdo}}{2,65}$$

Cortesia do Departamento de Transportes da Califórnia

Figura 4.14 Gráfico para Determinação da Constante de Superfície do Material Graúdo, K_c , a partir da Absorção do Agregado Graúdo, Método de Dosagem de Hveem

(e) Teor de Asfalto Ótimo Estimado

(1) Usando o valor C.K.E. obtido e o gráfico da Figura 4.13, determinar o valor K_f (constante de superfície do agregado miúdo).

(2) Usando-se a percentagem de óleo retido e o gráfico da Figura 4.14, determinar o valor K_c (constante de superfície do material graúdo).

(3) Usando os valores obtido de K_f e K_c e o gráfico da Figura 4.15, determinar K_m (constante de superfície da combinação de agregados fino e graúdo). $K_m = K_f +$ correção de K_f . A correção de K_f obtida da Figura 4.15 é positiva se $(K_c - K_f)$ for positiva e é negativa se $(K_c - K_f)$ for negativa.

(4) O próximo passo é determinar a razão de betume aproximada da mistura com base nos asfaltos diluídos de graus RC-250, MC-250 e SC-250. Com os valores obtidos de K_m , Área Superficial e densidade relativa média, utilizar os procedimentos do Caso 2 do gráfico da Figura 4.16, a fim de determinar a razão de óleo.

(5) Determinar o teor de asfalto aproximado (Figura 4.17) da mistura, corrigido para o grau empregado, usando a área superficial da amostra, o grau do asfalto, e a razão de óleo da Figura 4.16.

Exemplo:

A fim de demonstrar o uso dos gráficos das Figuras 4.13 até 4.17, admitir as condições seguintes aplicáveis a uma mistura de pavimentação preparada com cimento asfáltico graduado em viscosidade, AC-10.

Densidade Relativa, graúdo	= 2,45
Densidade Relativa, fino	= 2,64
Porcentagem Passante 4,75 mm (n° 4)	= 45
Densidade Relativa Média	= $\frac{100}{\frac{55}{2,45} + \frac{45}{2,64}} = 2,53$

Área Superficial do Agregado Graúdo = 6,6 m²/kg

C.K.E. = 5,6

Porcentagem de Óleo Retido, Graúdo = 1,9

(corrigido para a densidade relativa, este valor é 1,7 por cento. Ver Figura 4.14).

Da Figura 4.13 determina-se K_f igual a 1,25.

Da Figura 4.14 determina-se K_c igual a 0,8.

Da Figura 4.15 determina-se K_m igual a 1,15.

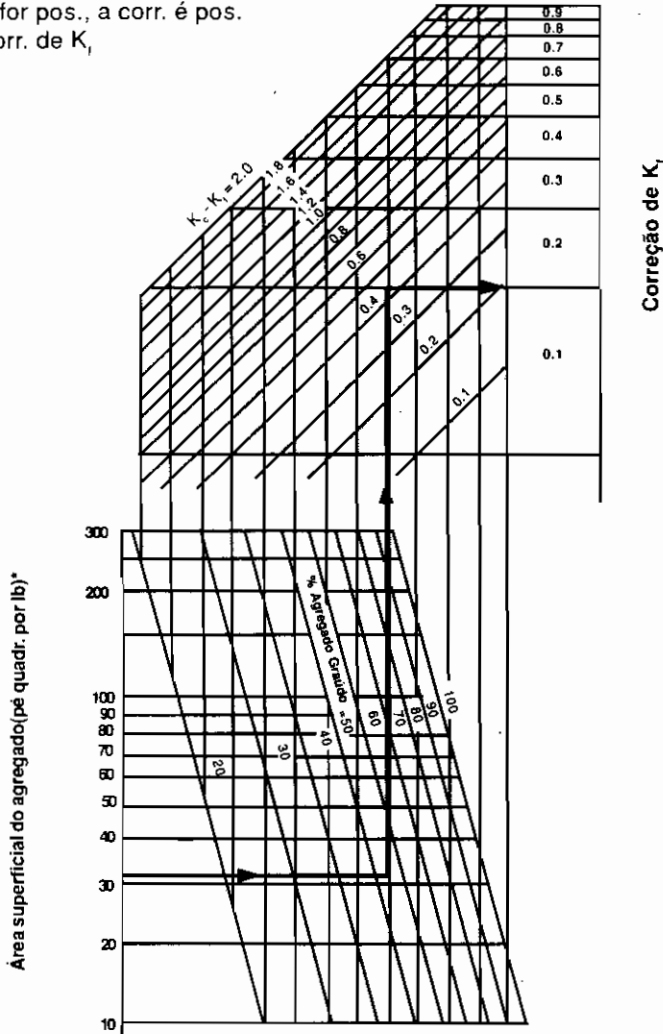
Da Figura 4.16 determinar a razão de óleo do asfalto líquido igual a 5,2%.

Da Figura 4.17 determinar o teor ótimo de asfalto (razão de betume) para o asfalto AC-10 igual a 6,1 por cento em peso do agregado seco.

GRÁFICO PARA A COMBINAÇÃO DE K_f E K_c E DETERMINAÇÃO DE K_m

Se $(K_c - K_f)$ for neg. a corr. é neg.
 Se $(K_c - K_f)$ for pos., a corr. é pos.
 $K_m = K_f + \text{corr. de } K_f$

$$\text{Área superficial, } \frac{\text{m}^2}{\text{Kg}} = 0.204816 \frac{\text{ft}^2}{\text{lb}}$$



Cortesia do Departamento de Transportes da Califórnia

Figura 4.15 Gráfico para a Combinação do K_f e K_c na Determinação da Constante de Superfície do Agregado Combinado, K_m , Método de Dosagem de Hveem

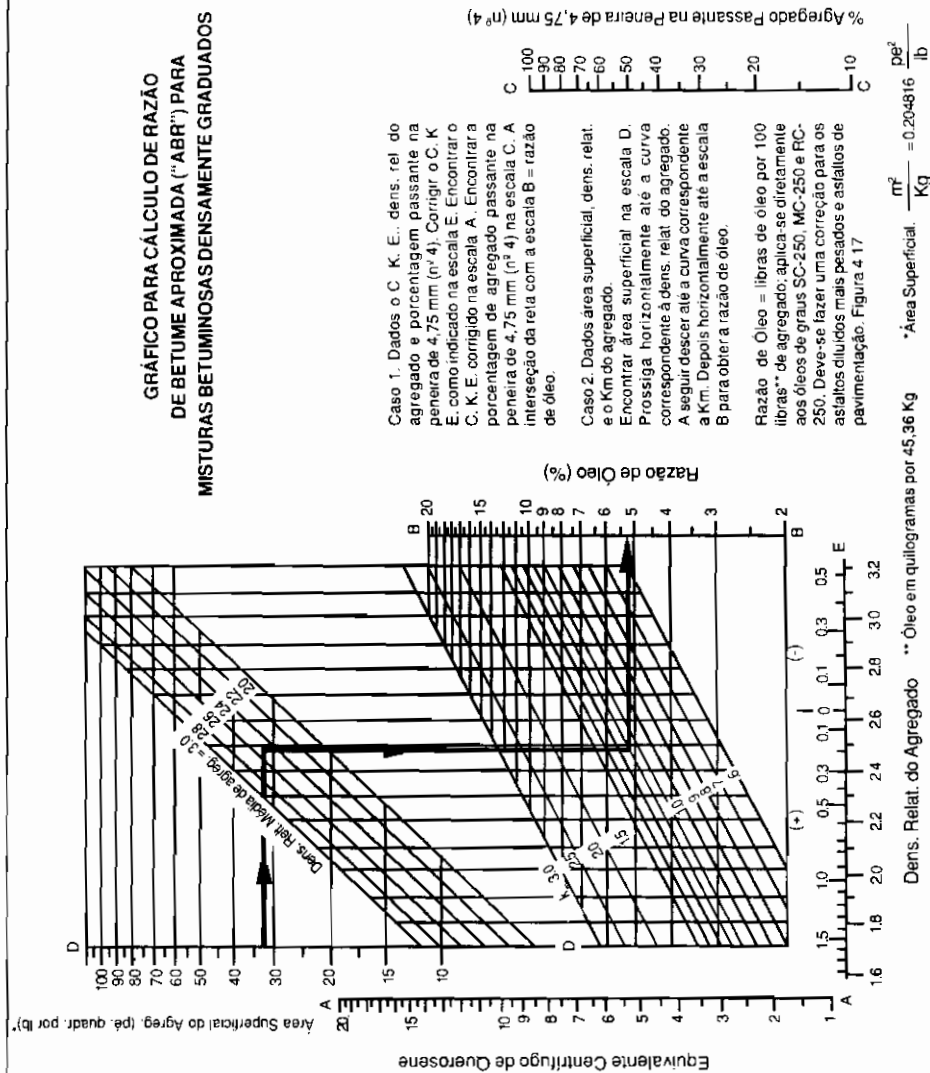


Figura 4.16 Gráfico para o Cálculo da Razão de Óleo de Misturas Betuminosas Densamente Graduadas, Método de Dosagem de Hveem

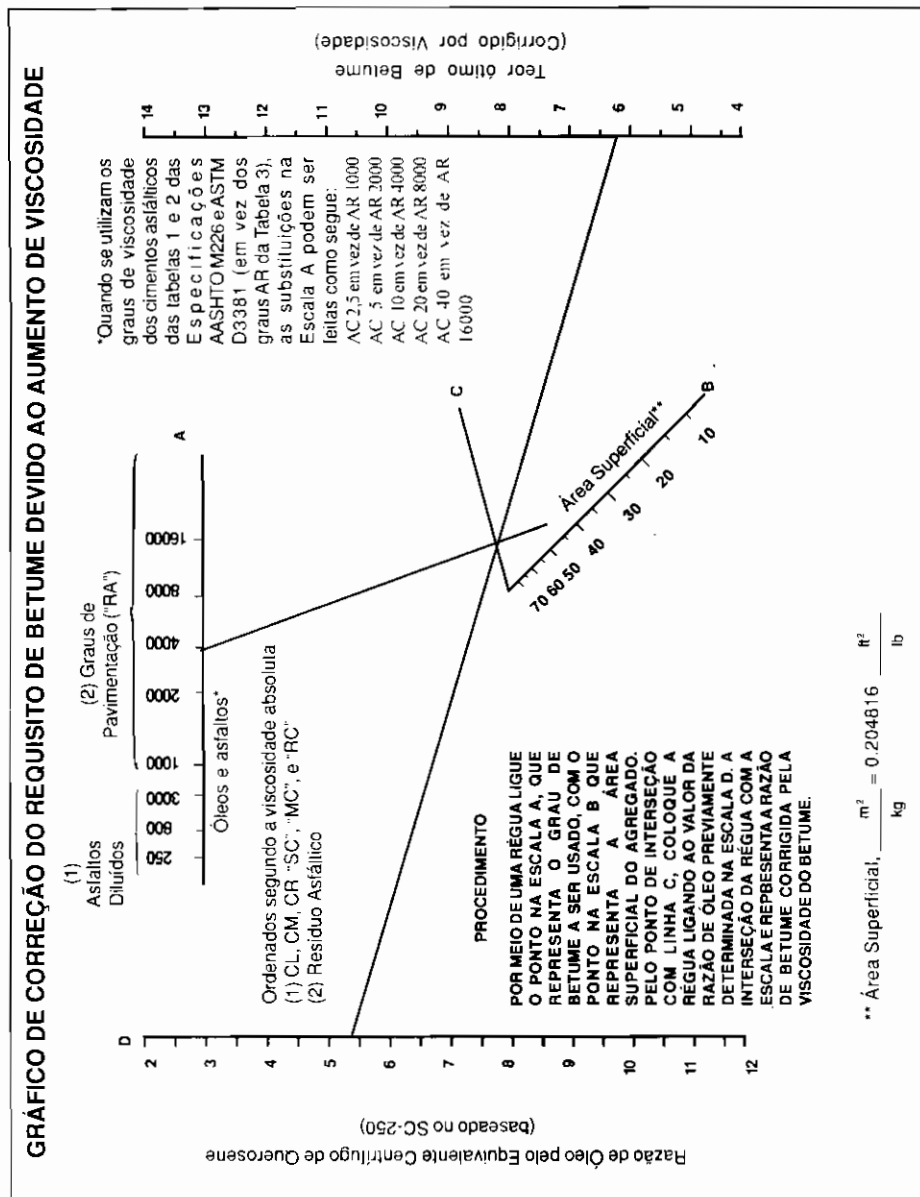


Figura 4.17 Gráfico de Correção dos Requisitos de Betume Devido ao Aumento de Viscosidade do Asfalto, Método de Dosagem de Hveem

Preparação de Corpos-de-Prova do Procedimento Hveem

No projeto de uma mistura de pavimentação pelo método de Hveem, prepara-se uma série de corpos-de-prova com uma gama de teores de asfalto tanto acima como abaixo do teor de asfalto aproximado ("AAC") determinado segundo o procedimento descrito previamente.

No projeto de misturas a quente com um agregado médio, preparar um corpo-de-prova com o teor de asfalto aproximado, dois acima desse teor em incrementos de 0,5 por cento e um 0,5 por cento abaixo. (Total de quatro corpos-de-prova, de diferentes teores de asfalto). No caso de misturas julgadas críticas, (isto é, muito sensíveis a pequenas variações no teor de asfalto) os incrementos de teores de asfalto são reduzidos para 0,3 por cento e se programam os ensaios para o teor de asfalto aproximado; três acima deste, valor em incrementos de 0,3 por cento e um a 0,3 por cento abaixo. No caso de agregados muito absorventes, aumentar os incrementos de teor de asfalto de 1,0 por cento e usar mais corpos-de-prova, se necessário. A despeito destas regras gerais de preparação dos corpos-de-prova do estabilômetro, a série de corpos-de-prova deverá ter pelo menos um com excesso de asfalto o que é indicado por exsudação moderada a forte após a compactação.

Além disso, preparam-se corpos-de-prova para ensaio de expansão em dobro, *no teor ótimo de asfalto determinado de ensaios com a série de corpos-de-prova preparados para os ensaios do estabilômetro. Assim, num estudo usual de dosagem de mistura serão necessários seis corpos-de-prova ao todo.* Embora cada corpo-de-prova, normalmente, precise de somente 1,2 kg de agregado, a quantidade mínima de agregados para uma série de corpos-de-prova deve ser de 18 quilogramas para permitir ensaios adicionais que se façam necessários.

No lugar de ensaios de expansão algumas organizações permitem procedimentos alternativos como a compressão antes e após imersão ou outros ensaios de suscetibilidade à umidade mencionados no Capítulo 3.

O equipamento necessário para a preparação de corpos-de-prova é o seguinte:

Panelas, 250 mm de diâmetro por 50 mm de fundo, para o quarteamento e mistura do agregado fino.

Panelas, 200 mm de diâmetro por 45 mm de fundo, para juntar bateladas de agregados e aquecê-los.

Panelas, 305 mm de diâmetro por 64 mm de fundo para misturar agregado e asfalto.

Bandejas, 280 mm por 180 mm e 40 mm para cura da mistura.

Repartidor de Amostra, grande, para mistura e quarteamento de agregado fino.

Placa Quente, elétrica, de pelo menos 460 mm por 305 mm de superfície da placa, para aquecimento de agregado, asfalto e aparelhagem quando necessário.

Estufa, grande, controle termostático, capaz de manter a temperatura a 110°C.

Estufa, grande, controle termostático, capaz de manter a temperatura a 60°C.

Estufa, grande, para secagem e preaquecimento, capaz de manter a temperatura a 163°C.

Concha grande, para manusear agregados quentes.

Béqueres, 800ml, para adicionar o asfalto.

Termômetro, blindado, 38°C a 204°C.

Balança, capacidade de 20 kg, sensível a 1,0 g, para pesar agregados e asfalto.

Pá de pedreiro, para misturas, pequena e pontiaguda.

Coíler de Misturar, grande.

Misturador Mecânico (opcional)

Compactador Mecânico projetado para consolidar o material por uma série de ações de amassamento ou puncionamentos feitos com um soquete tendo a face em forma de setor de círculo de 101,6 mm de diâmetro. O compactador deve ser capaz de exercer a pressão de 34,5 kPa sob o pé do soquete. Os acessórios do compactador devem incluir dois prendedores do molde, uma calha alimentadora de 460 mm de comprimento, 102 mm de largura e 64 mm de fundo com uma palheta raspadeira que caiba na calha e uma haste de aço com ponta em forma de bala de munição de 9,5 mm de diâmetro e 405 mm de comprimento.

Moldes de Compactação de aço, 101,6 mm de diâmetro interno, 127 mm de altura e 6,4 mm de espessura de parede.

Discos de Papel, de papel grosso, 100 mm de diâmetro; para colocar no fundo do molde durante a compactação.

Máquina de Compressão, hidráulica, de 222,4 kN de capacidade.

Luvas, grossas e robustas, para manusear o equipamento.

A preparação dos corpos-de-prova é esboçada nos passos seguintes.

(a) *Determinação dos pesos das bateladas*

Calcular os pesos das bateladas para a combinação e graduação de agregados desejadas.

O peso de agregado seco para os corpos-de-prova do ensaio do estabilômetro deve ser o que resultará nos corpos-de-prova compactados de $63,5 \pm 1,3$ mm de altura. Este peso é de, normalmente, cerca de 1200 gramas. Para determinar o peso exato da batelada é, geralmente, aconselhável que se prepare um corpo-de-prova experimental antes de passar à preparação das bateladas de agregados. Se o corpo-de-prova experimental ficar fora dos limites, deve-se ajustar a quantidade de agregado usado nos corpos-de-prova na forma que segue:

No Sistema de Unidades Internacional (SI),

$$\text{Massa ajustada de agregado} = \frac{63,5 \text{ (Massa de agregado usado)}}{\text{Altura do c.p. (mm) obtido}}$$

$$\text{No Sistema Costumeyiro de Unidades dos Estados Unidos} = \frac{2,5 \text{ ("Peso" de agregado usado)}}{\text{Altura do c.p. (pol) obtido}}$$

O "peso" seco de agregado para o corpo-de-prova do ensaio de expansão é 1000 gramas.

(b) *Preparação da Mistura da Batelada*

(1) Pesar as frações de diferentes tamanhos de agregados secos em bandejas próprias de acordo com os pesos acumulados de bateladas.

(2) Misturar intensamente cada batelada individual de agregado e colocar na estufa para preaquecê-la à temperatura de mistura que se deseja. Ao mesmo tempo deve-se preaquecer o asfalto. Indicam-se abaixo a temperatura do agregado e do asfalto no momento em que inicia a mistura, para os graus de cimentos asfálticos de pavimentação usados.

Grau	Gama de Temperaturas	
	Mínima	Máxima
CAP-2.5, AR-1000 e 200-300 Pen.	107°C (225°F)	121°C (250°F)
CAP-5, AR-2000 e 120-150 Pen.	121°C (250°F)	135°C (275°F)
CAP-10, AR-4000 e 85-100 Pen.	135°C (275°F)	149°C (300°F)
CAP-20, AR-8000 e 60- 70 Pen.	149°C (300°F)	163°C (325°F)
CAP-40, AR-16000 e 40- 50 Pen.	149°C (300°F)	163°C (365°F)

(3) Quando os agregados e o asfalto tiverem atingido a temperatura de mistura indicada acima, formar uma cratera nos agregados e pesar o asfalto nela vertido de acordo com os pesos acumulativos das bateladas.

(4) Colocar a panela com agregado e asfalto para a batelada de mistura sobre a placa quente a fim de manter a temperatura de mistura. Misture manualmente com vigor os agregados e o asfalto com a pá de pedreiro pontiaguda, até que, todas as partículas estejam recobertas. Tomar precaução especial para não superaquecer os materiais. A operação de mistura também pode ser realizada por meios mecânicos.

(5) Completada a mistura, transferir a mistura da batelada para uma bandeja adequada e colocar na estufa por 15 horas de período de cura a $60^{\circ}\text{C} \pm 2,8^{\circ}\text{C}$. Esta estufa utilizada para a cura deve ser de preferência equipada para permitir a ventilação forçada do ar.

(6) Completada a cura, colocar a batelada da mistura na estufa de aquecimento e reaquecer a mistura a 110°C . Está, então, a mistura pronta para a compactação.

(7) Proceder-se à compactação dos corpos-de-prova por meio do compactador mecânico que procede à consolidação, por ação de amassamento quando se aplica uma série de puncionamentos individuais por meio de um soquete cuja face tem a forma de um setor de círculo de 101,6 mm de diâmetro. A cada aplicação do soquete, atua uma pressão de 3,45 MPa, que submete o corpo-de-prova a uma ação de amassamento sem impacto, sobre uma área de cerca de 2000 milímetros quadrados. Cada aplicação de pressão é mantida por 2 a 5 décimos de segundo. Os pormenores do procedimento de compactação serão descritos nos próximos parágrafos.

(c) Procedimento para os Corpos-de-Prova do Estabilômetro

(1) Preaquecer os moldes de compactação até, aproximadamente, a temperatura usada na compactação da mistura.

(2) Aquecer o pé dos soquete compactador até uma temperatura tal que evitará que a mistura a ele adira. A temperatura do pé compactador pode ser controlada por um transformador variável.

(3) Colocar o molde de compactação em posição no prendedor de molde com

um disco de papel de 101,6 mm de diâmetro inserido de modo a cobrir a placa de base. A fim de que a placa de base atue como um êmbolo com folga de ajuste, coloca-se, temporariamente, um calço de aço de 6,4 mm de espessura por 19,0 mm de largura e 63,5 mm de comprimento sob os bordos do molde durante a compactação.

(4) Espalhar a mistura preparada (ver a preparação da batelada de mistura) uniformemente na calha alimentadora. Com uma palheta raspadeira que se adapta à forma da calha, transferir cerca de metade da mistura para o molde de compactação (Ver Figura 4.18).

(5) Puncionar com a haste de aço de ponta em forma de bala de munição no centro da mistura no molde por 20 vezes no centro da massa e 20 vezes beirando a parede do molde. Transferir o restante da amostra para o molde e repetir o processo de puncionamento com a haste (Ver Figura 4.19).

(6) Colocar o conjunto do molde em posição no compactador mecânico (Figura 4.20) e aplicar aproximadamente 20 golpes à pressão de 1,7 MPa para atingir uma condição de compactação parcial da mistura de modo a não ser indevidamente alterada quando a carga total for aplicada. O número exato de golpes para realizar esta compactação parcial deve ser determinado por observação. O número de golpes pode variar de 10 a 50, dependendo do tipo de material, e em alguns casos não é possível realizar a compactação no compactador mecânico devido a movimentos prejudiciais da mistura sob o pé de compactação. Nestas situações usar a carga estática de 177,93 kN aplicada pelo método da dupla ação de êmbolo, em que se coloca um disco solto sob a amostra e outro no topo. Aplicar a carga à razão de 1,3 mm por minuto e mantê-la durante 30 ± 5 segundos.

(7) Após a compactação parcial remover o calço e afrouxar o parafuso de aperto do molde, permitindo que o molde se mova livremente para cima e para baixo.

(8) Para completar a compactação mecânica, aumentar a pressão no pé para 3,45 MPa e aplicar 150 golpes.

(9) O molde e o corpo-de-prova são colocados na estufa a 60°C durante 1 hora e 30 min, após o que se aplica uma carga que resulte numa pressão de “nivelamento” de 6,9 MPa com o procedimento do efeito de duplo êmbolo [velocidade da cabeça de carga 0,105 mm por segundo e relaxada imediatamente. (Notar: O corpo-de-prova não deve ser empurrado até o extremo oposto do molde).

(d) *Procedimento para os Corpos-de-Prova do Ensaio de Expansão.*

(1) Preparar o molde de compactação, colocando uma tira de papel comum, de embrulho, impregnado de parafina com 19 mm de largura, à volta da parede interna do molde, de 13 mm a 19 mm da base. O objetivo é evitar que água escape entre o corpo-de-prova e o molde durante o período de imersão do ensaio. A tira de papel é mergulhada na parafina derretida e aplicada enquanto quente. Não se faz o preaquecimento dos moldes no caso de corpos-de-prova do ensaio de expansão.



Figura 4.18 Transferência da Mistura para o Molde



Figura 4.19 Puncionamento da Mistura no Molde

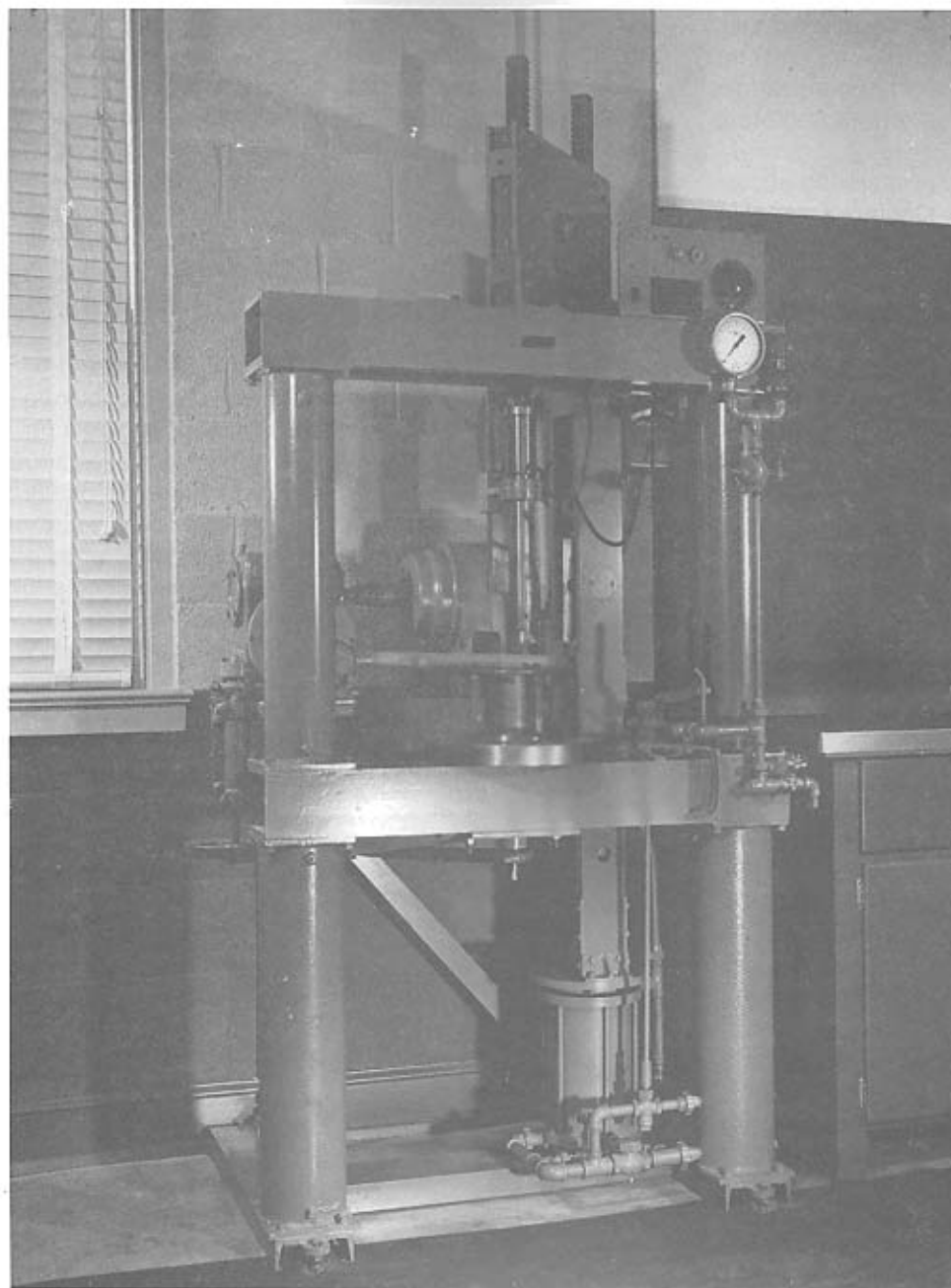
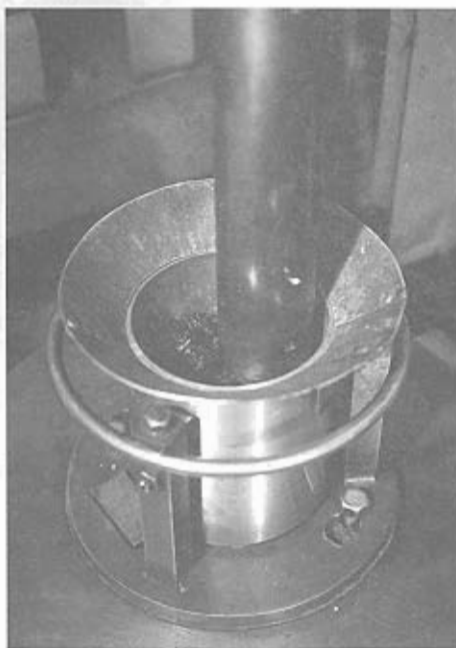


Figura 4.20 Compactador Mecânico de Amassamento



(b)



(c)

(2) O restante do procedimento de compactação dos corpos-de-prova de ensaio de expansão é o mesmo dos corpos-de-prova do ensaio da estabilômetro, com exceção do que segue.

Concluída a compactação no compactador mecânico, remover o molde e o corpo-de-prova do compactador, inverter o molde e empurrar o corpo-de-prova para o lado oposto do molde. Aplicar carga estática que produza a pressão 6,9 MPa [velocidade da cabeça de carga de 6,3 mm/min] com a superfície de topo original apoiada na placa inferior da prensa. Aconselha-se colocar um pedaço de papel grosso sob o corpo-de-prova a fim de impedir danos a esta placa inferior.

Procedimento do Ensaio de Hveem

No método de Hveem os corpos-de-prova compactados são usados nos seguintes ensaios e análises, realizados na ordem listada.

- Ensaio de Estabilidade
- Determinação da Densidade Aparente
- Ensaio de Expansão

O equipamento necessário para o ensaio de corpos-de-prova de 102 mm é o seguinte:

Discos de Bronze, perfurados, de 98,4 mm de diâmetro e 3,2 mm de espessura, com haste ajustável, para medição de expansão (Ver Figura 4.21).

Extensômetro, montado num tripé, de acurácia da leitura de 0,025 mm (Ver Figura 4.22)

Réguas graduadas para a leitura do conteúdo de volume do molde de 101,6 mm (4 pol) de diâmetro interno a intervalos de 25 ml, e medição da percolação da água durante o ensaio de expansão.

Painéis, alumínio, 190 mm de diâmetro por 65 mm de fundo.

Estabilômetro de Hveem (Ver Figuras 4.21 e 4.22), completo com acessórios, inclusive a base ajustável, ferramenta de montagem, pistão de aço e pêra de borracha para introduzir ar no sistema.

Réguas, graduadas, ou outro dispositivo de medição para determinar com acurácia a altura do corpo-de-prova.

(a) Ensaio do Estabilômetro

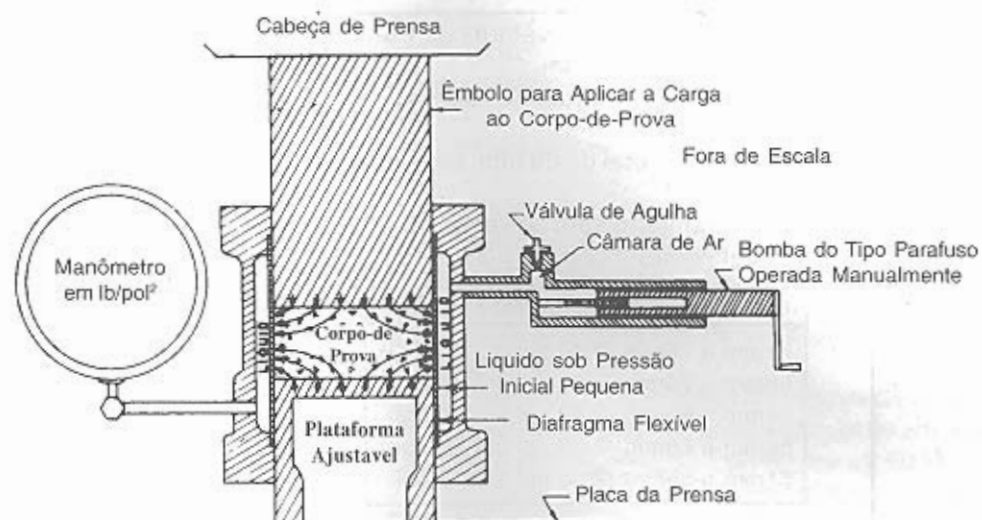
(1) Colocar os corpos-de-prova do ensaio do estabilômetro (compactados e contidos no molde) numa estufa a 60°C por um período mínimo de uma hora antes do ensaio.

(2) Ajustar a máquina de compressão para uma velocidade de deslocamento da cabeça de carga de 0,02 mm por segundo sem aplicação de carga.

(3) Verificar o deslocamento do estabilômetro com a utilização de um corpo-de-prova metálico, simulado, e, se necessário, ajustá-lo para que dê $2,00 \pm 0,05$ giros.

(4) Ajustar a base do estabilômetro de modo que a distância do fundo do anel biselado superior ao topo da base seja de 89 mm.

(5) Deve-se fazer todo o esforço para fabricar corpos-de-prova de altura total entre 61 mm e 66 mm; contudo, se a altura estiver fora desta gama o valor de estabilômetro deve ser corrigido conforme se indica na Figura 4.23



Nota: O corpo-de-prova recebe o apoio lateral da parede flexível; esta transmite a pressão ao líquido. A magnitude da pressão é dada no manômetro

Figura 4.21 Diagrama Mostrando as Características Principais do Estabilômetro de Hveem

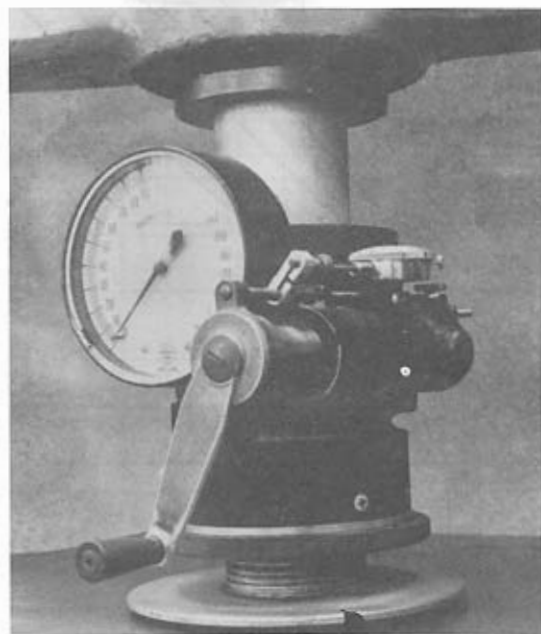


Figura 4.22 Estabilômetro de Hveem

Gráfico de correção dos valores do Estabilômetro para altura do corpo de prova de 64 mm.

A correção devido à altura deve ser feita com a tabela e o gráfico abaixo.

Exemplo: Altura total de 69 mm, seleciona-se a curva de correção "B".

Valor Estabilômetro sem correção = 35

Valor Estabilômetro correto = 38

Alt. Total do Corpo-de-Prova	Curva de Correção
71mm a 76mm (2.80 pol a 3.00 pol)	A
66mm a 70mm (2.60 pol a 2.79 pol)	B
61mm a 65mm (2.40 pol a 2.59 pol)	C
56mm a 60mm (2.20 pol a 2.39 pol)	D
51mm a 55mm (2.00 pol a 2.19 pol)	E

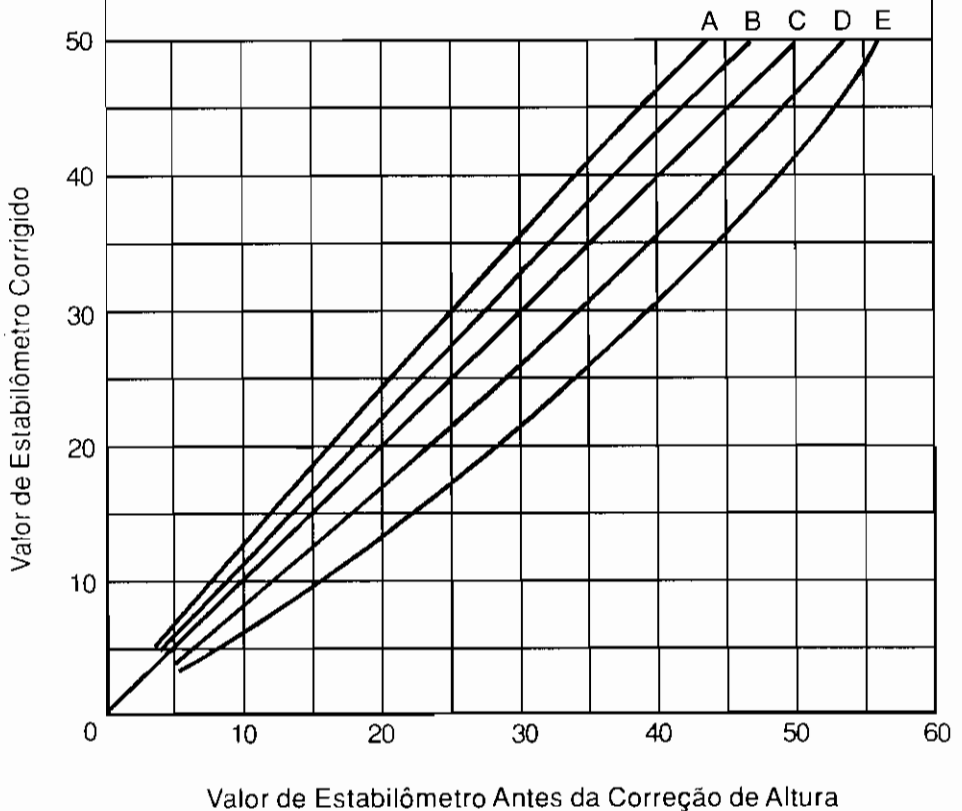


Figura 4.23 Gráfico de Correção dos valores de Estabilômetro para a Altura do Corpo-de-Prova de 64 mm

(6) Retirar o molde contendo o corpo-de-prova da estufa e colocá-lo sobre o estabilômetro. Usando o êmbolo, alavanca manual e apoio, forçar o corpo-de-prova do molde para o estabilômetro. Tomar cuidado para que o corpo-de-prova siga reto e assente firmemente.

(7) Colocar o êmbolo no topo do corpo-de-prova e posicionar o conjunto completo na prensa para ensaiar.

(8) Por meio de uma bomba de deslocamento, elevar a pressão no sistema do estabilômetro até que o manômetro dê exatamente 34,5 kPa. A seguir bata levemente no mostrador para assegurar uma leitura acurada.

(9) Fechar a válvula da bomba de deslocamento, com cuidado para não perturbar a pressão inicial de 34,5 kPa. (Esta etapa é omitida quando os estabilômetros não dispõem de válvula de bomba de deslocamento).

(10) Aplicar cargas de ensaio com a prensa, à velocidade da cabeça de carga de 0,02 mm por segundo. Registre as leituras do manômetro para cargas de ensaio de 2,22 kN, 4,45 kN e a cada 4,45 kN daí por diante até o máximo de 26,69 kN.

(11) Imediatamente após registrar carga máxima [26,69 kN, reduzir a carga total no corpo-de-prova até 4,45 kN.

(12) Abrir a válvula angular da bomba de deslocamento e por meio desta, ajustar o manômetro para 34,5 kPa (resultará uma redução na carga vertical aplicada da prensa o que é normal e para a qual nenhuma compensação é feita).

(13) Ajustar o manômetro da bomba em zero por meio de um parafuso de borboleta pequeno.

(14) Girar a manivela da bomba de deslocamento rapidamente (duas voltas por segundo) e lentamente para direita (sentido dos ponteiros do relógio) até que se registre a pressão de 690 kPa no manômetro. (Durante esta operação a carga registrada na prensa aumentará e por vezes excederá a valor inicial de 4,45 kN. Esta variação de carga é normal e não se requer ajuste ou compensação neste procedimento). Registrar o número exato de voltas para aumentar a pressão lida no manômetro de 34,5 kPa até 690 kPa o que corresponderá ao deslocamento do corpo-de-prova lido no mostrador (a leitura no mostrador correspondente a uma volta é de 2,5 mm).

(15) Depois de registrar o deslocamento retirar primeiramente a carga de ensaio e reduzir a pressão no manômetro até zero por meio da bomba de deslocamento; a seguir recuar a bomba de deslocamento de três outras voltas e retirar o corpo-de-prova da câmara do estabilômetro.

(b) *Determinação da Densidade Aparente*

O ensaio de densidade aparente é realizado no corpo-de-prova após conclusão do ensaio do estabilômetro, assim que o corpo-de-prova esfriou até a temperatura ambiente. O procedimento deste ensaio é apresentado na norma da ASTM D 1188, Densidade Relativa Aparente de Misturas Betuminosas Compactadas Usando Corpos-de-Prova Cobertos de Parafina e na ASTM D 2726, Densidade Relativa Aparente de Misturas Betuminosas Compactadas Usando Corpos-de-Prova Saturados Secos na Superfície.

(c) Ensaio de Expansão

(1) Deixar os corpos-de-prova compactados para o ensaio de expansão permanecerem à temperatura ambiente, pelo menos, por uma hora (faz-se isto para permitir descompressão após a compactação).

(2) Colocar o molde e o corpo-de-prova numa bandeja de alumínio de 190 mm de diâmetro por 64 mm de fundo (Ver Figura 4.24).

(3) Colocar o disco perfurado de bronze sobre o corpo-de-prova, posicionar o tripé com o extensômetro no molde, e mover a haste ajustável para a leitura de 2,54 mm no extensômetro (Ver Figura 4.24).

(4) Introduzir 500 ml de água no molde sobre o corpo-de-prova e medir a distância do topo do molde até a superfície da água com uma régua.

(5) Após 24 horas ler novamente o extensômetro e anotar a variação como a expansão com aproximação de 0,025 mm. Também, medir novamente a distância do topo do molde à superfície da água e anotar a variação como sendo a permeabilidade ou a quantidade de água, em milímetros, que se infiltrou ou percolou através do corpo-de-prova.

Interpretação dos Dados de Procedimentos de Ensaio de Hveem

Não há cálculo a fazer no ensaio de expansão visto que os resultados são registrados diretamente como diferenças. Os demais cálculos são os seguintes:

(a) *Valor do Estabilômetro, calcula-se:*

$$S = \frac{22,2}{\frac{P_h}{P_v - P_h} D_2 + 0,222}$$

onde

S = valor do estabilômetro

D_2 = deslocamento no corpo-de-prova

P_v = pressão vertical [tipicamente 400 lb/pol² = 5.000 lb de carga total]

P_h = pressão horizontal = leitura no manômetro do estabilômetro no instante em que P_v é 400 lb/pol² de carga total;

(A fórmula é de natureza empírica, estabelecida em unidades costumeiras dos E.U.A.)

(b) Análise de Densidade e Vazios

Usando a densidade relativa aparente do corpo-de-prova, e a densidade relativa máxima da mistura de pavimentação, calcula-se a porcentagem de vazios com ar, conforme se ilustra na Figura 4.25 e se descreve mais pormenorizadamente na Seção 4.2. A Figura 4.25 também é útil como sugestão de ficha de relatório de ensaio que mostra os dados de ensaio de uma mistura típica dosada pelo método de Hveem. Os dados podem, então, ser marcados como mostra a Figura 4.26.

Crítérios para Uma Mistura de Pavimentação Satisfatória

A adequação da dosagem da mistura a quente pelo método de Hveem determina-se pela comparação do teor de asfalto e da graduação dos agregados com os requisitos da Tabela 4.6.

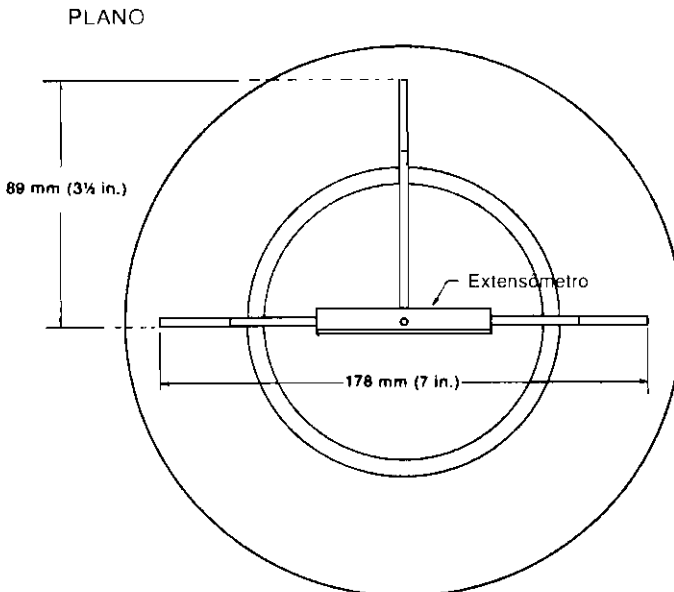
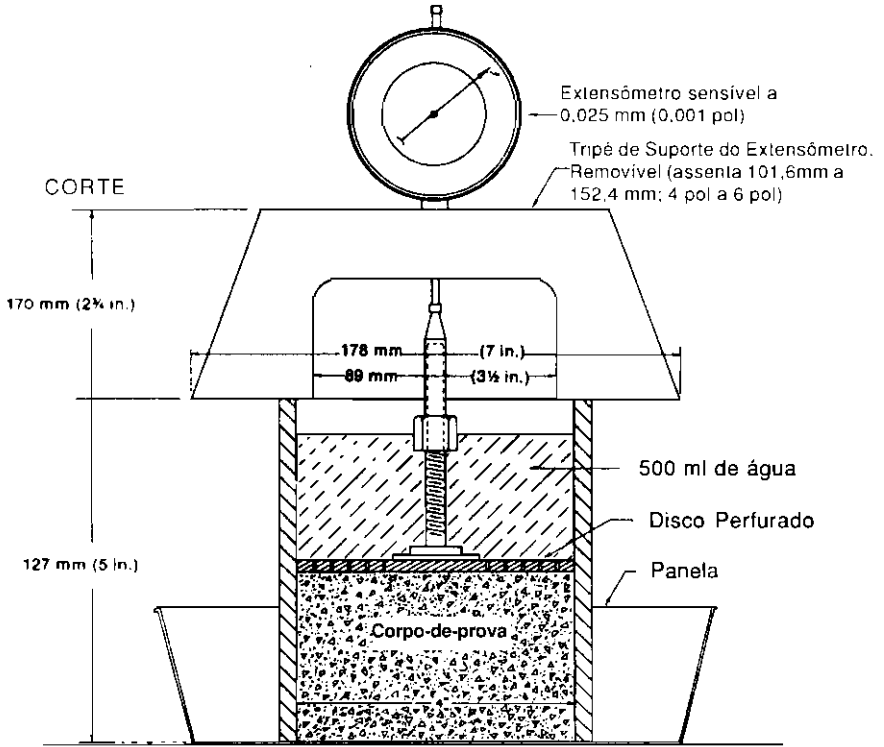


Figura 4.24 Aparelhagem de Ensaio de Expansão

Mistura Experimental 1-B
 Ag. C. 53%; Aq. F. 47%

DADOS DE DOSAGEM DE MISTURA A QUENTE PELO MÉTODO DE HVEEM

Obra: FI-008-8(3)
 Local: Rye - South
 Data: 4 de Agosto de 1982

Dens. Rel. Cim. Asf. 1.012 Cim. Asf. CAP-10		Nº Lab. Cim. Asf. Usado: 53-074										
Dens. Rel. Aparente Med. Agreg. - 2.760		Nº Lab. Aggs. Usados: 53-1252, 53-1253										
GRADUACAO, CKE e PORCENTO, ASFALTO												
Tamanho da Peneira	37.5	75.0	150	300	600	1.200	2.400	4.75	9.5	19.0	38.0	75.0
	1"	3/8"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	3"	4"	6"	10"	16"	20"
Limites das Especificações			100	90	70	50	35	20	18	8	4	10
% Passante			100	91	76	60	42	32	23	16	12	6
Fatores A.S					41	82	164	287	614	1229	3277	
Area Superficial, m ² /kg ¹					41	25	34	52	66	98	147	197
C.K.E. Ag.F = 2.8 Aq. Gr. = 2.8, K ₁ = 1.0; K ₂ = 1.3; K _m = 1.0; AS Total 6.6 m ² / kg (32.3 pe ² / lb)												
% Cim. Asf. Estimado por peso de agreg. usando apenas os ensaios CKE --- 5.5												
% Cim. Asf. Recomendado por peso de Agreg. usando critérios de Dosagem de Mistura --- 5.0												
Identificação do Corpo-de-Prova	A		B		C		D					
% Cim. Asf. Por Peso de Agreg.	5.0		5.5		6.0		6.5					
% Cim. Asf. Por Peso de Mistura	4.76		5.21		5.66		6.10					
Peso no Ar - g	1211.0		1223.3		1230.8		1235.9					
Peso na Água - g	714.9		723.8		727.6		733.3					
Volume Aparente - cm	495.1		499.5		503.2		502.6					
Dens. Relat. Aparente	2.441		2.449		2.446		2.459					
Dens. Relat. Max.	2.559		2.540		2.522		2.504					
% Vazios - Mistura Total	4.6		3.6		3.0		1.8					
Massa Espec. - mg/m ³	2.439		2.448		2.446		2.457					
Massa Espec. - (lb/pe)	(152.3)		(152.8)		(152.6)		(153.4)					
Carga Total (lb)	Carga Unitaria (lb/pol ²)		Estabilômetro									
kN	MPA											
2.22 (500)	0.28 (40)		9		9		9		10			
1.45 (300)	0.55 (80)		12		12		15		16			
8.90 (200)	1.10 (160)		15		16		24		26			
13.34 (300)	1.65 (240)		21		22		30		38			
17.79 (400)	2.11 (320)		28		30		42		56			
22.24 (500)	2.76 (400)		36		39		55		83			
26.69 (600)	3.31 (480)		50		52		62		105			
Deslocamento - giros			2.40		2.50		2.46		2.50			
Valor de Estabilidade			48		45		36		25			
COESIMETRO												
Temperatura - °C (°F)												
Altura Efetiva - mm (po.)												
Peso das bilhas de carga - g												
Valor do coesímetro												

Jones

Inspetor

* Area Superficial pe lb = m² / kg : 0.204816

Figura 4.25 Sugestão de Ficha de Relatório de Ensaios de uma Mistura Dosada Típica pelo Método de Hveem

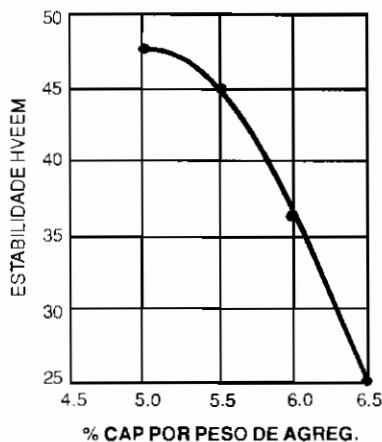
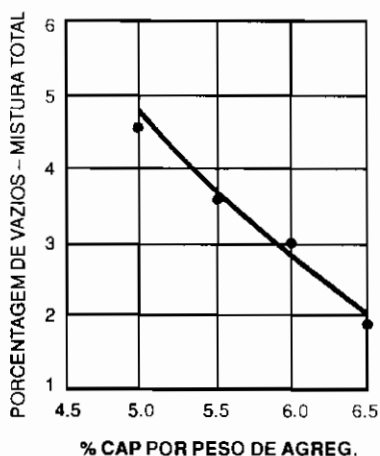
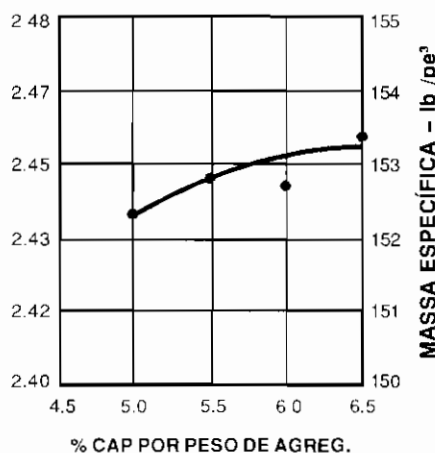
mg/m³

Figura 4.26 Curvas de Propriedades Teste para Dosagem de Mistura Asfáltica a Quente pelo Método de Hveem (Referir à Figura 4.25).

Na aplicação destes requisitos, o teor ótimo de asfalto para a dosagem da mistura deverá ser a porcentagem máxima que a mistura acomodará sem reduzir a estabilidade ou o teor de vazios a valores inferiores aos mínimos especificados.

O teor ótimo de asfalto pode ser determinado segundo o esboço mostrado na Figura 4.27. Utilizam-se os valores de estabilômetro, porcentagem de vazios de ar e observações sobre exsudação nos corpos-de-prova após a compactação.

Tabela 4.6 Critérios de Dosagem Hveem

CATEGORIA DE TRÁFEGO PROPRIEDADE DE ENSAIO	PESADO		MÉDIO		LEVE	
	MIN.	MÁX.	MIN.	MÁX.	MIN.	MÁX.
VALOR DE ESTABILÔMETRO EXPANSÃO	37	-	35	-	30	-
	MENOS DE 0.762 mm (0.030 POL)					

Notas:

- Embora não seja matéria de rotina deste método de dosagem, procura-se ter um valor mínimo de porcentagem de vazios de ar de, aproximadamente, 4 por cento.*
- Todos os critérios, e não apenas os valores de estabilidade, devem ser considerados na dosagem de mistura asfáltica de pavimentação.*
- Bases asfálticas de mistura a quente que não satisfazem estes critérios quando ensaiadas a 60°C são satisfatórias se atenderem os critérios quando ensaiadas a 38°C e estiverem situadas a 100 mm ou mais abaixo da superfície. Esta recomendação aplica-se somente a regiões que tiverem uma gama de condições climáticas semelhantes às que prevalecem na maior parte do território dos Estados Unidos. Pode-se considerar uma temperatura inferior de ensaio diferente em regiões de condições climáticas mais severas.*
- Classificações do tráfego*
Leve: Condições de tráfego que resultam "EAL" de projeto <10⁶
Médio: Condições de tráfego que resultam "EAL" de projeto entre 10⁶ e 10⁷
Pesado: Condições de tráfego que resultam "EAL" de projeto >10⁷

Os passos seguintes esboçam este procedimento de seleção do teor ótimo de asfalto:

(a) Fazendo uso da Figura 4.27 coloque no Passo (1) da pirâmide, os teores de asfalto usados na preparação das séries de corpos-de-prova de dosagens da mistura. Coloque os teores de asfalto em ordem crescente da esquerda para a direita, ficando o teor máximo de asfalto usado no quadrado da direita.

(b) Selecionar do Passo (1) os três maiores teores de asfalto que não mostram exsudação na superfície moderada a alta e anote no Passo (2). (A exsudação – escoamento superficial e a sangria – é tida como “Leve” se a superfície tem um leve brilho. Considera-se “Moderada”, se houver asfalto livre suficiente para que um pedaço de papel fique preso na superfície, sem notar-se distorção. A exsudação é dita “Pesada” se houver asfalto livre suficiente para causar empocamento na superfície ou distorção do corpo-de-prova após a compactação).

(c) Selecionar no Passo (2) os dois teores asfalto mais elevados que atendam os valores mínimos do estabilômetro e levá-los para o Passo (3).

(d) Selecionar no Passo (3) o mais alto teor de asfalto que tenha, pelo menos, 4,0 % de vazios de ar e levá-lo para o Passo (4).

(e) O teor de asfalto do Passo (4) é o teor ótimo de asfalto. Entretanto, se o teor de asfalto máximo no conjunto de valores (Passo 1) for o teor de asfalto do Passo (4), devem ser preparados corpos-de-prova adicionais com teores de asfalto acrescidos de 0,5 por cento, fazendo-se nova determinação do teor ótimo de asfalto.

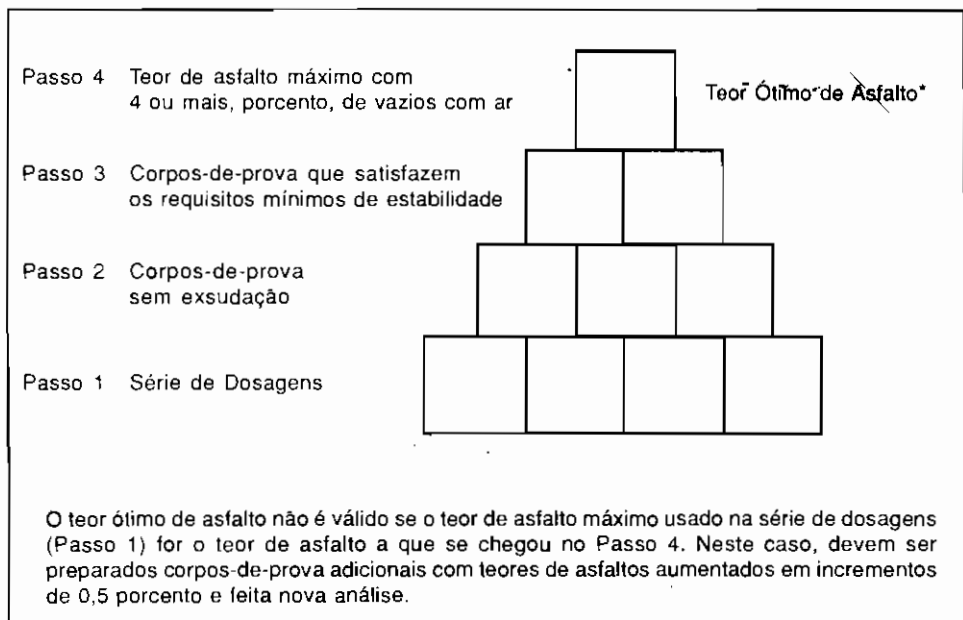


Figura 4.27 Procedimentos para a Escolha do Teor Ótimo de Asfalto, Método Hveem de Dosagem

Capítulo 5

Fabricação de Mistura Asfáltica a Quente

As misturas asfálticas a quente são produzidas em instalações próprias. A instalação de mistura asfáltica a quente é constituída de um conjunto de equipamentos mecânicos e eletrônicos no qual os agregados são combinados, aquecidos, secos e misturados com asfalto a fim de produzir misturas asfálticas a quente que satisfaçam os requisitos especificados. A instalação pode ser fixa (de localização permanente) ou portátil (deslocável de um canteiro de serviço a outro). Em geral, todas as instalações podem ser classificadas como (1) instalação de bateladas ou (2) instalação de tambor misturador. Descreve-se mais adiante neste capítulo, as diferenças entre as duas categorias. A compreensão dos fundamentos apresentados neste capítulo deverá permitir ao leitor que adapte seu conhecimento a quase todas as operações de mistura asfáltica a quente.

Estas instalações também são usadas na fabricação de misturas asfálticas preparadas com emulsões asfálticas e asfaltos diluídos. Estas são produzidas, normalmente, com menos aquecimento e com agregados parcialmente secos. Muitos controles de qualidade das misturas a quente também lhes são impostos.

Deve-se dar atenção especial aos ajustes da instalação a fim de manter o controle do fluxo dos materiais. Também são importantes as anotações de ensaios e de operações feitas pelo fiscal da usina.

Este capítulo divide-se em duas seções. A primeira introduz o leitor nos vários aspectos das instalações de mistura e discute algumas das variações, que são em grande número. Na segunda seção acentuam-se algumas verificações necessárias e controles a fazer para operar e inspecionar tais instalações. Para atingir este fim, a Seção 5.2 repete parte do que é descrito na Seção 5.1. Espera-se que tal repetição não seja demasiadamente cansativa.

SEÇÃO 5.1 Panorama das Instalações de Misturas Asfálticas a Quente

Introdução

Estocagem de Agregados e Alimentação de Agregados Frios

Secagem e Aquecimento de Agregados

Estocagem do Agregado Quente

Filer Mineral

Estocagem do Asfalto

Instalação de Mistura em Bateladas

Instalação de Mistura em Tambor

SEÇÃO 5.2 – Operações e Inspeção de Instalações de Misturas Asfálticas a Quente

Introdução

Estocagem de Materiais

Alimentação de Agregados Frios

Secagem e Aquecimento

Peneiramento e Graduação

Temperaturas

Operações de Instalações de Bateladas

Operações de Instalações de Mistura em Tambor

Miscelânea de Serviços de Inspeção

Amostragem e Ensaios

BIBLIOGRAFIA

1. *Manual de Usinas de Asfalto ("Asphalt Plant Manual")*, MS-3, Asphalt Institute.

2. *Princípios da Construção de Pavimentos de Misturas Asfálticas a Quente ("Principles of Construction of Hot-Mix Asphalt Pavements")*, MS-22, Asphalt Institute.

3. *Abordagem de Diagnóstico de Teor de Cimento Asfáltico para Instalações de Misturas Asfálticas a Quente ("Asphalt Cement Content Diagnostic Approach for Hot-Mix Asphalt Facilities")* QIP-109, National Asphalt Pavement Association.

4. *Procedimentos de Segurança para a Prevenção de Incêndios e Explosões nas Instalações de Misturas Asfálticas a Quente ("Safety Procedures for the Prevention of Fires and Explosions in Hot-Mix Asphalt Facilities")*, HS-7, National Asphalt Pavement Association.

5. *Segurança na Estocagem e Manuseio de Asfalto Aquecido ("Safe Storage and Handling of Hot Asphalt")*, IS-180, Asphalt Institute.

APOIO AO TREINAMENTO

1. *Introdução às Instalações de Produção de Misturas Asfálticas a Quente ("Introduction to Hot-Mix Asphalt Manufacturing Facilities")*, TAS-18, Apresentação de fitas de dispositivos, National Asphalt Pavement Association.

5.1. Panorama das Instalações de Misturas Asfálticas a Quente

Introdução

As misturas asfálticas de pavimentação feitas com cimento asfáltico são preparadas em instalações de mistura asfáltica. Os agregados são combinados, aquecidos e secados, e misturados com cimento asfáltico na produção de mistura asfáltica a quente para pavimentação. São dois os tipos de instalações de misturas, amplamente utilizadas: a de mistura em bateladas e a de mistura de tambor.

As operações de uma instalação de mistura em bateladas incluem:

- (a) estocagem de agregados frios;
- (b) proporcionamento;
- (c) secagem e aquecimento;
- (d) peneiramento;
- (e) estocagem de agregado quente;
- (f) medição e mistura de agregado e asfalto;
- (g) descarga em caminhões, silo de estocagem e silo de excedente.

O agregado é retirado da estocagem ou de pilhas, em quantidades controladas e passado através de um secador onde é seco e aquecido. A seguir, o agregado vai para uma unidade de peneiramento onde se separam as frações de diferentes tamanhos que se depositam em silos de estocagem quente. O agregado e o fíler mineral, quando usados, são retirados, então, em quantidades controladas, combinados com asfalto e completamente misturados.

As operações de uma instalação de misturador de tambor (drum mixer) são as seguintes:

- (a) estocagem de agregado frio;
- (b) proporcionamento;
- (c) aquecimento e mistura do agregado e o asfalto;
- (d) silo de estocagem.

Descrevem-se estes processos mais adiante neste capítulo.

Tipos de Instalações de Mistura Asfáltica a Quente

As instalações de misturas asfálticas a quente, também podem ser classificadas como fixas e amovíveis, quer sejam de batelada ou de tambor. A instalação fixa (Figura 5.1) tem localização permanente e raramente é desmontada e deslocada. A instalação amovível (Figura 5.2) pode ser desmontada, transportada por ferrovia ou rodovia e remontada com pouco gasto de tempo e energia.

Na instalação de mistura por bateladas, retira-se dos silos de estocagem de agregado quente as frações de diferentes tamanhos, nas quantidades desejadas de modo a fornecer uma batelada para a mistura. A combinação de todos os agregados é, então, despejada numa câmara de mistura – o malaxador ou misturador. O asfalto depois de pesado, é misturado intensamente com o agregado. Após a mistura, o malaxador é esvaziado e o material forma uma batelada.

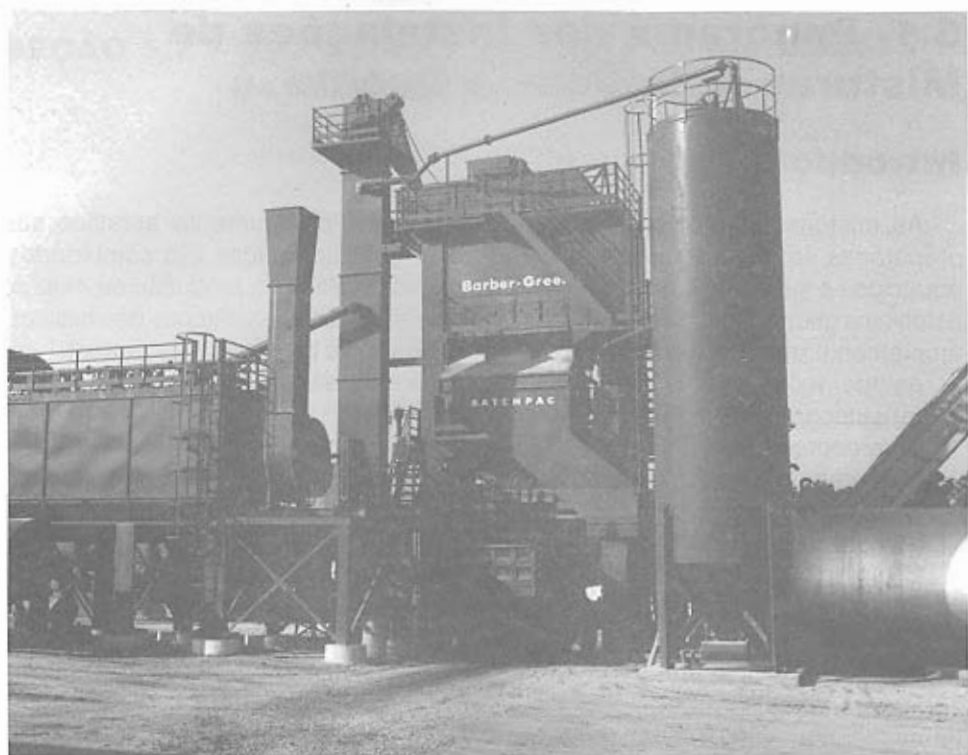


Figura 5.1 Instalação de Mistura de Batelada (ou por pesada)

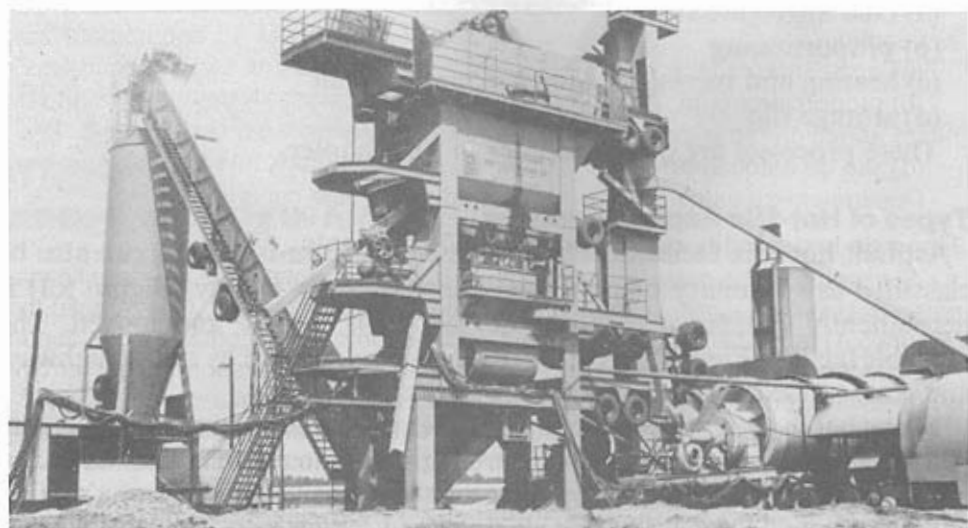


Figura 5.2 Instalação de Mistura de Batelada, Tipo Portátil
(Cortesia C. M.I.)

Na instalação de mistura de tambor, as misturas asfálticas a quente são produzidas com a utilização de um sistema de alimentação fria, um sistema de proporcionalamento do asfalto, um misturador de tambor rotativo e um silo de estocagem. As Figuras 5.3, 5.4 e 5.5 mostram vários tipos de instalações de mistura de tambor. Neste processo, é numa mesma unidade – o misturador de tambor – que se faz o aquecimento do agregado e sua mistura com o asfalto.

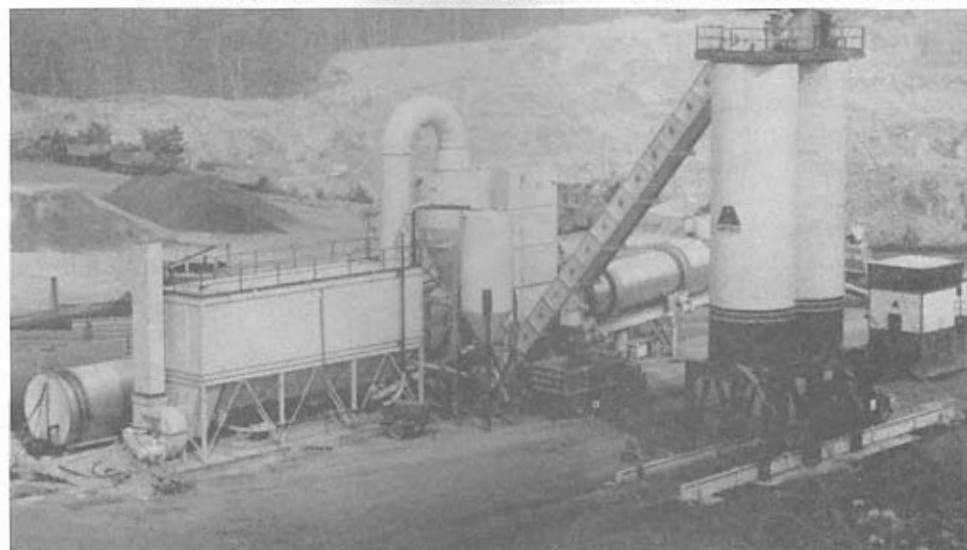


Figura 5.3 Instalação de Mistura de Tambor Estacionária
(Cortesia ASTEC Industries Inc.)

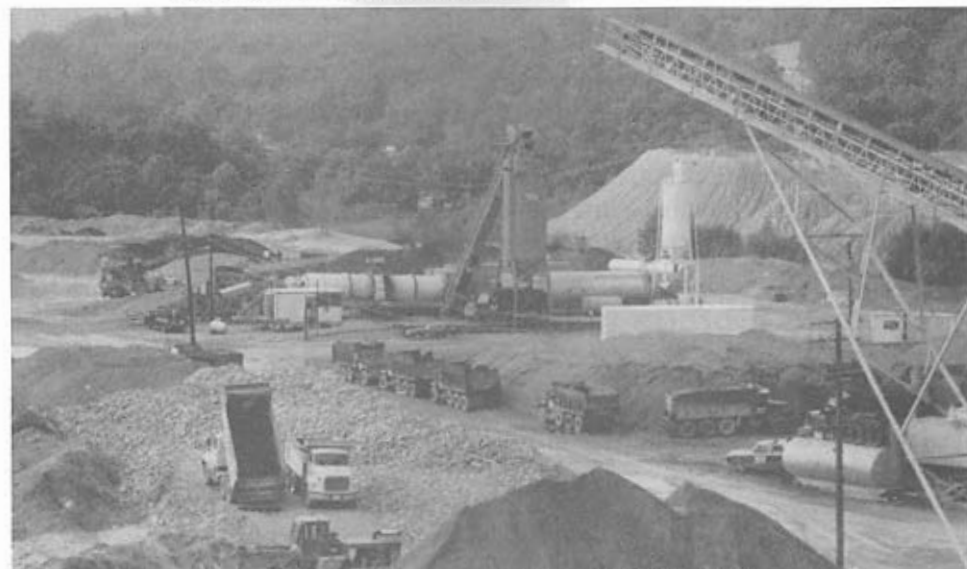


Figura 5.4 Instalação de Mistura de Tambor Portátil
(Cortesia de Standard Havens Products, Inc.)

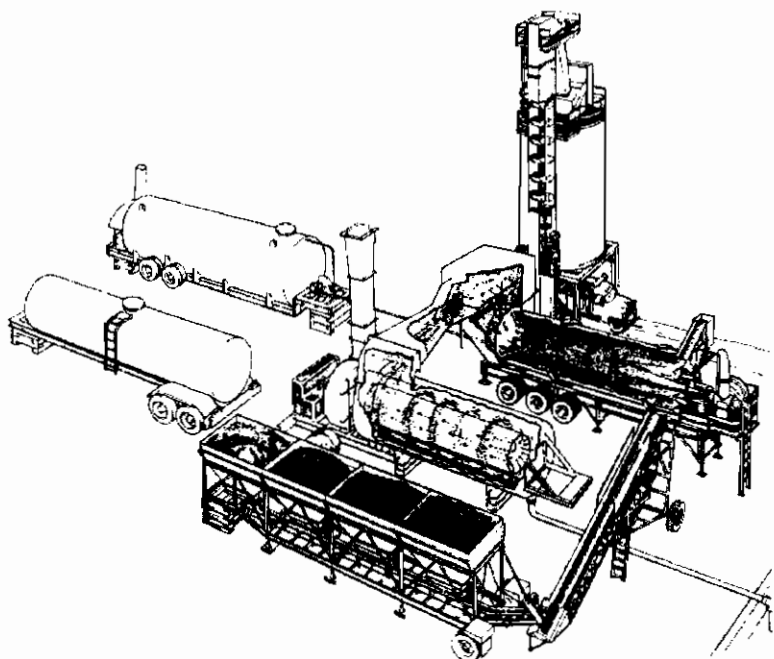


Figura 5.5 Esquema de Instalação de Mistura de Tambor
(Cortesia de Barber-Greene Co.)

Localização

Os fatores que devem ser considerados na escolha do local da instalação compreendem a facilidade ou conveniência de acesso e saída, drenagem superficial, as condições oferecidas pela área na acomodação dos materiais estocados e um arranjo físico propício à realização, de modo seguro e eficiente, das operações dos equipamentos de manejo de agregados, caminhões de fornecimento de asfalto e agregados e caminhões de transporte da mistura para fora da instalação. Deve-se ter em conta, também, a proximidade de áreas residenciais e comerciais que possam ser afetadas negativamente pelo barulho, poeira e tráfego pesado.

Estocagem de Agregados e Alimentação de Agregados Frios

Estocagem de Agregado

Reserva-se uma área de estocagem para o empilhamento do agregado. Estas pilhas devem ser construídas cuidadosamente em superfícies limpas e estáveis e com toda cautela para evitar a entremistura e a contaminação dos materiais.

O movimento de veículos indo e vindo das pilhas de agregado deve ser completamente desimpedido. Às vezes, não convém que o suprimento de materiais próximo à usina dure mais do que poucos dias. Uma operação desembaraçada

requer a entrega ordenada para estoque, e a retirada igualmente ordenada dos materiais estocados, aproximadamente, no mesmo intervalo de tempo.

O fíler mineral está sujeito ao aglutinamento e endurecimento pela umidade, devendo ser tratado diferencialmente dos demais agregados, prevendo-se sua estocagem separada para protegê-lo da umidade.

Alimentação de Agregado Frio

O suprimento de agregado frio é o primeiro e mais importante componente numa usina de mistura asfáltica a quente. O carregamento do alimentador frio pode realizar-se por um dos métodos a seguir ou a combinação deles:

1. Silos de tipo aberto com dois a cinco compartimentos, geralmente alimentados por um guindaste com caçamba de mandíbulas ou uma carregadeira frontal.

2. Túnel debaixo das pilhas separadas por anteparos. O acúmulo de materiais empilhados acima do túnel faz-se por correia transportadora, caminhão, guindaste e carregadeira frontal.

3. Tulhas ou silos grandes. Estes são, geralmente, abastecidos por caminhões, descarregadores de carretas, ou caminhões de descarga inferior, que esvaziam suas cargas diretamente nas tulhas.

Tipos de Alimentadores e Controles

As unidades de alimentação de agregados localizam-se abaixo dos silos de estocagem ou das pilhas, ou em posições que assegurem um fluxo uniforme de agregados. As unidades de alimentação têm controles que podem ser acertados de modo a produzir um fluxo uniforme de agregados no elevador frio (Figura 5.6). São vários os tipos de alimentadores, inclusive a correia contínua (Figura 5.7), o vibratório (Figura 5.8) e fluxo por tabuleiros (Figura 5.9). Em geral, os alimentadores de correia são os melhores para a dosagem acurada dos agregados finos. Já os agregados graúdos escoam de modo satisfatório, em geral, com qualquer destes alimentadores.

Para que haja uniformidade na saída da mistura a quente é preciso que a entrada dos materiais seja medida acuradamente. Nunca é demais acentuar a importância de alimentar o secador com as quantidades exatas de cada tamanho do agregado à taxa de fluxo correta.

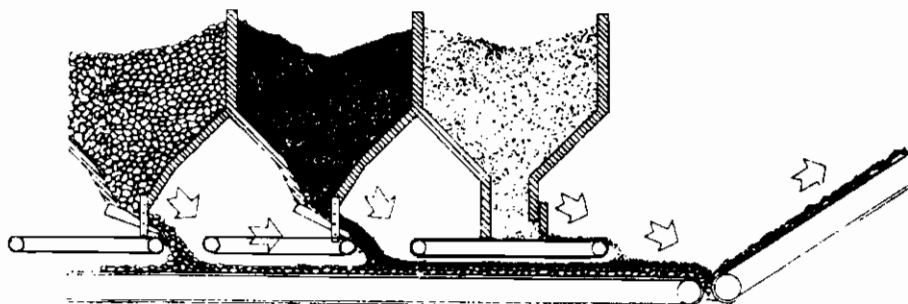


Figura 5.6 Alimentador Frio de Três Silos e Correia

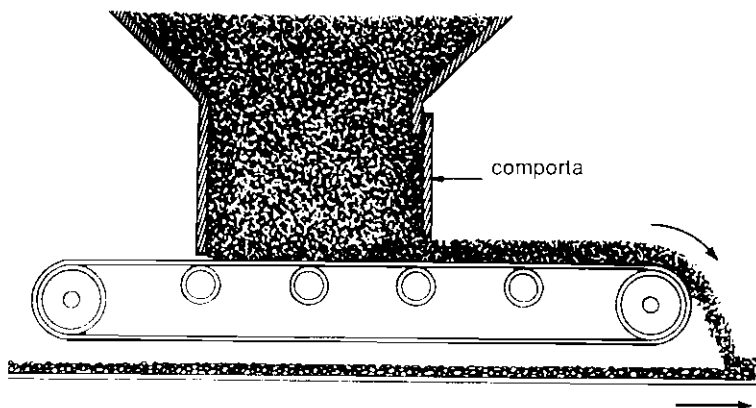


Figura 5.7 Alimentador de Correia Contínua

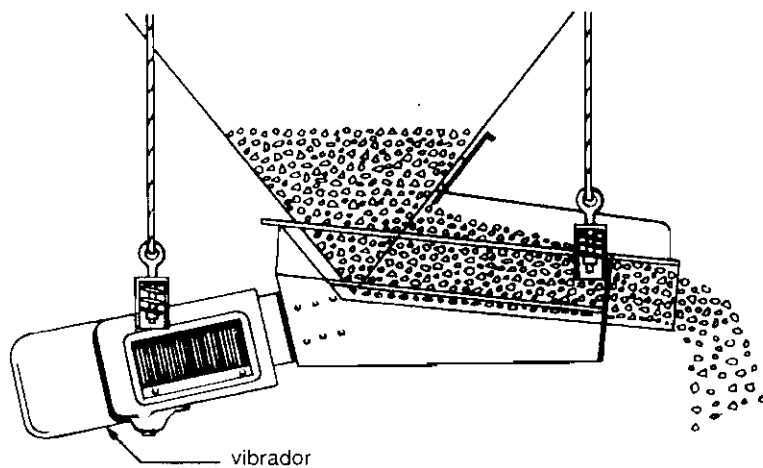


Figura 5.8 Alimentador Vibratório Eletromagnético

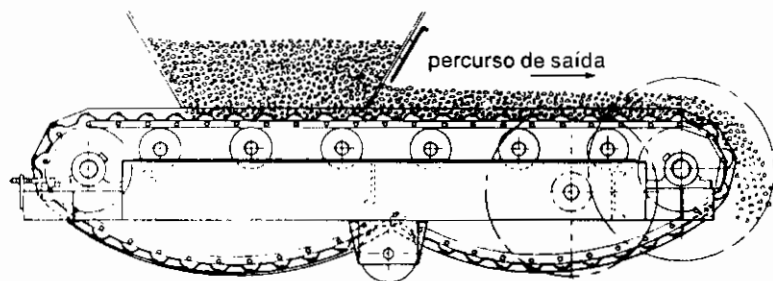


Figura 5.9 Alimentador de Fluxo por Tabuleiros

Secagem e Aquecimento de Agregados

Aquecimento de Agregados

Uma das unidades básicas de todas as instalações é algum tipo de dispositivo para a secagem e aquecimento do agregado. Na instalação de bateladas esta unidade é o secador; na instalação de mistura em tambor é o "drum mixer". Estas unidades constituem uma parte necessária da operação de mistura a quente, pois que secam e aquecem os agregados provenientes do alimentador frio, tornando-os adequados à mistura com asfalto.

O secador na instalação a bateladas é usualmente um grande tambor metálico rotativo em posição inclinada e equipado com uma unidade de aquecimento a gás ou a óleo na extremidade inferior (figura 5.10). O fluxo de ar é de sentido oposto ao do agregado (princípio do fluxo contrário). Este arranjo faz com que os finos (poeira) sejam retirados da mistura de agregados pelo sistema coletor de poeira. Os gases quentes do queimador fluem da parte inferior do tambor rotativo até a parte superior por onde saem. O agregado frio é alimentado pela extremidade superior do secador e é apanhado por cantoneiras ou abas de aço montadas internamente. Enquanto o tambor do secador gira, os agregados são levantados e jogados contra os gases quentes e a chama. Devido à inclinação, os agregados também vão abrindo caminho para a parte inferior do secador. Então, o agregado quente sai pela parte inferior do secador caindo no elevador quente que o conduz até às peneiras e a estocagem quente.

O desenho e a operação do misturador de tambor numa instalação deste tipo é bem diferente. A operação de aquecimento e secagem de agregado tem lugar num "drum-mixer" (Figura 5.11). Além disso, o cimento asfáltico é adicionado e misturado com o agregado aquecido enquanto se encontra no misturador de tambor. Estes procedimentos e modificações das operações da mistura em tambor serão discutidas mais adiante nesta seção.

A secagem é a operação mais cara na produção de mistura. É também o gargalo mais freqüente na operação da usina. O melhor secador é aquele que atende o nível de desempenho desejado com o menor investimento e custo operacional.

Dispositivo de Indicação da Temperatura

As especificações geralmente estabelecem a temperatura do agregado para a mistura. Mede-se a temperatura do agregado seja com um termômetro ou com um par termoelétrico preso a um pirômetro indicador. Como os pirômetros reagem mais rapidamente às variações de temperatura, têm, portanto, a preferência. Freqüentemente, as especificações exigem que se faça e preserve o registro de temperaturas, e para isto torna-se necessário instalar aparelhos registradores.

O Coletor de Poeira

O coletor de poeira (Figuras 5.12 e 5.13) é geralmente operado ao lado do secador e em conexão com o mesmo, sendo necessário para uma eficiente operação da usina. O coletor elimina ou reduz os males que poderiam resultar da exaustão do ar do secador. Os sistemas modernos de coleta da poeira como o do "bag house" que emprega filtros de tecido são muitíssimo eficientes. Providências são geralmente tomadas no coletor de poeira para fazer retornar a poeira recolhida ao agregado quente quando este emerge do secador ou do

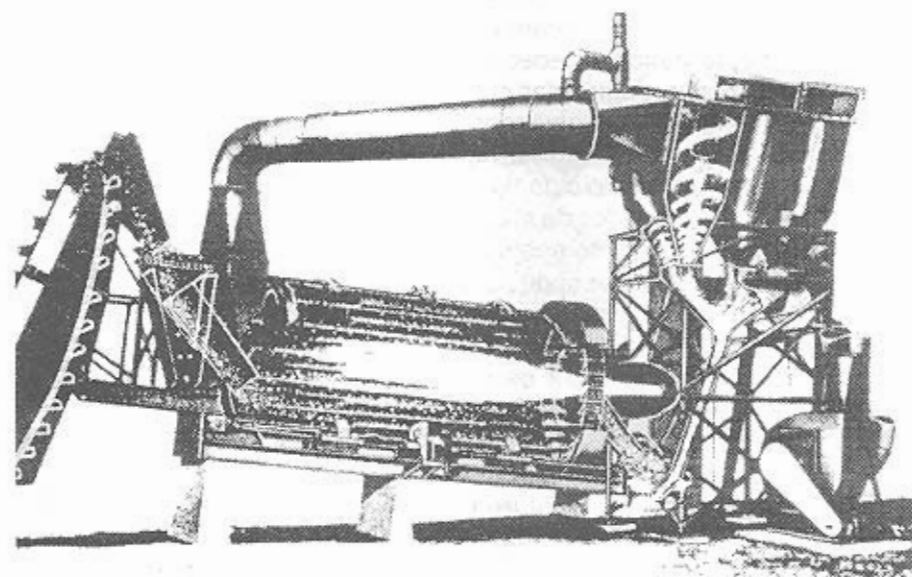


Figura 5.10 Secador na Instalação de Mistura de Batelada

misturador de tambor. Caso a poeira recolhida não se fizer necessária ou for inadequada para uso na mistura asfáltica, poderá ser removida do coletor e descartada. Dois ou mais destes dispositivos podem ser incluídos no sistema coletor de poeira, o qual passa a ter um coletor primário e um ou mais coletores finais ou secundários.

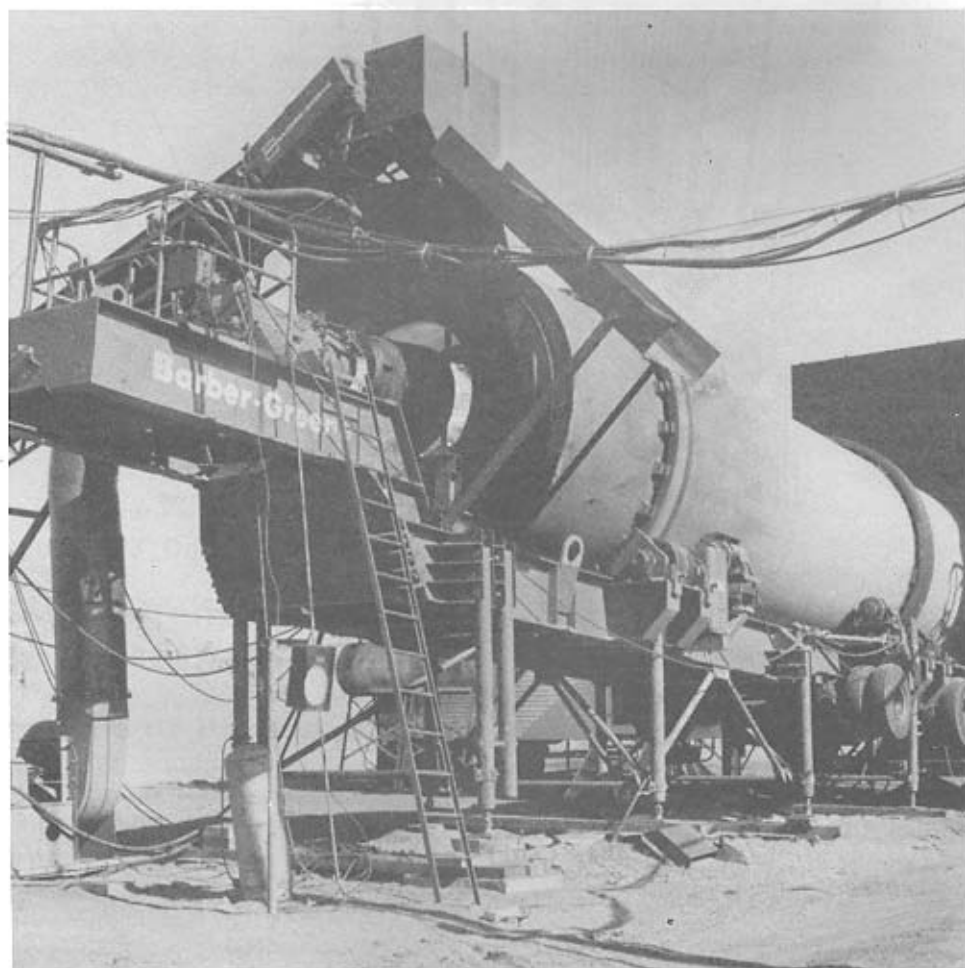


Figura 5.11 Misturador de Tambor, "Drum - Mixer"

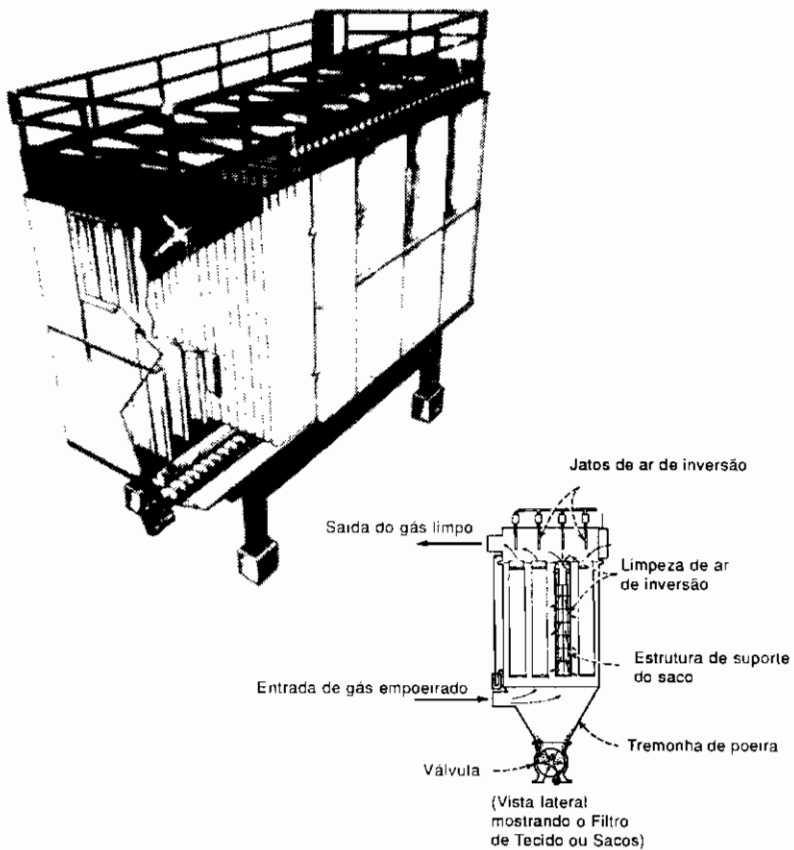


Figura 5.12 Coletor de Poeira ("baghouse") Típico
(Cortesia Standard Havens Products Inc.)

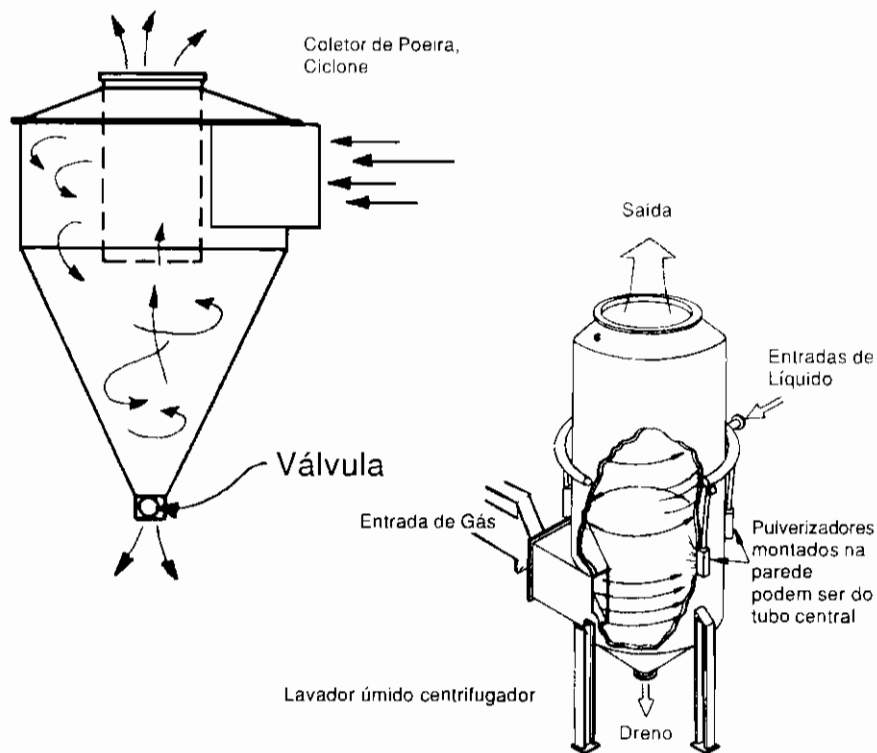


Figura 5.13 Outros Sistemas de Coleta de Poeira

Estocagem de Agregado Quente - Instalação de Mistura de Batelada

Unidade de Peneiramento

Os agregados secos de uma instalação de mistura de bateladas são transportadas do secador por um elevador quente recoberto e depositados sobre uma unidade que contém peneiras, silos de estocagem e dispositivos de proporcionamento dos agregados. Utilizam-se peneiras a fim de separar o agregado em frações de tamanhos especificados, que se depositam em diferentes silos. Figura 5.14. Qualquer desequilíbrio nos silos quentes abaixo das peneiras assinala a necessidade de medida corretiva em outro lugar – usualmente na alimentação de agregado frio.

A escolha de tamanhos de peneiras baseia-se, usualmente, na separação dos agregados em porcentagens iguais de material por peso. O menor tamanho que se pode ter, praticamente, é, no entanto, a peneira de 3,35 mm (n° 6). A fim de separar os agregados em tamanhos de peneiras específicas, utilizam-se telas de peneiras de aberturas pouco maiores.

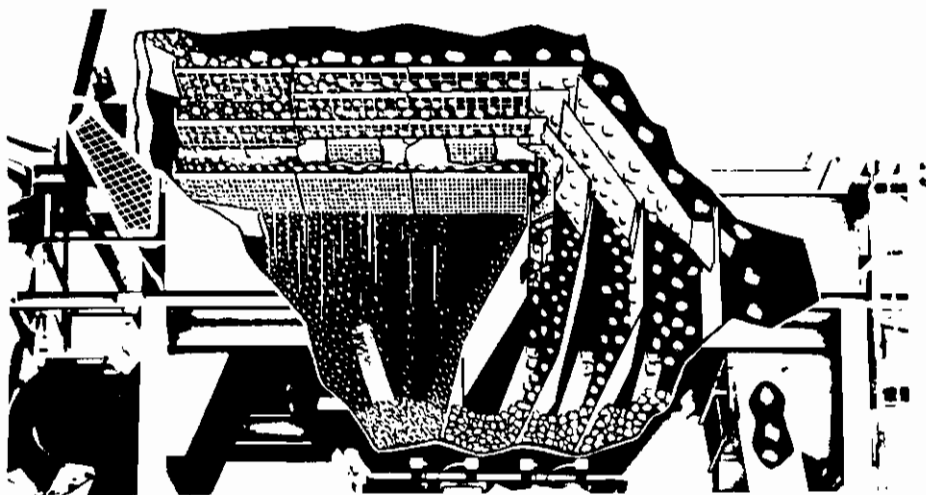


Figura 5.14 Vista Seccional com Pormenores do Fluxo de Material Através de Peneiras e Silos (Cortesia de Iowa Manufacturing Company)

Silos Quentes

Os silos quentes são utilizados no armazenamento temporário de agregados peneirados e aquecidos das diferentes frações de tamanho especificado. Cada silo deve ser suficientemente grande para evitar o esgotamento de seu conteúdo quando o misturador estiver funcionando a plena capacidade. Cada silo deve ter um tubo do extravasamento que evite o refluxo do agregado para os outros silos. O tubo de fluxo de extravasamento também evita que o excesso de carregamento faça com que a peneira vibratória se fricçãoe contra o agregado. Quando isto acontece há forte sobrecarga e danos prováveis das peneiras. O material é retirado dos silos quentes em proporções pré-determinadas e a taxas especificadas. Se as variações de nível de agregado na estocagem quente durante a operação da usina forem pequenas, obter-se-á um fluxo equilibrado de agregados.

Fíler Mineral

Fíler Comercial

Algumas instalações de fabricação de misturas asfálticas a quente têm sistemas independentes de alimentação para introduzir fíler comercial na mistura. O fíler mineral é depositado num alimentador especial montado no terreno e por meio de um transportador de parafuso, um elevador vedado à poeira e uma calha de extravasamento, é depositado numa tremonha de compensação. Desta, o fíler é acrescentado ao agregado à medida que o mesmo é retirado dos silos quentes para a mistura.

Poeira Coletada

Quando o material recolhido no coletor de poeira pode ser combinado satisfatoriamente com os agregados de onde proveio, pode-se aproveitá-lo total ou parcialmente como fíler.

Por meio de um parafuso sem fim que gira continuamente na base do coletor de poeira remove-se a poeira e os finos que sedimentarem na câmara de coleta, que se pode depositar na parte inferior do elevador quente aonde vai ter o agregado do secador. É preferível, contudo, que depois de coletados sejam medidos ou passados na câmara de mistura, tal como se faria com o fíler mineral comercial.

Estocagem do Asfalto

Tanque de Asfalto

A estocagem do asfalto na instalação deve ser suficiente para manter a constância da operação mesmo admitida uma margem face aos atrasos nos fornecimentos e o tempo gasto nos ensaios.

Os tanques de estocagem do asfalto devem ser calibrados de tal modo que o material remanescente no tanque possa ser determinado a todo instante. Os tanques devem ser equipados com termômetros registradores de tempo mínimo de registro de 24 horas e situados em posições adequadas.

Aquecimento e Circulação do Asfalto

Para que o asfalto seja suficientemente fluido de modo a deslocar-se pelas linhas de acesso e de retorno, deve o mesmo ser aquecido. O aquecimento pode ser feito pela circulação de vapor ou óleo quente em serpentinas no tanque, ou eletricamente.

Todos os tanques de estocagem, linhas de transporte, bombas e caçambas de pesagem devem possuir serpentinas de aquecimento ou jaquetas que mantenham o asfalto à temperatura requerida. As linhas de retorno que descarregam nos tanques de estocagem devem ficar sempre submersas, ou seja, abaixo do nível do asfalto a fim de evitar que o asfalto se oxide (Figura 5.15). A fim de impedir o vácuo nas linhas ao se inverter a bomba, deve-se fazer duas ou três fendas na linha de retorno dentro do tanque, porém acima da marca do maior nível do asfalto estocado.

Instalação de Mistura por Batelada

Até este ponto apresentaram-se poucas diferenças e algumas semelhanças entre os tipos de instalações de mistura. Doravante, distinguir-se-á o tipo de instalação, se de batelada ou de mistura em tambor.

Resumidamente, na instalação do tipo de bateladas o agregado é tirado da estocagem em silo quente em quantidades predeterminadas e despejado num malaxador por bateladas. A seguir adiciona-se a quantidade adequada de asfalto ao agregado e mistura-se. Despeja-se a mistura num caminhão (Figura 5.16), ou se faz sua transferência para um silo de compensação ou um silo de estocagem.

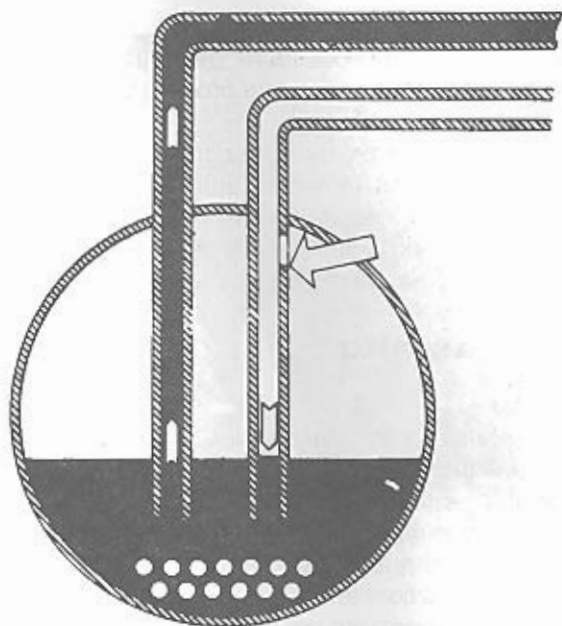


Figura 5.15 Linha de Retorno do Asfalto - A Seta Maior Indica e Fenda Vertical



Figura 5.16 Mistura Asfáltica a Quente Carregando o Caminhão Diretamente do Malaxador (Pugmill)

Tremonha de Pesagem de Agregado

Os agregados são soltos dos silos quentes indo para uma tremonha de pesagem, a começar pelo agregado de maior tamanho e progressivamente até o de menor tamanho, sendo o filer mineral adicionado por último. A quantidade de cada silo é determinada pelo tamanho da batelada e a proporção de sua combinação com os materiais dos outros silos, de modo a atender à fórmula da mistura da obra.

A tremonha de pesagem está pendurada em balanças de travessão, sendo as quantidades de agregado pesadas cumulativamente.

Antes de começar a retirada é preciso que haja material suficiente nos silos quentes para uma batelada completa. Se um silo estiver à mingua ou a transbordar, tudo indicará ser necessário o ajuste na alimentação fria.

Caçamba e Medidor de Asfalto

O asfalto poderá ser pesado numa caçamba especial ou pode ser medido para cada batelada. Quando pesado para uma batelada, bombea-se o asfalto numa caçamba de tara conhecida e pesa-se numa balança.

Quando se utilizam dispositivos de medição, entende-se que se trata de medição volumétrica. O volume do asfalto varia com a temperatura. Alguns medidores de asfalto têm, embutidos, dispositivos de compensação da temperatura, os quais corrigem o fluxo de asfalto quando há variação de temperatura. O volume de asfalto bombeado entre duas leituras do medidor, pode ter seu peso determinado para que se possa calibrar o medidor.

Misturador

Utiliza-se comumente nas modernas instalações de misturas por batelada (Figura 5.17) um malaxador ou misturador tipo pugmill, de dois eixos, montado logo abaixo da caixa de pesagem e da caçamba de asfalto, mas suficientemente alto para que possa descarregar a mistura no caminhão ou outra unidade de transporte de carga.

Misturação

Quando os agregados são retirados dos silos quentes como descrito antes, um pouco de mistura seca tem lugar enquanto os materiais são depositados na tremonha de pesagem, como também ao serem depositados no malaxador. O início do tempo de mistura úmida tem lugar quando o asfalto começa a fluir da caçamba ou do medidor.

A película de asfalto sobre o agregado endurece por exposição ao ar e calor. O tempo de mistura não deve ser superior ao necessário para obter uma distribuição uniforme dos tamanhos de agregados e cobertura uniforme do asfalto em todas as partículas de agregados. São fatores que governam a eficiência da mistura: a velocidade dos eixos do malaxador, as condições das pás e o arranjo e passo das pás.

Completada a mistura, a parte inferior do malaxador abre-se e descarrega o conteúdo, que é despejado diretamente num caminhão ou transportado para um silo de estocagem.

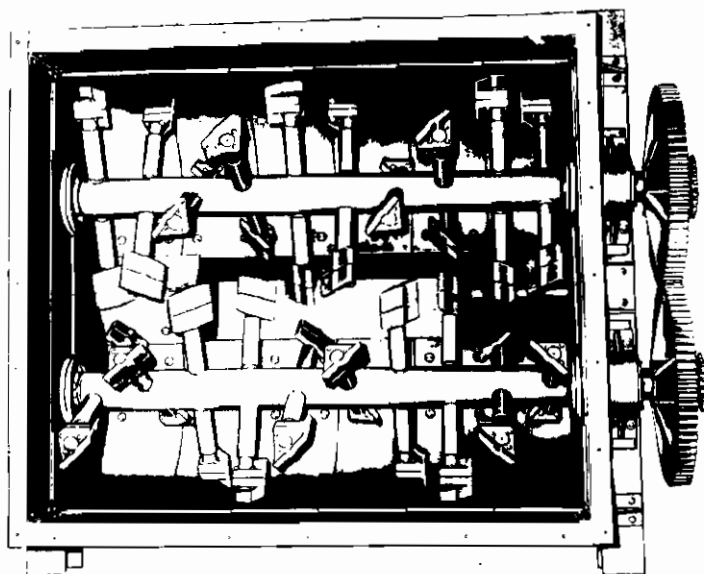


Figura 5.17 Misturador Pugmill ou Malaxador de uma Instalação de Mistura por Batelada (*Cortesia Iowa Manufacturing Company*)

Silo de Estocagem Quente

Utiliza-se um silo de estocagem quente para armazenar temporariamente a produção da mistura asfáltica antes de ser transportada. Trata-se de uma estrutura cilíndrica em que a mistura quente é alimentada por cima e, quando necessário, despejada em caminhões pela parte inferior (Figura 5.18).

Instalações de Mistura Automática

As instalações de mistura por bateladas enquadram-se em três categorias, dependendo do grau de automação: manual, semi-automático e automático. As instalações modernas são, usualmente, automáticas e computadorizadas.

Há uma coisa em comum em todas estas instalações, que é o controle mecânico das operações de pesagem e misturação. Até mesmo nas instalações manuais, cilindros pneumáticos e hidráulicos acionados por chaves elétricas substituíram sistemas de alavancas manuais. Assim se operam comportas de silos de suprimentos, alimentadores, válvulas de asfalto, caixa de pesagem, e comporta de descarga do malaxador.

Nas instalações semi-automáticas, todas as operações desde a descarga da caixa de pesagem até a descarga do malaxador obedecem ao controle de ciclo automático. Incluem-se as operações da comporta de descarga da tremonha de pesagem, mistura seca (quando requerido), caçamba de pesagem do asfalto, mistura úmida e operação da comporta de descarga do malaxador.

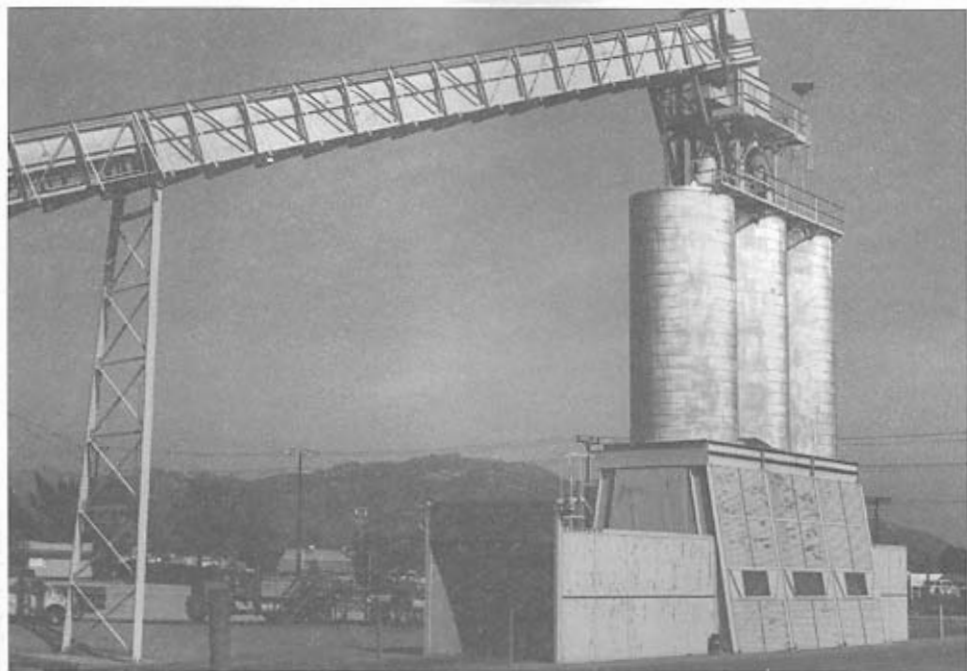


Figura 5.18 Silos de Estocagem de Concreto Asfáltico, Isolados, de Grande Capacidade

do asfalto, mistura úmida e operação da comporta de descarga do malaxador. Os comutadores de limitação asseguram que todas as funções ocorram na seqüência adequada.

Os controles computadorizados oferecem controle completamente automático de todas as funções da instalação e proporcionam o arquivo dos registros automáticos bem como o inventário contínuo dos materiais e produção. Um sistema de controle computadorizado moderno também inclui controle automático do queimador e controle remoto total e proporcional da alimentação fria. Tal sistema permite que um operador qualificado controle à distância a operação de toda a usina (Fig. 5.19).

Instalação de Mistura em Tambor

Instalação Básica

Em poucas palavras, a mistura de tambor é um processo no qual as misturas asfálticas a quente são produzidas numa usina sem peneiras de agregado quente, silos quentes e malaxador (Fig. 5.20). A usina básica consiste de um sistema de alimentação fria, com misturador de tambor rotativo com aletas modificadas, sistema de dosagem e distribuição do asfalto, sistema de coleta de poeira e silo de extravasamento.



Figura 5.19 Estação de Controle de Instalação Automática



Figura 5.20 Instalação de Misturador de Tambor (Drum Mixer)

Misturador de Tambor (Drum Mixer)

O coração da instalação de mistura em tambor é o próprio misturador. Este parece, à primeira vista, ser o secador rotativo da usina de batelada, contudo o "drum mixer" não somente seca o agregado mas também combina o agregado e o asfalto numa mistura a quente. Assim, o misturador de tambor numa instalação de mistura em tambor, difere bastante na função e operação (e, portanto, no desenho) do secador de uma instalação de batelada. Uma diferença fundamental está em que a unidade de aquecimento (chama) se encontra no extremo superior do tambor. O agregado frio entra no tambor pelo extremo onde está a chama. O agregado e o ar aquecido fluem, ambos, no mesmo sentido (designado fluxo paralelo) em vez de o fazerem em sentidos opostos (designado fluxo contrário) como no secador da usina de batelada. A operação do misturador de tambor e outras diferenças de desenho serão discutidas adiante nesta seção.

Controles

Complementarmente, os seguintes controles e equipamentos são necessários para este tipo de usina a fim de assegurar um produto de qualidade que atenda às especificações sob todos os aspectos:

1. Controles da alimentação fria dos agregados para cada tamanho de agregado.
2. Conjunção da alimentação fria e asfalto (e aditivos, quando usados).
3. Sensores para a determinação do teor de umidade do agregado de modo que os ajustes nas proporções dos materiais possam ser feitos quando necessário for.
4. Meios para a amostragem de todos os materiais da composição, quando a usina está em plena produção.
5. Controle dos queimadores automáticos
6. Coletor de poeira primário que pode realimentar o material recolhido.
7. Sensores que meçam a temperatura da mistura quente na descarga.

Operação

O controle da gradação do agregado é realizado nas operações de britagem e empilhamento. Os alimentadores de controle acurado estabelecem as proporções do agregado na saída dos silos frios. As balanças de correia que pesam e monitoram de modo contínuo os agregados combinados estão interligados a uma bomba de medição do asfalto para manter uma razão constante de agregado-asfalto.

Os agregados entram no tambor onde são secos e aquecidos pelo queimador situado na mesma extremidade. À medida que se desloca pelo tambor, adiciona-se o asfalto de modo que os agregados e o asfalto ficam completamente misturados. Também ocorre de modo contínuo a secagem por convecção. A mistura do asfalto quente e da umidade liberada pelo agregado produz uma massa espumosa que aprisiona o material fino (poeira) e auxilia o recobrimento das partículas graúdas.

Algumas instalações de mistura de tambor modificadas incluem o fluxo contrário de ar quente e a entrada de agregados reciclados no ponto central. O diagrama

entra por um extremo do tambor e desloca-se na direção do queimador (ou contrário ao fluxo da corrente de gás quente). Note-se que o queimador neste tipo de misturador localiza-se no tambor do lado oposto ao da entrada do agregado. O cimento asfáltico e o material reciclado de pavimento asfáltico ("RAP" – ver no Capítulo 12) são introduzidos num ponto atrás da chama do queimador – numa área em que os materiais estão protegidos de temperaturas elevadas e da exposição aos gases de exaustão.

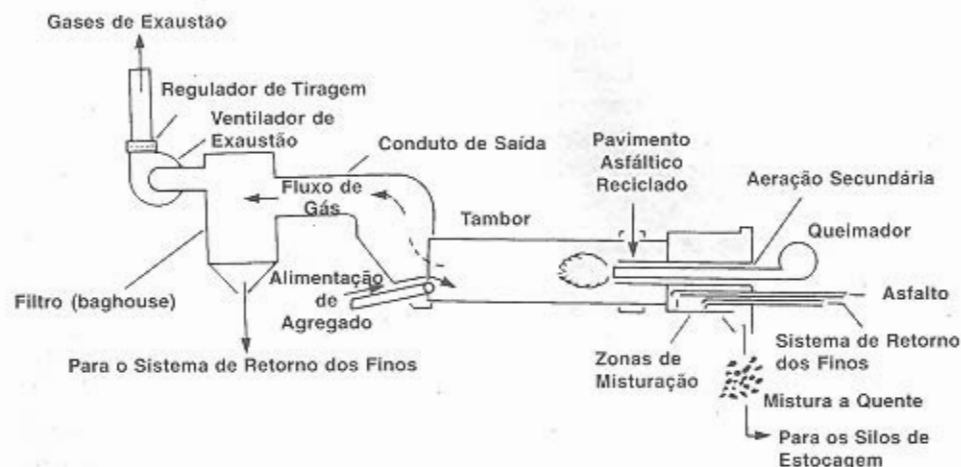


Figura 5.21 (a) Misturador de Tambor de Fluxo Reverso

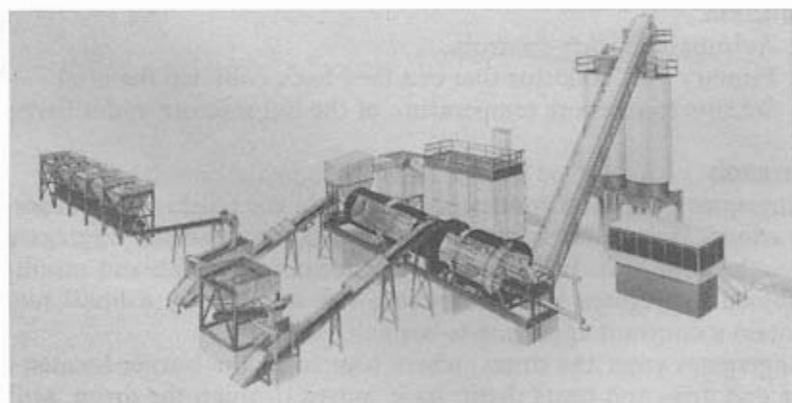


Figura 5.21(b) Instalação de Misturador de Tambor de Fluxo Reverso
(Cortesia de Standard Havens)

Entre outras modificações da mistura de tambor inclui-se uma unidade de recobrimento mostrado na Figura 5.22. Neste caso, o misturador de tambor é apenas para a secagem do agregado, semelhantemente à função do secador numa instalação de batelada. A mistura do agregado com o asfalto faz-se noutra local – a unidade de recobrimento.



Figura 5.22 Unidade de Recobrimento de Asfalto
(Cortesia ASTEC Industries Inc.)

Estocagem de Mistura Asfáltica a Quente

A maioria das instalações modernas de misturas asfálticas a quente são equipadas com silos de extravasamento e de estocagem. Esta capacidade é indiscutivelmente essencial na operação contínua de uma instalação de mistura de tambor. O silo de extravasamento liga-se à usina por um sistema transportador, e tem a finalidade de reter a mistura por intervalos de tempo relativamente pequenos. Em geral não é isolado pois que o tempo de retenção espera-se que seja de poucas horas. O silo de estocagem é semelhante ao de extravasamento exceto que é isolado pois que nele a mistura quente permanece por períodos mais prolongados.

O tipo mais comum de silos de extravasamento e de estocagem tem a forma cilíndrica e uma parte cônica na parte inferior. É grande a variedade de sistemas de transporte usados: correia transportadora, elevadores de caçambas, parafusos sem fim e "slat conveyors" (Figura 5.23). Estudos têm indicado que os silos podem ser carregados sem que haja segregação ou queda apreciável de temperatura.

Os sistemas de extravasamento têm muitas vantagens pois que se minimiza a operação de interrupção temporária da instalação. Reduz-se a variabilidade da composição e temperatura da mistura com a redução destas interrupções, obtendo-se uma operação mais constante da instalação. Também se minimiza

obtendo-se uma operação mais constante da instalação. Também se minimiza a emissão extra de poluentes do ar que ocorre toda vez que se retoma o funcionamento da usina. A produtividade é aumentada pelo funcionamento contínuo durante o horário normal de trabalho e não somente quando se apresentam os caminhões com a carga. Além disso, as instalações podem começar a produzir a mistura de manhã cedo, antes que as condições da estrada permitam a colocação da mistura quente.



Figura 5.23 Estocagem de Mistura numa Instalação de Mistura de Tambor

5.2 Operações e Inspeção de Instalações de Misturas Asfálticas a Quente

Introdução

Cooperação de Engenheiro e Empreiteiro

É vital a cooperação de engenheiro e empreiteiro de forma plena, para que se consiga uma construção de alta qualidade. O engenheiro representa o proprietário, que é, na maioria dos serviços de pavimentação, o público usuário. Ele deve assegurar-se que a obra executada reflita um alto padrão de execução de todas as fases da construção.

O engenheiro, seus inspetores e técnicos devem estar perfeitamente familiarizados com as instalações de mistura asfáltica e sua operação. O engenheiro e o inspetor não podem fazer qualquer ajuste na operação da instalação, porém podem advertir o superintendente da operação caso seja necessário qualquer ajuste. Com a mesma disposição, o superintendente e seus técnicos não devem proceder a ajustes que possam afetar o produto final sem antes consultar o engenheiro ou o inspetor.

Continuidade das Operações

Uma das questões essenciais para se ter uma mistura asfáltica a quente de alta qualidade e consistente é a operação contínua da usina. Da mesma forma, para se ter um pavimento asfáltico consistente e uniforme é essencial a operação contínua da pavimentação. A qualidade da mistura e da execução se ressentem quando há intermitência. Caso haja uma inevitável interrupção do serviço de pavimentação por razões outras que não a produção da usina, a operação da instalação terá que ser interrompida a menos que outra providência seja tomada.

Balanceamento da Produção da Instalação

Pode-se avaliar uma instalação de mistura asfáltica a quente pela sua capacidade de produção de mistura asfáltica de pavimentação em toneladas por hora. Frequentemente faz-se a avaliação com base nas dimensões do misturador apenas. A produção horária é então calculada pelo tamanho do misturador e do tempo de mistura necessário.

Contudo, é importante que se reconheça a interdependência de outros componentes da instalação, tais como, alimentador frio, secador, unidade de peneiramento e silos quentes. Devem ter dimensões e capacidade suficientes para garantir o fluxo adequado e contínuo dos materiais. Podem ser fatores limitantes as condições ambientais, as características do agregado e os requisitos da mistura. Para se obter o melhor resultado os componentes devem ser escolhidos com base nas condições em que se prevê o funcionamento da instalação.

A operação de secagem do agregado é o gargalo que se apresenta mais frequentemente. Esta operação tem um papel vital no desempenho global da instalação. A porcentagem de umidade a ser removida tem um efeito importante na capacidade requerida do secador ou do misturador de tambor.

Outro fator limitante da capacidade, desta vez numa instalação de batelada, é a

Outro fator limitante da capacidade, desta vez numa instalação de batelada, é a unidade de peneiramento. As peneiras só podem separar o material a determinada taxa. Quando são carregadas além desta taxa, as partículas de menor tamanho de grão são carregadas para outro silo. É o que se chama de sobras ("carry-over").

Os outros componentes também têm suas limitações que devem ser reconhecidas. A produção nominal restringe-se ao limite de produção do componente de menor capacidade.

Estocagem de Materiais

Pilhas de Agregados

Os agregados são carregados, geralmente, para o local da instalação que se está erigindo. O técnico, neste estágio inicial, providencia para que um número suficiente de amostras de tamanho adequado seja obtido. Estas amostras devem ser representativas dos materiais entregues.

É da responsabilidade do inspetor providenciar para que os agregados sejam armazenados e manuseados de um modo que minimize a degradação, a segregação e a contaminação.

Deve-se prever áreas de armazenamento adequadas para cada tamanho de agregado. Não deve ocorrer a entremescla dos diferentes agregados por sobreposição ou devido a paredes divisórias defeituosas dos silos.

As pilhas de agregados devem ser construídas em camadas. A espessura da camada depende do material e de como é colocado. Se forem provenientes de caminhões, as cargas devem ser despejadas próximas umas das outras, sobre a superfície toda; é a quantidade da carga do caminhão que determina a espessura da camada.

Quando se faz o empilhamento com um guindaste, a carga de cada caçambada de material deve ser depositada (não arremessada) adjacente uma a outra de modo que a espessura da camada da pilha seja uniforme em toda a área. Quando se utilizam calhas ou transportadoras, podem se tornar necessários septos ou chaminés perfuradas a fim de limitar a segregação de certos materiais.

Quando se constitui uma pilha cônica por queda livre do agregado de uma calha de escoamento ou de uma correia transportadora, o material fino é levado pelo vento e o material grosso rola pelos lados, havendo segregação por tamanhos de agregado. Este tipo de pilha assim formada deve ser evitado.

Estocagem de Fíler Mineral

O filer mineral pode chegar à instalação de mistura seja em remessas a granel ou ensacado. Em ambos os casos, o material deve ser protegido da umidade.

Armazenagem do Asfalto

O local da usina deve ser preparado de modo que o suprimento de asfalto fique facilmente acessível ao misturador. Deve-se prover uma rampa próxima do tanque de armazenagem, onde os transportadores possam ficar numa posição inclinada enquanto descarregam, de modo a escoar completamente o asfalto.

As quantidades de asfalto armazenadas no local devem ser suficientes para

tempo de ensaio. A maioria das instalações têm, pelo menos, dois tanques de asfalto – um tanque de trabalho e um ou mais tanques de armazenamento (Figura 5.24). Quando for necessário usar mais de um grau de asfalto no serviço, dever-se-á dispor de, pelo menos, um tanque para cada grau.

Os tanques de estocagem (ou armazenagem) de asfalto devem ser calibrados para que se possa determinar, a qualquer momento, a quantidade de asfalto restante no tanque. Os tanques também devem ser aquecidos de modo a manter o asfalto suficientemente fluido para mover-se através das linhas de abastecimento e de retorno. Faz-se o aquecimento eletricamente ou pela circulação de óleo ou vapor quentes pelas serpentinas no tanque. Qualquer que seja o método de aquecimento usado, nunca poderá existir uma chama exposta em contato com o tanque.

Quando se utiliza a circulação de óleo quente, deve-se checar freqüentemente o nível do óleo no reservatório da unidade de aquecimento. A queda do nível pode indicar vazamento do óleo quente no tanque, vazamento este que poderá contaminar o asfalto.

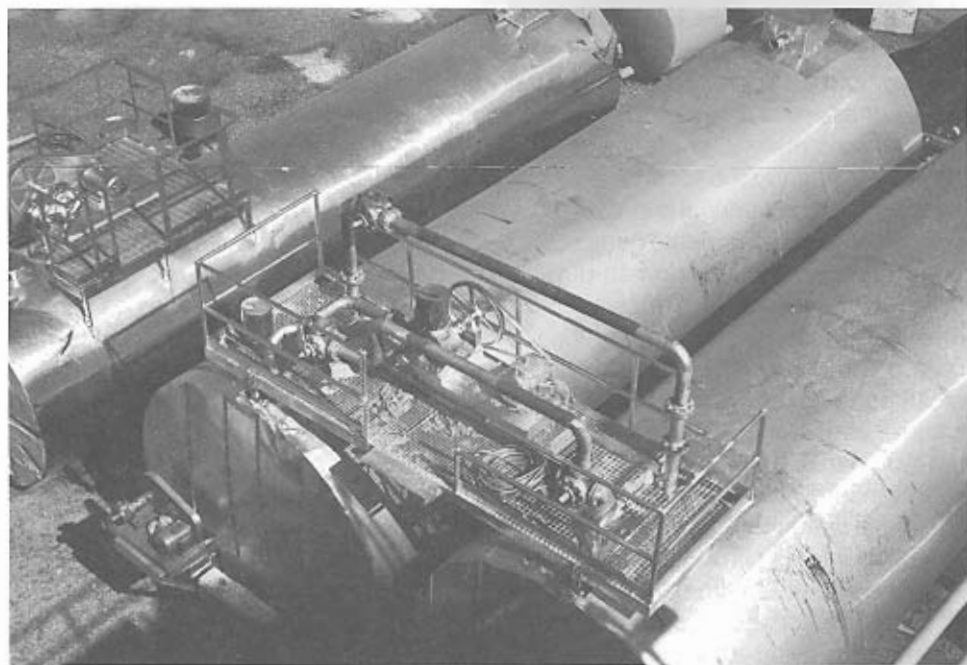


Figura 5.24 Série de Tanques de Estocagem de Asfalto

Todas as linhas de transferência, bombas e caçambas de passagem também devem ter serpentinas de aquecimento ou invólucros a fim de que o asfalto se mantenha suficientemente fluido para ser bombeado. Um ou mais termômetros devem ser colocados no sistema de alimentação do asfalto a fim de assegurar o controle da temperatura do asfalto.

As linhas de retorno que descarregam no tanque de estocagem devem ser submersas, seja sempre abaixo do nível do asfalto a fim de evitar que o asfalto oxide durante a circulação. A fim de anular o vácuo nas linhas quando se faz a reversão da bomba e para desimpedir as linhas, duas ou três fendas verticais devem ser abertas na linha de retorno dentro do tanque, porém acima da marca do nível mais alto do asfalto estocado.

Pode-se instalar uma válvula ou torneira no sistema de circulação a fim de permitir a amostragem do asfalto. Quando se faz a amostragem do sistema de circulação é preciso um cuidado extremo, pois que a pressão nas linhas pode causar o salpico do asfalto quente.

Alimentação de Agregados Frios

Carregamento de Unidades de Estocagem de Alimentação Fria

No carregamento dos silos frios, é preciso muito cuidado para minimizar a segregação e a degradação do agregado. Isto pode ser evitado desde que se tomem as mesmas precauções para o empilhamento adequado. Deve-se manter quantidade suficiente de material em todos os silos para garantir um fluxo positivo e uniforme.

Se o agregado frio for empilhado sobre um túnel ou correia, deve-se ter cuidado no manuseio do material sobre os alimentadores. Por exemplo, se buldôzeres forem utilizados no empilhamento pode ocorrer segregação e degradação. Lama e terra ou outro material inadequado não devem ser arrastados por este equipamento até a pilha. As vibrações do buldôzer podem fazer com que as partículas finas na pilha de material graúdo se infiltrem para baixo numa camada que mais tarde é empurrada para o alimentador. O resultado poderá ser o desequilíbrio da alimentação. Este efeito pode ser reduzido, fazendo-se variar o trajeto do buldôzer até o alimentador. Ocorre, também, que a ação abrasiva contínua das partículas que se deslocam de um lado para o outro, pode causar degradação em alguns tipos de agregados.

Quando o nível do empilhamento acima do túnel é mantido por uma draga ou caçamba de mandíbula deve o operador ter o cuidado de não pegar o material do mesmo ponto da pilha nas retiradas sucessivas.

Quando se utiliza um carregador frontal, o operador não deve apanhar o material de pilha de estocagem no nível do terreno. A concha deve ser mantida bem acima do terreno para evitar a contaminação ao encher.

Quando se pegar material de uma pilha, deve-se tomar cuidado para evitar a retirada de áreas excessivamente molhados (tal como próximo a base da pilha), ou até mesmo de áreas inusitadamente secas. As flutuações excessivas do teor de umidade do agregado que está alimentando o secador resultarão em flutuações inaceitáveis da temperatura da mistura – que por sua vez acarretarão modificações nas características de colocação e compactação da mistura, com efeito adverso no desempenho em

todos os aspectos das operações de mistura.

Quando se utilizam caminhões para carregar o silo, devem eles depositarem suas cargas diretamente sobre o alimentador.

Quando a pilha é reabastecida por correias ao alto ou transportadoras-elevadoras, o fluxo de material deve ser controlado por defletores instalados no interior do silo.

Calibração e Regulagem dos Alimentadores

Deve-se calibrar as comportas dos alimentadores de agregado frio. Os fabricantes podem fornecer calibrações aproximadas das aberturas de comportas de seus equipamentos, mas o único modo acurado de ajustar as comportas é preparando-se gráficos de calibração com os agregados usados na mistura.

A fim de calibrar a comporta de um alimentador, coloca-se a comporta em três ou mais aberturas diferentes e opera-se o alimentador a cada abertura. Quando o alimentador estiver se movendo normalmente, mede-se o material num recipiente para um certo número de revoluções. O fluxo de material por minuto nesta abertura da comporta pode ser determinada:

$$q = \frac{W}{r} (1 - w) \quad (1)$$

onde

q = massa do agregado seco, kg por minuto;

W = massa de agregado medida, kg;

r = número de revoluções por medição; e

w = teor de umidade do agregado.

Esta fórmula pode ser adaptada para alimentadores de plataforma, alimentadores de placa de movimento alternativo e alimentadores de correia.

Quando as comportas descarregam sobre a correia transportadora, a saída pode ser verificada, para o que fecham-se todas as comportas menos uma que é ajustada para um dos pontos de calibração. Se não se conseguir fechar completamente as comportas, poderá ser necessário parar o alimentador ou desengrená-lo se for acionado mecanicamente. Faz-se funcionar o alimentador frio que é levado até a velocidade normal de operação. A seguir, para-se o alimentador e retira-se para pesagem o material de um trecho de correia. Determina-se a quantidade de material fornecido por minuto pela abertura da comporta, pela Equação 1, fazendo-se:

r = comprimento do trecho da correia de onde foi retirado o material, mm; e

R = velocidade da correia, mm por minuto.

Tendo-se feito isto para todas as comportas que fornecem agregados para o secador, pode-se preparar um gráfico de calibração. Marca-se a abertura da comporta em milímetros na escala horizontal contra o "peso" seco em kg por minuto na escala vertical (Figura 5.25). A abertura da comporta

pode ser, então, determinada para determinada taxa de fluxo, sendo esta obtida por:

Sistema Metrico

$$q = 0,167 \text{ TP}$$

onde:

q = taxa de fluxo requerido, kg/min

T = produção da usina, t/h

P = porcentagem em peso da mistura total

Costumeiro nos EUA

$$q = 0,333 \text{ TP}$$

onde:

q = taxa de fluxo requerido, lb/min

T = produção da usina, ton/h

P = porcentagem em peso da mistura total

Por exemplo, uma instalação de bateladas está produzindo 200 t (220,5 tons) de concreto asfáltico por hora. O material do silo frio nº 1 está suprindo agregado que constitui 37 por cento da mistura. A taxa de fluxo requerida do silo nº 1, é :

$$q = 0,167 (200) (37) = 1232 \text{ kg/min ("peso" seco)}$$

$$q = 0,333 (220,5) (37) = 2716 \text{ lb/min ("peso" seco)}$$

Secagem e Aquecimento (Instalação de Bateladas)

Operação do Secador

A maioria dos secadores é projetada para o teor de umidade médio. Os agregados muito úmidos (Figura 5.26) reduzem a capacidade do secador e exigem medidas corretivas, por exemplo:

(1) Pode-se aumentar a quantidade de calor queimando-se mais óleo enquanto o fluxo de agregado permanecê constante, ou

(2) Pode-se manter o agregado no secador por mais tempo fazendo-se variar a inclinação do secador ou modificando-se as aletas dentro do secador (i.e., adicionando-se aletas de ricochetar).

Há um limite no aumento possível do calor sem que se exceda a tiragem de exaustão. Além desse valor, ou se aumenta a tiragem ou a taxa de fluxo de agregado tem que ser reduzida. Nas áreas muito úmidas, ou quando os agregados estão excepcionalmente molhados, o empreiteiro poderá operar dois secadores em seqüência ou fazer passar o agregado duas vezes pelo mesmo secador.

A maioria dos problemas na operação de secagem é causada pelo acúmulo de mais material no secador do que este pode de fato operar. Entretanto, outros fatores podem afetar a eficiência da operação. Vários fatores envolvem o queimador. Se um queimador a óleo for usado, é importante que se tenha o grau adequado de combustível. O óleo deve ser adequadamente pulverizado por um insuflador. A velocidade do ar de tiragem, que se combina com o óleo combustível pulverizado para a combustão, deve estar em equilíbrio com o ar insuflado e a quantidade de óleo combustível que alimenta o queimador. Se o ar insuflado, a tiragem de ar e o fluxo de óleo combustível não tiverem um ajuste equilibrado, pode haver combustão incompleta do combustível, ficando revestimento oleoso nas partículas de agregados que podem afetar a

mistura. A existência de fumaça negra na tubulação de exaustão indica que óleo não foi completamente queimado.

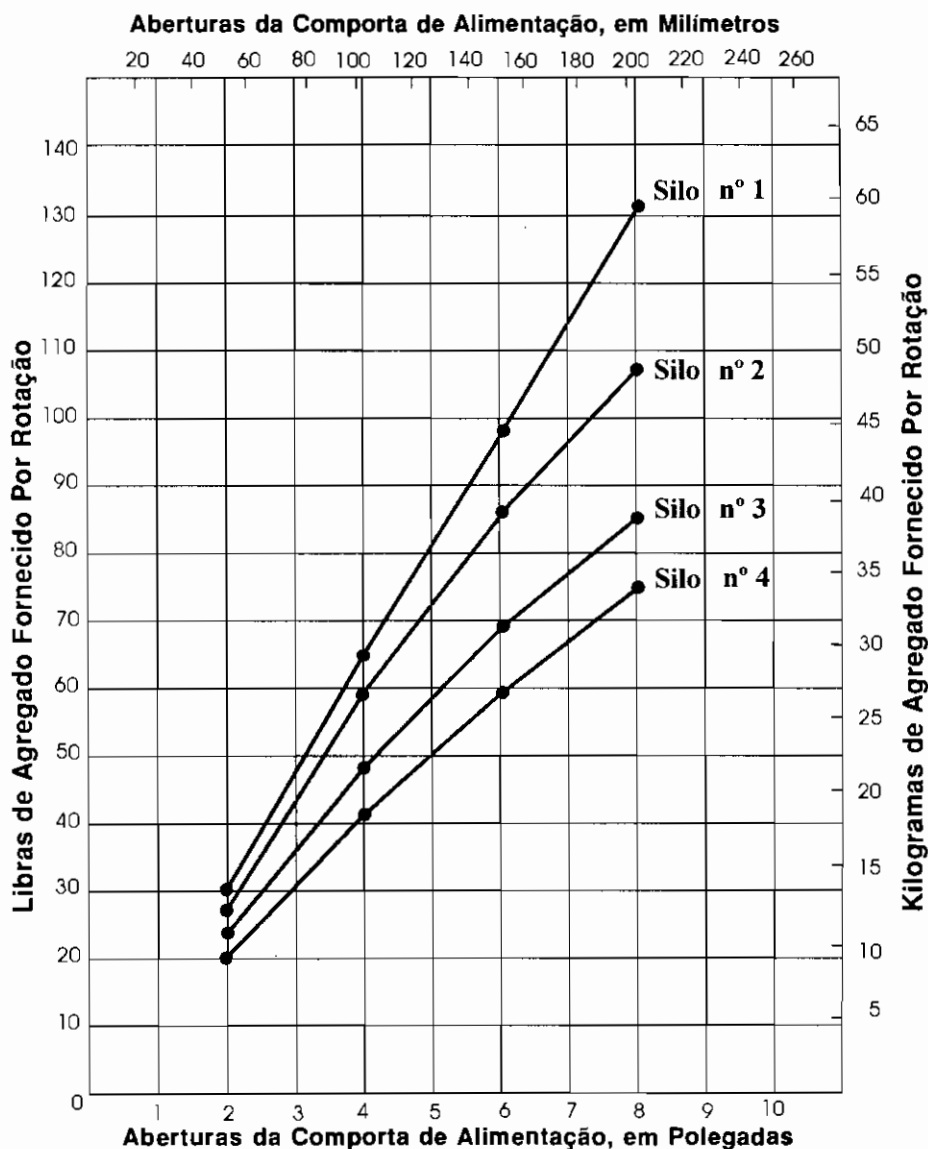


Figura 5.25 Gráfico de Calibração de Alimentadores de Silos Frios

A falta de equilíbrio entre o ar do insuflador e as velocidades do ar de tiragem pode causar contra-pressão dentro do secador. Isto cria uma “contra-baforada” no extremo do queimador, o que indica que a tiragem não é suficiente para acomodar a pressão do ar produzida pelo insuflador do queimador. A solução está ou no aumento da tiragem de ar ou na redução da pressão do ar insuflado.

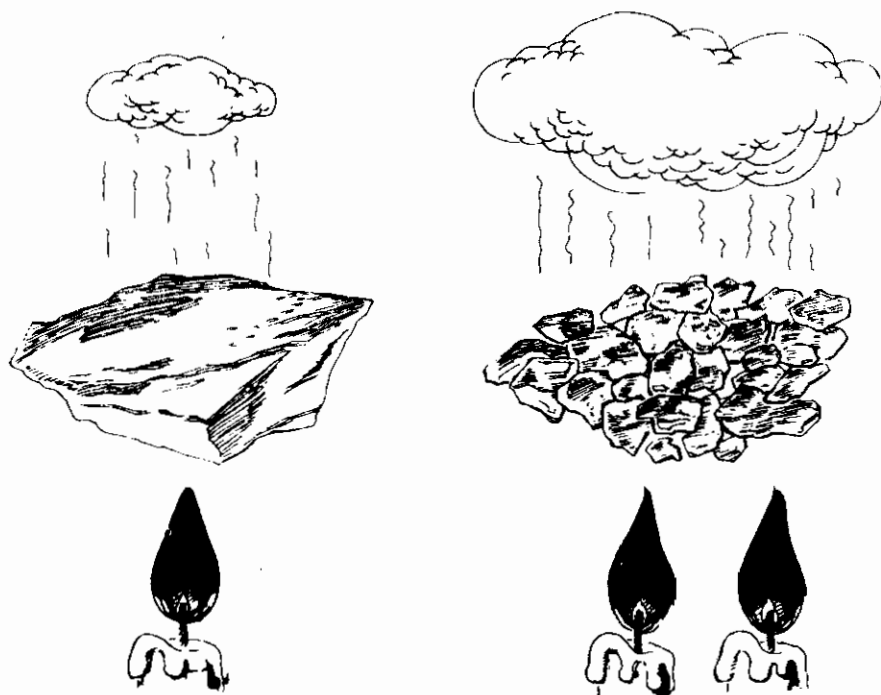


Figura 5.26 Os Agregados Finos Retêm Mais Umidade do que os Agregados Graúdos, Necessitando de Mais Calor para Secarem

Os secadores que empregam queimadores de gás natural ou de gás de petróleo líquido raramente têm problemas de combustão. Ainda assim, pode ocorrer o desequilíbrio entre pressão de gás, ar para a combustão e tiragem. O queimador de gás deve ser do tipo correto para a pressão de gás disponível.

Pó Coletado

Se o material retirado do coletor de poeira puder ser recombinado satisfatoriamente com os agregados da mistura, uma parte ou o todo pode ser devolvido à instalação. A quantidade devolvida depende da graduação combinada da mistura final. Se o pó coletado for impróprio, proibido pelas especificações da mistura, ou em quantidade superior ao que pode ser utilizado, deve o mesmo ser desviado para um silo de estocagem para rejeito ou outro uso. Se os finos de coletor de sacos são permitidos na mistura final, igual quantidade deve ser usado em laboratório no desenvolvimento da fórmula de mistura da obra.

Peneiramento e Graduação (Instalação de Bateladas)

Tamanho de Peneira e Capacidade

As peneiras quentes são utilizadas para separar o agregado em tamanhos especificados. A repartição dos silos quentes pode ser determinada por um gráfico da especificação de agregado total. As repartições devem ser feitas de modo que o material de cada silo esteja em equilíbrio. O tamanho de separação de 3,35 mm (nº 6), contudo, é o menor tamanho que, praticamente, é possível usar. Para uma separação de quatro silos (Figura 5.27), o material mais grosso que 3,35 mm (nº 6) é colocado de modo proporcional nos três outros silos. A fim de separar os agregados por tamanhos de peneiras especificadas que se utilizam nos ensaios, telas de peneiras de aberturas um pouco maiores são utilizadas sobre as peneiras vibratórias da usina de asfalto (ver Tabela 5.1).

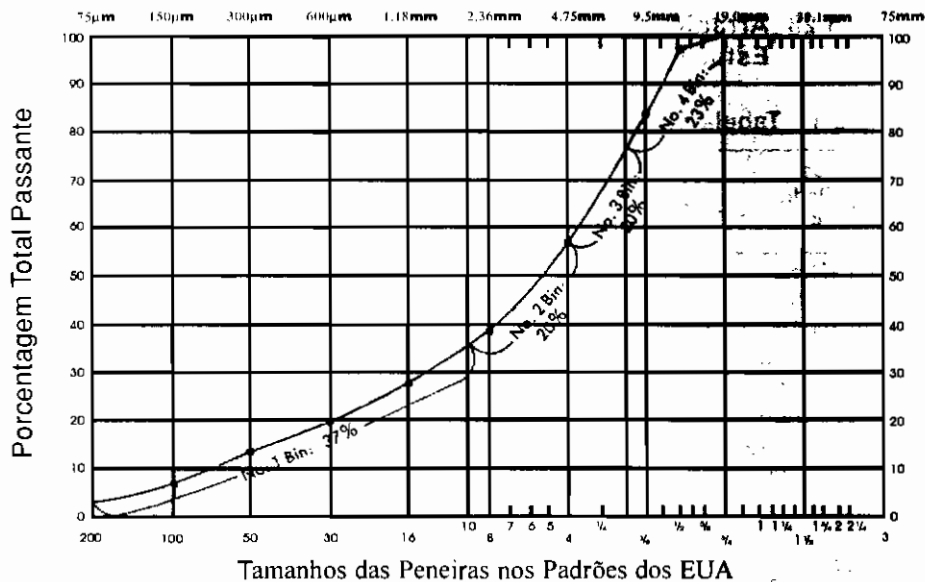


Figura 5.27 Escolha de Separações de Tamanhos para Estocagem de 4 Silos

O arranjo das peneiras superpostas é tal que as partículas de tamanhos menores caem no primeiro silo e as maiores nos últimos silos. A Fig. 5.28 mostra um arranjo ("3 1/3") de peneiras superpostas em que o tamanho real das aberturas quadradas das peneiras vibratórias também são indicadas. Os tamanhos mostrados são os usados na divisão da graduação do agregado, conforme ilustra a Figura 5.27.

As toneladas por hora processadas por metro quadrado de área de peneira variarão porque a capacidade da peneira depende do tipo de peneira, agregados e especificações.

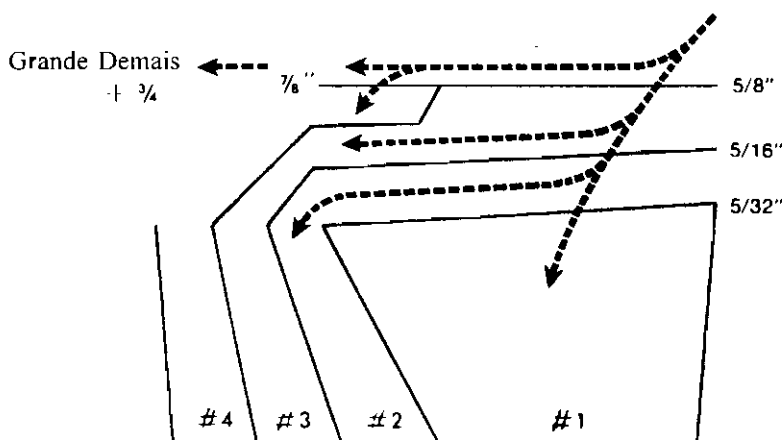


Figura 5.28 Arranjo de Peneiras Superpostas (3 1/3) para 4 Silos de Estocagem Quente

Tabela 5.1 Tabela de Seleção de Peneiras

Tamanhos Peneiras Padr. dos EUA	Tamanho Real da Abertura da Malha Quadrada de Peneiras Vibratórias	Tamanhos Peneiras Padr. dos EUA	Tamanho Real da Abertura da Malha Quadrada de Peneiras Vibratórias
3.35mm (N.6)	3.96mm (5/32 pol)	16.0mm (5/8 pol)	19.0mm (3/4 pol)
4.00mm (N.5)	4.76mm (3/16 pol)	19.0mm (3/4 pol)	22.4mm (7/8 pol)
4.75mm (N.4)	6.3mm (1/4 pol)	22.4mm (7/8 pol)	25.0mm (1 pol)
6.3mm (1/4 pol)	8.0mm (5/16 pol)	25.0mm (1 pol)	28.6mm (1-1/8 pol)
8.0mm (5/16 pol)	9.5mm (3/8 pol)	31.5mm (1-1/4 pol)	34.9mm (1-3/8 pol)
9.5mm (3/8 pol)	11.2mm (7/16 pol)	38.1mm (1-1/2 pol)	41.3mm (1-5/8 pol)
11.2mm (7/16 pol)	12.5mm (1/2 pol)	45mm (1-3/4 pol)	50mm (2 pol)
12.5mm (1/2 pol)	14.3mm (9/16 pol)	50mm (2 pol)	57mm (2-1/4 pol)

A Tabela 5.2 fornece uma orientação geral para a determinação da capacidade da peneira. Pode ser usada como guia para agregados secos e quando não se apresentam problemas de peneiramento.

Eficiência das Peneiras

As condições e limpeza da peneira controlam, em grande parte, sua eficiência. Se a área efetiva de peneiramento for reduzida pelo entupimento das aberturas da malha, ou se há excesso de material alimentando a peneira, resultarão sobras.

O desgaste excessivo dos fios da peneira e rasgos da peneira resultam no alargamento das aberturas e furos (Figura 5.29). Isto acarreta a entrada no silo de material de tamanho superior ao nominal. Se for em pequena quantidade não há, usualmente, mal maior, desde que as flutuações não sejam exageradas e contrárias às especificações.

Tabela 5.2 Capacidade de Peneiramento Vibratório

Tamanho da Peneira (Malha Livre)	t/h/m ² (ton/h/pe ²)	t/h (ton/h)		
		0.91 m x 2.44 m (3' x 8')	1.22 m x 3.05 m (4' x 10')	1.22 m x 4.25 m (4' x 14')
4.76 mm (3/16 pol)	20 (2)	45 (50)	73 (80)	100 (110)
6.3 mm (1/4 pol)	29 (2 1/2)	54 (60)	91 (100)	127 (140)
9.5 mm (3/8 pol)	32 (3 1/4)	73 (80)	118 (130)	163 (180)
12.5 mm (1/2 pol)	37 (3 3/4)	82 (90)	136 (150)	191 (210)
16.0 mm (3/8 pol)	42 (4 1/4)	91 (100)	154 (170)	209 (230)
19.0 mm (3/4 pol)	46 (4 3/4)	104 (115)	172 (190)	240 (265)
22.4 mm (7/8 pol)	51 (5 1/4)	113 (125)	191 (210)	268 (295)
25.0 mm (1 pol)	56 (5 3/4)	127 (140)	209 (230)	290 (320)

Nota: Os valores de capacidade desta tabela não são os máximos nem os mínimos que se pode esperar. A capacidade é afetada por muitos fatores, inclusive o teor de umidade do agregado, a graduação do material, a carga sobre a peneira contra o valor passante, e o tamanho do fio da peneira. As peneiras fabricadas para o uso nos EUA apenas o são em obediência às unidades costumeiras do país.

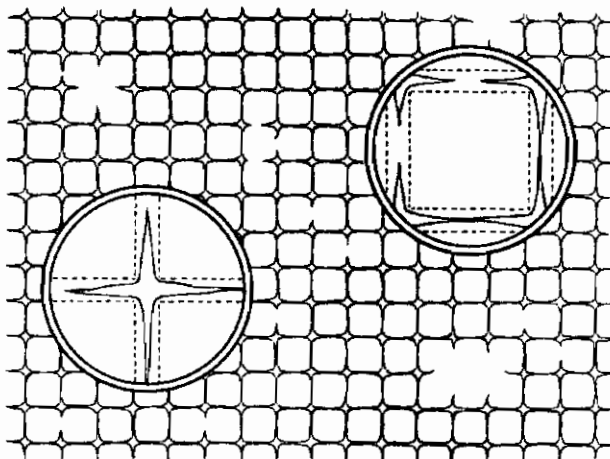


Figura 5.29 Desgaste da Tela da Peneira

Sobras

Quando as aberturas das malhas das peneiras estão obstruídas, ou quando a alimentação das peneiras é excessiva, muitas partículas que deveriam passar pelas malhas passam por cima da peneira e caem num silo destinado a partículas maiores. As sobras, neste caso, vêm a ser constituídas de partículas finas depositadas num silo de maior tamanho nominal de partículas.

A variação destas sobras provoca a falta de uniformidade na graduação do agregado e na mistura. Sobras excessivas resultam no aumento da quantidade de agregado fino na mistura total, o que traz o aumento da área superficial a ser revestida por asfalto. Sobras excessivas, ou suas flutuações, tornam-se evidentes pela análise por peneiramento do conteúdo dos diferentes silos quentes. São medidas corretivas a limpeza das peneiras, a regulagem da quantidade de material vindo da alimentação fria, ou a combinação dos dois.

Esta situação de sobras ocorre com maior frequência quando a área de peneiramento fino (silo nº1) é restrita. Permite-se alguma sobra no peneiramento normal, assim mesmo, especificando-se usualmente a quantidade admissível em cada silo. Deve-se proceder a ajustes no valor do material deslocado de cada silo para levar em conta as sobras.

Recomenda-se a inspeção visual diária das peneiras quanto a limpeza, de preferência antes do início das operações. Quando as condições permitirem deve-se proceder à limpeza das peneiras.

Silos Quentes

Os silos quentes devem ser suficientemente grandes de modo a evitar esgotamento do material quando o misturador estiver a plena carga. Suas paredes devem ser estanques, sem furos, e suficientemente altas para evitar entremesclamento dos agregados. Todo silo quente deve ser equipado com um cano de transbordamento, para evitar que o agregado reflua para outros silos. As saídas dos transbordamentos devem ser verificadas com frequência para se ter certeza de que há escoamento livre. Se ocorrer o entremesclamento, destrui-se a graduação especificada.

Às vezes a fração fina do agregado fica presa nos cantos do silo. Quando esta obstrução se solta, resulta um excesso de finos na mistura. Esta afluência do material fino ocorre normalmente quando o agregado no silo reduz-se a um nível baixo. Esta situação pode ser corrigida pela solda de placas nos cantos do silo para eliminar ângulos retos.

Entre outros obstáculos para uma boa mistura estão a escassez de material num silo ou o excesso noutro; comportas gastas no fundo dos silos que permitem a fuga de agregado na tremonha de pesagem e transpiração das paredes do silo.

Escassez e excesso nos silos corrigem-se pelo ajuste da alimentação a frio. Por exemplo, se o material menor que 3,35 mm (nº 6), do silo nº 1 está extravasando, enquanto tem-se que esperar pelo material maior que 8 mm, do silo nº 3, deve-se diminuir ligeiramente a abertura no silo frio que supre a maior parte do material de partículas menores que 3,35 mm (nº 6), e abrir ligeiramente o silo que fornece a maior parte de material de partícula maiores que 4,76 mm. Se o silo de material mais grosso estiver extravasando enquanto os outros dois permanecem num nível satisfatório, estará entrando em demasia o material total. Então, o silo frio que supre a maior parte do agregado para o silo gráudo deve ser reduzido ligeiramente.

Não é de boa prática realizar dois ajustes de uma vez. Por exemplo, se se souber que a alimentação total é deficiente e que, também, um dos silos está funcionando um pouco a mais, é preferível ajustar a alimentação total primeiramente e então fazer novo ajuste na alimentação relativa dos vários silos.

A transpiração ocorre quando o vapor d'água no agregado e no ar condensa nas paredes do silo. Isto ocorre somente no início do dia do trabalho ou quando o agregado não está completamente seco. A transpiração pode causar o acúmulo de poeira. Quando solto de repente a poeira acrescenta finos indesejáveis à mistura.

Amostragem do Silo

As instalações modernas de misturas asfálticas a quente estão equipadas com dispositivos para amostragem de agregado quente dos silos. Estes dispositivos são projetados de modo a desviar o fluxo de agregados dos alimentadores, ou comportas, sob os silos, para recipientes de amostras. O melhor local para obter uma amostra é das comportas dos silos enquanto o material cai na tremonha de pesagem. É essencial que o dispositivo de amostragem seja construído e localizado de tal modo que as amostras sejam representativas do material nos silos.

No escoamento do material sobre as peneiras da usina, em especial no silo nº 1, as partículas finas caem do lado mais próximo do silo e as partículas graúdas do lado mais distante (Figura 5.30).

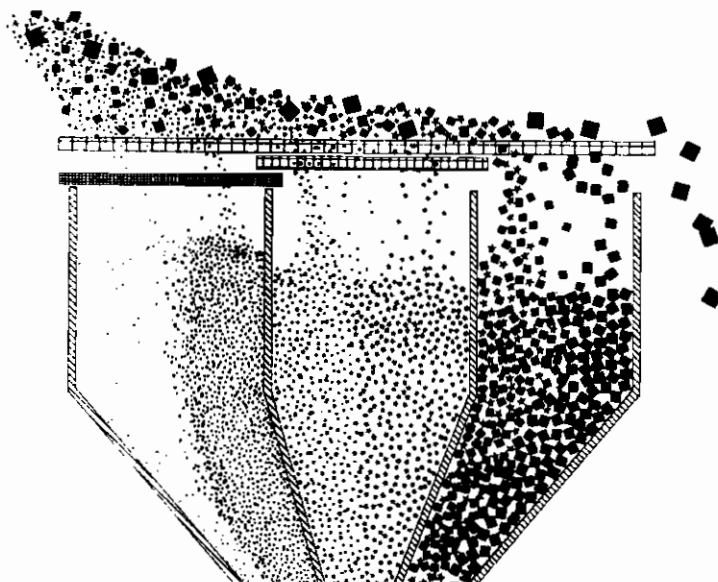


Figura 5.30 Segregação de Materiais nos Silos Quentes

Quando se retira o material de um silo abrindo-se a comporta do fundo, o fluxo consiste predominantemente de material fino de um bordo e material grosso do outro. Esta condição é crítica no silo nº 1 (fino), visto que a demanda de asfalto é fortemente influenciada pelo material deste silo. Portanto, a posição relativa do dispositivo de amostragem (Figura 5.31) no fluxo determinará se a amostra se compõe de parte fina, parte grossa, ou de uma representação acurada do material no silo (Figura 5.32).

A estratificação de tamanho no silo fino pode ser causada por variação da graduação nas pilhas armazenadas ou por alimentação errática do agregado fino. Quando este tipo de segregação existe, não se pode obter amostras

representativas mesmo quando o dispositivo de amostragem é usado corretamente.

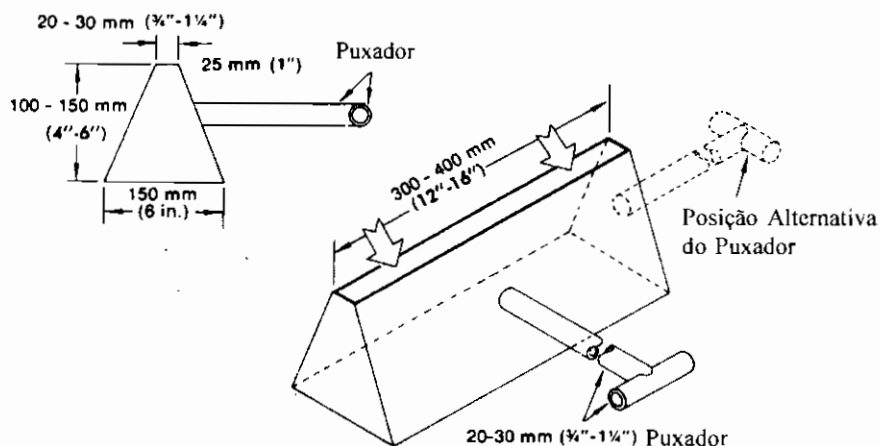


Figura 5.31 Dispositivo de Amostragem de Agregado em Instalação de Asfalto

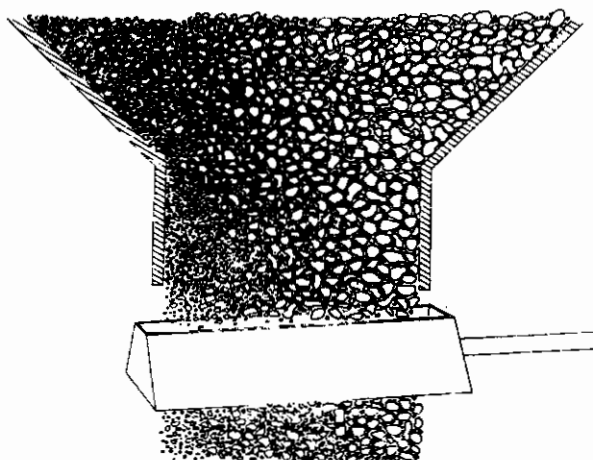


Figura 5.32 Uso Correto do Dispositivo de Amostragem

Controle do Agregado numa Instalação de Mistura em Tambor

Visto que a instalação típica de mistura em tambor, ao contrário da instalação de bateladas, não contém uma unidade de graduação por peneiramento, deve o agregado ter sua composição proporcionada antes de entrar no misturador; é essencial que assim o seja. O modo mais eficiente de cumprir este objetivo é com o sistema de alimentação fria de silos múltiplos equipados com correias alimentadoras de precisão para o controle de cada agregado. Debaxo de cada

silos há uma correia alimentadora sobre a qual se proporciona o agregado. Utilizam-se aqui controles de precisão (Figura 5.33) para a alimentação nas exatas proporções na correia. Há que calibrá-las a fim de compensar a umidade no agregado.

A usina deve estar equipada com os recursos para a obtenção adequada de amostras representativas do fluxo total a alimentação fria. As análises por peneiramento dos agregados secos são então realizadas como exigido pelas especificações.

O controle da alimentação fria consiste no seguinte:

1. Análise por peneiramento de cada silo.
2. Calibração dos alimentadores – tanto abertura das comportas como velocidade da correia.
3. Estabelecimento das proporções dos silos.
4. Providenciar as aberturas das comportas e as velocidades da correia.

Uma vez calibradas, as aberturas das comportas devem ser verificadas freqüentemente para assegurar que permanecem convenientemente reguladas. Todas as regulagens devem ser consideradas provisórias porque o agregado frio que se usa na mistura pode variar na graduação e teor de umidade, o que pode exigir ajustes das comportas a fim de manter um fluxo uniforme. A fim de calibrar o sistema de medição do agregado e de plotar um gráfico de capacidade da alimentação fria, é necessário um dispositivo de amostragem ou um método para obter amostras.

O dispositivo deve permitir o fluxo de agregado desviado para um recipiente de coleta para verificações acuradas e periódicas de pesos de amostras de agregado (Figura 5.34). Tais dispositivos são usualmente instalados no extremo da correia transportadora exatamente antes da entrada no misturador de tambor.

Controle de Filer Mineral

Quando a poeira do filtro ("baghouse") ou o filer mineral comercial é adicionado à mistura, a quantidade usada deve ser controlada e verificada freqüentemente. Um dos métodos é determinar a quantidade de filer usado, durante o carregamento de vários caminhões. Tal procedimento e mais a verificação visual a pequenos intervalos devem ser feitos em complemento à calibração das aberturas das comportas e mecanismos de pesagem. A abertura da comporta é pequena de modo que matéria estranha, especialmente pedaços dos sacos de papel em que o filer é remetido, podem obstruir o fluxo e reduzir abruptamente o volume de filer acrescentado à mistura. Como a umidade pode causar aglutinação o que também obstrui o fluxo, são necessárias medidas para manter o filer seco. Deve-se verificar de perto e freqüentemente a calibração dos mecanismos de alimentação e pesagem.

Temperaturas

Determinação da Temperatura de Misturação

A temperatura de misturação do concreto asfáltico é determinada pelos requisitos de obtenção de agregado seco, para um bom recobrimento das partículas, e para espalhamento e compactação. O agregado deve estar suficientemente seco de modo a não se formar espuma ou haver colapso da mistura acabada ou outra evidência de umidade que possa ser prejudicial a

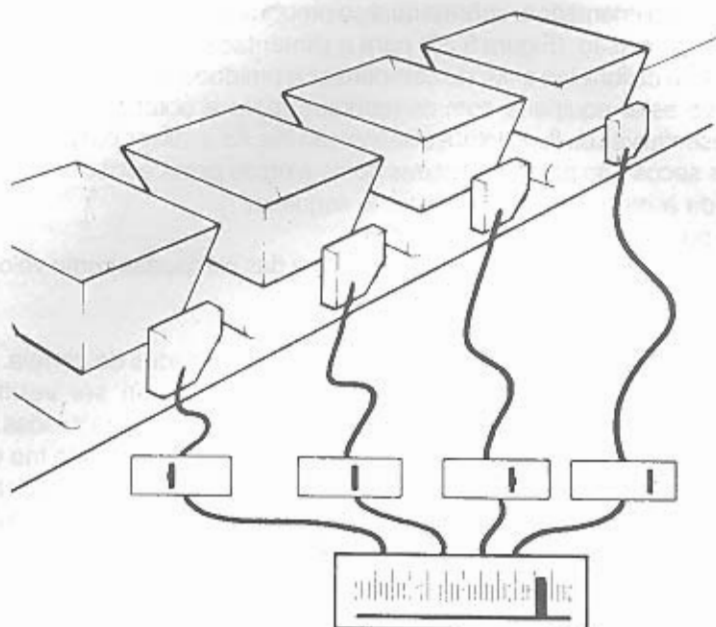


Figura 5.33 Controle Principal da Alimentação Fria
(Cortesia de Barber-Greene Company)

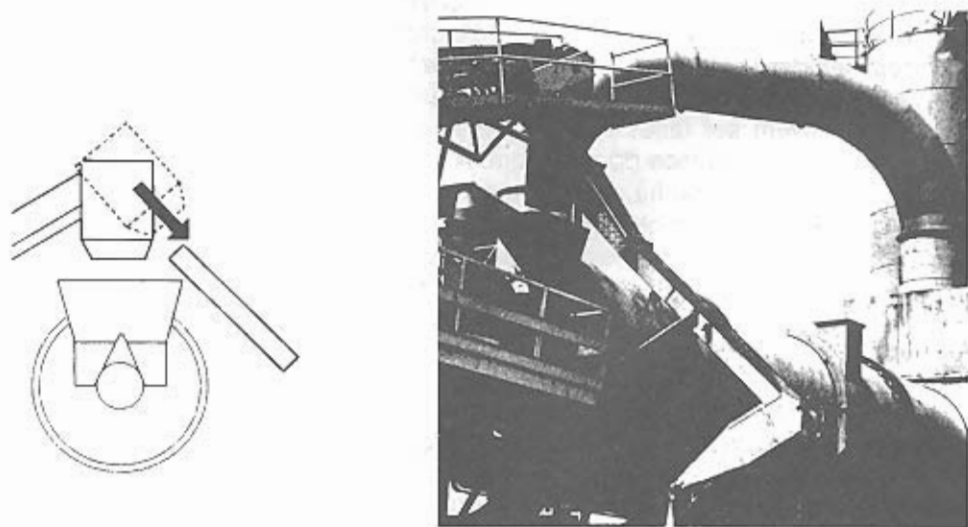


Figura 5.34 Dispositivo Típico de Amostragem

sua colocação e desempenho em serviço. Deve-se usar as temperaturas mais baixas possíveis em que esses objetivos sejam atingidos, para restringir o endurecimento do asfalto e os requisitos de energia. Portanto, as temperaturas das misturas logo após a descarga do malaxador podem ser tão baixas quanto o que se demonstrou possível para obter bom recobrimento e compactação, mas não superior a 163°C.

Visto que o agregado constitui de 90 a 95% da mistura, é a temperatura do agregado aquecido e seco que determina a temperatura da mistura de asfalto e agregado no malaxador. A temperatura do asfalto ajusta-se rapidamente à do agregado quando se misturam os dois.

Temperaturas do Agregado

A temperatura do agregado determina a temperatura da mistura, e a temperatura de mistura deve ser baseada na necessidade de colocação e compactação. Deve-se instalar um dispositivo de medição de temperatura de agregado na descarga do secador, **perfeitamente visível pelo operador do queimador**. Este instrumento é um dos **mais importantes acessórios** da usina e deve ser acurado e confiável.

O elemento sensor do indicador de temperatura deve ter uma armadura bem robusta que resista à abrasão do agregado, **porém não por demais espessa** que cause uma leitura distorcida da temperatura. O elemento sensor deve ser instalado de modo a prevenir o acúmulo excessivo de **poeira** que possa causar defasagem na medição das temperaturas.

Deve-se verificar com freqüência a **acurácia** dos instrumentos de medição de temperatura. Um modo simples de **fazê-lo** é o de mergulhar o elemento sensor e um termômetro acurado num banho de óleo. Então aquece-se o óleo e fazem-se medições dos dois dispositivos quando o óleo aproxima-se das temperaturas de mistura.

Temperatura do Asfalto

Para assegurar o controle da temperatura do asfalto, coloca-se um termômetro blindado ou um pirometro com um registrador na linha de alimentação do asfalto numa posição próxima à válvula de descarga na unidade de mistura. O tanque de estocagem de asfalto também deve ser equipado com um termômetro registrador de gama mínima de 24 horas. O asfalto deve estar à temperatura de mistura desejada ou próxima desta quando for adicionado ao agregado quente no malaxador.

Operações de Instalações de Bateladas

Operações Básicas

Algumas operações básicas são comuns a todas as instalações de bateladas.

- Estocagem e alimentação fria de agregados.
- Secagem e aquecimento de agregados.
- Peneiramento e estocagem de agregados quentes.
- Estocagem e aquecimento de asfalto.

- Medição e mistura de asfalto e agregado
- Carregamento da mistura a quente pronta.

A Figura 5.35 ilustra a seqüência destas operações.

Os agregados são removidos da estocagem ou das pilhas em quantidades escolhidas e passam por um secador onde são secos e aquecidos. Os agregados passam, então, para uma unidade de peneiramento que separa o material em frações de diferentes tamanhos e as deposita em silos de estocagem quente. A seguir, retiram-se os agregados e o filer mineral (quando usando), em quantidades escolhidas, combinam-se com asfalto e misturam-se completamente numa batelada. A mistura é carregada em caminhões e transportada para o local da pavimentação.

Proporcionamento dos Materiais

É extremamente importante que se faça o proporcionamento acurado dos agregados de alimentação fria. A menos de qualquer degradação que possa ocorrer na secagem, peneiramento e perda de finos pelo sistema de exaustão, os agregados nos silos quentes são os mesmos da alimentação fria. A única diferença é que os agregados nos silos quentes são separados por tamanhos específicos.

Se o material no silo quente for recombinado nas mesmas proporções em que foram depositados em cada silo, a graduação combinada será a mesma de antes da separação do agregado. A fim de determinar a quantidade de material a ser tirada de cada silo quente, faz-se a análise por peneiramento com amostras representativas de cada silo quente. O material dos silos é proporcionado de tal modo que a graduação combinada é a da fórmula da mistura da obra. Visto que os materiais da alimentação fria foram proporcionados de modo semelhante, as proporções dos materiais que saem dos silos quentes devem ser aproximadamente iguais às proporções de material depositado em cada silo. A combinação de agregados e o ajuste das comportas de alimentação foram discutidos nas seções anteriores.

Balanças de Agregados

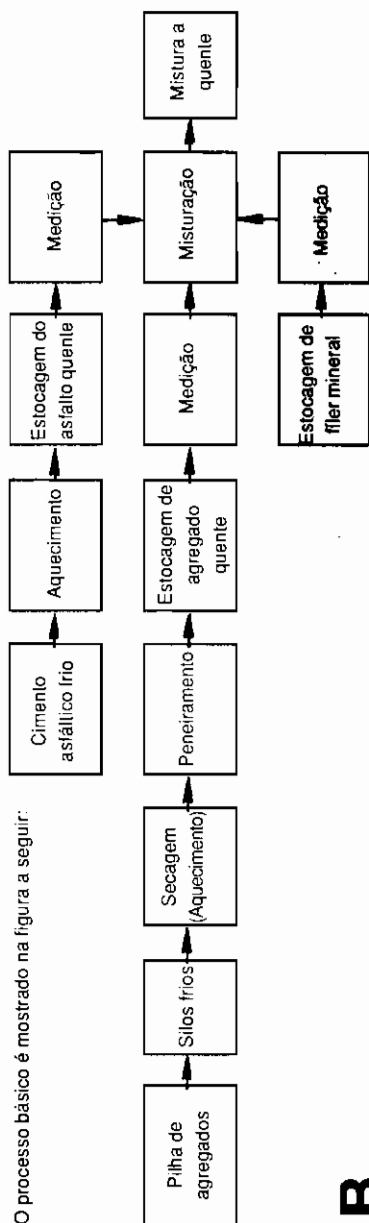
Uma tremonha de pesagem completamente envolta por uma blindagem contra a poeira é suspensa do braço de uma balança de tal modo que se movimente livremente. O sistema de alavanca, os cutelos e os apoios devem ser verificados quanto à limpeza e para que se certifique de que nenhuma parte móvel esteja aderindo de encontro a qualquer outra parte. O ponteiro do mostrador deve oscilar livremente e marcar zero quando não houver carga.

A tremonha de pesagem e as balanças devem ser verificadas com dez pesos de 25 kg. Com as peneiras em funcionamento, prendem-se à tremonha de pesagem pesos de 250 kg, e a posição exata do ponteiro é anotada. Retiram-se os pesos e depositam-se exatamente 250 kg de agregado na tremonha de pesagem. Adicionam-se, novamente, pesos de verificação e o procedimento é repetido até alcançar a carga da batelada.

A cada incremento de 250 kg deve-se fazer um teste de sensibilidade, colocando-se pesos de 2,5 kg na balança e verificando o movimento do ponteiro. Se as balanças não satisfazem os requisitos especificados, quer em acurácia ou em sensibilidade, não se deve permitir o funcionamento da usina até que sejam feitos os necessários ajustes ou substituições.

A

O processo básico é mostrado na figura a seguir:

**B**

O mesmo processo mostra-se abaixo:

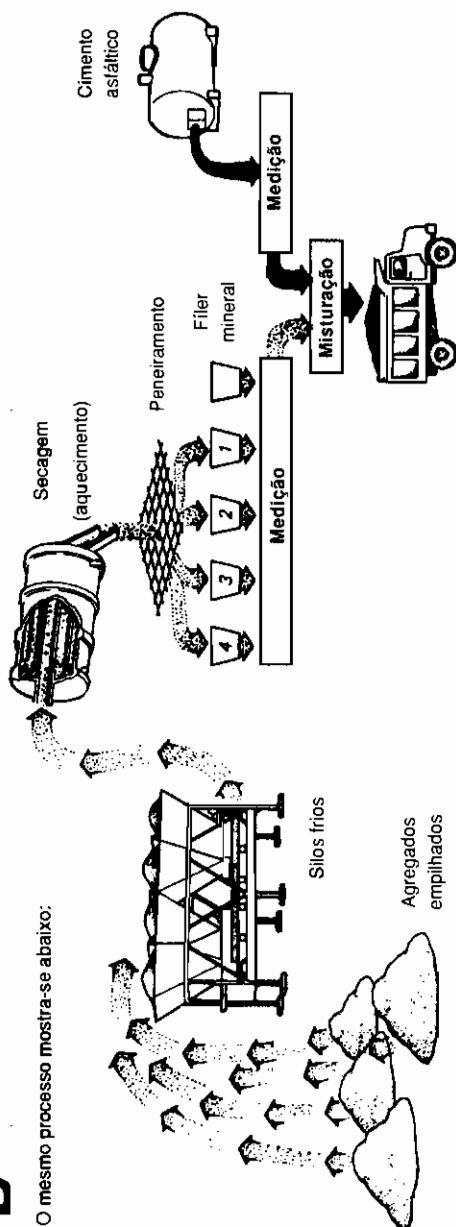


Figura 5.35 Operações Básicas de Instalação de Mistura de Bateladas Mostradas em (A) Fluxograma e (B) Esquema

Balanças de Asfalto

A balança de asfalto é calibrada quase da mesma forma que a balança de agregados, mas requerendo apenas uma operação de pesagem. Pesos padrões são colocados nas caçambas de asfalto ou a estas são presos; fazem-se leituras a cada acréscimo de peso. Continua-se deste modo até que o peso combinado seja ligeiramente superior aos quilogramas de cimento asfáltico necessários por batelada de mistura asfáltica. As balanças de asfalto, se bem ajustadas, devem indicar o mesmo valor do total de pesos padrões usados. Se o erro de pesagem da balança for superior à margem permitida pelas especificações, não se deve dar início ao funcionamento da usina até que as balanças sejam ajustadas ou consertadas por um técnico habilitado, conhecedor de balanças.

O peso da tara da caçamba de asfalto vazia deve ser observado cuidadosamente para que a caçamba seja totalmente esvaziada, para compensar por algum asfalto e poeira a ela presos. Deve-se tarar a caçamba de asfalto no início de cada dia e verificar após terem sido descarregadas as primeiras caçambadas. Muito freqüentemente, o asfalto acumula-se nos lados e fundo da caçamba e se solidifica durante a noite. Isto altera o peso de tara e reduz o peso de asfalto realmente usado na mistura.

Para se fazer uma leitura zero acurada, não se deve fazer a verificação das balanças de asfalto antes que o óleo ou o vapor de aquecimento esteja na jaqueta (ou revestimento isolador) à volta da caçamba de asfalto e do misturador.

Medidores de Asfalto

Os medidores de asfalto são mecanismos que determinam a quantidade de asfalto em volume que se desloca. Visto que o teor de asfalto se exprime usualmente como uma porcentagem em peso, deve-se estabelecer uma correlação entre as leituras do medidor e o peso.

Um método simples de determinar a correlação é a leitura do medidor, o bombeamento de uma quantidade de asfalto num recipiente de tara conhecida, e nova leitura do medidor. O peso do asfalto dividido pela diferença de leituras do medidor determina o peso de asfalto bombeado por divisão.

A viscosidade e a densidade relativa do asfalto variam com a temperatura. Quando aumenta a temperatura a viscosidade diminui. A densidade diminui cerca de 1 por cento quando a temperatura aumenta de 15°C. A eficiência do bombeamento pode ser atingida por uma mudança de temperatura, e pode ser conveniente calibrar a bomba para certa gama de temperaturas do asfalto. Os volumes e viscosidades podem ser determinados mais tarde, se necessário, para efeito de calibração e gráficos.

Alguns medidores de asfalto têm dispositivos de compensação de temperatura embutidos, que corrigem o fluxo de asfalto quando ocorrem variações de temperatura. Quando se utiliza um medidor sem o dispositivo de compensação de temperatura, é necessário fazer o ajuste de vazão para cada mudança de temperatura do asfalto.

Carregamento da Misturador

A menos que a instalação de mistura em batelada esteja aparelhada para descarregar todos os silos simultaneamente, o agregado deve ser tirado dos silos quentes

para a tremonha de pesagem, começando pela de agregado de maior tamanho e progredindo de modo decrescente até o de menor tamanho, sendo o filer mineral adicionado por último. Isto permite alguma misturação do agregado à medida que é descarregado na misturadora. A quantidade de cada silo é pesada cumulativamente nas balanças. Por exemplo, suponha-se uma batelada de 2000 kg sendo misturada, e os ajustes de balança como mostrado na Figura 5.36. O operador deve marcar cuidadosamente as leituras da balança para cada retirada dos silos. Pesa-se o asfalto separadamente devendo-se introduzi-lo e distribuí-lo uniforme e rapidamente no misturador. Caso contrário, a mistura poderá resultar não uniforme.

As válvulas "cut-off" do asfalto devem ser verificadas para o bom funcionamento. Devem ser capazes de fechar hermeticamente de modo que o asfalto não pingue depois que a quantidade prevista tiver sido introduzida na caçamba de pesagem, ou dela ter sido despejada.

O asfalto é introduzido no malaxador depois que o agregado tiver sido depositado da tremonha de pesagem. O tempo de mistura úmida tem início quando da adição do asfalto.

Dados: Batelada: 2000 kg (4409 lb)

Teor de asfalto: 5,5%

Agregado: $2000 - 2000(0,055) = 1890$ kg

$(4409 - 4409(0,055)) = 4166$ lb

Silo	%	Kg	lb	Leitura da Balança	
				Kg	(lbs)
4	12	227	(500)	227	(500)
3	20	378	(833)	605	(1333)
2	28	529	(1167)	1134	(2500)
1	36	680	(1499)	1814	(3999)
MF	4	76	(167)	1890	(4166)
		1890	(4166)		

Figura 5.36 Cálculo da Amostra para Determinação das Leituras na Balança dos Agregados Destinados à Tremonha de Pesagem

O Misturador

Todas as partes do misturador devem estar em boas condições mecânicas e bem ajustadas. As faces das pás podem ser arrumadas em várias combinações. O manual de operação do fabricante fornece pormenores sobre o arranjo das faces das pás.

O espaço livre entre as pontas das pás e o revestimento interno é governado pelo tamanho máximo do agregado e é, normalmente, menor do que metade do diâmetro máximo do agregado. Áreas mortas podem surgir se as pás estiverem muito desgastadas ou quebradas e se não tiverem sido reajustadas ou substituídas.

Pode ocorrer a misturação não uniforme se o misturador estiver sobrecarregado (Figura 5.37). Para a máxima eficiência de operação, as pontas das pás devem ser apenas visíveis no material na parte de cima de sua periferia durante a misturação. O material que ficar acima deste nível tenderá a flutuar acima das pás sem ser misturado. Por outro lado, uma batelada insuficiente tampouco será bem misturada porque não existe material bastante para arrastar pela trilhas das pás (Figura 5.38). As duas situações podem ser minimizadas se a recomendação do fabricante quanto ao regime da batelada do malaxador for seguida. Isto se baseia, normalmente, na porcentagem da capacidade da "zona viva" (Figura 5.39). É o volume em metros cúbicos (pés cúbicos) abaixo

de uma linha que se estende pelo arco superior até as paredes internas do malaxador. Desconta-se o volume dos eixos, revestimentos, pás e pontas.

A inspeção visual da mistura e os ensaios indicarão se o misturador está funcionando satisfatoriamente e se está sendo realizada uma mistura completa.

Tempo de Misturação

Durante o ciclo de misturação, o asfalto, agregados e filler mineral são combinados no malaxador. O tempo decorrido entre a abertura da comporta de pesagem e a abertura da comporta de descarga do malaxador é o tempo de misturação da batelada. O tempo de misturação da batelada deve ser o suficiente para produzir uma mistura homogênea de partículas de agregado igualmente distribuídas e uniformemente recobertas. Contudo, se o tempo de misturação se prolongar muito, a demorada exposição da fina película de asfalto às altas temperaturas de agregado na presença de ar pode prejudicar o asfalto e diminuir a estabilidade da mistura.

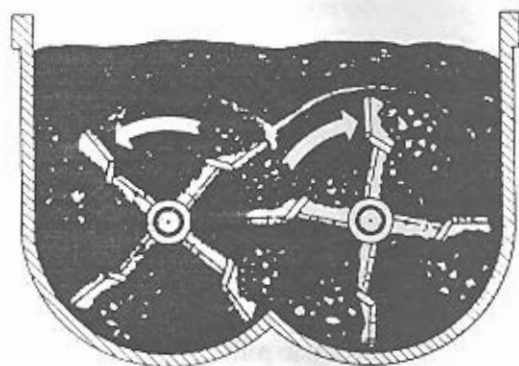


Figura 5.37 Malaxador (Pugmill) com Carga Excessiva

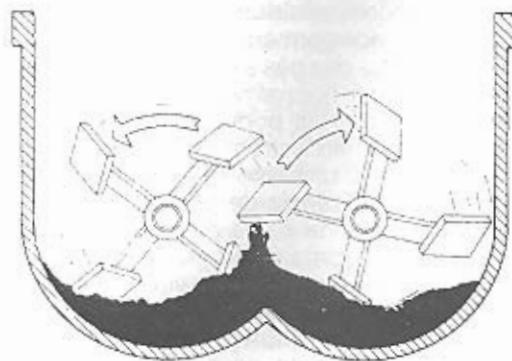


Figura 5.38 Malaxador (Pugmill) com Carga Insuficiente

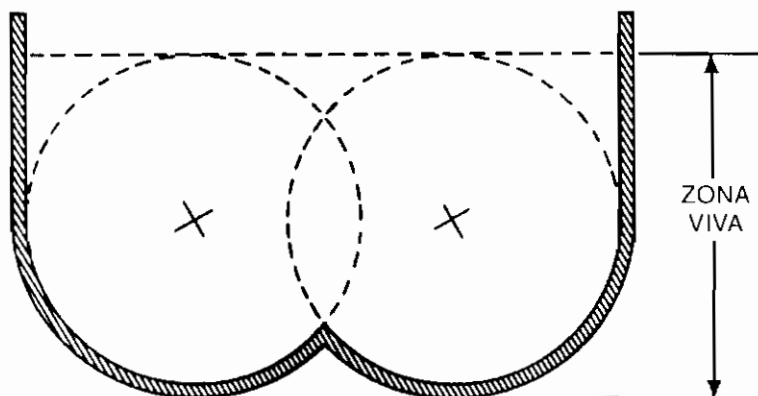


Figura 5.39 Zona Viva do Misturador

O tempo de misturação pode ser estabelecido para uma mistura específica numa instalação pelo procedimento descrito na AASHTO T 195, (ASTM D 2489). Este método toma como base para o grau de misturação a porcentagem de partículas graúdas que são completamente recobertas de asfalto. O método correlaciona-se com o tempo de misturação.

No ensaio separam-se as partículas de agregado graúdo da mistura por um tamanho de peneira escolhido. Cerca de 200 a 300 partículas devem ser examinadas sob uma luz forte. Qualquer pontinho de partícula de agregado não recoberto, visível a olho nú, faz com que a partícula seja considerada não recoberta. Usualmente de 90 a 95 por cento de partículas revestidas são os mínimos de misturas de camadas de base e revestimento, respectivamente. O menor tempo necessário para que o malaxador consiga estes valores mínimos é o tempo de misturação mais indicado.

Operações de Instalações de Mistura em Tambor

Operações Básicas

Os componentes fundamentais de uma instalação de misturação em tambor são:

- Silos de alimentação fria de pesagem de agregados.
- Transportador e sistema de pesagem de agregados.
- Misturador de tambor.
- Transportador de mistura quente.
- Silo de extravasamento da mistura.
- Veículo de controle.
- Tanque de estocagem de asfalto.

Referindo-se à Figura 5.40, o que segue é uma descrição concisa e geral da seqüência de processos envolvidos numa operação típica de usina de mistura de tambor. Agregados de graduações escolhidas são depositados nos silos de alimentação fria (1) de onde vão para um transportador (elevador) em proporções exatas (2). Um sistema de pesagem automática (3) monitora a quantidade de agregado que flui para o misturador de tambor (4). O sistema de pesagem

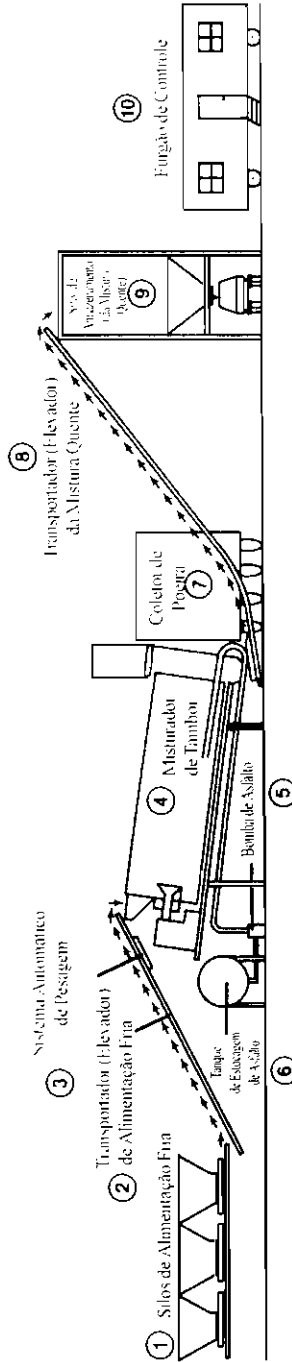


Figura 5.40 Instalação Básica de Misturador de Batelada (Drum Mixer)

está interligado com os controles da bomba de estocagem do asfalto (5) a qual retira o asfalto de um tanque de estocagem (6) e o introduz no tambor onde o asfalto e o agregado são intensamente misturados pela ação de rotação do tambor. Um sistema de coleta do pó (7) recolhe o pó excedente que escapa do tambor. Do tambor, o concreto asfáltico de mistura a quente é transportado pelo transportador de mistura quente (8) até um silo de extravasamento (9) e daí é carregado em caminhões e transportado ao local da obra. Todas as operações da instalação são monitoradas e controladas por meio de instrumentos num furgão de controle (10).

O processo de mistura é essencialmente o mesmo em todas as instalações de mistura de tambor. Podem diferir, contudo, os métodos de alimentação dos materiais no misturador de tambor.

A produção de mistura a quente que satisfaça as especificações de serviço é mais facilmente realizada quando as várias partes e funções da usina estão devidamente coordenadas de modo a trabalharem conjuntamente como uma unidade de trabalho ajustada. Também é essencial a operação uniforme (ininterrupta) para obter mistura asfáltica a quente de alta qualidade. O proporcionamento acurado dos materiais depende inteiramente do fluxo uniforme desses materiais. Paradas e partidas são adversas à qualidade da mistura.

Controle do Agregado

Numa instalação de mistura de tambor, a graduação e a uniformidade da mistura dependem inteiramente do sistema de alimentação fria. Deve-se ter cuidado especial não somente na produção do agregado, como na sua estocagem e seu manuseio. O empreiteiro deve providenciar para que não haja contaminação nem entremescla na recepção e manuseio dos agregados. Entre outras coisas, que se providenciem superfícies limpas onde se coloquem os materiais.

As pilhas devem ser adequadamente graduadas, recomendando-se que sejam separadas em frações de diferentes tamanhos, para que se possa controlar satisfatoriamente a graduação da mistura.

Visto que a instalação típica de mistura de tambor, diferentemente da instalação de bateladas, não inclui uma unidade de peneiramento para graduação, deve-se proporcionar o agregado antes da entrada no misturador de tambor; isto é essencial. O modo mais eficiente para esta realização é com um sistema de silos múltiplos de alimentação fria, equipados com alimentadores de correia de precisão para o controle de cada agregado. Sob cada silo está um alimentador de correia sobre o qual se proporciona o agregado. Utilizam-se, aqui, controles precisos para alimentar as correias com as proporções exatas. Ao alimentar o tambor por meio de correia transportadora, o agregado passa sobre a ponte de pesagem. A ponte de pesagem é uma correia intermediária, ou rodete de apoio, montado numa balança (Figura 5.41). A medida que o agregado passa sobre a correia intermediária, o sensor registra o peso, e seu valor é visualizado no console de controles. A velocidades da correia transportadora também é levada em conta, de modo que o mostrador indica o peso de agregado por hora. É este valor a base do sistema de combinação de agregado e asfalto.

O peso de agregado por hora que vai para o tambor é a base da formulação da mistura total. Visto que o peso do agregado inclui a umidade, deve-se subtrair o peso da umidade para se chegar a taxa verdadeira de alimentação do agregado. O teor de umidade real é determinado periodicamente por ensaios em que se extrai a umidade.

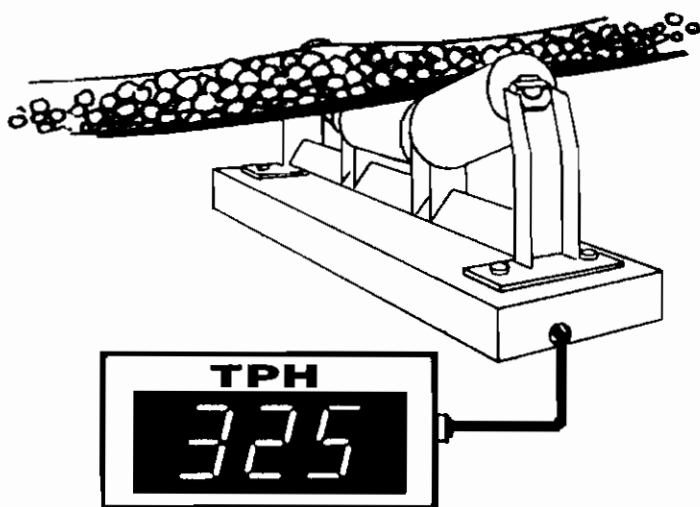


Figura 5.41 Ponte de Pesagem

Medição de Asfalto

O misturador de tambor é equipado, tipicamente, com um dispositivo (Figura 5.42) de adição do asfalto ao agregado no interior do tambor misturador.

O sistema de medição e fornecimento do asfalto é um sistema mecânico contínuo de dosagem interligado ao sistema de pesagem de agregado que assegura a quantidade exata de asfalto na mistura. O peso de agregado que vai para o misturador, medido pela correia de pesagem, é a base da determinação da quantidade de asfalto fornecido ao tambor.

O proporcionamento de asfalto realiza-se pelo estabelecimento da razão de fornecimento adequada de asfalto em litros por minuto condizendo com o fornecimento de agregado em toneladas, seja de agregado seco por hora. A taxa de fornecimento de cimento asfáltico é aumentada ou diminuída proporcionalmente, conforme o peso seco corrigido de agregado que passa sobre a balança de correia. A taxa de fornecimento de asfalto é indicada num medidor de vazão do painel de controle.

As taxas de fornecimento de agregado e de cimento asfáltico são, normalmente, registradas de modo contínuo em gráficos circulares de registro localizados no furgão de controle. Estes gráficos propiciam tanto o monitoramento como o registro permanente das proporções de cimento asfáltico e agregado total.

Misturação

A secagem e a combinação dos agregados, e a mistura do asfalto e agregado têm lugar no tambor. O misturador de tambor pode ser dividido em dois setores ou duas zonas: (1) zona primária ou de radiação e (2) secundária ou de convecção e recobrimento (Figura 5.43).

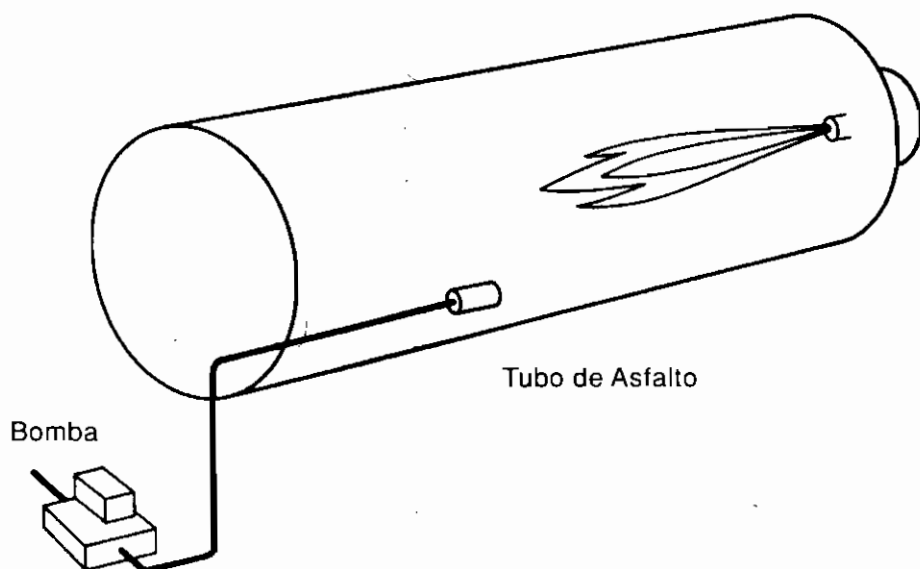


Figura 5.42 Entrada do Asfalto

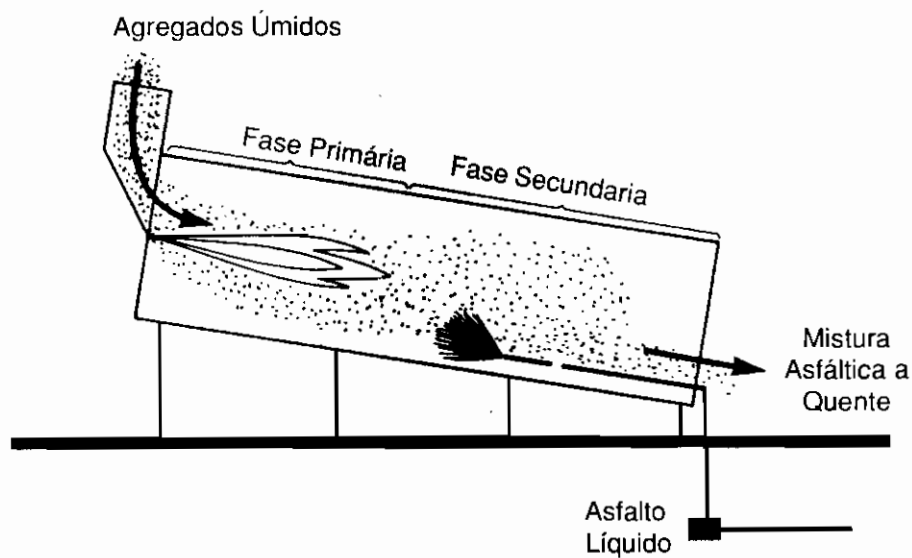


Figura 5.43 Zonas no Misturador em Tambor

Os agregados entram na zona primária, onde o queimador os secam e aquecem. A seguir deslocam-se para a zona secundária, onde se adiciona o asfalto, sendo os agregados e o asfalto intensamente misturados. Ocorre, também, na zona secundária, de modo contínuo o aquecimento por convecção. A mistura do asfalto quente e da umidade liberada do agregado produz uma massa espumante que aprisiona o material fino (poeira) e favorece o recobrimento das partículas graúdas.

Contenção e Pesagem

Na operação com misturador de tambor, que produz um fluxo contínuo de mistura asfáltica a quente recém-produzida, é necessário existir o silo de extravasamento para a estocagem temporária do material e para o carregamento controlado dos caminhões. Pode-se conectar um sistema de pesagem ao silo de contenção de modo a monitorar o material carregado em cada caminhão. As pesagens são normalmente registradas no painel de controle do sistema de pesagem, que se encontra no furgão ou no reboque de controle.

Miscelânea de Serviços de Inspeção

Inspeção dos Caminhões

As carrocerias dos caminhões não devem ter vazamentos nem reentrâncias que possam prender a mistura asfáltica. A plataforma do caminhão também deve ser livre de material que possa ser prejudicial à mistura. Depois de limpar a superfície interna das carrocerias, devem estas ser tratadas com uma cobertura fina de substância de despego não oriunda do petróleo, que evite que o material grude. O excesso desta solução deve ser drenada antes de colocar a mistura asfáltica no caminhão.

As carroçarias dos caminhões devem ser isoladas e cobertas caso necessário a fim de manter a temperatura da mistura conforme especificado.

Observação da Mistura

A mistura acabada deve ser observada com freqüência. Nenhum método ou aparelho de ensaio é tão rápido ou conveniente quanto o olho humano.

O controle de temperatura é realçado em todas as fases da produção da mistura a quente. Este é um fator principal no controle da qualidade. A aparência da mistura na gama de temperatura correta deve ser reconhecida por inspeção visual. A emissão de fumaça azulada da mistura no caminhão costuma ser a indicação de superaquecimento. Se a mistura estiver sub-aquecida poderá parecer rija ou lenta quando depositada no caminhão e pode ter o asfalto desigualmente distribuído. Uma situação de empilhamento anormalmente pontegudo no caminhão também pode ser o indício de subaquecimento.

Se a temperatura parecer não estar correta, deverá ser medida com um termômetro (Figura 5.44).

A mistura rija também indica deficiência de asfalto, especialmente se sua aparência for magra e fosca. A mistura que se esparrama no caminhão pode indicar muito asfalto ou umidade excessiva.

As pessoas devem se familiarizar com a aparência e as características físicas da mistura usada na obra. As misturas experimentais preparadas na

usina ou em laboratório de campo devem ser observadas de perto. A Tabela 5.3 apresenta as causas prováveis e as medidas corretivas para algumas situações observadas.

Tabela 5.3 Causas Possíveis de Deficiências da Misturação nas Misturas Asfálticas a Quente

Excesso de Água no Agregado	Separarções Inadequada de Agregados	Comporções de Alimentação do Agreg. não Uniformidade Aljustadas	Capacidade do secador Superestimada	Secador instalado com inclinação Excessiva	Indicador de Temperatura Desajustado	Temperatura dos Agreg. Excessivamente Alta	Operação de Secagem Inadequada	Peneiras desgastadas	Operação Defeituosa das Peneiras	Falha do Funcionamento do extrativamento do silo	Silos Vazantes	Segregação dos Agregados nos Silos	Sobras de Silos Devido a Peneiras Sobrechargeadas	Balanças de Agregados Desajustadas	Pesagem Inadequada	Alimentação de Filer Mineral Não Uniforme	Insuficiência de Aquec. nos Silos Quentes	Sequência de Pesagem Inadequada	Asfalto Insuficiente	Asfalto em demasia	Distribuição Defeituosa do asfalto nos Agregados	Balanças do Asfalto Desajustadas	Medidor de Asfalto Desajustado	Batelada Aquém ou Além do Peso	Tempo de Misturação Impróprio	Ajuste Inadequado ou Fals Gastes	Comporta de Descarga Defeituosa	Alimentação de Asfalto e Agreg. Fora de Sincronia	Assentamento Ocasional da Poeira nos silos	Operação Irregular da Usina	Amostragem Incorreta		
	A													B B					A A	A A	A B	C	B B	B B	B	C				A		O Teor de Asfalto não confere com o da fórmula de mistura da obra	
	A A						B B B B		B B B A			A A	B B B A											B	B	C B				A		A graduação do agregado não confere com o da fórmula de mistura da obra	
	A A						B B B A		B B B A			A A	B B B A											B B	B B	C B				A		Finos em Excesso na Mistura	
A		A A A A																											A		Diffícil manter temperaturas uniformes		
									B			B B												B								Os pesos dos caminhões não conferem com os pesos das bateladas	
												B B									A A	B C	B		B	C						Asfalto Livre na Mistura no caminhão	
																	B									B					Poeira Livre na Mistura no caminhão		
A		A A A A															A				A B	C	B B	B B		C			A		Agregado Graúdo não recoberto		
							B B A A A		A B B B A B												A B C		B B B	B B C B A								Mistura no caminhão não é uniforme	
																					A		B B B									Mistura no caminhão é oleosa de um lado	
				A																	A B C B					C						Massa Asfáltica achatada no caminhão	
	A		A A A																													Mistura Queimada	
A		A A A A					B													A		B C B				C						Mistura Demasiadamente castanho ou cinzento	
													B B B A								A A B A B												Mistura muito oleosa
					A A A																											Mistura fumegante no caminhão	
A		A A A A																														Mistura vaporiza-se no caminhão	
					A A A																											Mistura de aparência fosca no caminhão	

A- Aplica-se a instalações de mistura de batelada e de tambor

B- Aplica-se a instalações de bateladas

C- Aplica-se a instalações de usinas de mistura de tambor

Amostragem e Ensaios

Finalidade dos Ensaios

A amostragem e os ensaios constituem duas funções da maior importância no controle da instalação. Os dados destes ensaios constituem as ferramentas com as quais se pode controlar a qualidade do produto. Por este motivo deve-se tomar muito cuidado na obediência dos procedimentos de amostragem e ensaios corretos. A amostragem é especialmente importante.

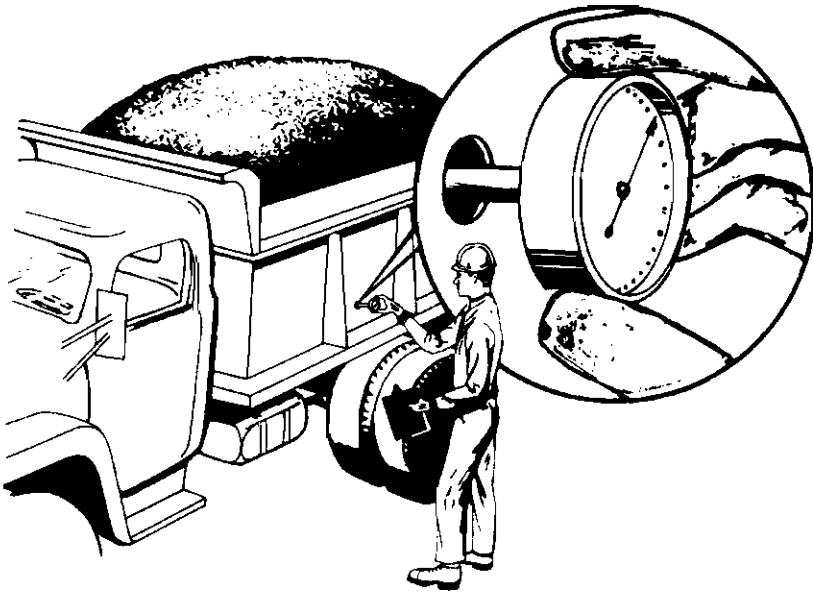


Figura 5.44 Medição de Temperatura da Mistura no Caminhão

Uma das maiores fontes de erro no ensaio de materiais é o insucesso na obtenção de amostra representativa.

As análises por peneiramento acuradas são fundamentais para a boa dosagem e controle das misturas a quente. Por ser o tempo um fator importante, fazem-se peneiramentos a seco sempre que possível. A análise por peneiramento com lavagem do agregado total fornece resultados mais acurados, devendo ser realizada freqüentemente como verificação do peneiramento seco.

Mudanças apreciáveis de graduação refletem-se na alteração de algumas características da mistura, tais como a deficiência ou o excesso de asfalto. A mistura muda de aparência e adquire diferentes texturas superficiais quando compactada.

Os corpos de prova compactados em laboratório de campo são úteis no controle de compactação pelos esforços desenvolvidos na pavimentação como na verificação das propriedades de misturas compactadas.

Os ensaios de extração medem o teor de asfalto e fornecem os agregados para as análises granulométricas. Esta é a verificação final de todas as operações de produção da mistura.

Previsão de Amostragem

No controle das operações é necessário obter numerosas amostras em vários pontos ao longo da linha de produção. Nas obras em que não existe uma previsão específica nem método de amostragem, pode-se usar a Tabela 5.4 como orientação.

Faz-se necessário a realização mais freqüente de ensaios no início da obra ou quando a produção torna-se errática.

Tabela 5.4 Programação Sugerida de Amostragem e Testes

Amostra de	(1) Freqüência Mínima de Amostragem	(2) Tamanho Mínimo de Amostra	Ensaio a Realizar	Normas de Método de Ensaio
Agregado Frio	(1) se Necessário	Ver Tabela 5.5	Anal. Peneiramento Densidade Relativa Equivalente de Areia (Qdo Necessário)	AASHTO T-1.1 AASHTO T-27 AASHTO T-84 (ASTM C 128) AASHTO T-85 AASHTO T-176
Em cada Silo Quente	2 por Dia	(3) Ver Tabela 5.5	Anal. Peneiramento Equivalente de Areia (Qdo Necessário)	AASHTO T-11 AASHTO T-27 AASHTO T-176
Agregado Quente Combinado	2 por Dia	Ver Tabela 5.5	Anal. Peneiramento	AASHTO T-11 AASHTO T-27
Filer Mineral	(1) Se Necessário	Ver Tabela 5.5	Anal. Peneiramento	AASHTO T-37
Asfalto	2 para cada Remessa Transportada (4)	1 litro (1 quarto)	Enviar para o Laboratório Central	AASHTO T-40
Mistura Não Compactada	2 por dia	9 kg (20 lb)	Extração Completa	AASHTO T-168 (ASTM D 979) AASHTO T-164 (ASTM D 2172) AASHTO T-30
Mistura Não Compactada	2 por dia	7 kg (15 lb)	Densidade Estabilidade	AASHTO T-209 (ASTM D 2041) Requisitos de Especificações da Obra

Notas:

- (1) A freqüência de amostragem será comandada por instruções da agência contratante e pelas condições imediatas que cercam a obra.
- (2) O tamanho da amostra pode ser comandada por instruções da agência contratante. Em condições especiais o tamanho da amostra pode variar.
- (3) Nas usinas de bateladas, a amostra de cada silo quente pode ser obtida do fluxo de material da comporta do silo em incremento de bateladas sucessivas; nas usinas de mistura contínua, em diversos incrementos a intervalos de vários segundos
- (4) Uma amostra para verificação de ensaio e uma amostra reservada para dirimir dúvidas

Dosagem da Mistura de Campo

Independentemente do método de dosagem usado, o objetivo final é determinar a combinação e graduação econômica da mistura de agregados com o asfalto, dentro dos limites das especificações. Fornece-se ao empreiteiro, normalmente, uma dosagem de mistura que desenvolve com base em investigações preliminares. Trata-se de uma orientação que o empreiteiro tem que seguir para nela enquadrar sua fórmula de mistura na obra, mesmo que não sejam idênticas, deverá o empreiteiro desenvolver a fórmula de mistura no campo que se conforme o melhor possível à dosagem que lhe foi fornecida.

Tabela 5.5 Tamanho das Amostras

Tamanho Máximo Nominal de Partículas, Peneira em que Passa		Peso Mínimo de Amostras de Campo	
Padrão	Alternativo	Kg	lb
Agregado Fino			
2.36 mm	N. 8	5	10
4.75 mm	N. 4	5	10
Agregado Graúdo			
9.5 mm	3/8 pol	5	10
12.5 mm	1/2 pol	10	20
19.0 mm	3/4 pol	15	30
25.0 mm	1 pol	25	50
37.5 mm	1 1/2 pol	30	70
50.0 mm	2 pol	40	90
63 mm	2 1/2 pol	45	100
75 mm	3 pol	60	125
90 mm	3 1/2 pol	65	150

Fichas e Relatórios

O inspetor da instalação deve guardar registros próprios. Constituem a base para verificar a obediência às especificações e sobre a qual os pagamentos são feitos. Devem ser, por conseguinte, claros, completos e acurados. Os registros também fornecem a história da construção e os materiais gastos nas obras. Fornecem a base de todos os estudos e avaliações da obra.

O inspetor da usina deve manter um diário de cada obra. Deve ser guardado de modo que cópias em duplicata possam ser feitas e distribuídas. A entrada inicial deverá conter informações padrões tais como:

1. Número do projeto (ou obra);
2. Localização da instalação;
3. Tipo e marca da instalação;
4. Fonte dos materiais;
5. Pessoal-chave, e
6. Outros dados pertinentes.

Em complemento a datas e comentários rotineiros sobre o tempo, deve o inspetor registrar as principais atividades da instalação, pessoal de inspeção, e descrever sucintamente as operações diárias. Deve-se anotar os eventos inusitados, principalmente os que podem afetar a mistura de pavimentação.

O inspetor da usina deverá ter um relatório sumário diário das atividades da usina. No cabeçalho deste formulário, as mesmas informações existentes no relatório diário devem ser registradas. Deve constar um sumário de todos os ensaios realizados durante o dia e um quadro com as quantidades de material recebido e usado. Tem-se na Figura 5.45 um exemplo de relatório diário.

Deve-se manter um registro de campo dos locais em que a mistura asfáltica foi colocada na pista, por faixas de tráfego, camadas e estacas. Esta informação é relacionada em formulários separados.

Obra:	Município:	Estado:	Data:													
Material:		Relatório N°														
Misturada por:		Local:														
Consignado a:		Local:														
Tipo de Usina:		Tempo de Mistura por Batelada:														
MATERIAIS																
ASFALTO	Tipo	Fonte	Caminhão					Data Recebida				Quantidade				
	AC-20	Refinaria	truck # 33 - Karr Co.					6/20				4.000 gal				
	AC-20	Refinaria	truck # 21 - Karr.					6/20				4.000 gal				
AGREGADO	Tipo	Fonte	2 1/2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	N.4	N.8	N.16	N.30	N.50	N.100	N.200	
GRAUDO					100	71.0	35.4	10.3	2.3	1.1	0.4	0.5	0.2	0.2	0.1	
INTERMEDIÁRIO							100	84.8	55.5	31.9	19.7	13.3	9.0	0.2	5.6	
FINO							100	98.2	91.3	87.0	67.7	49.9	15.9	2.1		
FÍLER												100	96.2	89.7	71.3	
GRADUAÇÃO COMBINADA	Graúdo	%														
	Intermed	%														
	Fina	%														
	Fíler	%					100	91.9	81.9	68.4	53.1	40.8	34.4	26.7	20.3	10.1	4.7
FÓRMULA DA MISTURA A QUENTE					100	90.0	78.0	70.0	56.5	42.5	33.5	24.5	18.0	11.1	4.0	
ANÁLISE DOS AGREGADOS DE SILO QUENTE																
Silo N°	2 1/2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	N.4	N.8	N.16	N.30	N.50	N.100	N.200			
1							100	99.2	78.1	62.0	41.6	19.7	3.2			
2					100	98.5	51.0	8.7	4.6	1.0	0.6	0.3	0.3			
3			100	98.4	62.5	11.7	4.3	2.0	1.8	0.4	0.3	0.3	0.2			
4			100	30.0	9.6	2.4	1.1	0.5	0.4	0.2	0.2	0.1	0.1			
Fíler Mineral										100	96.2	89.7	71.3			
Valor de Equivalente de Área _____ Fat. Corr. Análise c/ Lavagem (N. 200)																
Pesos de Batelada, LBS, ou LBS por Rotação																
TIPO DE MIST.	Silo 1	Silo 2	Silo 3	Silo 4	Fíler	Asfalto	Total									
% mist. total	34.0	26.5	18.9	11.3	5.8	5.5	100.0									
Superfície	1360	1060	755	455	150	220	4000									
ANÁLISE DE MISTURA																
Amostra	Hora	Temp. °F	2 1/2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	N.4	N.8	N.16	N.30	N.50	N.100	N.200	ASF
41	10 10	285			100	92.0	81.0	68.0	52.8	40.2	34.1	26.3	19.2	11.2	4.9	5.6
42	2 30	279			100	91.1	80.5	66.9	55.3	41.9	34.0	25.7	18.6	10.0	3.6	5.3
43	10 10	285			100	91.7	81.6	69.0	54.8	41.3	34.2	26.0	19.9	10.4	4.6	5.5
Médias Diárias		281			100	91.6	81.0	68.0	54.3	41.1	34.1	26.0	19.2	10.5	4.4	5.5
Fórmula Mistura da Obra					100	90.0	78.0	70.0	56.5	42.5	33.5	24.5	18.0	11.0	4.0	5.5
TEMPERATURA DA MISTURA °F																
Hora	8 15 a m	9 30	10 10	11 20	12 45 a m	1 40	2 30	3 35	4 30	5 20	6 10					
°F	284	286	285	281	273	277	279	280	281	280	278					
CARACTERÍSTICAS DA MISTURA																
Localiz. Amostra	Hora ou Carga N°	Densidade Teórica	Densidade do c. prova	% Densidade Teórica	Estabilidade	Fluência 0,01 pol	Valor do coesímetro									
	9 30 a m	2.549	2.447	96.0	1976	10										
	3 35 p m	2.549	2.465	96.7	2150	11										
Tempo. Manhã _____	Tarde _____	Temperatura M _____ °C,	T _____ °C													
Funcion. Usina _____	Produção _____	Tempo de Mistura _____														
Das _____ 6:30/12 40 _____	Ton. Previstas _____ 22,129 _____	Tempo de Mistura _____														
às _____ 11:25/6:15 _____	Ton. Hoje _____ 1,098 _____	Tempo de Mistura _____														
	Ton. Total _____ 23,227 _____															
Tra N° _____ 39 _____	Representa _____ 826 _____	Ton. de _____	Dias _____													
Tra N° _____ 44 _____	Representa _____ 1098 _____	Ton. de _____	Dias _____													
Inspetor da Usina, Eng° residente, etc																

NOTA: Pretende-se que este Relatório seja um guia. Espaço adicional pode ser necessário quando maior número de materiais estiver sendo usados, ou quando mais de um tipo de mistura estiver sendo produzida. Omitem-se os equivalentes métricos, porque as usinas nos EUA. são fabricadas para, uso, apenas, de unidades costumeiras.

Figura 5.45 Relatório Diário do Inspetor de Usina de Asfalto

Capítulo 6

Pavimentação de Misturas Asfálticas a Quente

Não é exequível examinar pormenorizadamente todas as diferentes máquinas de pavimentação de misturas asfálticas a quente em uso atualmente. O intuito deste capítulo é a descrição dos fundamentos da pavimentação. Oferece-se ao leitor os fundamentos necessários à compreensão de quaisquer equipamentos de pavimentação.

Além da descrição de pavimentadoras de misturas asfálticas e dos procedimentos existentes de colocação da mistura na pista, este capítulo informa sobre vários outros itens de equipamentos e ferramentas utilizados no processo.

Finalmente, apresentam-se informações sobre as medidas necessárias à preparação da superfície do leito da estrada antes da pavimentação.

SEÇÃO 6.1 Equipamentos de Pavimentação Asfáltica

Introdução

A Acabadora de Asfalto

Equipamento Auxiliar

SEÇÃO 6.2 Preparação da Superfície da Pista

Introdução

Preparação de Superfícies Não Pavimentadas

Preparação de Superfícies de Pavimentos Antigos

Camadas de Nivelamento

SEÇÃO 6.3 Colocação de Misturas Asfálticas a Quente

Introdução

Recebimento da Mistura

Colocação com a Acabadora

Juntas de Construção de Pavimentos

SEÇÃO 6.4 Suplementos da Pavimentação da Pista e Acessórios

Introdução

Alargamento da Pista

Acostamentos

Superelevação

Meios-fios e Banquetas de Asfalto

Valetas e Vertedouros de Asfalto

Taludes e Revestimentos de Asfalto

6.1. Equipamento de Pavimentação Asfáltica

Introdução

A Operação de Pavimentação

O espalhamento e compactação de misturas de asfalto e agregados é a operação para a qual convergem todos os outros processos. Os agregados são escolhidos e combinados; a mistura é dosada; a usina de mistura e o equipamento auxiliar são montados, calibrados e inspecionados; e os materiais são misturados e levados até a acabadora (Figura 6.1).

A mistura asfáltica trazida para o local da pavimentação em caminhões, é depositada diretamente na acabadora ou, por vezes, em leiras em frente à pavimentadora. A seguir, a acabadora espalha a mistura na largura e espessura pré-estabelecidas, enquanto avança. Ao fazê-lo, dá-se uma compactação parcial da mistura. Logo após, ou a pequeno intervalo, enquanto a mistura mantém-se quente, procede-se à rolagem com rolos de roda de aço vibratórios e de rodas pneumáticas, sobre a faixa recém-recoberta, o que produz compactação adicional da mistura. Prossegue a rolagem até se obter a densidade exigida do pavimento, ou até que a temperatura tenha caído até o ponto em que qualquer esforço de compactação adicional poderia produzir resultados nocivos (ver Capítulo 7).

Depois de compactar a camada de pavimentação e deixá-la esfriar, ela está pronta para receber camadas adicionais de pavimento, ou pronta para suportar as cargas do tráfego.



Figura 6.1 Mistura Asfáltica a Quente sendo Despejada na Acabadora

Planejamento e Preparação

As operações de pavimentação requerem planejamento e preparativos cuidadosos. Deve-se preparar adequadamente a superfície a ser pavimentada. Devem estar à disposição veículos e equipamentos em boas condições de funcionamento e em quantidade suficiente para que se tenha um fluxo permanente de materiais e o andamento sem atrasos. A produção da usina deve ser coordenada de perto com as operações de pavimentação, e a compactação da mistura recém-espalhada deve ser imediata e bem feita.

Equipamento de Pavimentação Asfáltica

A maior parte das misturas de agregado e asfalto produzidas numa usina são colocadas por pavimentadoras asfálticas. É este o item básico do equipamento de pavimentação. Entre outros equipamentos relacionados às operações de compactação estão: distribuidor de asfalto, motoniveladora, equipamento de enleiramento, caminhões, ferramentas manuais, e outras máquinas e implementos.

A Acabadora de Asfalto

Operação da Pavimentadora

A acabadora asfáltica espalha a mistura numa camada uniforme de espessura e forma pretendidas, ou dá acabamento à camada na cota e seção transversal que se deseja, pronta para a compactação. As acabadoras modernas movimentam-se sobre esteiras de lagarta ou com rodas pneumáticas. Estas máquinas podem colocar uma camada de menos de 25 mm até, aproximadamente, 250 mm de espessura na largura de 1,8 m a 9,8 m. A velocidade de execução está geralmente na gama de 3 m a 20 m por minuto, (Figura 6.2).

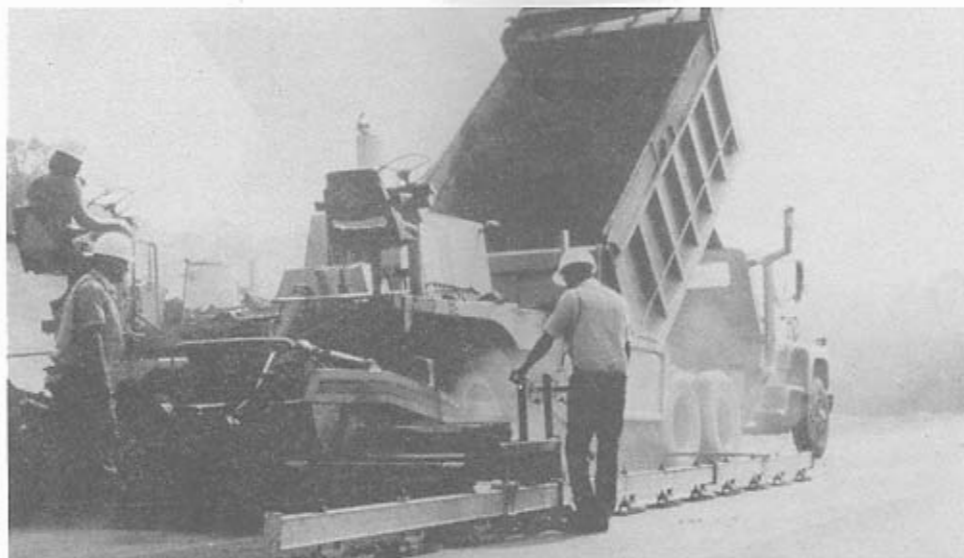


Figura 6.2 Acabadora de Asfalto

A acabadora é uma máquina bastante grande com muitas partes e ajustes intrincados. As acabadoras atualmente em uso embora difiram em pormenores, se assemelham na essência.

O desenho em planta e vista lateral da Figura 6.3 mostra o percurso da mistura asfáltica desde a tremonha de recepção na frente da acabadora até o pavimento acabado, atrás da sapata acabadora na parte posterior da máquina. A mistura é despejada na tremonha receptora situada na parte frontal da acabadora, de um caminhão que é empurrado para a frente pela pavimentadora. Por meio de roletes instalados na frente de máquina, faz-se o contato com as rodas traseiras do caminhão, o que permite à acabadora empurrar o caminhão enquanto este despeja a mistura na tremonha.

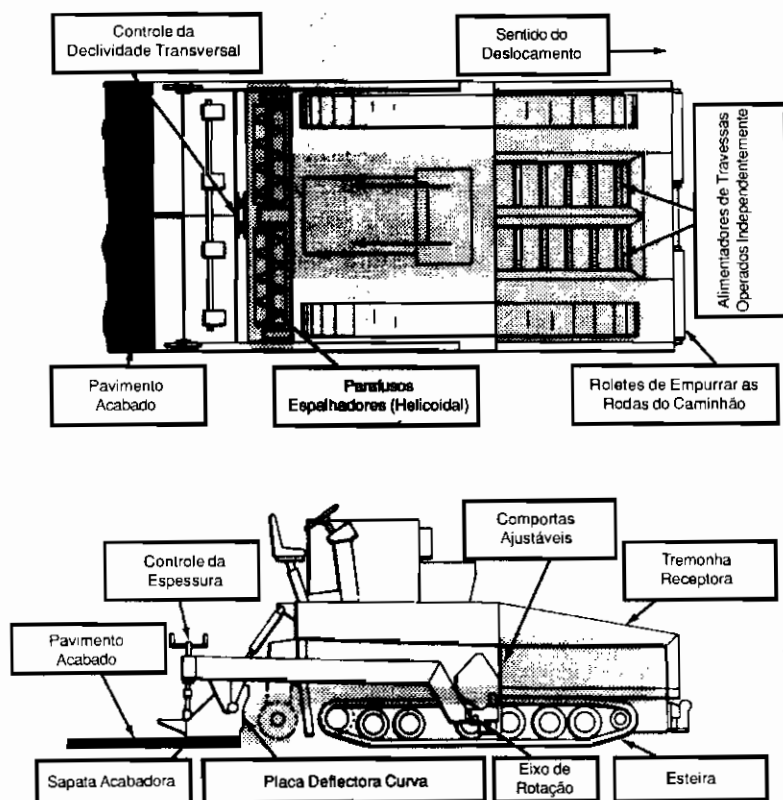


Figura 6.3 Fluxo de material Através da Pavimentadora Asfáltica

Pode-se usar outro método de carregamento da acabadora de mistura asfáltica a quente. A mistura colocada na frente da acabadora numa leira calibrada é apanhada por um acessório solidário à pavimentadora. Esta unidade é conhecida como carregador de subida pequena, (Figura 6.4); sua função é apanhar o material e depositá-lo na tremonha receptora à medida que a acabadora avança.

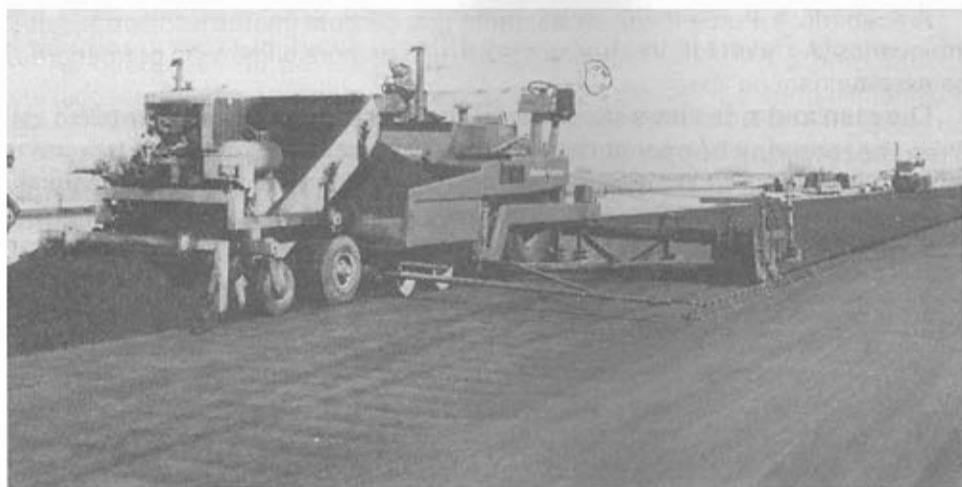


Figura 6.4 Carregador de Pequena Subida Sendo Usada Para Transferir Mistura Asfáltica da Leira para a Tremonha da Acabadora.

Após a chegada da mistura na tremonha, dois alimentadores de travessas de controles independentes deslocam a mistura para trás pelas comportas até os parafusos espalhadores. Cada parafuso espalhador e o respectivo alimentador estão sincronizados, o que permite ao operador distribuir com precisão a mistura em frente da sapata acabadora.

A sapata acabadora está presa à unidade tratora por dois braços compridos que giram em torno de um ponto na pavimentadora (Figura 6.5). Os braços não sustentam a sapata acabadora quando na posição de trabalho. À medida que o trator puxa a sapata contra o material, a sapata tende para um nível em que a trajetória de sua superfície inferior seja paralela à direção da tração.

As sapatas de corte bem como as extensões da sapata podem ser instaladas para limitar a largura do tapete asfáltico ou para estendê-lo além da largura normal da unidade de acabamento.

São vários os tipos de extensões que propiciam à pavimentadora alargar a colocação do material. Contudo, cabe distinguir a extensão propriamente dita da sapata da extensão simplesmente de uma placa metálica espessa, que não é, na verdade, uma extensão da sapata, mas, melhor dito, um cortador. A distinção está em que, no corte por acionamento hidráulico a mistura é, apenas, conformada lateralmente na largura normal pela sapata, enquanto que por ação de uma placa de aço estreita a mistura é cortada. O cortador não tem extensões helicoidais nem tem capacidade de vibrar ou socar a mistura. Resulta que do uso desta unidade pode haver variação de textura superficial e densidade. Fica, em grande parte, na dependência da habilidade do operador da pavimentadoras, que a textura, espessura e densidade da mistura nas extensões não sejam prejudicadas, na compactação, atrás de uma sapata acabadora ou após o corte. Por isso que muitos organismos não permitem o emprego de extensões de pavimentadoras em camadas de revestimento.

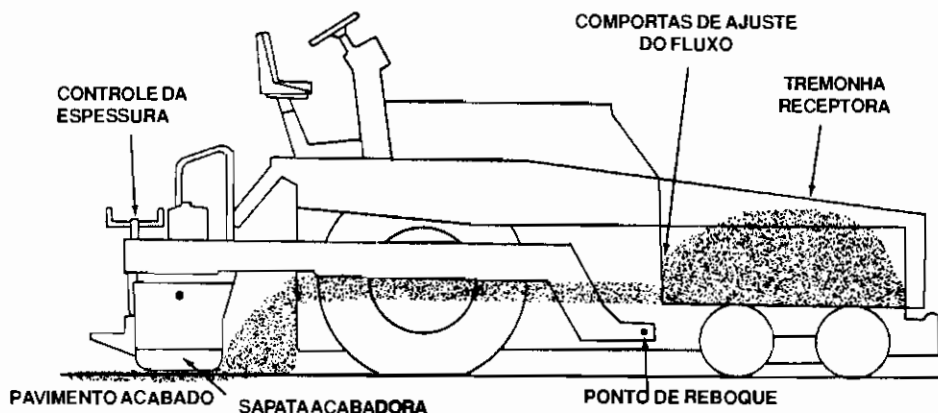


Figura 6.5 Fluxo de Material Através da Pavimentadora Autoprovelionada (Cortesia de Barber –Greene Company)

Quando surgiram dificuldades provenientes de falta de uniformidade ao se usarem extensões, a indústria de equipamentos de pavimentação projetou novas sapatas totalmente extensíveis que também podiam estender-se por ação hidráulica na frente ou atrás da sapata acabadora principal. Estas novas extensões de diferentes larguras de colocação dispõem, geralmente, de plena ação vibratória e quando a largura é fixada (em longos trechos de grande largura), também podem ser equipadas com extensões dos parafusos de espalhamento. As pessoas que têm a responsabilidade das operações de pavimentação devem se familiarizar com as várias peculiaridades dos equipamentos de diferentes fabricantes de modo a assegurar que a espessura, textura e densidade do tapete asfáltico sejam tão uniformes quanto possível.

A Unidade Tratora

A pavimentadora asfáltica consiste, essencialmente, numa unidade tratora e uma unidade de sapata acabadora. A unidade tratora fornece a força motriz através das esteiras e rodas pneumáticas que se deslocam sobre a base da estrada. Inclui o motor, tremonha receptora, transportadora de alimentação, parafusos de espalhamento, controles, e assento do operador. A maioria das pavimentadoras são equipadas com controles duplos, de modo que o operador possa ficar sentado junto a um ou outro enquanto dirige a pavimentadora.

Não é razoável descrever pormenorizadamente todas as unidades tratoras de uso corrente. Existem diferentes aspectos, contudo, que são, em geral, comuns a todos e que devem ser checados no início da operação de pavimentação e, daí por diante, examinados periodicamente. A maioria dos pontos a checar envolvem partes móveis ou vivas da máquina. Para obter informações mais pormenorizadas, os manuais de serviço dos fabricantes devem ser estudados atentamente.

O regulador do motor deve ser checado para o bom funcionamento. É importante que a unidade tratora desenvolva um esforço de tração constante e suave nos braços da sapata acabadora. Se a pavimentadora for equipada com rodas pneumáticas, a pressão de inflação deve ser a recomendada. Em máquinas com esteiras, estas devem ser bem instaladas sem ficar muito apertado. Todo movimento desnecessário

causado por baixa pressão de inflação dos pneus ou esteiras frouxas, quando a máquina dá a partida ou pára, vai se refletir na superfície do tapete, ao ser a sapata acabadora puxada para frente.

As comportas de controle do fluxo na parte posterior da tremonha sobre cada travessa transportadora podem ser ajustadas individualmente de modo a controlar o fluxo de material até os parafusos de espalhamento. Controles automáticos acionam os parafusos de espalhamento e os alimentadores de travessas de modo a manter uma espessura constante de material na frente da sapata acabadora.

A Unidade de Sapata Acabadora

A unidade de sapata acabadora raspa, compacta parcialmente e alisa a superfície do tapete asfáltico, quando é puxada para a frente. Existe considerável variação aos pormenores e a questão da compactação inicial. Estes aspectos devem ser estudados nos manuais de serviços e publicações dos fabricantes.

Algumas unidades de sapata acabadora têm uma placa de compactação ("tamper bar") que se desloca para cima e para baixo e bate na mistura de pavimentação de modo que a sapata acabadora possa passar sobre a mistura de modo suave. A placa de compactação também proporciona boa parte da compactação da mistura na operação de espalhamento. É mais comum a sapata vibratória (Figura 6.6) sem placa de compactação. A vibração pode ser realizada com vibradores elétricos ou eixos giratórios carregados excêntrica. A frequência de vibração pode ser controlada, desta forma facilitando a obtenção do esforço de compactação máximo.

As bordas da sapata, tanto as da frente com as de trás têm um ajuste da declividade transversal. A borda da frente deve ter sempre um pouco mais de declividade do que a borda de trás, afim de resultar um fluxo suave de material sob a sapata acabadora. Entretanto, se a declividade da parte dianteira por excessiva, forma-se uma textura aberta ao longo das bordas do tapete asfáltico. Os ajustes de declividade podem ser feitos de modo independente ou então simultâneo durante as operações de pavimentação.

A sapata acabadora é geralmente equipada com aquecedores para evitar que a mistura grude na base da sapata. São utilizados para aquecer a sapata no início das operações de pavimentação e, às vezes, durante a pavimentação em dias frios e ventosos. Entretanto, os aquecedores nunca devem ser usados na tentativa de aquecer a mistura que chega à acabadora.

Fundamentos da Operação de Acabamento

A unidade de acabamento, qualquer que seja o tipo de controle, está presa à unidade tratora por dois braços compridos que se movimentam tendo o centro de rotação numa posição mais para a frente da pavimentadora. O princípio básico da acabadora é que ao ser puxada contra o material colocado pelos parafusos de espalhamento, à sua frente, de pronto se desloque para cima ou para baixo buscando o nível em que o trajeto de sua superfície inferior plana seja paralelo à direção de arrasto.

As forças que atuam na unidade de acabamento durante a pavimentação, estão indicadas na Figura 6.7. Quando a acabadora está se deslocando, a força de tração, P , no centro de rotação é sempre maior do que a resistência horizontal, H , na placa da sapata. Quando se deve aumentar a espessura do tapete, inclina-se a sapata para cima para permitir que mais material se amontoe sob a mesma. Resulta que a força vertical para cima, V , vai exceder o peso, W , e fazer com que a placa da sapata suba.

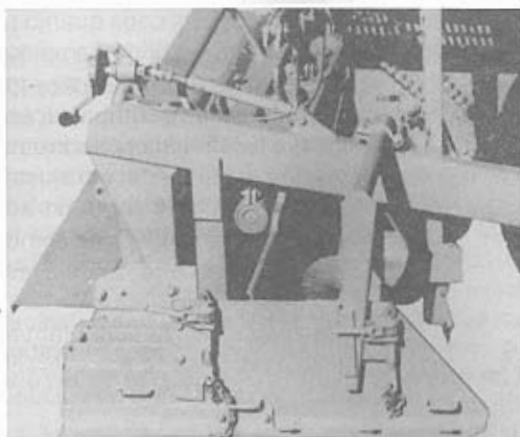


Figura 6.6 Unidade de Sapata Vibratória de acabamento

Ao subir, V diminui até se igualar a W , quando, então cessa o deslocamento vertical e a placa da sapata de novo desloca-se apenas horizontalmente num trajeto paralelo à direção da força de tração. A espessura do tapete pode ser aumentada ou diminuída, inclinando-se a placa da sapata acabadora para cima ou para baixo ou deslocando-se verticalmente o centro de rotação do braço de tração.

A sapata acabadora está sempre se movimentando de modo a causar o equilíbrio do conjunto de forças. Por isto que é importante ajustar adequadamente as comportas de fluxo, manter os alimentadores de travessas em operação uniforme, manter a espessura uniforme diante da sapata acabadora, e não acionar demasiadamente o controle da sapata. A temperatura da mistura deve manter-se uniforme de modo que a viscosidade da mistura não modifique ou influencie o equilíbrio das forças que atuam na acabadora.

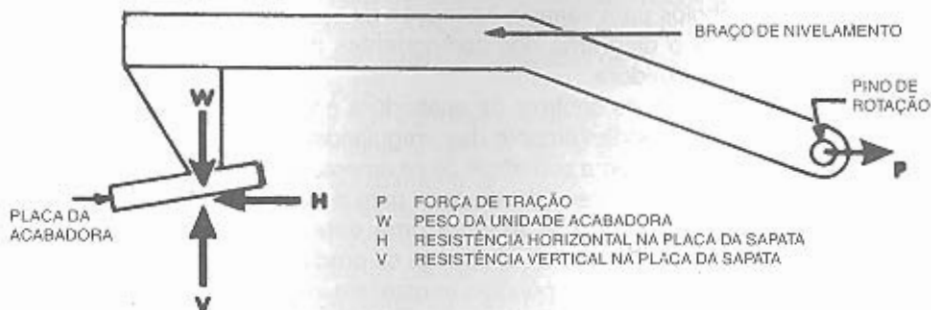


Figura 6.7 Forças Atuantes na Sapata Durante o Acabamento

Verificação da Unidade de Acabamento

São várias as condições de trabalho e de ajustes que somente podem ser verificadas pelo resultado final ou, de modo específico, pela qualidade do tapete que foi colocado. Contudo, antes de começar a obra, deve-se fazer verificações dos itens que, obviamente, afetam a execução.

A sapata acabadora deve ser levantada e sua superfície inferior verificada quanto à lisura e desgaste em excesso. As placas das sapatas desgastam-se primeiramente cerca de 100 a 150 mm para dentro a partir da borda de saída. As extensões devem ser rentes e no mesmo plano da superfície inferior a sapata. As placas de compactação devem ser checadas quanto ao desgaste excessivo, ajuste, e funcionamento correto. O desgaste excessivo faz com que a superfície do tapete fique esburacada, e o ajuste inadequado dá ao tapete uma aparência raspada. Se a sapata for do tipo vibratório, só se deve dar a partida nos vibradores com a sapata levantada, para verificar como estão funcionando. O desempenho dos vibradores deve ser verificado durante as operações de pavimentação.

Deve-se ter à disposição um nível instalado na sapata acabadora ou numa tábua cuneiforme para que se possa verificar a qualquer momento a declividade transversal da pista. Também, se deve checar a unidade de aquecimento, acendendo-se o queimador e permitindo que queime durante alguns minutos.

Um item importante, porém, muitas vezes, desprezado é a limpeza da pavimentadora ao término de cada dia de trabalho. Enquanto a máquina ainda esta quente, a tremonha, alimentadoras, parafusos espalhadores, placas de compactação e placas de acabamento devem receber uma leve aspersão de destilado de petróleo que assegure uma partida suave no dia seguinte. Deve-se tomar cuidado para que não haja acúmulo de destilado de petróleo, afim de não contaminar a mistura ao começarem as operações.

Controles Automáticos da Sapata Acabadora

Os controles da sapata acabadora podem ser ajustados para operações manuais, semi-automáticas e automáticas, em quase todas as marcas de pavimentadoras asfálticas. Os controles automáticos da acabadoras têm cinco componentes principais:

1. Sensor;
2. Pêndulo;
3. Caixa de controle;
4. Painel de comando; e
5. Motores ou êmbolos para varias a inclinação da sapata acabadora.

Mostra a Figura 6.8 o diagrama dos componentes de uma marca de controle automático da sapata acabadora.

O princípio de operação do controle da acabadora é que se esta for obrigada a seguir uma linha reta independentemente das irregularidades da superfície que está sendo pavimentada, resultará uma superfície de pavimento lisa. A declividade ou perfil transversal é controlado por um pêndulo ajustado para determinada declividade.

Uma vez estabelecida para a acabadora uma determinada profundidade de espalhamento, o sistema automático se encarrega de produzir um tapete liso. O painel de comando, o sensor de greide e o pêndulo transmitem impulsos elétricos para uma caixa de controle que ativa os motores ou os êmbolos, os quais mudam a inclinação da sapata acabadora, deste modo compensando automaticamente as irregularidades que ocorrerem na superfície da estrada.

O sensor obtém sua informação de um dispositivo sensível, ou grade, que se desloca sobre uma corda esticada que se coloca como referência de nível, ou de um esqui, curto ou comprido, que se desloca sobre uma faixa de tráfego adjacente, meio-fio ou valeta. A corda esticada ou o esqui comprido podem ser usados no reforço de pavimentos antigos,

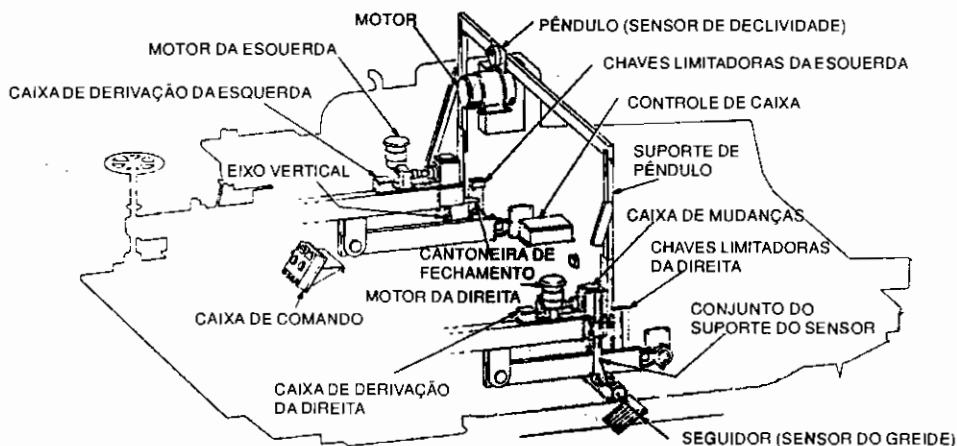


Figura 6.8 Componentes de um Dispositivo Automático de Sapata

porém, recomenda-se uma corda cuidadosamente instalado em construções novas. Um esqui curto ou sapata podem ser usados em substituição à corda ou ao esqui comprido depois de colocada a primeira faixa. Pode-se colocar a corda de cada lado da pavimentadora, porém os esquis seguidores do greide devem ser postos do lado da linha central. As Figuras 6.9, 6.10 e 6.11 mostram diferentes tipos de seguidores de greide.

Os sensores de pavimentadoras equipadas com controles eletrônicos podem ser checados fazendo-se variar as posições dos sensores e observando se o potencial elétrico nos controles de sapata acabadora responde e efetua os ajustes corretos de compensação.

Pavimentadoras Autopropulsionadas Pequenas

A maioria dos fabricantes de pavimentadoras produzem máquinas autopropulsionadas para emprego em obras pequenas. A maioria destas pavimentadoras tem a maior parte, se não todas as características de suas contrapartidas de maiores dimensões, inclusive as sapatas flutuantes (Figura 6.12).

Tempos atrás grande parte das misturas asfálticas a quente usadas nos passeios, trilhas de carrinhos de golfe, trilhas de jogging, etc, eram colocadas manualmente. Isto se devia, em parte, à falta de equipamento adequado para a colocação mecânica e às localizações de difícil acesso. Embora a maioria das pequenas pavimentadoras tenham comprimentos de 4 m até cerca de 4,9 m, existem, pelo menos, duas unidades ainda menores. Estas são ideais para os pequenos projetos acima mencionados. A Figura 6.13 mostra um equipamento de menos de 2,4 m de comprimento. Não tem transportador de travessas – a mistura é despejada numa tremonha situada sobre os parafusos de espalhamento e a sapata acabadora não tem ação de socagem nem vibratória. Mas, como as outras, o ângulo de ataque da sapata pode ser mudado de modo a aumentar ou diminuir a espessura do pavimento. Pode-se, também, instalar um medidor que assegure a espessura mínima.

Mostra-se na Figura 6.14 uma pavimentadora autopropulsionada ainda menor. Nesta unidade ajusta-se a espessura do tapete por meio de manivelas presas à travessa

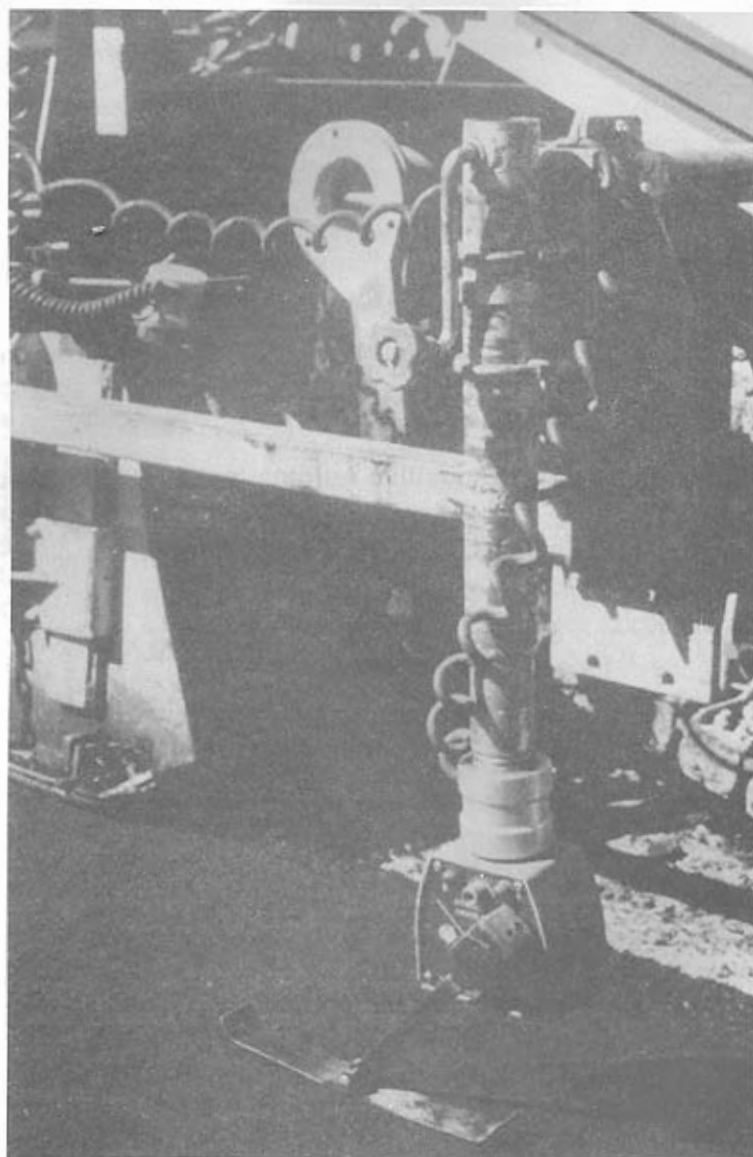


Figura 6.9 Sapata Seguidora de Greide (Esqui Curto ou Sapata)

cortadora. A tremonha da unidade contém menos de uma tonelada de mistura, sendo carregada por um transportador móvel ou por pequena carregadora frontal, quando o caminhão de despejo não alcança a tremonha.

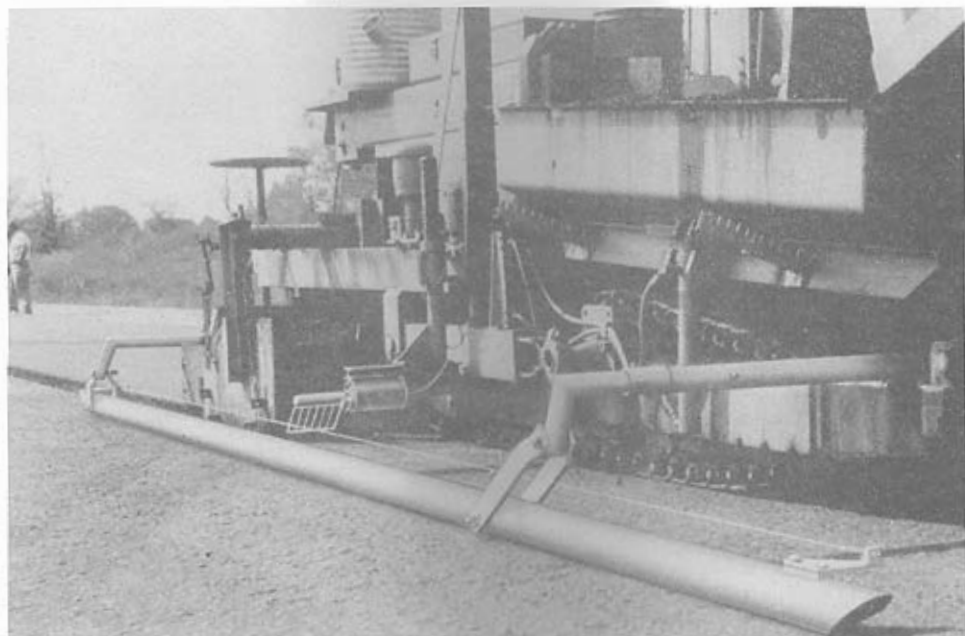


Figura 6.10 Controle Automática da Sapata Acabadora por um Esqui Longo.



Figura 6.11 Seguidor de Greide de Corda. A Corda Esticada Também é Usada Como Guia do Operador da Pavimentadora.

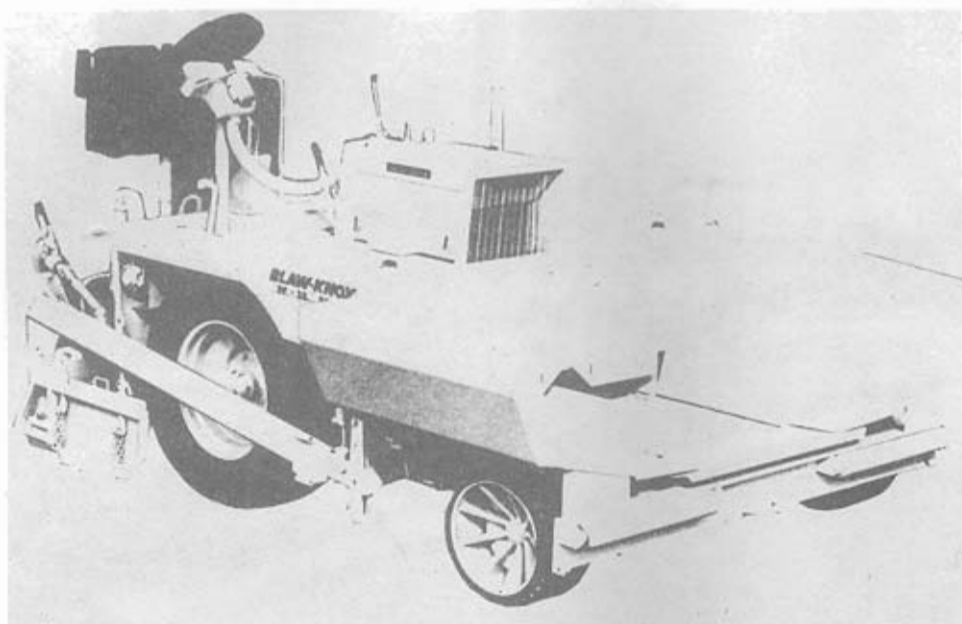


Figura 6.12 Acabadora Pequena (Cortesia de Blaw-Knox)

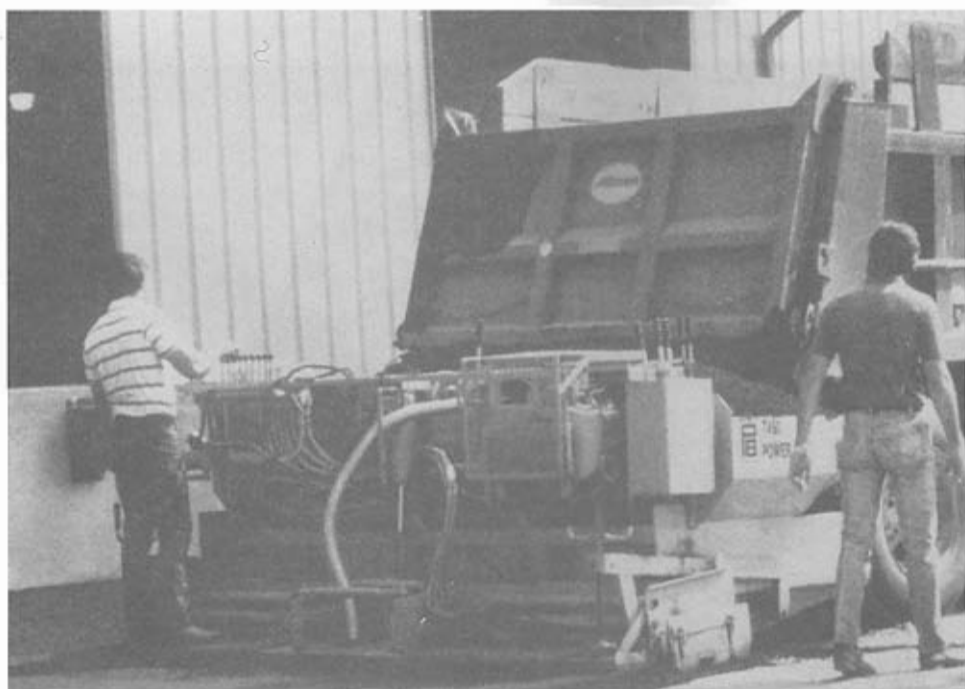


Figura 6.13 Acabadora Pequena Autopropulsionada Menor que 2,4m de Extensão (Cortesia de Puckett Bros. Mfg. Co., Inc.)

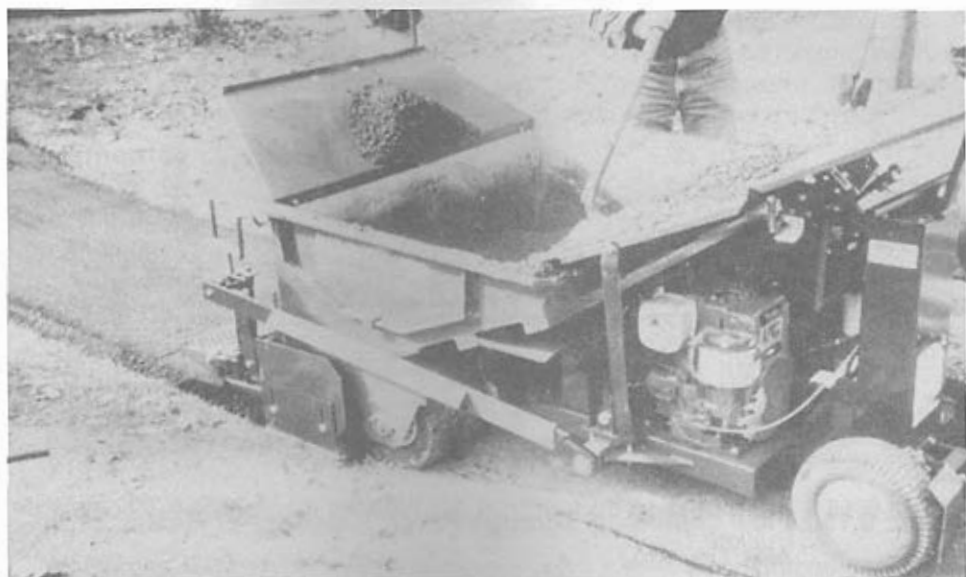


Figura 6.14 Acabadora Pequena Autopropulsionada
(Cortesia de Salsco, Inc.)

Pavimentadoras e Espalhadores do Tipo Rebocado

Em pequenos serviços de pavimentação é, às vezes, mais conveniente e econômico utilizar uma pavimentadora rebocada do que pavimentadoras maiores e autopropulsionadas. As pavimentadoras rebocadas são presas à trazeira do caminhão de despejo que transporta a mistura asfáltica da usina. O material é depositado na tremonha da pavimentadora e cai diretamente na base. À medida que o caminhão avança, o material é raspado por uma lâmina, uma travessa cortante, ou por uma sapata acabadora e é alisada por esta ou por rolos compressores. A Figura 6.15 mostra os princípios de funcionamento de um tipo de pavimentadora pequena. Existem aquecedores de sapatas e vibradores de sapatas, como acessórios de pequenas pavimentadoras.

Muitas pavimentadoras rebocadas têm sapatas acabadoras flutuantes. A fim de que a pavimentadora comece o espalhamento em toda a espessura, devem ser colocados calços sob a sapata artes de despejar qualquer mistura na tremonha. Deve-se conservar a tremonha cheia de material durante as operações de pavimentação, para assegurar um espalhamento completo e plano. Uma vez ajustada a sapata para a profundidade adequada não deve ser necessário ajustá-la de novo. Se for uma mistura quente que se coloca, deve-se dar um tempo para que a placa da sapata se aqueça, assentando-a sobre a mistura antes de mover-se para a frente.

O espalhador deve ser rebocado a velocidade constante, qualquer que seja o ajuste da sapata ou da comporta de corte. Se velocidade de reboque variar, o espalhamento variará em espessura.

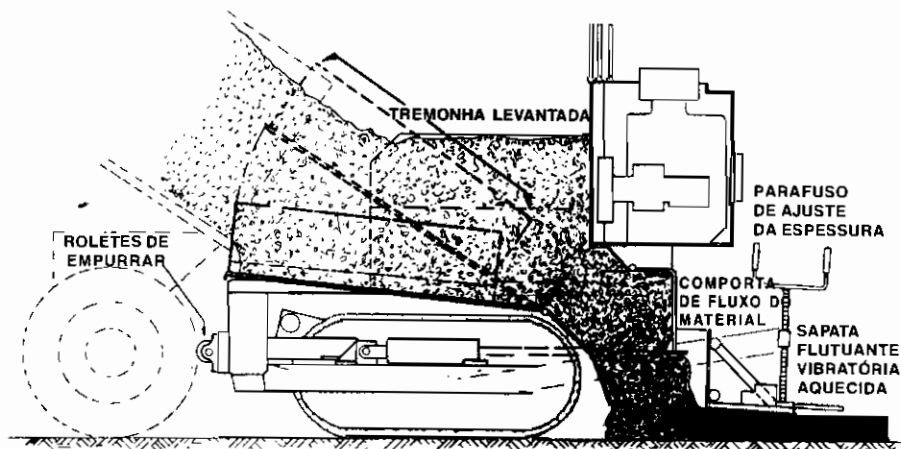


Figura 6.15 Escoamento do Material Através da Acabadora (Cortesia de Puckett Bros. Mfg. Co., Inc.)

Equipamento Auxiliar

Distribuidor de Asfalto

O distribuidor de asfalto serve para aplicar tanto capa (ou pintura) de imprimação como de ligação na superfície a ser pavimentada. As capas de imprimação são aplicações de asfalto diluído numa superfície absorvente tal como a base granular. As capas (ou pinturas) de ligação são aplicações muito leves de emulsão asfáltica numa superfície pavimentada. As capas imprimação e de ligação são discutidas mais pormenorizadamente no capítulo sobre tratamento superficiais.

O distribuidor é um caminhão ou reboque no qual está montado um tanque com isolamento. Alguns distribuidores são equipados com um sistema de aquecimento que, geralmente, queima óleo (Figura 6.16). O distribuidor tem uma bomba elétrica e um sistema de barras de rega e bicos aspersores através dos quais o asfalto é forçado sob pressão sobre a superfície de construção.

É importante que o asfalto aspergido do distribuidor o seja de modo uniforme sobre a superfície à taxa de aplicação que se deseja. Isto requer uma bomba em bom estado de funcionamento, barras de rega de circulação livre, e bicos de fluxo livre.

Para se obter a taxa de aplicação que se deseja, a velocidade do distribuidor deve ser determinada para uma dada vazão da bomba e comprimento de cobertura. Os distribuidores têm, geralmente, um hodômetro que indica a velocidade de avanço. Esta velocidade deve ser mantida constante para que a cobertura do asfalto seja uniforme.

Motoniveladora

Em algumas situações pode-se usar uma motoniveladora para

espalhar misturas asfálticas de usina, por exemplo, na colocação de camadas de nivelamento. A camada de nivelamento é uma camada delgada de mistura asfáltica usinada colocada antes da camada superficial de desgaste. Propicia à pavimentadora a obtenção de uma camada superficial uniforme e suave.

Ferramentas Acessórias

Deve-se dispor de ferramentas manuais adequadas e de equipamento próprio para sua limpeza e aquecimento, para as operações de pavimentação. São ferramentas acessórias:

1. Ancinhos;
2. Pás;
3. Rodos;
4. Tocha de aquecimento das ferramentas;
5. Equipamento de limpeza;
6. Soquetes manuais;
7. Compactadores mecânicos vibratórios pequenos;
8. Tocos e calços para apoio da sapata da pavimentadora no início das operações;
9. Cordas, papel grosso, e pedaços de madeira para a construção das juntas ao final das corridas;
10. Ferramentas de corte e pintura de juntas; e
11. Régua.

Nem todas as ferramentas citadas são, necessariamente, usadas em qualquer obra de pavimentação ou diariamente numa determinada obra. Os ancinhos, pás e rodos são usados, freqüentemente, pelo pessoal à volta da pavimentadora. Enquanto a pavimentadora funciona, operários trabalham ou removem uma parte da mistura para acertar a pavimentação em volta de obstáculos, preencher áreas em que a pavimentadora não funciona satisfatoriamente ou que são inatingíveis durante a operação de pavimentação.



Figura 6.16 Distribuição de Asfalto.

6.2. Preparação da Superfície da Pista

Introdução

A Necessidade de Preparar a Pista

Uma fundação bem preparada, o que compreende superfície e drenagem sub-superficial adequadas e compactação apropriada durante a construção, contribuem para que se assegure vida prolongada da estrutura do pavimento. A boa drenagem é extremamente importante. A necessidade de rebaixar o lençol d'água além do nível de penetração do congelamento ou do fundo da camada de subleito melhorado, por meio de drenagem lateral ou drenagem sub-superficial, é geralmente aceita como sendo um elemento essencial da boa construção pelos tecnologistas de pavimentação.

A compactação apropriada de cada camada do aterro, subleito melhorado e base, é, igualmente, importante. A compactação aumenta muito a capacidade de suporte do subleito. Quando o subleito não é suficientemente compactado, pode ocorrer densificação adicional sob a ação do tráfego, com recalque e possível ruptura.

Compactação do Subleito

Os ensaios de compactação são realizados em laboratório nos materiais a serem usados na construção, para determinar a máxima densidade prática que se pode obter. Estas densidades de laboratório devem ser determinadas segundo o ensaio: *Relações de Umidade e Densidade de Solos Usando Soquete de 10 lb (4,54 kg) e Altura de Queda de 18 pol (457 mm)*; AASHTO T 180, Método D. Os critérios recomendados de compactação do subleito são os seguintes:

- Para solos coesivos: mínimo de 95 por cento da densidade nos 300 mm, superiores e o mínimo de 90 por cento em todas as partes de aterros abaixo dos 300 mm superiores.
- Para solos não coesivos: mínimo de 100 por cento nos 300 mm do topo e mínimo de 95 por cento em todas as partes de aterros abaixo do topo de 300 mm.

O teor de umidade de compactação dos solos coesivos deve ser escolhido de modo a fornecer a maior resistência amolgada compatível com as considerações de expansão. Em geral, os solos não-expansivos, devem ser compactados de 1 a 2 por cento do lado seco em relação ao teor ótimo de umidade de laboratório para que os resultados sejam os melhores.

O critério de compactação também se aplica a trechos de corte. Em certos casos isto exige escarificação, adição de água, substituição e recompactação para produzir uniformidade do subleito e evitar recalques diferenciais.

Ainda que para a maioria dos solos a compactação aumente sua estabilidade, alguns diminuem a estabilidade quando escarificados, amolgados e compactados. Alguns outros se contraem excessivamente nos períodos secos e expandem-se excessivamente quando se permite que absorvam umidade. Quando tais condições existirem, faz-se necessário o tratamento especial sob a orientação de um engenheiro de solos. É o caso de argilas que perdem resistência quando amolgadas,

siltes de alta sensibilidade estrutural ao serem amolgados e solos de características expansivas.

Teste de Rolagem

As irregularidade superficiais de estruturas de pavimentos asfálticos resultam, quase sempre, da densificação pelo tráfego das camadas subjacentes, geralmente sob as trilhas das rodas. Estas irregularidades mostram que não houve compactação adequada de uma ou mais camadas durante a construção, ou que existem na estrutura áreas instáveis. Com a finalidade de detectar estas deficiências o teste de rolagem é, às vezes, realizado durante a construção.

O teste de rolagem é a aplicação de rolos compactadores pesados de rodas pneumáticas sobre a camada, em geral após a compactação inicial pelos meios convencionais. O teste de rolagem tem dois propósitos: (a) localizar áreas instáveis, e (b) realizar compactação adicional.

Preparação de Superfícies Não-Pavimentadas

Generalidades

Consideram-se não pavimentadas as superfícies de estrada seguintes:

1. Subleito compactado;
2. Subleito melhorado;
3. Base não-tratada, e
4. Pista granular não-revestida.

Certas bases granulares tratadas ou estabilizadas são consideradas superfícies não – pavimentadas, quando preparadas para a pavimentação asfáltica. As bases que foram tratadas ou estabilizadas por asfalto ou cimento portland são consideradas superfícies pavimentadas e excluídas desta classificação.

Subleito Preparado

O subleito preparado é o que foi remexido e compactado. Pode ser o solo de fundação, ou uma camada de solo estabilizado, solo selecionado, ou material de subleito melhorado por outros meios.

A qualidade de rolamento da superfície do pavimento depende muito da construção e preparação apropriadas do material de fundação. A estrada deve ser conformada e rolada de modo que o equipamento de pavimentação não tenha dificuldades na colocação do material numa espessura uniforme e greide suave.

As condições atmosféricas devem ser adequadas e a superfície da estrada firme, livre de poeira e seca, ou apenas levemente umedecida ao se iniciarem as operações de pavimentação.

Base Não-Tratada

As bases granulares não-tratadas e algumas bases estabilizadas quimicamente, que não tratadas pelo cimento portland ou asfalto, também devem ser adequadamente conformadas e compactadas.

Quando se vai colocar camadas de pavimentos sobre uma base de agregado não-tratado, deve-se varrer da superfície da estrada as partículas granulares soltas, utilizando vassouras mecânicas. Contudo, deve-se ter cuidado para não deslocar

ou perturbar de outra maneira a ligação das partículas de agregado na superfície da base. Quando se remove corretamente o material solto, ficam expostos na superfície apenas as pontas das partículas. Uma vez limpa, a superfície está pronta para a imprimação com asfalto.

Na imprimação, um distribuidor sob pressão é utilizado para a aspersão, em condições normais, de 0,9 a 2,3 litro/m² de asfalto de viscosidade baixa, tal como o MC-30 e o MC-70, na superfície preparada de uma base absorvente. (Nas bases muito absorventes, usa-se, às vezes, o MC-250). O asfalto, então, penetra na superfície, e deve ser totalmente absorvido pela camada de base. Caso não o seja dentro de 24 horas após a aplicação, deve-se espalhar areia na superfície para secar o excesso de asfalto. Entretanto, deve-se ter o cuidado de evitar o excesso de imprimação. A imprimação deve estar totalmente assente e curada antes de colocar a mistura asfáltica a quente.

Se os asfaltos diluídos de cura média não forem disponíveis pode-se usar as emulsões asfálticas SS-1, CSS-1, SS-1h e CSS-1h como imprimação de mistura in situ, seja na estrada ou na fonte do agregados para a base. Se tiver que ser fornecido agregado para uma base, a emulsão e a água de compactação podem ser misturada na fonte. A taxa de aplicação é, normalmente, 0,5 a 1,4 l/m²/25 mm. Na maioria dos casos é mais difícil a penetração da emulsão asfáltica do que asfalto diluído na base granular. Portanto, o asfalto diluído deve ser usado quando possível.

Pistas Não-Revestidas Granulares

As pistas não-revestidas granulares são semelhantes às bases granulares não-tratadas. Diferem primordialmente pelo fato de terem sido utilizadas como pista de tráfego, normalmente, por longos períodos.

Repetindo, nunca é demais acentuar que a qualidade de rolamento superficial depende muito do condicionamento e preparação da estrutura de pavimento subjacente. Convém, no caso de pistas de superfície granular rugosa e desnivelada, que se corrija o greide por escarificação numa profundidade de alguns centímetros, se adicione mais material, tanto quanto for necessário se, compacte e imprima com asfalto. Se a pista granular tiver recebido anteriormente um tratamento asfáltico e se for rugosa e desnivelada, convirá colocar uma camada de nivelamento de mistura asfáltica usinada a quente antecipadamente à primeira camada do revestimento. As camadas asfálticas de nivelamento serão discutidas mais adiante neste capítulo. O engenheiro deve inspecionar a superfície bem antes de colocar as camadas de revestimento, e deve determinar quais as correções que se fazem necessárias.

Os pedriscos livres em excesso e o material solto devem ser removidos da pista, e a superfície deve ser imprimida com asfalto antes de colocar camada material de nivelamento e revestimento asfáltico.

Preparação de Superfícies de Pavimentos Antigos

Pavimento Antigos de Mistura Asfáltica

Os defeitos estruturais dos pavimentos asfálticos antigos decorrem em geral do projeto inadequado ou da execução **inadequada** do projeto, inclusive a compactação, ou de ambos. A dosagem fraca da mistura pode causar diversos tipos de defeitos, e o excesso de asfalto pode causar **corrugações** e afundamentos na trilha de roda. O trincamento pode ser causado por **deflexões** excessivas do pavimento sob o tráfego devido a estrutura de pavimento **inadequada** ou a fundação esponjosa. A insuficiência de asfalto ou sua oxidação podem **contribuir** para o trincamento pois a mistura pode tornar-se quebradiça.

Antes que o pavimento antigo receba uma camada de reforço de mistura asfáltica a quente, deve-se fazer sua inspeção. O **remédio** para qualquer falha existente depende do tipo e extensão do defeito. Se o defeito for extenso, provavelmente se fará necessária a reconstrução. Em qualquer caso, **todos os reparos** necessários da superfície antiga devem ser feitos antes da pavimentação.

A superfície escorregadia de um pavimento antigo pode ser causada pelo polimento do agregado por ação do tráfego ou **por excesso** de asfalto na mistura. Se a causa for o excesso de asfalto, este deve ser **removido** com um aplainador quente ou um aplainador frio, antes de se proceder ao reforço.

Os pavimentos antigos que tiverem **pequenas** trincas devem receber uma névoa selante antes do reforço. A névoa selante é uma aplicação leve de emulsão asfáltica diluída na água e aspergida sobre a superfície. As trincas mais largas merecem ter a superfície tratada por uma lama selante a emulsão asfáltica. A lama selante é uma mistura de emulsão asfáltica, agregado fino e fíler mineral adicionada de água para produzir a consistência de lama. Estes tratamentos são descritos e discutidos com pormenores no Capítulo 8.

As painéis existentes em pavimentos antigos, que a despeito desse defeito são resistentes, devem ser remendadas com **concretos** asfálticos antes de se pavimentar a superfície da pista. Quando a base do pavimento antigo tiver rompido, os danos se refletirão na nova superfície do pavimento. É evidente que os remendos são feitos antes da pavimentação e que devem ser **bastante** profundos de modo a fortalecerem a base.

Deve-se remover da superfície do pavimento existente todo o asfalto exsudado e os remendos inadequados, o excesso de **material selante** asfáltico de trincas e juntas, lascas soltas, e todo o asfalto em excesso.

Todas as depressões de 25 mm ou mais **devem ser** preenchidas por uma camada de nivelamento compactada, à frente das **operações** de pavimentação. Todas as superfícies, tanto horizontais como verticais **que estarão** em contato com a nova superfície asfáltica devem ser completamente **limpas**. A limpeza de superfícies planas faz-se usualmente com escovas rotativas, **porém** pode ser necessária a lavagem ou o jato de água para remover argila ou **matéria estranha**. Deve-se aplicar uma pintura de ligação – descrita mais adiante – ao pavimento existente e a todas as faces verticais. A aplicação de uma pintura uniforme de emulsão asfáltica é de ajuda na obtenção de juntas intimamente ligadas e à prova d'água.

As protuberâncias podem ser removidas por um aplainador quente que esquenta a superfície do pavimento antigo e, depois, aplaina-a até profundidade predeterminada. As máquinas de fresagem a frio, porém fazem o mesmo sem o aquecimento prévio da superfície do pavimento (Figura 6.17).

Existem atualmente máquinas de fresagem, grandes e pequenas, que podem remover pavimentos de concreto asfáltico de larguras de 3 metros diminuindo até 0,3 metro e em espessuras arrancadas entre 25 e 100 mm numa passagem. As larguras e as espessuras são aproximadas e dependem dos fabricantes de equipamentos e das condições da pista. A utilização de máquinas de fresagem pode trazer muitos benefícios, dependendo dos aspectos do dimensionamento da obra. Entretanto, os benefícios são, no mínimo, de:

1. Dar origem a um material razoavelmente uniforme que pode ser utilizado na reciclagem de novas misturas a quente ou outras aplicações de reciclagem ou recuperação.

2. Poder manter o greide de um pavimento que é íntegro e forte apenas removendo e substituindo o revestimento.

3. Poder freqüentemente executar um melhor serviço de nivelamento e desempenho porque a máquina de fresagem é capaz de remover uma espessura variável de material de modo mais confiável, às vezes, do que a pavimentadora.

Portanto, a fresagem pode ser sempre considerada uma opção possível no processo de reabilitação. Após a fresagem de uma camada superficial, deve-se varrer a superfície o melhor possível, sendo a varredura descartada e não podendo ser usada como parte do agregado reciclado. Mesmo que a superfície fique com uma textura muito grossa de espinha de peixe, a superfície fresada deve receber, sempre, uma pintura de ligação antes do reforço.



Figura 6.17 Fresagem a Frio (Cortesia de CMI Corporation)

Pavimentos do Tipo Rígido

Os defeitos nos pavimentos do tipo rígido também devem ser corrigidos antes de reforçá-los. As camadas sobrepostas de misturas asfálticas devem ser suficientemente espessas, não apenas para prover a resistência adicional requerida, mas, também, para minimizar a reflexão de trincas do pavimento antigo no novo revestimento.

A preparação dos pavimentos rígidos danificados ou defeituosos difere da que se faz nos pavimentos asfálticos. A preparação pode incluir um ou mais dos itens:

1. Remendos de áreas desintegradas ou lascadas.
2. Selagem de trincas a fim de evitar a intrusão da água.
3. Subselagem para prover suporte uniforme.
4. Rompimento de placas que basculam sob o tráfego e seu assentamento com rolos compressores pesados.

O bombeamento pelas juntas é causado pela flexão das placas sob o tráfego. O subleito úmido debaixo da placa é forçado para cima, o que causa trincamento e ruptura na área das juntas. Usualmente, pode-se estabilizar o pavimento por subselagem com asfalto preparado especialmente para esse fim. De outro modo, as placas basculantes devem ser quebradas em pedaços menores e assentes.

Em alguns casos, partes do pavimento estão de tal forma desintegradas ou severamente quebradas, que os fragmentos do pavimento devem ser removidos. Estas áreas devem ser preparadas e remendadas com concreto asfáltico antes da operação de renovação da superfície.

Deve-se retirar o material de enchimento das juntas e trincas das placas até a profundidade de, pelo menos, 6 mm. As juntas devem ser preenchidas novamente com um material asfáltico de selagem de juntas. Deve-se retirar o excesso de asfalto dos remendos e o excesso de material de selagem de juntas que esteja acumulado próximo às juntas e trincas.

Como passo final, antes de colocar qualquer pavimentação asfáltica, deve-se varrer a superfície do pavimento até ficar limpa e aplicar-lhe uma pintura de ligação. Onde as operações de preparação tenham causado recalques ou irregularidades do pavimento, deve-se aplicar uma camada de nivelamento de concreto asfáltico antes da operação de reforço.

Deve-se ponderar sobre o emprego de algum tipo de sistema de alívio do trincamento sobre as juntas todas quando se vai colocar uma camada relativamente delgada (menos de 25mm).

Pinturas de Ligação

A pintura de ligação é a aplicação de asfalto (usualmente, emulsão) numa superfície pavimentada a fim de assegurar a ligação entre a superfície antiga e o reforço asfáltico. São três os requisitos essenciais de uma pintura de ligação: deve ser muito delgada, deve cobrir toda a superfície da área a pavimentar, e deve poder romper (curar) antes de se aplicar a mistura asfáltica a quente.

Para cumprir estes requisitos, dilui-se na água uma emulsão asfáltica dos tipos SS-1, SS-1h, CSS-1 e CSS-1h com igual quantidade de água. A taxa de aplicação deve ser tal que cerca de 0,25-0,70 l/m² do material diluído cubra a superfície.

As pinturas de ligação tendo excesso de asfalto na superfície, formam, às vezes, um plano de escorregamento. O asfalto em excesso também pode abrir caminho para cima, pela camada sobreposta, com eventual saída de asfalto na superfície. Uma camada de ligação leve não causa prejuízo e liga as superfícies, o que é necessário para uma boa construção.

O trabalho deve ser planejado de modo que não haja mais do que o necessário da pintura de ligação, para um dia de trabalho, na superfície. Todo o tráfego que não seja o da obra deve ser mantido fora da pintura de ligação.

As faces verticais de pavimentos existentes tais como meios-fios e valetas, também devem ser aspergidas ou pintadas com uma película fina de emulsão asfáltica. Este trabalho deve ser de tal modo que as superfícies expostas dos meios-fios e da valeta não se manchem.

Camadas de Nivelamento

Finalidade da Camada de Nivelamento

A colocação de uma camada de nivelamento é uma operação que se executa quando a superfície da estrada é de tal forma irregular que excede a capacidade de nivelamento da pavimentadora. A pavimentadora é eficiente para as irregularidades de comprimentos 1 ½ a 2 vezes a distância entre eixo de rodas. Para comprimentos maiores, um dispositivo de controle do greide é necessário. Em geral, as irregularidades não superiores a 12 a 15 m podem ser tratadas com um dispositivo de fio de referência móvel e controle automático da sapata acabadora da pavimentadora.

O perfil do eixo central existente, determinado em medições e observações preliminares, deve ser visualizado e avaliado. Com base nestas informações deve-se tomar a decisão sobre a execução ou não de camadas de nivelamento de todo e trecho ou de partes dele. Esta decisão é tomada, tendo em vista as condições da superfície existente no caso de reforço e da superfície da primeira camada de concreto asfáltico no caso de novo greide.

Espalhamento com a motoniveladora

Para atender aos altos padrões de lisura de todas as camadas da estrutura do pavimentos exigidos nas rodovias modernas de tráfego de alta velocidade, utilizam-se muitas vezes, motoniveladoras de grande distância entre eixos de rodas de pneus lisos, para espalhar mistura asfáltica a quente em camadas de nivelamento. Quando se espalha a camada de nivelamento com lâmina, a principal vantagem oferecida pela maior distância entre eixos é a eliminação de protuberâncias, bacias (pontos baixos) e irregularidades excessivas no subleito ou no antigo pavimento sobre o qual se está colocando a mistura. Outro benefício conseguido é a superfície de textura rugosa sobre a qual se vai colocar a camada de reforço.

Quando se coloca uma camada de mistura asfáltica a quente com a motoniveladora, deve-se ter um rolo que compacte a mistura logo atrás da motoniveladora. É preferível usar um rolo de rodas pneumáticas conjuntamente com a lâmina neste tipo de operação. A cada passagem da motoniveladora, deve-se seguir imediatamente a do rolo para compactar o material espalhado. Esta operação deve prosseguir até que a lisura superficial final desejada seja alcançada.

Se o operador da motoniveladora manejar os controles apropriadamente, mais material deixará nas depressões e menos nas protuberâncias, e se o rolo, logo atrás, compactar este material resultará um plano firme e liso sobre o qual se colocará a camada seguinte ou as camadas sucessivas.

Ao se colocar a mistura numa camada de nivelamento, é essencial que em cada estaca do serviço, não haja muito material excedente. A motoniveladora não tem condições de conduzir uma quantidade considerável de mistura a grande distância. Sua função principal é espalhar a quantidade necessária lateralmente, movendo-se longitudinalmente apenas o suficiente para aplainar as irregularidades.

Estica-se um fio de barbante comprido acima da superfície de modo a detectar os pontos altos na superfície do pavimento existente. Estes pontos são marcados e projetados transversalmente em estacas ao lado da estrada, usando-se um nível de carpinteiro e régua ou com nível de fio. Depois de colocar um número suficiente de estacas lateralmente estica-se uma linha pelos pontos marcados nas estacas. Deve-se colocar estacas intermediárias para tirar o abaulamento da linha. Então, com uma visada sobre esta linha, apoiada nas estacas, as variações abruptas do perfil podem ser "enxergadas". Quando a linha está satisfatoriamente adaptada ao perfil, pode-se determinar uma constante que dará a espessura de cobertura mínima sobre os pontos altos, deste modo estabelecendo o greide para a camada de nivelamento.

Quando há tempo, o método mais acurado para se determinar a quantidade de mistura necessária por estaca consiste no cálculo pelas anotações de nivelamento.

Cunhas de Nivelamento

As cunhas de nivelamento são remendos de mistura asfáltica usinada para nivelar curvaturas e depressões de pavimentos velhos antes das operações de revestimento. A colocação das cunhas de nivelamento faz parte da execução da camada de nivelamento.

As cunhas de nivelamento devem ser instaladas em duas camadas, se tiverem espessuras de 75 a 150 mm. Cunhas de espessura maior que 150 mm devem ser colocadas em camadas compactadas de não mais do que 75

CORRETO



INCORRETO



Figura 6.18 Camadas das Cunhas de Nivelamento de Inclinações e Depressões

mm. Na colocação de camadas múltiplas, a camada de menor comprimento deve ser colocada primeiro (no fundo da depressão), sucedendo-se uma ou mais camadas que se estendem além e sobre as mais curtas (Figura 6.18). Se colocadas de modo incorreto, haverá a tendência de formar-se uma série de degraus a cada junção pela dificuldade de adelgaçar a mistura asfáltica no início e fim de uma camada. Se desenvolveria, possivelmente, um ressalto que se refletiria na superfície definitiva.

Quando a construção de cunhas em inclinações e depressões exigir camadas múltiplas, o engenheiro deverá dispor das cotas em número suficiente para plotar perfis e seções transversais de modo acurado. Desta plotagem, os greides da correção proposta e os limites lineares das sucessivas camadas devem ser determinados para que se possa decidir sobre os pontos de partida e parada da espalhadora ou da motoniveladora (Figura 6.19).

Em algumas situações, quando não há tempo para o levantamento preliminar, pode-se instalar uma linha esticada, desde que se proceda com cuidado e critério. Prende-se a corda firmemente na superfície e estica-se a olho, calçando-a para evitar abaulamento. Esta linha instalada e calçada pode tornar-se a linha de referência de uma pavimentadora que tenha controles automáticos da sapata acabadora para construir-se as cunhas de nivelamento.

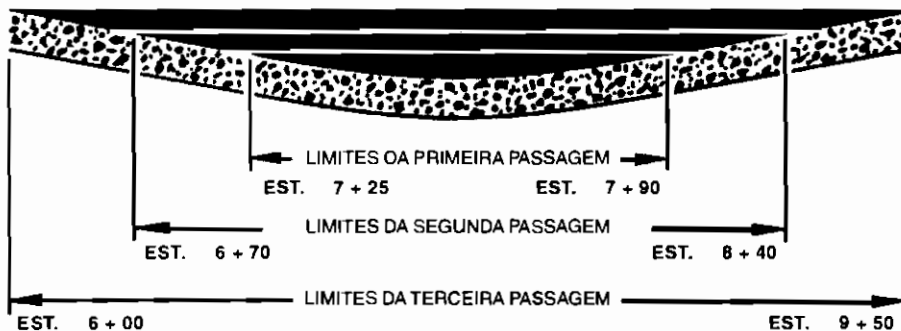


Figura 6.19 Limites de Cunha de Nivelamento de Várias Camadas Estaqueadas para Espalhamento.

6.3. Colocação de Mistura Asfáltica a Quente

Introdução

Relacionamento do Engenheiro com o Empreiteiro

A prática atual indica que o sistema conjunto de controle de construção resulta numa boa relação de trabalho. O engenheiro faz o projeto, prepara as plantas, especificações e orçamento. Os empreiteiros fazem propostas competitivas e supervisionam a construção, sendo o trabalho submetido à inspeção e aceitação pelo engenheiro. O sistema de controle conjunto de supervisão e inspeção faz com que seja essencial a máxima cooperação entre o engenheiro e o empreiteiro nos seus esforços. Cada um deve reconhecer e respeitar a posição do outro. Embora as plantas e especificações devam definir claramente o produto final pedido pelo proprietário, eles não podem ser demasiadamente restritivas em relação aos métodos e equipamento que podem ser usados para conseguir os resultados desejados de modo eficiente.

Planejamento das Operações de Espalhamento (Colocação)

Antes das operações de espalhamento, o engenheiro e seu inspetor (ou fiscal) devem reunir-se com os superintendentes e capatazes do empreiteiro e planejar cuidadosamente a operação toda. Alguns pormenores importantes que se deve discutir são:

1. Continuidade e seqüência das operações;
2. Número de pavimentadoras necessárias para a obra;
3. Número e tipo de rolos compressores necessários;
4. Número de caminhões necessários;
5. Encadeamento de comandos para dar e receber instruções;
6. Razões de uma possível rejeição de mistura;
7. Requisitos de condições atmosféricas e de temperatura; e
8. Controle de tráfego.

Antes do espalhamento com a pavimentadora ter início, deve-se chegar a um acordo sobre certo número de itens. Um deles é a temperatura de colocação da mistura. Em geral, a temperatura da mistura ao ser colocada na estrada deve ser a mínima que permita boa trabalhabilidade e compactação. (Capítulo 7).

A taxa de espalhamento em kg/m^2 , ou a espessura da camada devem ser acertadas entre as partes. A seqüência e os padrões da pavimentação devem ser estabelecidos e entendidos.

É sempre preferível, quando possível, que se opere duas pavimentadoras escalonadamente ou se utilize uma pavimentadora de largura plena. Quando utilizadas duas pavimentadoras, deve-se mantê-las distantes de 15 m uma da outra. O objetivo é manter uma junta quente entre os dois espalhamentos. Outros fatores que afetam a junta são as temperaturas do ar, da mistura, e da superfície sobre a qual se está colocando a mistura.

Antes da Partida da Pavimentação

Antes de iniciar as operações de pavimentação, o técnico deve assegurar que todas as inspeções e preparações necessárias foram feitas. Incluem-se os itens seguintes:

1. A superfície da base ou da pista adequadamente preparada;
2. Plano de execução do serviço;
3. Equilíbrio apropriado entre a produção de mistura, o espalhamento e a rolagem;
4. Equipamento em boas condições e ajustados;
5. Providências para a pesagem da mistura; e
6. Plano de amostragem e ensaios.

Recebimento da Mistura

Bilhetes de Carga

Uma tarefa rotineira do inspetor deve ser a coleta dos bilhetes de carga (Figura 6.20) entregues pelos motoristas dos caminhões no local de entrega. Na instalação de mistura asfáltica a quente os motoristas dos caminhões recebem bilhetes que indicam a quantidade de mistura asfáltica a quente. A coleta destes bilhetes permite, ao inspetor assegurar-se que o material representado pelo bilhete de carga está sendo realmente incorporado à obra. O registro acurado de todos os bilhetes de carga minimiza a possibilidade de que cargas estejam sendo desviadas da obra. Servem, também, para confirmar os registros da usina quanto à tonelage total diária. Deve o inspetor coletar pessoalmente todas as notas de cargas dos motoristas dos caminhões, não permitindo que qualquer outra pessoa o faça, salvo quando se ausentar das operações de pavimentação.

Tendo o conjunto de bilhetes de carga e a taxa de espalhamento desejada em quilogramas por metro linear ou toneladas por estaca pode-se checar o espalhamento médio por carregamento. Esta verificação é de grande importância quando se coloca o concreto asfáltico enleirado antes do espalhamento, em vez de despejá-lo diretamente na pavimentadora.

Somente sabendo qual é a quantidade que se deseja espalhar e fazendo com que a mistura seja colocada nessa quantidade, é que o inspetor estará seguro de que não ficou muito além nem muito aquém das quantidades contratuais.

Inspeção da Mistura

A fim de assegurar um trabalho satisfatório e uniforme deve haver íntima cooperação entre a turma de pavimentação e a usina de asfalto. Deve-se estabelecer um meio de comunicação rápido entre a operação de pavimentação e a da usina de asfalto, de modo a poder ser feita prontamente qualquer modificação na mistura. Quando isto é possível, o inspetor de pavimentação e o da usina de asfalto devem se visitar com frequência. Quando o inspetor de pavimentação está familiarizado com as operações da instalação de mistura, ele poderá determinar facilmente que modificações da mistura são necessárias. Por outro lado, o inspetor da usina, estando familiarizado com a operação de pavimentação, pode entender melhor os problemas a esta relacionados.

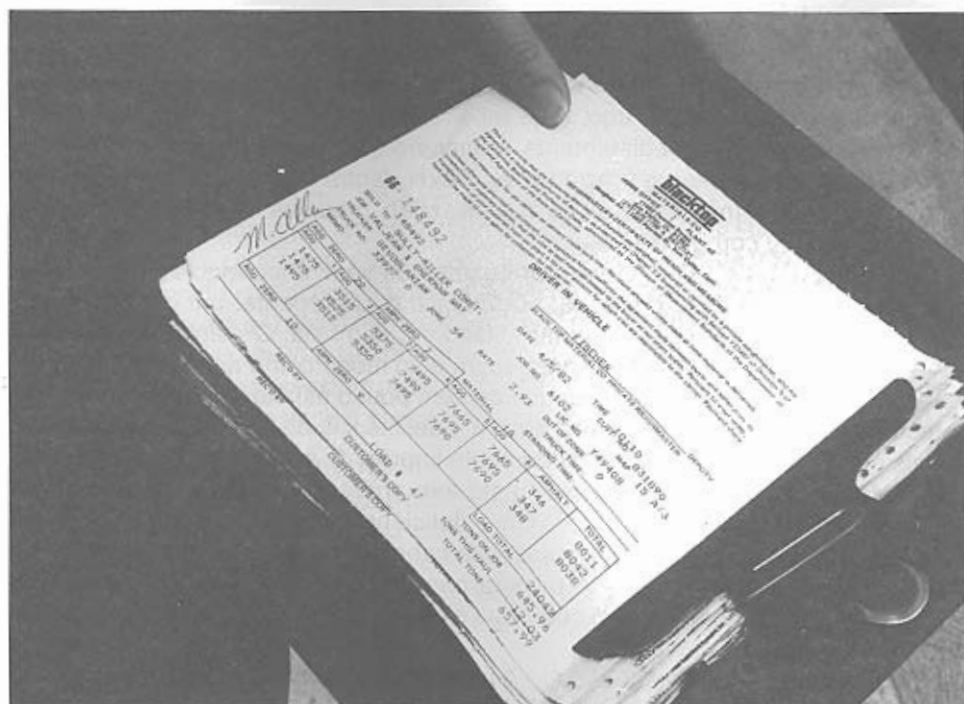


Figura 6.20 Ilustração de Bilhetes de Carga

Cada carregamento de caminhão deve ser observado ao chegar. A temperatura da mistura deve ser verificada regularmente. Se não estiver dentro dos limites tolerados, não se deve usar a mistura.

Podem ocorrer e, de fato, ocorrem, enganos na batelada, mistura e controle de temperatura, sendo por vezes despercebidos pelo inspetor da usina. Em decorrência disto, os carregamentos que chegam ao espalhador podem ser insatisfatórios. Quando o inspetor da pavimentação rejeita um carregamento ele deve registrar este ato, com as razões da rejeição, tanto no bilhete como no seu diário, de modo a se poder fazer a dedução apropriada das quantias pagas. Quando indicado, deve-se obter uma amostra para análise de laboratório. Deve-se registrar, também, os carregamentos aceitos e colocados. Estes registros devem ser checados diariamente, ou mais freqüentemente, com os do inspetor da usina de modo a não existirem discrepâncias quando da conclusão do serviço.

Deficiências da Mistura

Algumas deficiências que podem justificar o descarte da mistura incluem:

1. *Demasiadamente Quentes* – Fumaças azuladas que saem da mistura indicam geralmente uma batelada superaquecida. A temperatura deve ser checada de imediato. Se a batelada não satisfizer o limite superior da especificação, deverá ser descartada. Se for superior à temperatura ótima de colocação, sem exceder o

limite da especificação, não se costuma descartar a batelada, porém medidas imediatas devem ser tomadas para corrigir esta situação.

2. *Demasiadamente Fria* – A aparência geral de rigidez e de recobrimento impróprio das partículas de agregado maiores, indicam uma mistura fria. Neste caso, deve-se checar imediatamente a temperatura. Se for inferior ao limite da especificação, deverá ser descartada. Se estiver dentro dos limites especificados, porém abaixo da temperatura ótima de colocação, medidas imediatas devem ser tomadas a fim de corrigir a situação.

3. *Asfalto a Mais* – Quando os carregamentos vêm chegando ao espalhador com o material formando um domo ou um pico e, de repente, um carregamento aparece achatado, ele poderá conter asfalto em demasia. O asfalto em excesso pode ser detectado sob a sapata acabadora pelo modo como a mistura escorre.

4. *Asfalto a Menos* – A mistura que contém pouco asfalto pode, em geral, ser detectada imediatamente caso seja severa a deficiência de asfalto. Tem aparência de mistura magra, granular, de recobrimento impróprio, e ausência do lustro preto brilhante típico. A superfície do pavimento tem aparência marrom fosco e o rolo não o compacta satisfatoriamente. Uma deficiência menos acentuada é difícil detectar pela aparência; se houver suspeita caberá a verificação por ensaio.

5. *Mistura Não Uniforme* – A mistura não uniforme revela-se em pontos de material magro, marrom, ou sem cobertura e de aparência fosca, no meio de áreas de aparência gorda e brilhante.

6. *Excesso de Agregado Graúdo* – A mistura com excesso de agregado graúdo pode ser detectada pela sua trabalhabilidade má e por sua aparência grossa quando está na estrada. Afora isto, parece ser uma mistura excessivamente rica.

7. *Excesso de Agregado Fino* – A mistura com excesso de agregado fino tem uma textura diferente da mistura bem graduada depois de rolada. Afora isto, lembra uma mistura magra.

8. *Umidade Excessiva* – O vapor que surge da mistura ao ser despejada na tremonha da espalhadora indica a presença de umidade. Pode estar borbulhando ou espocando como se estivesse fervendo. A mistura também pode espumar como se tivesse asfalto demais.

9. *Miscelânea* – A segregação dos agregados na mistura pode ocorrer devido ao manuseio impróprio, podendo ser tão séria que justifique a rejeição. Os carregamentos que se contaminarem pelo derrame de gasolina, querosene, óleo, ou substância parecida, não podem ser usados na pista.

Colocação com a Acabadora

Linha-Guia

Deve-se usar sempre a linha-guia do operador da pavimentadora. Deve ser paralela à linha central da estrada e localizada ao longo da borda ou próximo da junta longitudinal da faixa que se está pavimentando. A não ser que a linha-guia seja um barbante apoiado que servirá à uma pavimentadora dotada de controle automático do greide, não é necessário esticá-la mais fortemente do que o necessário para mantê-la reta.

A linha-guia deve ser marcada ou estaqueada com antecipação de, pelo menos

150 m em relação às operações para evitar atrasos. Nas tangentes em que as estacas de alinhamento são usadas, estas devem ser colocadas a intervalos não superiores a 30 m, Nas curvas, devem ser colocadas a intervalo de 7,5 m ou menos.

Corda Apoiada

Quando se instala uma linha como referência de nível, deve a mesma ser cuidadosamente locada e firmemente esticada. Atuará como linha do greide que o sensor terá como controle da sapata acabadora. A altura da corda pode ser aumentada ou diminuída a fim de acomodar as diferentes condições de nível do terreno.

A corda poderá ser de fio retorcido ou grossa. Deve ser bem esticada e ancorada a iguais distâncias de 90 a 120 m, a menos que as especificações exijam distâncias menores. Quando se revestem novamente estradas e ruas, a corda pode ser esticada entre os pontos mais altos e presas com pregos.

Largura do Espalhamento

A largura do espalhamento é controlada em muitos casos pela posição da junta longitudinal. Quando se coloca mais de uma camada de pavimento na pista, a junta longitudinal deve ser deslocada lateralmente de, pelo menos, 150 mm da junta longitudinal da camada inferior pavimentada (Figura 6.21). A sobreposição de sucessivas camadas evita o trincamento segundo as juntas longitudinais.

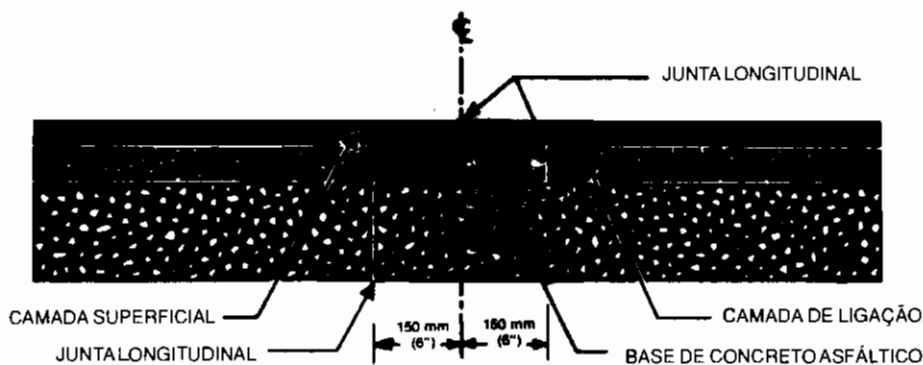


Figura 6.21 Sobreposição de Camadas Sucessivas para Ajudar a Evitar o Trincamento Segundo a Junta Longitudinal

Taxa de Espalhamento

Pode-se determinar o comprimento de pavimento por unidade de peso da mistura de pavimentação, para uma dada largura, espessura e densidade. O inspetor ou o técnico podem checar a distância pavimentada real contra a que foi calculada para determinado carregamento, e decidir se é necessário um ajuste na sapata acabadora. Um modo de determinar o comprimento de espalhamento por unidade de peso é:

Unidades Métricas	Unidades US
$L = \frac{1000}{A W}$	$L = \frac{2000}{A W} \quad (1)$

onde

L = Linear m/t
 A = Área da seção transversal, m²
 (largura x espessura)
 W = Densidade, Compactado, Kg/m³

onde

L = Pé (linear) por t
 A = Área da seção transversal, pé²
 (largura x espessura)
 W = Densidade, Compactado, lb/pé²

Algumas pavimentações se calculam na base de peso por unidade de área. Neste caso, dada uma largura da camada de pavimento, o comprimento por unidade de peso pode ser calculado:

Unidades Métricas	Unidades US
$L = \frac{1000}{r W}$	$L = \frac{18.000}{r W} \quad (2)$

onde

r = Taxa de espalhamento, Kg/m², e
 W = Largura de espalhamento, m

onde

r = Taxa de espalhamento, lb/jd², e
 W = Largura de espalhamento, pé

Pode-se desenvolver fórmulas semelhantes que sirvam melhor para os propósitos de inspetor e do técnico. Existem, tabelas para uso no campo, mas o inspetor e o técnico podem preferir elaborar suas próprias tabelas.

A taxa de espalhamento pode, também, referir-se à velocidade de avanço da pavimentadora. Os melhores resultados se obtêm quando há equilíbrio entre a taxa de produção na usina e a taxa de colocação na pista. A velocidade de avanço necessária para equilibrar a produção na usina obtém-se por:

$$V = \frac{R_p L}{60} \quad (3)$$

onde

V = velocidade de avanço da pavimentadora em m por min;
 R_p = taxa de produção da usina em t/h; e
 L = m linear por t da mistura, pelas Equações 1 ou 2.

Entretanto, a pavimentadora não deve ser operada a uma velocidade superior à que assegura uma mistura adequadamente colocada. Caso a pavimentadora não possa colocar satisfatoriamente a mistura à razão igual à capacidade da usina, esta deverá ter sua taxa de produção reduzida, ou outra medida corretiva tomada.

A Operação de Colocação

Ao se posicionar a pavimentadora na estrada, deve-se baixar a sapata acabadora sobre blocos (calços) de espessura igual à do tapete asfáltico solto que a pavimentadora irá espalhar. Os parafusos de controle da espessura na sapata se ajustam, então, para esta espessura. Uma norma prática para determinar a espessura do tapete solto é multiplicar a espessura compactada que se deseja por 1,25.

Quando se começa do extremo de um tapete previamente colocado, deve-se usar tábuas de espessura igual à diferença entre as camadas solta e compactada. A pavimentadora deve, então, dar início ao espalhamento numa espessura que seja igual à espessura total do material não compactado.

Assim que a pavimentadora espalhar seu primeiro carregamento de mistura asfáltica, deve-se espetar, com frequência o tapete asfáltico para verificar sua espessura. (Figura 6.22). Após 6 a 9 m de operação, deve-se parar a pavimentadora e verificar a nova superfície. A textura da superfície antes da compressão deverá ser uniforme. Se não o for, ajustes na sapata poderão ser necessários. Os ajustes na sapata acabadora, placas de compactação ou vibradores, parafusos de espalhamento alimentados pela tremonha, e outros ajustes, devem ser verificados freqüentemente a fim de assegurar o espalhamento uniforme da mistura no alinhamento o greide apropriados.

Não se pode permitir a segregação dos agregados. Se isto ocorrer, deve-se-á parar a operação de espalhamento imediatamente e não retomá-la até que se apure a causa da segregação e que se faça a correção.

Quando o caminhão estiver despejando sua carga na tremonha, suas rodas deverão manter-se em contato com os roletes da pavimentadora. Se o caminhão estiver enviesado de tal modo que os roletes estejam empurrando apenas uma das rodas duplas, a espalhadora tenderá a enviesar. Neste caso o operador terá que fazer correções constantemente, o que resultará num alinhamento irregular e, conseqüentemente, juntas irregulares e mal compactadas.

A quantidade de material levado à frente da sapata deve ser mantida uniforme em altura. Variações poderão resultar em irregularidades superficiais. É necessário manter uma quantidade suficiente de material na tremonha que possa suprir os parafusos espalhadores com bastante mistura de modo a cobrir, pelo menos, 2/3 da profundidade dos parafusos para além de suas extremidades. As comportas controladas de tremonha devem ser ajustadas de modo que os parafusos alimentadores trabalhem durante 85 por cento do tempo ou mais.

A parte da mistura asfáltica que gruda nas paredes da tremonha deve ser continuamente despreendida e empurrada para a parte ativa da mistura. Quando se tolera que a mistura acumule, verifica-se seu resfriamento rápido, e poderá chegar à pista, eventualmente, uma mistura pouco ativa e quase fria. Isto pode resultar numa superfície de textura superficial não - uniforme e numa área de pavimento susceptível à desagregação.

Operação Automática da Sapata Acabadora

O sensor correndo sobre a linha-guia instalada transmite sinais ao controle da acabadora para que se produza um tapete asfáltico atrás da sapata num greide pré-determinado. A declividade transversal da sapata é, normalmente, ajustada no painel de controle.

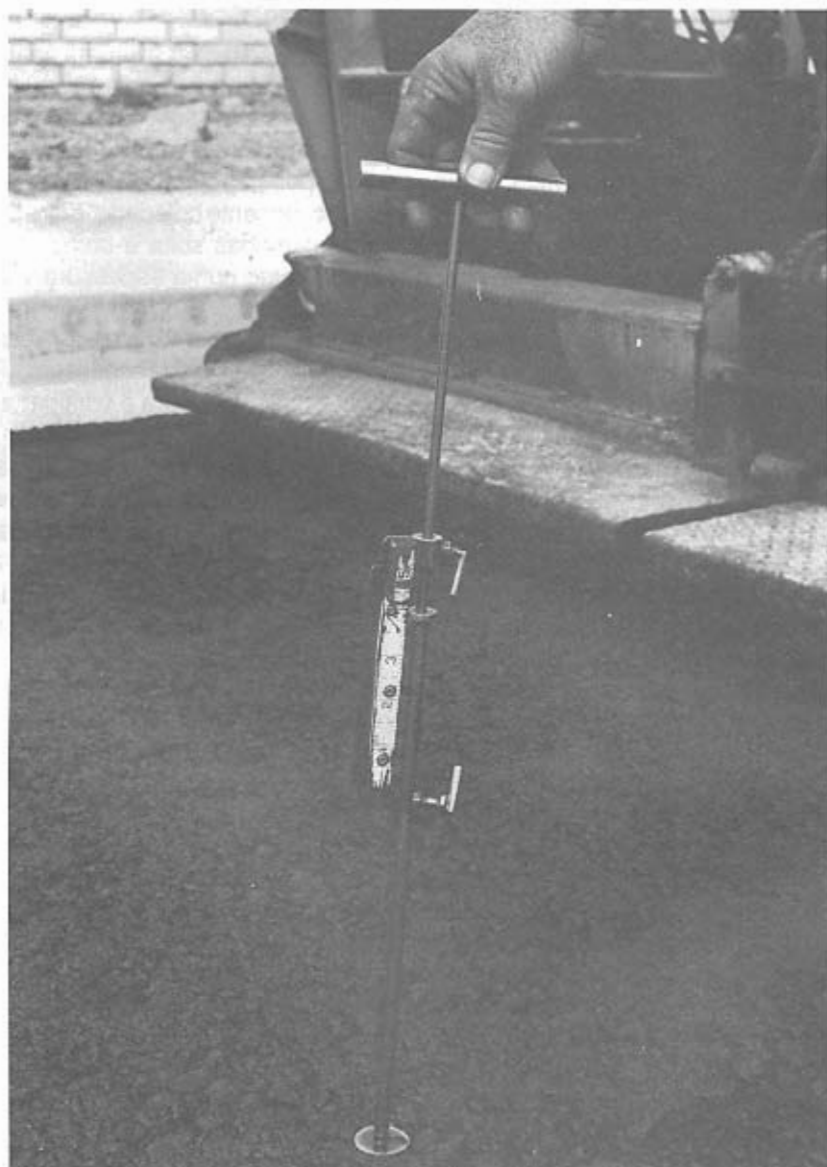


Figura 6.22 Verificação da Espessura do Tapete com Medidor de Espessura.

Quando o sensor ou seguidor do greide está ligado a um esqui curto, esqui comprido, ou outro dispositivo móvel de referência, pode-se ajustar a espessura média suspendendo ou descendo o sensor. A espessura média pode ser verificada ao se determinar o comprimento de espalhamento por unidade de peso, como explicado antes.

Ancinho Manual

A passagem do ancinho só deve ser feita quando absolutamente necessária. A textura superficial é tanto mais uniforme quanto menos se utilizar a mão-de-obra atrás da sapata. Isto é particularmente verídico com as misturas de pedra britada. Se as operações na frente da pavimentadora estão sendo adequadamente realizadas, se o equipamento está em boas condições e adequadamente ajustado, e se a pavimentadora não está colocando a mistura a uma taxa excessivamente alta, pouco ou nenhum trabalho posterior se fará necessário.

Quem trabalha com o ancinho, contudo, deve ficar alerta às bordas tortas do tapete asfáltico de modo a endireitá-las imediatamente. Ele realiza isto, quer removendo e descartando a mistura que está arqueada para fora da linha da borda ou adicionando a mistura da tremonha quando a borda do tapete apresentar reentrâncias. Ele precisará, ocasionalmente, trabalhar ao longo da junta longitudinal. Se o operador da pavimentadora seguir com atenção a linha-guia, o trabalho posterior não será necessário.

Não se deve jogar mistura excedente sobre a superfície do tapete asfáltico, pois isto prejudicará a uniformidade da textura superficial mesmo que, em seguida, se compacte bem.

Juntas de Construção de Pavimentos

Juntas Longitudinais

A primeira faixa colocada deve estar no alinhamento e greide corretos, e a junta ou a borda longitudinal do pavimento deve ter uma face praticamente vertical. É da maior importância que a máquina de pavimentação se mantenha numa linha de percurso predeterminada retilínea. Ao colocar a primeira faixa, deve usar a linha-guia, o meio-fio, ou outra linha de referência para conduzir a pavimentadora no rumo certo. Para obter bons resultados também é importante que os controles de ajustes de espessura na pavimentadora não sejam abusivamente utilizados.

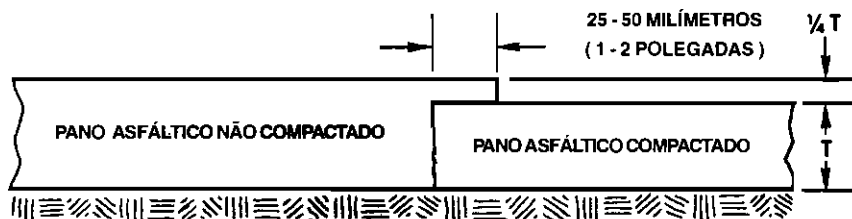
Antes de compactar a faixa, o material ao longo das bordas sem apoio deve ser engrossado e ligeiramente alçado, aplicando-se uma ferramenta socadora ou rodo. Isto fixa a borda e permite que o peso total da roda do rolo se apoie no material nas bordas extremas do tapete.

Quando não se coloca no mesmo dia a faixa vizinha, ou se a junta for distorcida pelo tráfego ou outras causas durante o dia de trabalho, deve-se aparar cuidadosamente a borda, retificando-a; e pintá-la com uma cobertura muito delgada de asfalto emulsionado, antes que a faixa confinante seja colocada.

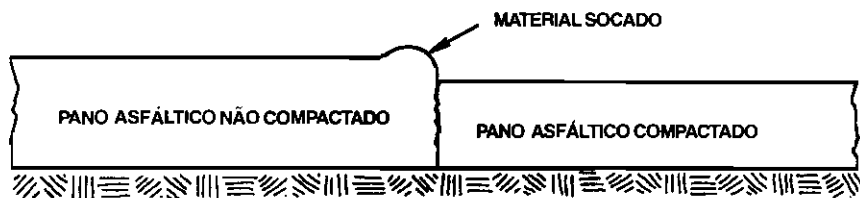
Depois que a primeira faixa tiver sido colocada e comprimida com o rolo, é importante que a faixa vizinha seja colocada de tal modo que se sobreponha à primeira faixa de 25 a 50 mm. (Figura 6.23a). A espessura da parte sobreposta deverá ser de cerca de um quarto da espessura compactada que se deseja. O agregado graúdo do material sobreposto à junta fria deve ser cuidadosamente removido e descartado. Se outra camada vier a ser colocada sobre a que está sendo espalhada, o excesso de agregado graúdo na junta poderá

ser distribuído sobre a faixa não comprimida por meio de uma vassoura ou rodo. Então o material sobreposto é batido ou acumulado de volta à faixa quente, de modo que o rolo possa forçar a pequena parte excedente para o lado quente da junta. (Figura 6.23b). Quando a sobreposição é excessiva, o material excedente deve ser aparado de modo que a aresta saliente do material na junta seja uniforme.

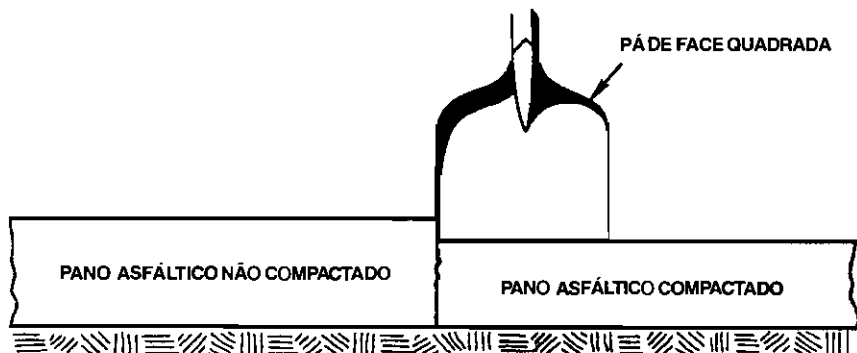
Usa-se, por vezes, uma junta aparada (Figura 6.23c). Esta é construída com a remoção de todo o material recém-colocado que se sobrepos à faixa já rolada. Faz-se melhor quando se apara a junta imediatamente atrás da pavimentadora, com uma pá de face quadrada. Deste modo, o operador pode dizer onde a borda da junta fria está e calibrar sua linha de corte seguindo a borda.



(a) SOBREPOSIÇÃO DA FAIXA ADJACENTE



(b) MATERIAL SOBREPOSTO É ACUMULADO DE VOLTA PRONTO PARA SER COMPACTADO



(c) EXECUÇÃO DE JUNTA APARADA

Figura 6.23 Construção e Preparo de Juntas Longitudinais.

Caso as faixas sejam colocadas simultaneamente por duas pavimentadoras que se deslocam escalonadamente, as espessuras soltas dos dois tapetes devem se emparelhar exatamente, sem sobreposição na junta quente. As juntas de um pavimento recém-colocado, geralmente, são compactadas antes do restante da espessura pavimentada.

Juntas Transversais

As juntas transversais em ambas as camadas, de ligação e de revestimento, devem ser cuidadosamente construídas e intensamente compactadas a fim de proporcionarem uma superfície de rodagem regular. As juntas devem ser passadas à régua ou com fio de barbante a fim de assegurar a lisura e o correto alinhamento.

A formação bem sucedida de uma junta transversal começa no fim de um dia de trabalho de pavimentação. Há dois métodos de construção de junta transversal de face vertical: um anteparo para formar a face vertical ou a serragem do tapete asfáltico (Figura 6.24).

Depois que o último carregamento de mistura asfáltica for colocado na tremonha e o material à volta dos parafusos de espalhamento estiver abaixo do normal, retira-se a pavimentadora, e um anteparo de madeira de mesma espessura que o tapete compactado é inserido num espaço aberto manualmente com uma pá no tapete (Figura 6.24). Então, faz-se a compressão com o rolo. O anteparo e o material de apoio colocado atrás são retirados antes de recolocar a pavimentadora no dia seguinte.

No método da face vertical serrada, a pavimentadora funciona até que o material à volta dos parafusos de espalhamento comece a diminuir abaixo do nível de funcionamento normal. Anota-se a posição da sapata acabadora e retira-se a pavimentadora. Depois que o material for conformado a uma rampa e compactado, o tapete deve ser serrado antes da retomada das operações de pavimentação. A localização da face serrada deve ficar a, pelo menos, 25 mm atrás do ponto de tangência de modo a obter-se de saída uma superfície correta. O material adiante da face serrada é, evidente, removido. A colocação de papel grosso embaixo da seção rampada torna mais fácil a remoção ao se retomar as operações de pavimentação.

Em todos os casos, as juntas transversais devem ser aspergidas ou pintadas com uma cobertura delgada de asfalto antes de se colocar material novo de encontro à junta. A sapata acabadora deve ser bem aquecida antes de começar o espalhamento. Se o novo material for emparelhado ou quase emparelhado com o pavimento antigo, ele acabará ficando muito abaixo quando completada a rolagem. Se isto acontecer, o material novo deverá ser afogado com ancinhos numa espessura de cerca de 13 mm, e o material, na quantidade desejada acrescentada e alisado. Deve-se aplicar o rolo tanto transversal como longitudinalmente. Se o novo material estiver por demais elevado após a passagem do rolo tandem, ele deverá ser afogado com ancinhos, e o excesso retirado e descartado antes de iniciar a operação normal de rolagem.

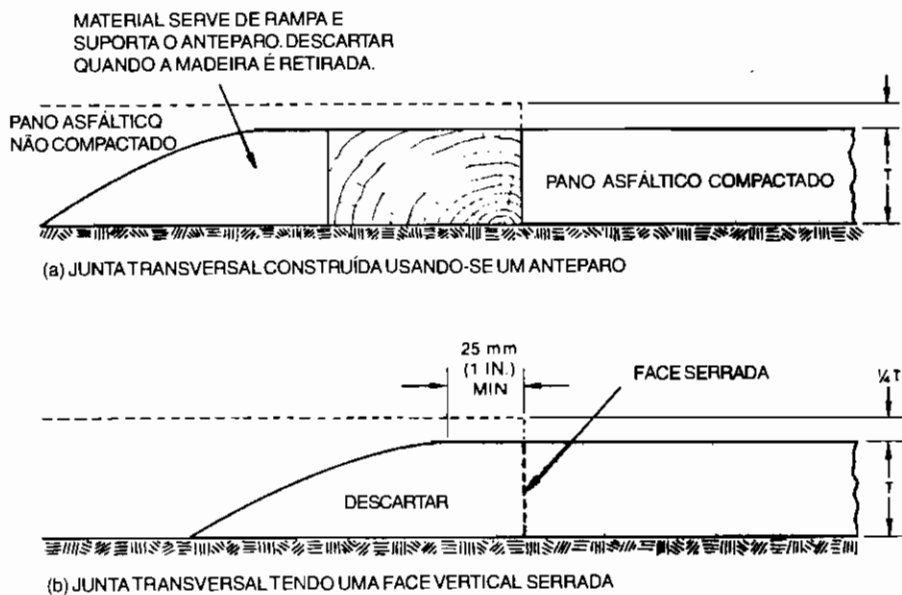


Figura 6.24 Construção e Preparo de Juntas Transversais.

6.4. Pavimentação Suplementar da Pista e Acessórios

Introdução

Operações de Espalhamento Manual

O uso crescente de misturas asfálticas na construção de pistas, resultou num número crescente de obras semelhantes em que se utilizam as misturas asfálticas. Por exemplo, utilizam-se misturas asfálticas na construção de pistas de acesso, áreas de estacionamento, acostamentos, e calçadas. Este tipo de construção suplementar torna-se mais e mais uma parte dos contratos de pavimentação.

Normalmente, os requisitos da mistura para estas obras são os mesmos de misturas das pistas. Entretanto, quando se prevê que a colocação será, quase toda, manual, deve-se dosar as misturas para que apresentem boa trabalhabilidade. Obtem-se isto facilmente diminuindo-se o agregado graúdo na mistura. Os métodos de colocação e compactação manuais são os mesmos da pavimentação com espalhamento mecânico.

Certas diferenças nos métodos de construção são necessários, principalmente quando equipamento especiais como as pavimentadoras de calçadas (Seção 6.1) não são disponíveis. Além do mais, pode acontecer que existam lugares numa obra de pavimentação normal de estrada em que o espalhamento com a pavimentadora seja ou pouco prática ou impossível. Nestes casos pode ser permitido o espalhamento manual.

A colocação e o espalhamento manuais devem ser muito cuidadosos, distribuindo-se o material uniformemente a fim de evitar a segregação do agregado graúdo. Quando a mistura asfáltica é despejada em pilhas, deve-se colocá-lo bem afastada à frente dos padejadores para evitar que tenham que deslocar a pilha toda. Deve-se dar espaço suficiente para que os operários não precisem ficar de pé sobre o material com que estão trabalhando.

O material não deve ser jogado ou espalhado com as pás. Em vez, deve ser depositado das pás em pequenos montes e espalhado com rodos. Qualquer porção da mistura que tenha formado gromos que não desfazem com facilidade devem ser descartadas. Após ter colocado o material, antes de começar a rolagem, deve-se checar a superfície com gabaritos e régua, e todas as irregularidades corrigidas.

Nos dias frios deve-se prestar cuidadosa atenção à temperatura da mistura. Deve-se dar início à rolagem o mais cedo possível para garantir uma boa compactação.

Operações e Acessórios Suplementares

Alguns itens, como o alargamento da pista, os acostamento e as superelevações nas curvas, são considerados operações suplementares de pavimentação. O modo de tratar estas construções vem descrito com a extensão necessária para que se possa realizar um trabalho de qualidade. Em alguns casos, tais como alargamento da pista e a construção de acostamentos, existem equipamentos e acessórios de

características próprias para realizar o trabalho fácil e eficientemente.

Certos acessórios das pistas, tais como meios-fios, banquetas, valetas, vertedouros e taludes, tornam-se, cada vez mais, partes integrantes dos contratos de pavimentação. Para estas obras, podem ser necessários equipamentos de pavimentação especiais e misturas asfálticas especiais.

Alargamento da Pista

Generalidades

Os pavimentos de duas faixas de tráfego devem ter, hoje em dia, de 7,3 a 7,9 m de largura. Muitos milhares de milhas de estradas primárias, pavimentadas nas décadas de 20 e 30 do século XX, têm, hoje, largura e espessura de pavimento insuficientes. As estradas estreitas devem ser alargadas antes de serem reforçadas com camadas sobrepostas. O planejamento hábil pode melhorar grandemente o alinhamento original. Uma técnica é a de situar a maior parte dos alargamentos de um lado ou do outro da pista nas curvas. Além do mais, as curvas fechadas, alargadas do lado de dentro com 9,1 m e com superelevação, muitas vezes corrigem pistas perigosas.

O alargamento pode variar desde cerca de um metro de um lado do pavimento até o acréscimo de faixas de tráfego de largura plena de ambos os lados. Se justificado pelo tráfego, pistas de aceleração e de desaceleração podem ser acrescentadas nas interseções.

Construção

A menos que se possa obter a densidade adequada durante a construção, o alargamento deve ser feito com um ano de antecedência do reforço, a fim de obter uma densificação adicional pela ação do tráfego.

A circulação do tráfego deve ser levada em conta durante toda a construção. Não se deve permitir o trabalho de ambos os lados do pavimento ao mesmo tempo, nem comprimentos excessivamente grandes de trincheiras abertas. Deve-se permitir somente o suficiente de trincheiras abertas para uma eficiente operação.

Os pavimentos asfálticos e de cimento portland são alargados utilizando-se, essencialmente, os mesmos procedimentos. Ambos requerem escavações na largura e profundidade adequadas. Os cortes são geralmente feitos com gabaritos ou brocas presos a uma motoniveladora ou outra máquina de modo que as paredes e a base sejam bem-feitas e corretas quanto ao alinhamento e greide. O subleito da escavação é compactado na densidade exigida ou, pelo menos, rolada até que o fundo esteja firme e sem material solto. As bordas do pavimento são limpas de toda terra ou material estranho.

A borda do pavimento existente é pintada ou aspergida com ampla quantidade de emulsão asfáltica. É desta parte que as trincas provavelmente se refletem acima na superfície acabada do reforço, e é também onde se verifica quase todo o escoamento superficial. A base asfáltica é colocada em camadas e compactada na densidade exigida (Figura 6.25). Compactadores especiais de trincheiras são usados na rolagem das áreas escavadas (Figura 6.26). Os rolos lisos vibratórios também servem para este tipo de construção.

Acostamentos

Generalidades

O acostamento de pavimentação asfáltica constitui um fator de segurança muito importante. Também proporciona forte suporte lateral e acentua a resistência da estrutura do pavimento. Os acostamento de pavimentação asfáltica também evitam que haja percolação de água debaixo das pistas de tráfego.

Tem-se na Figura 6.27 um desenho sugerido de seção de acostamento.



Figura 6.25 Base de Concreto Asfáltico Aplicado com Acabadora Especial Para Alargamento de Rodovias

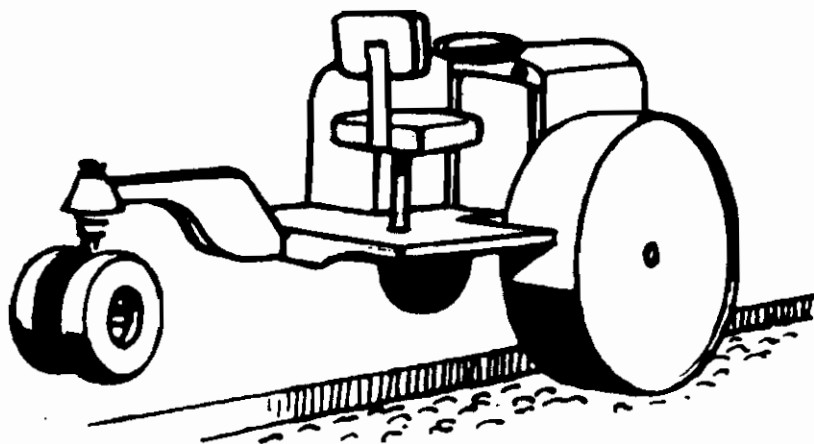


Figura 6.26 Compactador de Trincheira.

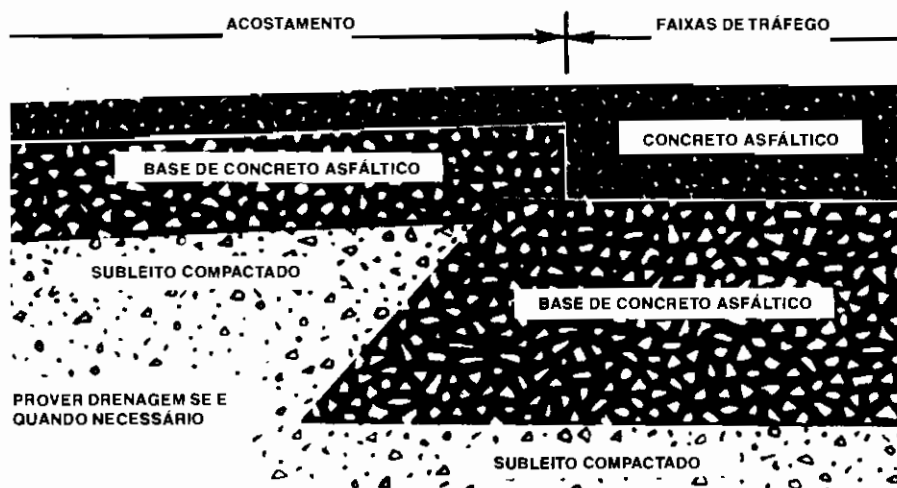


Figura 6.27 Seção Transversal de Acostamento Sugerido; Pavimento Asfáltico de Espessura Plena.

Já houve tempo em que se acreditava que os acostamentos deveriam ser constituídos de material de textura diferente do pavimento propriamente dito, a fim de evitar que fosse usado como uma faixa de tráfego adicional. Entretanto, a experiência tem mostrado ser preferível estender o mesmo material do revestimento ao acostamento. Uma faixa branca contínua que se pinta ao longo da borda do pavimento oferece demarcação suficiente do acostamento.

Após alguns meses de intemperização sob diferentes intensidades de tráfego, ocorre uma diferença de cor que é muito eficaz para assegurar o uso conveniente do tráfego. Se o alerta sonoro for preciso, pode-se aplicar um tratamento superficial na área de acostamento. Se maior contraste for necessário, isto pode ser conseguido facilmente por um tratamento superficial no acostamento, em que se utilize agregado colorido.

Se for esperado que tráfego pesado use o acostamento, deve-se dimensioná-lo com espessuras adequadas para evitar defeitos prematuros.

Construção

A construção de acostamentos não se limita apenas ao concreto asfáltico. O acostamento é, às vezes, útil como faixa estreita para acomodar tráfego leve ou limitado adjacente às faixas mais pesadamente trafegadas. Os procedimentos de construção, portanto, são semelhantes aos procedimentos usuais de construção da pista.

Sempre que a pavimentação do acostamento for parte da construção e pavimentação iniciais da pista de rolamento, deve-se observar as mesmas precauções e procedimentos da pavimentação das pistas de tráfego. É importante lembrar que ao colocar uma mistura superficial adjacente a toda área superficial acabada, deve a mistura solta ter espessura suficiente para que uma vez compactada a superfície final esteja no greide desejado.

Quando se acrescentam acostamentos a uma pista pavimentada existente, deve-se observar os mesmos procedimentos e precauções estabelecidos para o alargamento de pavimentos. É importante que o novo acostamento ajude ao invés de retardar o escoamento superficial da água. E mais, a face vertical do pavimento existente deve receber uma pintura asfáltica de ligação para evitar que haja trincamento nas superficiais em contato o que contribuiria para a entrada de água indo para baixo do pavimento.

Superelevação

Generalidades

A pavimentação de trechos curvos com superelevação em novas construções não costuma apresentar dificuldades para a turma de pavimentação. O material de fundação também é construído com superelevação. Há um trecho da pista em que a declividade transversal da superfície do pavimento na parte retilínea (tangente) passa por uma transição até a declividade da superelevação.

Muitas estradas antigas existentes que precisam de alargamento e novo revestimento não têm a superelevação adequada nos trechos em curva. A fim de acomodar com segurança o tráfego mais rápido, torna-se necessário construir curvas com superelevação de concreto asfáltico.

Método de Construção Inicial

Nas novas construções, em que o pavimento é colocado diretamente no subleito preparado, a fundação é rampada de modo que o pavimento tenha uma espessura uniforme na tangente. A operação manual dos controles da sapata acabadora não deve apresentar problemas dignos de nota. À medida que a pavimentadora segue na transição para o trecho em superelevação, a sapata acabadora inclina-se em conformidade, de modo que pouco ou nenhum ajuste se faz necessário nos controles da sapata acabadora.

A declividade transversal das pavimentadoras que têm controle automático da sapata acabadora, é mantida por um pêndulo e um ajuste de mostrador para a

declividade desejada. Os sensores que deslizam sobre fios instalados ou móveis mantêm o controle do greide na ponta da sapata mais próxima do sensor. A profundidade na outra ponta depende do controle ou ajuste no mostrador da declividade transversal. Quando a pavimentadora alcança o ponto em que a declividade começa a crescer (ou decrescer) indo para (ou vindo de) a declividade da superelevação, a variação da declividade é lentamente acionada no mostrador enquanto a pavimentadora prossegue no trecho de transição. Pode-se usar como guias as estacas ao longo de transição, tendo nelas marcadas as declividades requeridas nesses pontos. A mudança de declividade é gradual e pequenos erros no dial não afetam a qualidade de rodagem do pavimento.

Construção da Superelevação

Para se formar a superelevação nas curvas usando-se mistura asfáltica, constroem-se cunhas em estratos que se adelçam desde 50 mm de espessura na borda externa até 25 mm na borda interna. Os estratos sucessivos também aumentam de largura. Por exemplo, a Figura 6.28 mostra uma estratificação alçada de 150 mm constituída de três fatias sucessivas de 2,4; 3,0 e 3,7 m de largura para faixa de 3,0 m. Isto não aumenta a superelevação na faixa interna. A superelevação de curvas pode ser realizada com pavimentadoras ou com motoniveladoras.

Meios-Fios e Banquetas de Asfalto

Generalidades

Os meios-fios de asfalto são acessórios de pavimentação de novas estradas e ruas. Em rodovias de pistas separadas com pedágio e rodovias interestaduais, constroem-se, freqüentemente, banquetas (meios-fios) de mistura asfáltica na borda externa do acostamento pavimentado nos greide elevados a fim de evitar erosões.

Os meios-fios e as banquetas asfálticas são construídos com máquinas automáticas próprias (Figura 6.29). Estas máquinas colocam, compactam e dão acabamento a meios-fios retos e curvos de ruas, ilhas de tráfego, banquetas, canteiros centrais altos e áreas de estacionamento. Não é necessário usar fôrmas. Os vários tipos de moldes intercambiáveis oferecem uma ampla escolha de formas de meios-fios.

A mistura asfáltica a quente é colocada na tremonha aberta da máquina de moldar meios-fios. Uma engrenagem motorizada de parafuso sem fim, ou helicoidal, empurra a mistura para fora na direção da fôrma de modelar, sob pressão. Esta pressão permite a compactação e também faz com que a máquina se desloque para a frente cerca de 1,22 a 2,3 m/min.

Requisitos das Misturas

A mistura bem graduada de concreto asfáltico de camada superficial é, basicamente, muito parecida com a do tipo requerido nos meio-fios asfálticos. As misturas de meios-fios diferem quanto a serem fatores muito importantes a quantidade e o grau do cimento asfáltico na obtenção de misturas satisfatórias para meios-fios e banquetas.

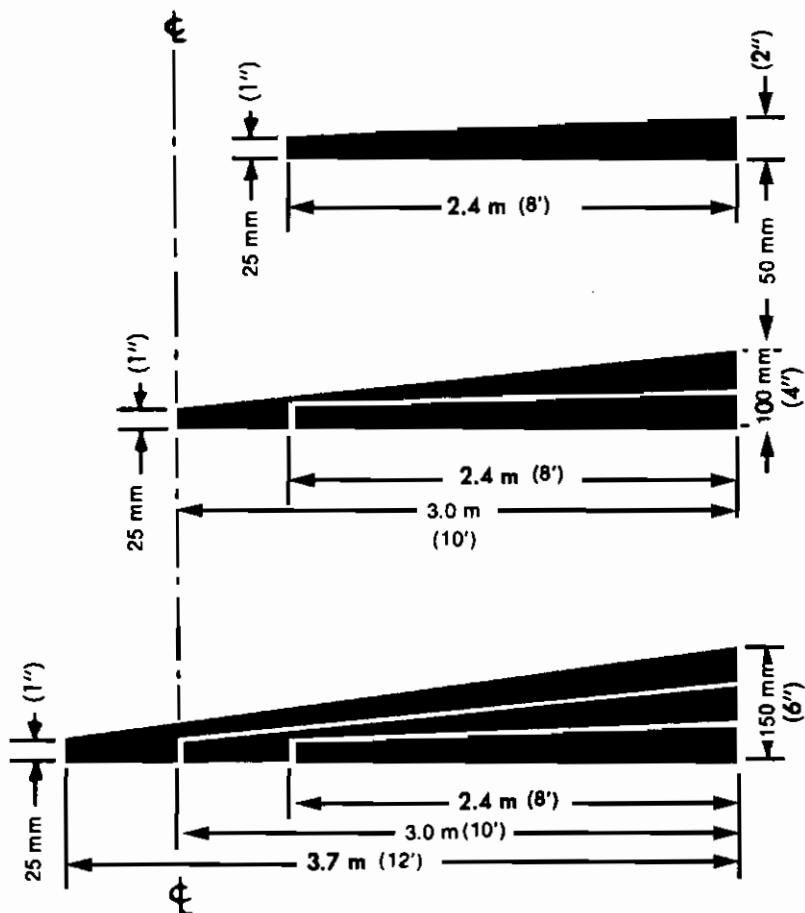


Figura 6.28 Construção de Curvas Superelevadas com Misturas Asfálticas

A quantidade de asfalto, independentemente do grau usado, deve ser de 0,5 a 1,0 percento maior do que a usada, normalmente, em misturas de pavimentação asfáltica de mesma graduação de agregados. Este valor adicional de asfalto aumenta a durabilidade e facilita a compactação.

As misturas de meios-fios e banquetas têm, usualmente, melhor desempenho com CAP-20 (AR-8000 ou de penetração 60-70 dmm) ou cimentos asfálticos de graus mais duros do que com os asfaltos mais moles. Portanto, quando se usa um asfalto mais mole, a solução prática para pequenas quantidades de mistura de meio-fio é o acréscimo de um pouco de filer extra à mistura.

(Figura 6.28)

É essencial que o material de sustentação seja colocado atrás do meio-fio de asfalto quando os pneus dos veículos possam parar junto ao meio-fio. Sem esta providência, os pneus causam reentrâncias excessivas ou deslocamentos nos meios-fios.

Construção

É de prática corrente colocar fios-guias ou marcas de giz na fundação, quase sempre, o pavimento existente. A borda externa do meio-fio ou banqueta deve estar a, pelo menos, 50 mm da borda externa do pavimento em que está colocado. Aplica-se uma cobertura fina de emulsão asfáltica ou asfalto diluído de cura rápida à superfície do pavimento a fim de assegurar que a mistura do meio-fio fique colada ao pavimento.

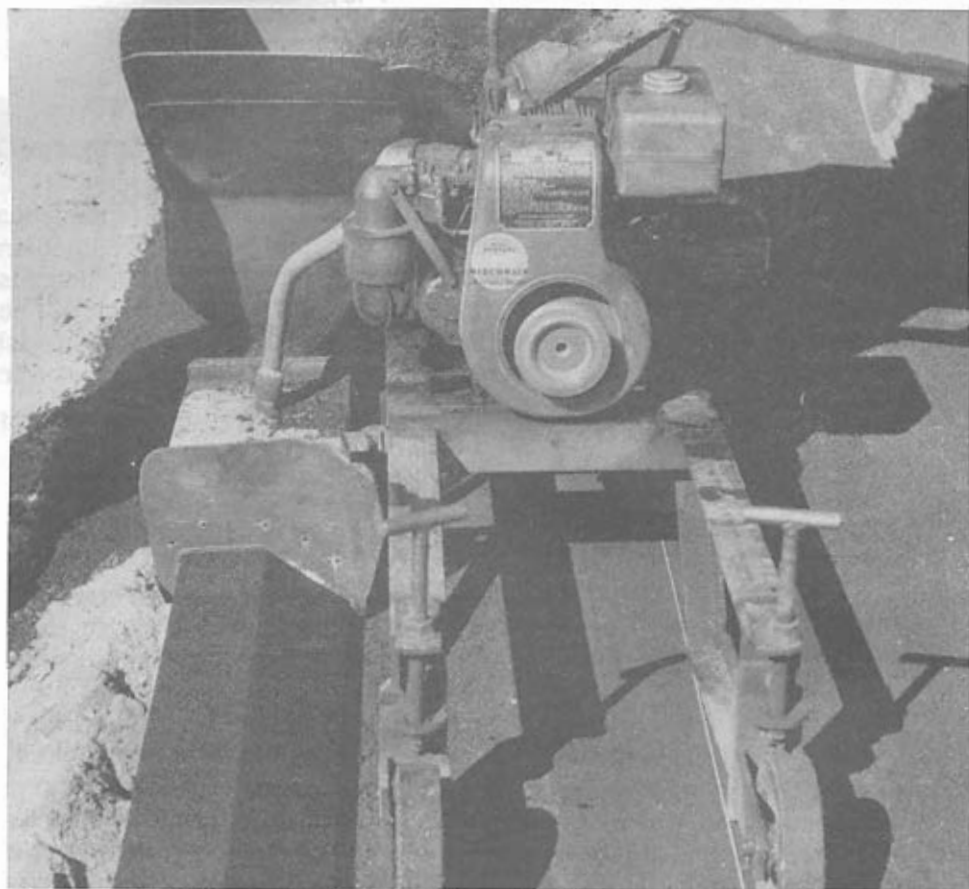


Figura 6.29 Máquinas de Meios-Fios. Padrões Intercambiáveis de Moldes Oferecem Grande Variedade de Formas de meios-Fios.

A temperatura da mistura no momento da colocação é muito importante. Se a temperatura da mistura for muito baixa, não é possível obter uma compactação adequada. Se a temperatura da mistura for muito alta, o meio-fio pode desfazer-se. Normalmente, a gama satisfatória está entre 120 a 140°C.

Quando a execução for feita com uma máquina, não é necessário, usualmente, compactação adicional. Porém, nas áreas em que é evidente que a compactação é inadequada, deve-se ajustar a mistura, o movimento para a frente da máquina retardado por frenagem, ou outras medidas tomadas para a adequada compactação.



Máquina de Meios - Fio

Valetas e Vertedouros de Asfalto

Generalidades

As valetas, diferentemente das calhas, ocorrem paralelamente à rodovia rural ao pé do aterro externo ou entre pavimentos de rodovias de pistas separadas tendo um canteiro central fundo. Podem ser tão largas e de suaves declividade que o plantio de grama baste. Em terrenos acidentados, contudo, muitos locais exigem que as valetas sejam revestidas a fim de evitar erosões danosas. Nas seções em corte, é muitas vezes conveniente construir valetas nos topos dos taludes e à volta dos extremo, a fim de evitar erosão dos taludes e escorregamentos grandes. Os vertedouros descendo pelos aterros que dão vazão à água coletada dos meios-fios e banquetas, podem estar sujeitos a elevadas velocidades da água. Em todos os casos tais canais devem ser suficientes para que o maior escoamento superficial previsto seja atendido sem transtornos.

Em alguns casos, valetas de descarga de grandes dimensões são necessárias para desviar a água escoada superficialmente para fora da faixa de domínio da estrada. O tipo de revestimento usado vai depender do gradiente e do tipo de solo. Em áreas de solos muito erosivos é importante que se faça um projeto cuidadoso.

Requisitos da Mistura

O concreto asfáltico constitui um excelente material de revestimento de valetas e vertedouros. As misturas de revestimentos rodoviários, precisam, apenas, em geral, de modificação como o aumento do asfalto e do filer mineral, de modo a assegurar a impermeabilidade e a durabilidade. A diminuição resultante da estabilidade não é importante, mas, na verdade, favorece a capacidade do revestimento de ajustar-se a pequenos recalques sem trincar.

A utilização de revestimentos permeáveis, mas resistentes à erosão, nas valetas é, às vezes, recomendável. A permeabilidade de tal revestimento permite à água escapar detrás do revestimento, evitando qualquer dano proveniente da pressão hidrostática que cause danos a áreas adjacentes. Proporciona-se uma superfície rija, estável, resistente à erosão que é permeável devido à gradação do agregado usado.

Construção

Limpa-se o subleito completamente de todo material orgânico e solto. Se as condições forem favoráveis para o crescimento de ervas daninhas e outras plantas no subleito, torna-se necessário dar um tratamento esterilizador ao solo antes de colocar o revestimento asfáltico.

Compacta-se o solo suficientemente para torná-lo estável, especialmente nos taludes de solo. Também se faz sua raspagem para torná-lo liso e uniforme. Os revestimentos são feitos tão espessos quanto necessário para o uso e as tensões envolvidas, porém a experiência indica que a espessura mínima especificada de concreto asfáltico quando acabado deve ser de 40 mm. Existem máquinas de pavimentação de fôrma deslizante para a colocação de parte, pelo menos, do revestimento de valetas. Pode-se usar caixas de espalhamento, máquinas pavimentadoras e até procedimentos de colocação manual.

A compactação das misturas asfálticas nas valetas e vertedouros faz-se com compactadores manuais, fôrmas deslizantes sobre carregadas, compactadores vibratórios do tipo de pequenas sapatas e rolos pequenos controlados por cabos.

Taludes e Revestimentos de Asfalto

Generalidades

A pavimentação de taludes pode ser realizada tanto em cortes como em aterros. O pavimento é colocado na face de um talude de corte, até alguma distância acima da valeta para evitar socavados e, em consequência, deslizamentos. Este pavimento é uma extensão do lado externo da própria valeta, embora possa ter uma espessura diferente. É essencial, além da composição densa e do alto teor de asfalto, uma firme ancoragem para evitar a intrusão da água.

Pavimentam-se os taludes de aterros para evitar a erosão. Um tipo de pavimentação é o usado sob os extremos de pontes do tipo aberto. Outro tipo é a pavimentação de taludes de diques. A mistura asfáltica do tipo aberto para este tipo de pavimentação proporciona controle de erosão e permite que a umidade do aterro escape.

Os revestimentos são taludes de aterros pavimentados junto a água em movimento. Na maioria dos casos tais pavimentos são usados para prevenir a erosão e a socavação. Nos curvos de água torrenciais, ou nas adjacências de lagos e oceanos em que existe a ação de ondas, pode ser necessária ancoragem significativa do revestimento. Normalmente, é necessário que as misturas asfálticas sejam densamente graduadas com teores de asfalto relativamente elevados.

Requisito das Misturas

O concreto asfáltico tal como o descrito para a pavimentação de valetas é normalmente recomendado. Aqui, também, a estabilidade da mistura não é a consideração importante, mas, sim, a durabilidade e a impermeabilidade. O emprego de teores de asfalto mais elevados e graus como o CAP-20 ou penetração 60-70 dmm é recomendado.

As misturas asfálticas de graduação aberta permitem o alívio da pressão hidrostática do aterro. Assim mesmo, recomenda-se um teor de asfalto relativamente elevado.

Construção

Os procedimentos de construção para serviços pequenos podem consistir em métodos de espalhamento manual do material colocado por pavimentadora rebocada, alçada ou descida no talude por meio de cabos. São utilizadas, às vezes, máquinas especiais de fôrmas deslizantes para este trabalho.

A rolagem da mistura asfáltica, na maioria dos casos, exigirá rolos de roda lisa de aço ou vibratórios, alçados e descida no talude com cabos para que se possa obter compactação adequada.

Capítulo 7

Compactação de Mistura Asfáltica a Quente

A compactação é o processo de compressão da mistura asfáltica a quente num volume menor de massa mais densa. Faz-se pela acomodação das partículas revestidas de asfalto e acréscimo da densidade (razão da massa – ou “peso” – por volume) da mistura. A compactação é considerada bem sucedida quando o tapete asfáltico atinge os valores ótimo de teor de vazios e de densidade.

A compactação é o estágio final da construção com mistura asfáltica a quente. É o estágio em que a resistência plena da mistura é desenvolvida e que a lisura e textura do tapete são atingidos. Por isto que, durante o processo de compactação as pessoas envolvidas devem ser particularmente perspicazes e competentes.

Este capítulo discutirá os princípios do processo de compactação e o equipamento padronizado de compactação ou de rolagem que se utiliza. Discutem-se também, várias propriedades, textura, graduação e densidade, que devem ser obtidas no pavimento compactado ao final.

SEÇÃO 7.1 Noções de Compactação

- A Necessidade da Compactação
- Princípios Fundamentais
- Fatores que afetam a Compactação

SEÇÃO 7.2 Equipamento de Compactação

SEÇÃO 7.3 Procedimentos de Rolagem

- Introdução
- Juntas Transversais
- Juntas Longitudinais
- Rolagem de Acomodamento
- Rolagem Intermediária
- Rolagem Final

SEÇÃO 7.4 Verificação do Pavimento Acabado

- Textura Superficial
- Tolerância Superficial
- Densidade do Pavimento
- Procedimentos Adicionais

BIBLIOGRAFIA

1. *Compactação Vibratória de Misturas Asfálticas* ("Vibratory Compaction of Asphalt Paving Mixtures"), ES-2, Asphalt Institute.
2. *Fatores Influentes na Compactação* ("Factors Affecting Compaction"), ES-9, Asphalt Institute.
3. *Manual de Pavimentação Asfáltica* ("Asphalt Paving Manual"), MS-8, Asphalt Institute.
4. *Princípios de Construção de Pavimentos Asfálticos de Misturas a Quente* ("Principles of Construction of Hot-Mix Asphalt Pavements"), MS-22, Asphalt Institute.

AUDIOVISUAIS

1. *Rolagem e Compactação de Pavimentos Asfálticos* ("Rolling and Compaction of Asphalt Pavements"), (VA-21), exposição de diapositivos (40 min), Asphalt Institute.

7.1. Noções de Compactação

A Necessidade da Compactação

Durante a compactação da mistura asfáltica a quente, três fatores muito importantes que repercutem no desempenho do pavimento se manifestam. As partículas de agregado recobertas de asfalto são pressionadas umas contra as outras, os vazios com ar diminuem e a densidade da mistura ("peso" por unidade de volume) aumenta.

1. Esta compressão de partícula contra partícula do agregado aumenta a área superficial comum e o atrito entre as partículas, o que resulta em maior estabilidade da mistura e da resistência do pavimento.

2. A redução dos vazios de ar ao nível ótimo na mistura torna o pavimento quase impermeável. Numa mistura mal compactada os vazios tendem a se intercomunicarem, o que permite a intrusão de ar e água na estrutura do pavimento. O ar oxida o ligante asfáltico, tornando-o quebradiço e fazendo com que a mistura fissure sob repetidas deflexões causadas pelas cargas do tráfego. A água que penetra e permeia o pavimento pode causar o descolamento do asfalto do agregado, enfraquecendo a base e os solos do subleito sob o pavimento, ou danos pelo gelo-degelo nos climas frios. Pode ocorrer o defeito prematuro do pavimento em quaisquer destas situações.

3. Por fim, se não se atingir um alto nível de compactação (concomitantemente com os itens 1 e 2 acima) durante a construção, o tráfego subsequente irá densificar a mistura. Isto se dará principalmente nas trilhas de roda e os afundamentos nas mesmas poderão prejudicar a segurança da circulação dos veículos na estrada.

Princípios Fundamentais

O objetivo da compactação do pavimento de concreto asfáltico é conseguir o teor ótimo de vazios de ar e prover uma superfície de rolamento suave. Atrás da pavimentadora o revestimento tem de 15 a 20% de vazios de ar. É tarefa dos rolos a redução do teor de vazios a 8% ou menos nas misturas densamente graduadas. Neste nível, os vazios não estão, usualmente, interconectados e se evitam os efeitos prejudiciais do ar e da água (fundamentalmente, desagregação e descolamento). Deve-se ter cautela, contudo, para não compactar o pavimento até um nível muito baixo de vazios de ar (menos de 2%). Este nível mínimo de vazios é necessário para permitir a expansão térmica, sem causar exsudação e instabilidade da mistura. A Figura 7.1 é uma representação gráfica do efeito dos vazios de ar na durabilidade do pavimento.

Mesmo para as misturas adequadamente dosadas a compactação do tapete asfáltico só é possível sob duas condições: temperatura da mistura e confinamento da mistura corretos. À temperatura entre 85°C e 150°C o asfalto é suficientemente fluido para que possa atuar como lubrificante no processo de compactação facilitando o movimento dos agregados das misturas para uma configuração densa. À medida que esfria abaixo desta gama de temperaturas, o asfalto torna-se muito rijo e é

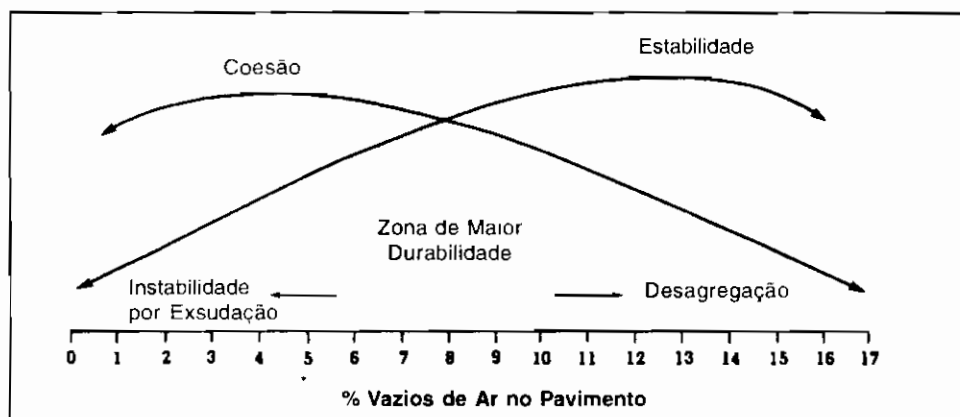


Figura 7.1 Durabilidade do Pavimento vs. Vazios de Ar

extremamente difícil a densificação adicional da mistura. Portanto, a compactação deve ser completada antes que a mistura esfrie até 85°C . A temperatura inicial da mistura, temperatura do ar, vento, umidade, espessura do tapete e temperatura da superfície que se está pavimentando influem na taxa de resfriamento e, portanto, no tempo disponível para a compactação. A Figura 7.2 apresenta curvas típicas de taxa de esfriamento para várias temperaturas da mistura.

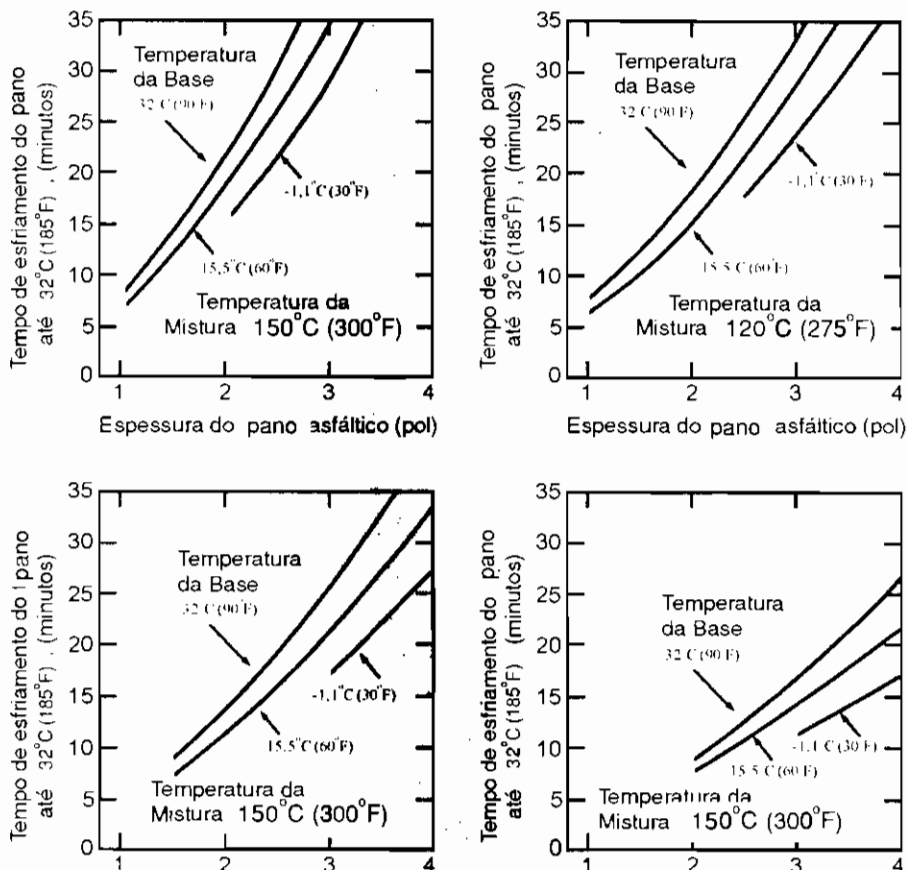
Mesmo estando o tapete asfáltico à temperatura correta, só se alcança a densidade quando a mistura que se está compactando é convenientemente confinada. Este confinamento compões-se de três forças: a força de compressão do rolo, as forças internas da mistura que resistem ao rolo e as forças de suporte provenientes da superfície estável sob o tapete asfáltico. A força de compressão dos rolos resulta tanto de seus pesos como da energia dinâmica proveniente da vibração. As forças resistentes da mistura resultam do efeito combinado do atrito intergranular dos agregados e da viscosidade do asfalto. A força de suporte do subleito resulta de sua estabilidade e firmeza. Quando a densidade e a temperatura da mistura alcançam um ponto em que as forças de resistência se igualam à força de compressão dos rolos e às forças de resistência do subleito, atinge-se o equilíbrio e se completa o processo de compactação. A Figura 7.3 ilustra este conceito.

Fatores que Afetam a Compactação

Os fatores que afetam a compactação podem ser situados em três classes: propriedades da mistura, condições ambientais e espessura da camada (ou "lift").

Propriedades da Mistura

As propriedades de vários asfaltos e agregados têm um efeito acentuado na trabalhabilidade das misturas a diferentes temperaturas. Estas propriedades e a temperatura da mistura no momento da compactação, devem ser levadas em conta quando se vai decidir sobre o procedimento de compactação.



Velocidade do vento – 10 nós (18,5 km/h). Temperatura atmosférica – a mesma da base.

Nota: "Temperatura da base" é a temperatura da superfície sobre a qual o tapete asfáltico é colocado. 185°F (85°C) é a temperatura do tapete medido a ¼ a ½ pol (6 a 12 mm) abaixo da superfície do tapete asfáltico. A temperatura média de toda a espessura do tapete quando esta temperatura é atingida é de, aproximadamente, 175°F (80°C).

Sobre um subleito (temperatura da base) a 30°F (-1,1°C), a colocação de espessuras menores do que as mostradas nas figuras não é recomendável.

(Conversão: 1 pol = 25 mm, °F = 1,8 (°C) + 32)

Figura 7.2 Tempo Permissível para a Compactação Baseado na Temperatura do Tapete e Temperatura da Base Subjacente

(a) Agregado

Agradação, textura superficial e angulosidade são as características primárias dos agregados que afetam a trabalhabilidade da mistura. Quanto maior o tamanho máximo de agregado e a porcentagem de agregado graúdo na mistura, tanto menor a trabalhabilidade, sendo necessário esforço de compactação crescente para atingir a densidade que se visa. Semelhantemente, a textura superficial rugosa, e não a superfície lisa de agregado vítreo, resulta numa mistura mais estável que requer maior esforço de compactação. As misturas produzidas com

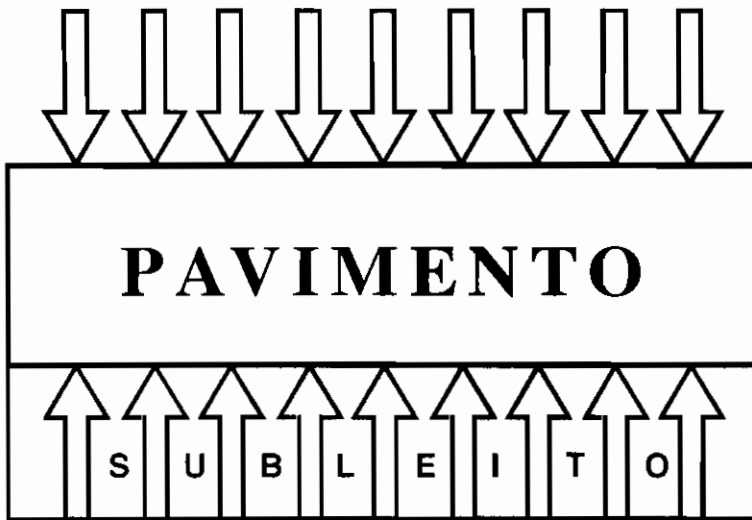


Figura 7.3 Forças em Jogo Durante Compactação

cascalho, que são, freqüentemente, mais arredondados do que as de rocha de pedra, são mais trabalháveis e mais facilmente compactáveis.

Areias naturais são muitas vezes acrescentadas à mistura no interesse da economia e da melhoria da trabalhabilidade. O excesso de areia, principalmente nos tamanhos médios – em torno da peneira de malha de 0,60 mm (nº 30) - resultará em misturas macias (misturas de elevada trabalhabilidade, mas baixa estabilidade). As misturas macias são muito sujeitas ao sobrecarregamento por rolos pesado e rolagem excessiva. Estão sujeitas, muitas vezes, ao arrancamento e deslocamento pelo tráfego após várias semanas de colocadas.

Os finos ou o teor de fíler da mistura também afetam o processo de compactação. É a combinação de fíler e asfalto que fornece a força de ligação nos pavimentos de misturas asfálticas a quente; portanto, a mistura deve conter finos em quantidade suficiente para combinar com o asfalto e produzir a necessária coesão quando a mistura esfria. A adição de fíler mineral ajudará a contrabalançar a maciez ou as propriedades de consolidação demorada das misturas que contêm areia em excesso. Ao contrário, se a mistura contiver finos em excesso, tornar-se-á “gomosa” e muito difícil de compactar.

(b) Asfalto

O asfalto é praticamente sólido à temperatura ambiente, enquanto que é fluido de 121° a 149°C. Conforme se mencionou antes, para que se compacte adequadamente uma mistura, deve o asfalto estar suficientemente fluido para permitir que as partículas de agregado movam-se umas sobre as outras. Na realidade, então, o asfalto atua como lubrificante durante a compactação. Quando a mistura esfria, o asfalto perde a fluidez (torna-se mais viscoso). Em temperaturas inferiores a 85°C, o asfalto, em combinação com os finos na mistura, dá início à ligação das partículas de agregado firmemente.

em posição. Conseqüentemente, a compactação da mistura é extremamente difícil se a mistura tiver esfriado até 85°C.

O grau do asfalto usado e a temperatura em que a mistura é produzida determina sua viscosidade. Os demais fatores sendo iguais, se a viscosidade do asfalto na mistura for grande poderá ser conveniente uma temperatura levemente superior na compactação ou um maior esforço de compactação, ou ambos.

A quantidade de asfalto na mistura também afeta a trabalhabilidade. Quando aumenta o teor de asfalto, a película de asfalto nas partículas de agregado aumenta de espessura. Na temperatura de compactação, este aumento da espessura de película, aumenta o efeito lubrificante do asfalto e, até certo ponto, facilita a compactação.

(c) Temperatura da Mistura

A temperatura em que se produz a mistura asfáltica afeta tanto a maior ou menor facilidade de compactação como o tempo que leva a mistura para esfriar a 85°C. Até certo ponto, quanto mais quente a mistura, mais fluido o asfalto e menos resistente é a mistura à compactação. O limite superior de temperatura de mistura é aproximadamente 150°C. Temperaturas maiores podem causar danos ao asfalto pela aceleração do enrijecimento. Entre os valores limites de 85°C e 150°C, a melhor temperatura para iniciar a rolagem (compactação) é a máxima temperatura na qual a mistura suporte o rolo compactador sem deslocamentos horizontais da mistura.

No momento da colocação a temperatura da mistura é uniforme em toda a espessura do tapete asfáltico. Contudo, as superfícies superior e inferior esfriam mais rapidamente do que a parte interna por estarem em contato com o ar mais fresco acima do tapete e abaixo, no subleito ou pavimento subjacente.

Efeitos Ambientais

Conforme está ilustrado na Figura 7.2 a taxa de esfriamento da mistura influencia a duração do período em que a densidade **pode e deve ser obtida**. A temperatura ambiente (ar), umidade, vento e temperatura da **superfície** sob a mistura afetam a taxa de esfriamento. Temperaturas do ar **relativamente baixas**, umidade do ar elevada, ventos fortes, e superfícies a temperaturas **relativamente baixas**, de per si ou conjuntamente, diminuem o intervalo de tempo em que se deve fazer a compactação. Isto pode tornar a compactação mais difícil.

Espessura da Camada

De um modo geral, é mais fácil obter a densidade pré-estabelecida nas camadas mais espessas de concreto asfáltico do que nas mais finas. Isto porque sendo mais espesso o tapete asfáltico, por mais tempo manterá o calor nele armazenado e maior será o tempo disponível para a compactação se realizar. Isto pode ser vantajoso na rolagem de camadas de misturas de elevada estabilidade e difíceis de compactar, ou quando o estado atmosférico ao se compactar possa causar rápido esfriamento de tapetes asfálticos delgados.

Por outro lado, camadas mais espessas permitem usar temperaturas menores de mistura devido à menor taxa de esfriamento.

A Figura 7.4 fornece um sumário de itens que influenciam a compactação.

ITEM	EFEITO	CORREÇÕES*
Agregado		
• Superfície Lisa	Atrito intergranular baixo	Usar rolos leves Temperatura de mistura mais baixa
• Superfície Rugosa • Instável	Atrito intergranular elevado Quebra sob rolos lisos	Usar rolos pesados Usar agregado estável Usar solos pneumáticos
• Absorvente	Seca a mistura - difícil compactar	Aumentar o asfalto na mistura
Asfalto		
• Viscosidade - Grande	Movimento das partículas restrita	Usar rolos pesados Aumentar a temperatura
- Pequena	Partículas movem-se facilmente durante a compactação	Usar rolos leves Diminuir a temperatura
• Quantidade - Grande - Pequena	Instável e plástico sob o rolo Lubrificação diminuída Dificultada a compactação	Diminuir o asfalto na mistura Aumentar o asfalto na mistura Usar rolos pesados
Mistura		
• Excesso de Agregado Grávido	Mistura áspera - difícil de compactar	Usar rolos pesados
• Excesso de areia	Demasiadamente trabalhável Difícil de compactar	Reduzir a areia na mistura Usar rolos leves
• Excesso de filer	Enrijece a mistura - difícil de compactar	Diminuir filer na mistura Usar rolos pesados
• Falta de filer	Coesão pequena - a mistura pode se desagregar	Aumentar filer na mistura
Temperatura da Mistura		
• Elevada	Difícil de compactar - falta coesão à mistura	Diminuir temperatura de mistura
• Baixa	Difícil de compactar - mistura muito rija	Aumentar temperatura de mistura
Espessura da Camada		
• Grande	Retém calor - mais tempo compactar	Rolagem normal
• Pequena	Perde calor - menos tempo compactar	Rolagem antes que a mistura esfrie Aumentar temperatura de mistura
Condições Atmosféricas		
• Baixa temperatura do Ar • Baixa temperatura da Superfície • Vento	Esfria a mistura depressa Esfria a mistura depressa Esfria a mistura - crosta superficial	Rolagem antes que a mistura esfrie Aumentar temperatura de mistura Aumentar a espessura da camada solta

*As correções podem ser usadas a base de tentativa na usina ou no canteiro de serviço. Corretivos adicionais podem resultar de mudanças na dosagem da mistura.

Figura 7.4 Sumário das Influências na Compactação

7.2. Equipamento de Compactação

Generalidades

A compactação é executada por qualquer dos vários tipos de compactadores, os rolos – veículos que, por seu peso ou pela aplicação de força dinâmica, compactam o tapete asfáltico do pavimento pela circulação sobre o mesmo segundo padrões específicos.

Os rolos autopropulsionados são normalmente necessários para a compactação de misturas de concreto asfáltico. Não se deve usar rolos rebocados, porém os rolos de mão ou placas vibratórias podem ser usados em pequenas áreas inacessíveis aos rolos maiores. Entre os rolos compressores autopropulsionados típicos incluem-se os três tipos seguintes:

- De rodas lisas de aço estáticos.
- De rodas pneumáticas.
- Vibratório.

Antes de usar qualquer rolo numa obra deve-se inspecioná-lo para ver se está em boas condições mecânicas. Quando aplicáveis, os seguintes itens devem ser verificados:

- Peso total do rolo.
- Peso por polegada de largura (rolos de rodas lisas de aço).
- Pressão média de contato com o terreno (rolos pneumáticos).
- Condições mecânicas.
- Direção precisa.

Rolos de Rodas de Aço Estáticos

Os rolos de roda de aço têm a configuração de rolos de dois eixos tandem (Figura 7.5) ou rolos de três rodas. Variam de peso entre 2,7 e 12,7 toneladas métricas ou mais. A maioria têm rodas com lastro acrescentado para aumentar o peso.

Os rolos de rodas de aço devem ser verificados quanto ao desgaste dos aros das rodas. Pode-se usar uma régua metálica afiada para esta verificação. Não se deve usar o rolo se o tambor rolante apresentar sulcos ou buracos. Estes rolos têm raspadeiras para mantê-los limpos e almofadas de molhagem para mantê-los molhados de modo a não prenderem asfalto durante a rolagem. Se estiverem excessivamente gastos, devem ser substituídos.

Rolos de Rodas Pneumáticas

Os rolos de rodas pneumáticas autopropulsionados (Figura 7.6) têm de duas a oito rodas na frente e quatro a oito atrás. As rodas destes rolos **geralmente** oscilam (os eixos movem-se para cima e para baixo) e algumas podem **bambolear**. Os rolos de rodas bamboleantes, entretanto, não devem ser **usadas para** compactar concreto asfáltico. Os rolos de rodas pneumáticas autopropulsionados variam em peso de 2,7 a 31,8 toneladas métricas. Pode-se acrescentar lastro a estas máquinas para aumentar-lhes o peso.

Vários rolos de rodas pneumáticas autopropulsionados têm um dispositivo que permite variar a pressão de inflação do pneu enquanto o rolo está operando. Este sistema de “inflação” durante o movimento mantém automaticamente qualquer pressão prefixada ou pode aumentar ou diminuir a pressão de inflação enquanto o rolo está funcionando. Algumas condições e requisitos de compactação exigem diferentes pressões de inflação. Contudo, as pressões de inflação dos pneus devem diferir de menos de algumas libras/pol² entre os pneus.

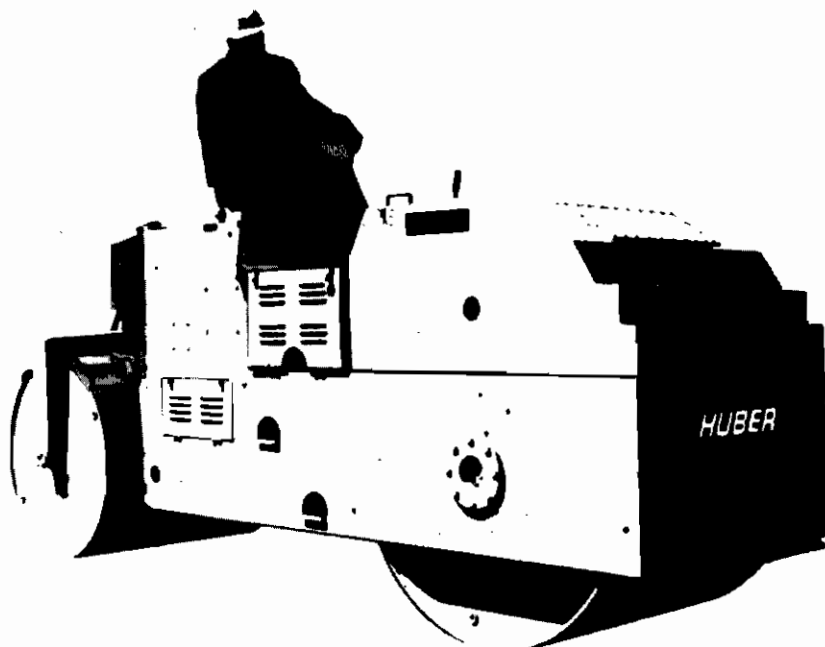


Figura 7.5 Rolo de Rodas de Aço Tandem

Rolos Vibratórios

Os rolos vibratórios são constituídos de uma ou duas rodas lisas de superfície de aço, de 0,8 a 1,5 m de diâmetro e 0,9 a 2,7 m de largura (Figura 7.7). Variam de peso estático de 1,4 a 15,5 toneladas métricas. Os rolos vibratórios são usados para compactar qualquer tipo de mistura asfáltica mas não devem ser usados no modo vibratório quando a espessura do tapete é de 37,5 mm ou menos. Com alguns deles, contudo, é necessário ajustar a ressonância da força dinâmica à fundação e tipo de material que se está compactando.



Figura 7.6 Rolo Pneumático Autopropulsionado

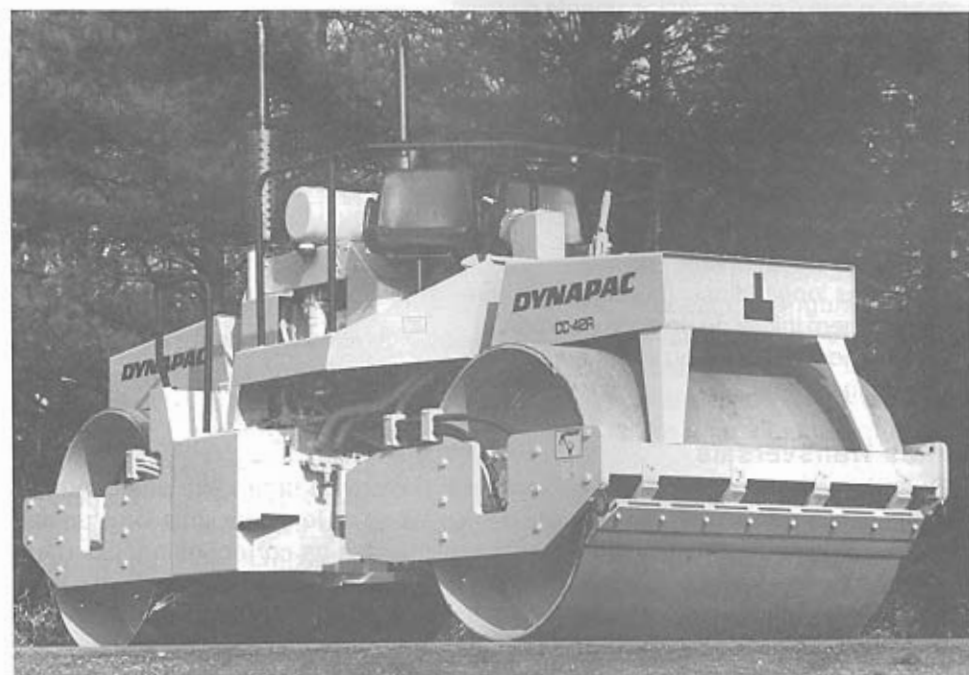


Figura 7.7 Rolo Vibratório Tandem Autopropulsionado (Cortesia Dymapac Mfg. Co.)

7.3 - Procedimentos de Rolagem

Introdução

A rolagem deve começar logo que possível após se ter espalhado a mistura a quente. A rolagem compreende três fases consecutivas: acomodamento ou rolagem inicial, rolagem intermediária, e rolagem final. A rolagem de acomodamento compacta o material além da compactação conferida pela pavimentadora, quando se obtém quase toda a densidade que se quer. A rolagem intermediária densifica e sela a superfície. A rolagem final apaga as marcas dos rolos e outras imperfeições deixadas na rolagem anterior.

Fazem-se necessários dois ou mais rolos na maioria dos serviços que não sejam de pequena monta como os caminhos de acesso. Durante a rolagem, mantêm-se as rodas úmidas com água em quantidade suficiente para evitar que peguem material da pista. Não se deve usar óleo combustível nas roda do rolo liso nem nas rodas pneumáticas. Os rolos compressores movem-se a velocidade baixa, mas uniformemente, com o rolo ou rodas motrizes o mais próximos da direção do deslocamento. A velocidade não pode ultrapassar 5 km/h para os rolos de roda de aço estáticos e os vibratórios, e 8 km/h no caso dos rolos pneumáticos. Os rolos devem ser mantidos em bom estado, capazes de reverter sem tranco. A direção da rolagem não pode ser mudada subitamente nem o sentido da rolagem revertido de repente, o que causa o deslocamento da mistura. Qualquer mudança acentuada na direção deve ser feita sobre material estável.

Se a rolagem provocar deslocamento da massa, deve-se afofar as áreas atingidas, imediatamente, com rodos e ancinhos, e restaurá-las no greide original com material solto antes de repetir a rolagem. Não se deve permitir que equipamento pesado, inclusive rolos, permaneçam sobre a superfície acabada antes que esta tenha esfriado e assentado completamente.

A rolagem de mistura asfáltica recentemente colocada faz-se na ordem seguinte:

1. Juntas transversais,
2. Juntas longitudinais (quando adjacentes à faixa previamente colocada),
3. Rolagem inicial ou de acomodamento,
4. Rolagem segunda ou intermediária, e
5. Rolagem final.

Juntas Transversais

Quando se constrói uma junta transversal próxima a uma faixa adjacente, a primeira passagem do rolo liso de rodas de aço faz-se ao longo da junta longitudinal numa distância curta. A superfície é então retificada e as correções necessárias faz-se são feitas. A seguir, faz-se a rolagem da junta transversalmente, com o rolo sobre o material previamente espalhado, excepto por uma projecção de 150 mm das rodas ao se usar o rolo de três rodas. Deve-se repetir esta operação com passagens sucessivas cobrindo 150 a 200 mm de material novo até que a largura total de uma passagem esteja sobre a nova mistura.

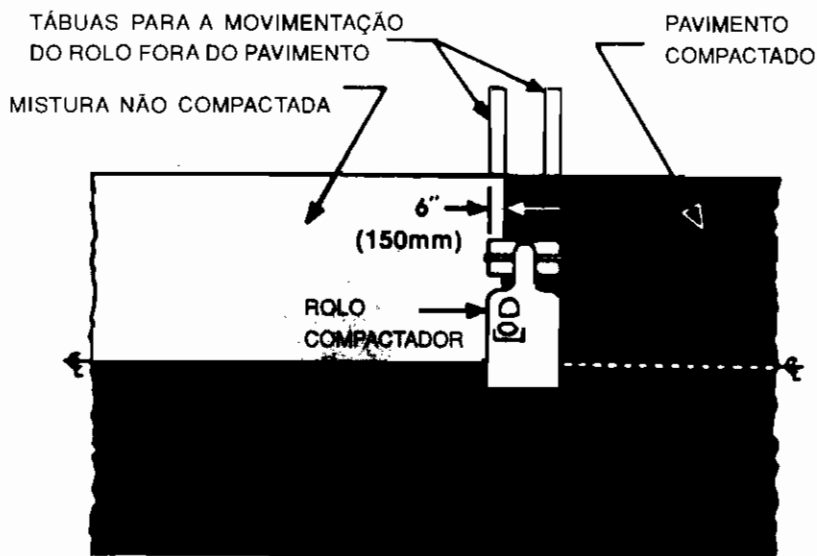


Figura 7.8 Rolagem de Uma Junta Transversal

Deve-se colocar tábuas de espessura adequada no bordo do pavimento para o movimento do rolo fora do pavimento. Se não se usar tábuas, a rolagem transversal deve parar a 150 a 200 mm próximo da borda externa a fim de evitar danos à borda. A borda externa deve então ser rolada mais tarde quando se faz a rolagem longitudinal.

Juntas Longitudinais

As juntas longitudinais devem ser roladas logo atrás da operação de pavimentação. O rolo deve ser deslocado para a faixa previamente construída, colocada de modo que não ande mais do que 150 mm sobre a borda do material recentemente espalhado e deixado por varredura e socagem (Figura 7.9). Esta operação é para puncionar e pressionar o material não compactado na borda para sua posição correta. O rolo deve continuar a rolagem segundo esta linha, cuja posição é deslocada gradualmente da junta até que resulte uma junta completamente compactada e bem-feita. Não se deve usar vibração quando se opera sobre o tapete asfáltico frio.

Quando se faz a rolagem de uma junta longitudinal de encontro à orla de uma valeta, o rolo não deve transpor a junta e ficar com parte de seu peso sobre a valeta. Isto poderia resultar na transposição pelo rolo de uma parte do pavimento o que tornaria insuficiente a compactação. Um modo usual de se obter boa compactação é fazendo com que a cota da borda do pavimento concluído seja pouco superior à da borda da valeta adjacente. Com isto assegura-se que a força de compactação seja plenamente aplicada sobre a mistura asfáltica.

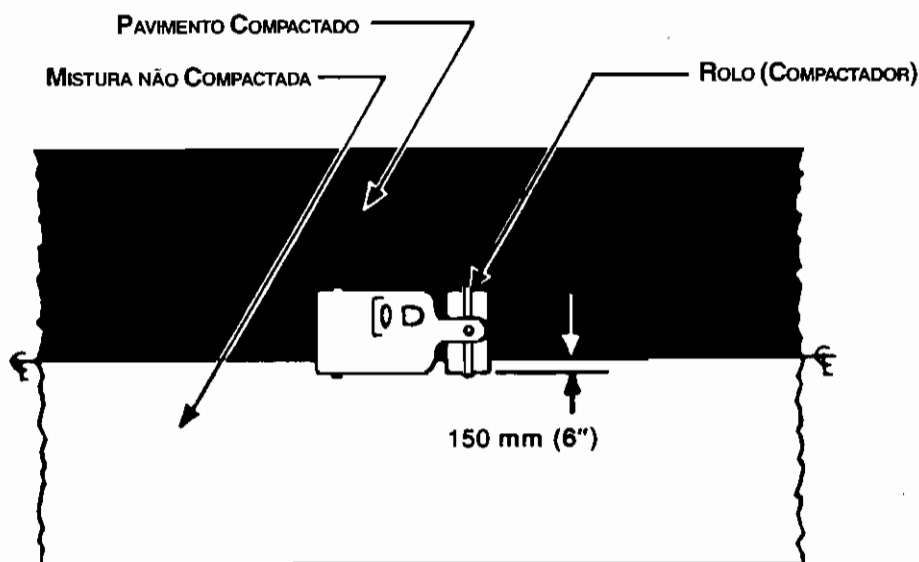


Figura 7.9 Rolagem de uma Junta Longitudinal

Rolagem de Acomodamento

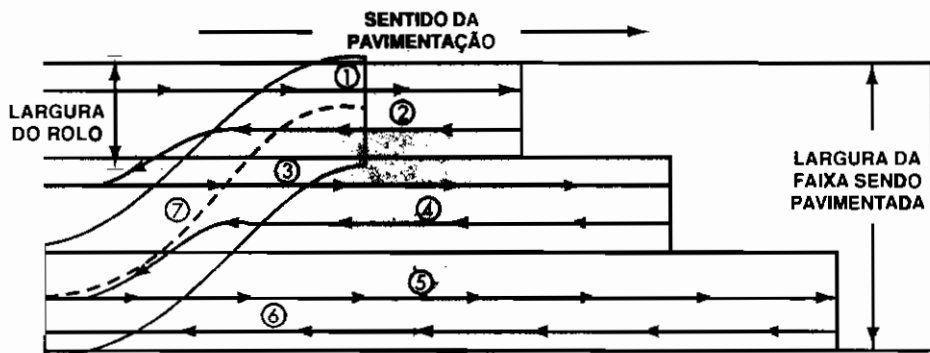
A rolagem de acomodamento realiza-se melhor com os rolos lisos de rodas de aço. Recomendam-se os rolos vibratórios e os rolos tandem estáticos. Contudo, têm sido usados rolos pneumáticos com sucesso na rolagem de acomodamento, mas que se deve limitar à rolagem de camadas de base.

O peso do rolo usado na rolagem de acomodamento depende em grande parte da temperatura, espessura e estabilidade da mistura que se colocou na pista. Em geral, um rolo peando de 7,3 a 10,9 toneladas é o que se usa nesta operação.

É importante iniciar a operação de rolagem na parte mais baixa do material espalhado, que é usualmente a parte externa da faixa que se está pavimentando, e prosseguir na direção da parte mais elevada. A razão deste procedimento é que as misturas asfálticas, quando quentes, tendem a migrar no sentido da parte baixa do material espalhado sob a ação do rolo. Se a rolagem começar do lado alto, esta migração é muito mais acentuada do que a resultante da rolagem a partir da parte baixa. Quando se constróem faixas justapostas deve-se seguir o mesmo procedimento de rolagem. Isto é importante para se assegurar a declividade transversal adequada ou manter as superelevações, ou ambas, porém somente após a compactação da mistura nova na junta longitudinal com uma parte de 150 a 200 mm da largura do rolo.

O padrão de rolagem que deve ser usado é o que fornece a cobertura mais uniforme da faixa que se está pavimentando. Os rolos variam de largura, de modo que é impraticável um padrão único que se aplique a todos os rolos. Por esta razão, o melhor padrão de rolagem para cada rolo em uso deve ser achado e seguido para se obter a compactação mais uniforme de um lado a outro da faixa.

O padrão de rolagem inclui não apenas o número de passagens, mas também a localização da primeira passagem, a seqüência das passagens sucessivas, e a sobreposição de uma passagem à seguinte. As velocidades de rolagem não devem exceder de cerca de 5 km/h. Além disso, voltas bruscas e partidas e paradas rápidas devem ser evitadas. Para as camadas soltas delgadas, mostra-se na Figura 7.10 um padrão recomendado de rolagem com rolos lisos de rodas de aço. As operações de rolagem devem começar da borda do material espalhado, do lado baixo, com o rolo movendo-se para frente tão próximo quanto possível atrás da pavimentadora. O segundo movimento do rolo deverá ser em sentido contrário na mesma trilha até que o rolo alcance o material previamente compactado. Neste ponto o rolo deve desviar-se e avançar pela trilha número 3, novamente seguindo de perto, tanto quanto possível, a pavimentadora. O quarto movimento é de sentido contrário na terceira trilha, repetindo a operação anterior. Depois que toda a largura da mistura que se está colocando for coberta desta maneira, o rolo deve desviar-se sobre o material espalhado indo para o lado baixo e repetido o processo. Por este padrão, o recobrimento do rolo nas passagens sucessivas não precisa ser superior a 75 a 100 mm.



Este é um padrão recomendado de rolagem. Cada passagem do rolo deve prosseguir em reta sobre a mistura compactada e voltar pela mesma trilha. Depois de completar o número exigido de passagens, deve-se movimentar o rolo para o lado de fora do pavimento no material arrefecido e repetir o procedimento.

Figura 7.10 Padrão de Rolagem Correto

Na construção de camadas soltas espessas, o processo de rolagem deve começar de 300 a 375 mm da borda mais baixa sem contenção até a parte central do material espalhado ter sido compactado até certo grau de estabilidade. As passagens sucessivas do rolo devem, então, progredir gradualmente na direção das bordas do material espalhado. A borda não compactada oferece o confinamento inicial durante a primeira passagem, o que minimiza o movimento lateral da mistura. Depois de ter compactado a parte central do material espalhado, a mistura suportará o rolo e permitirá que a borda seja compactada sem deslocamento lateral.

Com os rolos lisos de roda de aço estáticos a operação deve progredir sempre com a roda motriz na frente, no sentido da pavimentação. Isto é particularmente importante no rolamento de acomodamento, visto que a maior parte da compactação ocorre nesta passagem. A razão principal para que a rolagem de acomodamento seja realizada com a roda motriz é que se aplica uma carga vertical mais diretamente

por esta roda do que com a roda diretriz (ou de leme) (Figura 7.11).

Se a rolagem de acomodamento for feita com a roda diretriz para a frente, a força de propulsão e o peso resultam numa ação pouco adiante da vertical, sendo o material empurrado na frente da roda. O peso maior da roda motriz é responsável pela compactação enquanto que o torque ("força de rotação") tende a enruguar o material sob a roda na frente.

Porém, existem exceções à rolagem com a roda motriz na frente. Ocorrem, usualmente, quando se constróem superelevações ou quando a rampa da superfície em que se está colocando a mistura asfáltica é acentuada. As exceções ocorrem quando, por razões de rampa elevada a roda motriz do rolo começa a trepidar no tapete asfáltico, causando deslocamentos da mistura e uma superfície muito rugosa. Nestes casos o rolo deve dar meia-volta para permitir que a roda diretriz compacte parcialmente o material e que a roda motriz prossiga compactando-o.

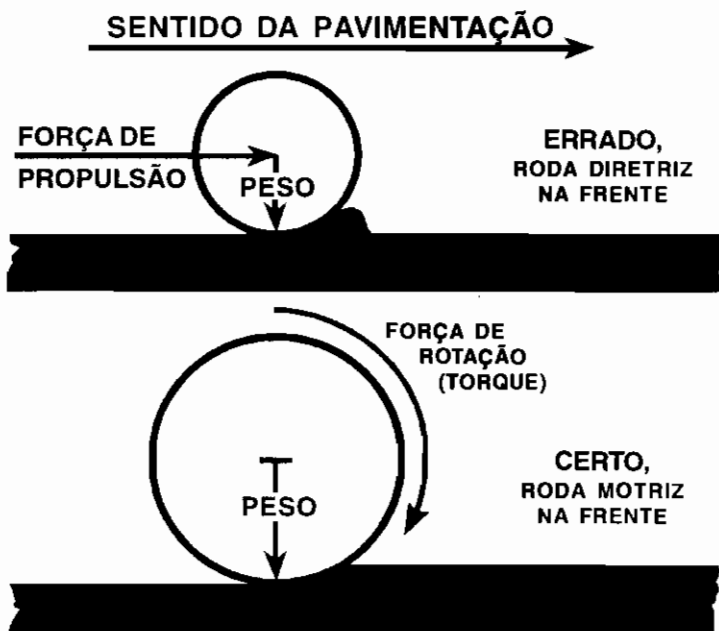


Figura 7.11 Forças Atuantes quando a Roda Leme ou a Roda Motriz está na Frente

Rolagem Intermediária

A rolagem secundária ou intermediária deve seguir de perto a rolagem de acomodamento enquanto a mistura asfáltica ainda está plástica e numa temperatura tal que resulte a densidade máxima. Os rolos pneumáticos e os tandem vibratórios podem ser utilizados na compactação intermediária. Quando os rolos pneumáticos são utilizados, a conservação de pneus quentes é o meio mais efetivo de prevenir a captura. A aplicação de pequena quantidade de detergente não espumante ou de óleo solúvel na água, na molhagem da almofada

de molhagem de um rolo pneumático no início das operações de rolagem ajuda a prevenir que o asfalto pegue nos pneus enquanto estes não se aquecem.

Os rolos e rodas pneumáticas têm várias vantagens:

1. Proporcionam um grau de compactação mais uniforme do que os rolos lisos de rodas de aço;
2. Melhoram a selagem próximo à superfície, deste modo diminuindo a permeabilidade da camada; e
3. Orientam as partículas de agregado no sentido de maior estabilidade, como o fazem os pneus de alta pressão de caminhões depois de solicitarem a superfície asfáltica por algum tempo.

As pressões de contato dos pneus devem ser tão elevadas quanto possível sem causarem, deslocamentos da mistura que não possam ser remediados na rolagem final.

A rolagem de pneus deve continuar após a rolagem de acomodamento até que toda a mistura colocada tenha sido completamente compactada. Pelo menos três coberturas devem ser feitas. Não se deve permitir que os rolos pneumáticos façam voltas na mistura de pavimentação, a menos que não causem deslocamento indevido.

Usam-se rolos tandem vibratórios – de peso próprio e freqüências e amplitude de vibrações adequados – para obter as densidades exigidas com menor número de coberturas do que os rolos tandem estáticos e os rolos pneumáticos (ou a combinação dos dois).

Independentemente do tipo de rolos usados, o padrão de rolagem deve ser desenvolvido do mesmo modo que no caso das rolagens inicial e de acomodamento. Este padrão deve ser mantido até obter a compactação desejada.

Rolagem Final

A rolagem final faz-se, sobretudo, para melhorar o aspecto da superfície. Deve ser realizada com rolos lisos tandem, rolos de carga estática e rolos vibratórios tandem (sem usar a vibração), enquanto o material ainda está bastante quente para apagar as marcas dos rolos.

7.4. Verificação do Pavimento Acabado

Textura Superficial

Os defeitos da textura superficial podem ser devidos a erros na misturação, manejo, pavimentação e compactação. Uma mistura asfáltica que é defeituosa devido a misturação, manejo ou colocação inadequados, deve ser removida e recolocada antes da compactação. As áreas defeituosas que aparecem durante a compactação e que não podem ser corrigidas por rolagem adicional devem ser substituídas por nova mistura a quente e compactadas antes que o tapete asfáltico circunvizinho esfrie abaixo de 85°C. Deve-se ter cuidado para assegurar que as tolerâncias quanto ao greide e à superfície sejam mantidas em qualquer área reparada.

Tolerância Superficial

Não se deve subestimar a importância de se ficar dentro da tolerância quanto à lisura. Para as rodovias modernas de tráfego de alta velocidade, a maioria das especificações permitem uma variação transversal de não mais que 6 mm em 3 m, e uma variação longitudinal de não mais que 3 mm em 3 m. Qualquer que seja a tolerância que se especifique e exija para a superfície, deve-se procurar obter a mesma tolerância para cada camada que estiver sendo colocada.

Após cada espalhamento e antes de colocar a próxima camada, deve-se checar a superfície com uma régua para saber se a lisura especificada está sendo obtida. Dois tipos de réguas são de uso geral. A mais básica é a régua de madeira ou metal que se apoia no pavimento de modo a se medir as irregularidades em relação à régua. O outro tipo é uma régua rolante (Figura 7.12) que mede irregularidades com um extensômetro enquanto o inspetor empurra-a ao longo do pavimento. Qualquer irregularidade que varie mais do que o tolerado pelas especificações, é corrigida antes de ser colocada a camada seguinte.

As irregularidades nas camadas inferiores podem ser corrigidas usualmente por remoção ou acréscimo de material. Na camada superficial, toda a área atingida deve ser prontamente removida e o material novo em quantidade suficiente colocado para formar uma superfície correta e nivelada. Quando se obtém a lisura exigida na primeira camada da mistura em usina colocada, as camadas subseqüentes podem ser colocadas, usualmente, de modo uniforme por simples ajustagem da pavimentadora para a espessura desejada.

Densidade do Pavimento

Determina-se que a densidade do pavimento é aceitável ou não pela comparação com a densidade-alvo estabelecida em laboratório, com a amostra de campo.

Os três métodos básicos de determinação da densidade-alvo são: porcentagem da densidade de laboratório, porcentagem da densidade máxima teórica, e

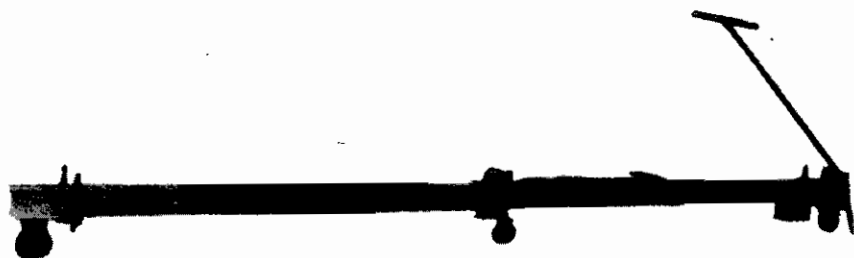


Figura 7.12 Régua Rolante para Verificação da Tolerância Superficial

densidade de trecho experimental (faixa de controle). A intenção de todos os três métodos é a obtenção de um pavimento compactado que tenha um teor de vazios especificado.

- *Porcentagem de Densidade de Laboratório*

Este método é especialmente aplicável aos procedimentos de compactação Marshall de grandes obras em que se empregam laboratórios de campos. Determina-se uma densidade-alvo para cada lote ou unidade de produção de mistura (usualmente, um dia de produção) tomando-se a densidade média de quatro ou mais corpos-de-prova preparados em laboratório com material tirado randômicamente dos caminhões que entregam a mistura no canteiro de serviço. Os corpos-se-prova são compactados no aparelho Marshall de acordo com ASTM D 1559 ou o Método T 245 da AASHTO com duas exceções.

1. A temperatura da mistura deve ser próxima da temperatura da pavimentadora sem que seja permitido o reaquecimento; e
2. O número de golpes de compactação (35, 50 e 75) deve ser o mesmo que se usou na dosagem da mistura.

A vantagem deste procedimento é que as densidades-alvo resultantes representarão de perto a produção diária real da mistura e compensarão as leves variações da mistura que ocorrem de um dia para o outro.

- *Porcentagem da Densidade Máxima Teórica*

Neste método a densidade-alvo é estabelecida como porcentagem do que seria a massa específica da mistura se fosse densificada até uma massa totalmente sem vazios. Esta densidade máxima teórica é determinada segundo a ASTM D2041 e o Método de Ensaio T 209 da AASHTO, conhecido como "Ensaio Rice" ou Densidade Relativa Efetiva Máxima.

- *Densidade de Trecho Experimental (faixa de controle)*

A densidade-alvo é determinada pela construção de uma faixa de controle do pavimento no início de cada lançamento de camada. A faixa de controle é parte do próprio serviço de pavimentação. Deve ter, pelo menos, 150 m de comprimento e construída com a mesma largura e espessura do restante da camada que o trecho representa.

O empreiteiro coloca e compacta a faixa de controle com o equipamento, padrão de rolagem e a temperatura que pretende usar na obra.

A compactação tem início assim que a mistura é colocada e continua até que não haja acréscimo apreciável de densidade ou até que a mistura arrefeça até 85°C , ou ambas as situações. A densidade-alvo é determinada calculando-se a média dos resultados de um número especificado de ensaios de densidade de diversos pontos aleatoriamente tomados dentro da faixa de controle.

Se a densidade-alvo da faixa de controle for tipicamente inferior a 92 por cento da densidade máxima teórica ou 96 por cento de corpos-de-prova preparados em laboratório com a mesma mistura, considera-se inadequada a densificação. (Esta densidade-alvo é recomendada pelo Asphalt Institute; as especificações de organismos rodoviários podem ser diferentes). Deve-se construir uma nova faixa de controle que incorpore as mudanças necessárias de temperatura de compactação e de equipamentos ou procedimentos de rolagem, ou de ambos.

Procedimentos Adicionais

Amostragem e Ensaios

Os ensaios de verificação da compactação de campo podem ser realizados quer por corpos-de-prova de rotativa ou por amostras serradas do pavimento ou por ensaios com o aparelho nuclear de densidade (Figura 7.13). As leituras com o densímetro nuclear devem ser correlacionadas às densidades de corpos-de-prova de rotativa. Para cada dosagem de mistura ou variação significativa da mistura é necessário um novo fator de correlação.

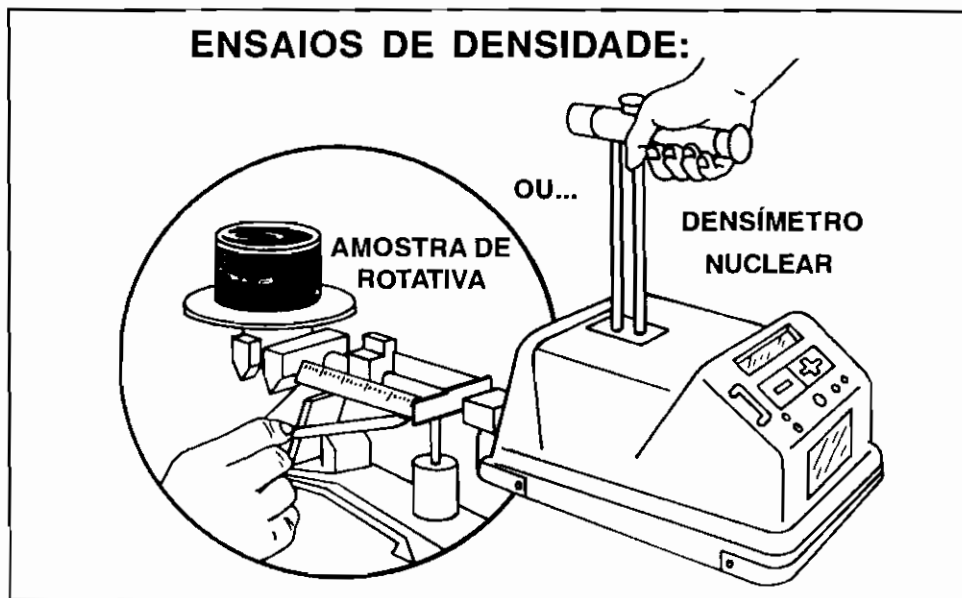


Figura 7.13 Ensaios de Densidade

Os corpos-de-prova de rotativas são amostras cilíndricas que são cortadas do pavimento. São ensaiados no laboratório para verificar a densidade do tapete asfáltico.

Os aparelhos nucleares densitométricos têm vantagens sobre a amostragem rotativa. São rápidos, fáceis de usar e não-destrutivos.

Os ensaios por estes dois métodos são feitos numa base de amostragem aleatória, com um número mínimo especificado de ensaios de densidade ou de corpos-de-prova rotativos sendo testados para cada lote de mistura (usualmente um dia de produção). A média das densidades obtidas pelos ensaios deve atender a um ou mais dos seguintes critérios típicos, dependendo do método usado para estabelecer a densidade-alvo: 96 por cento da densidade de laboratório; 92 por cento da densidade máxima teórica; 99 por cento da densidade da faixa de controle. As amostras obtidas para verificação da densidade devem ser extraídas com serra elétrica ou sonda rotativa de pontas de diamante (Figura 7.14), afim de minimizar danos ou distorções do pavimento e amostras. Se o pavimento não tiver esfriado até a temperatura ambiente em toda a profundidade da amostragem, já se tem usado gelo, gelo seco e até CO₂ para abreviar o processo de esfriamento.

Deve-se ter cuidado na obtenção e transporte das amostras do campo. Amostras soltas da mistura asfáltica obtidas para determinações de densidade-alvo devem ser transportadas em recipientes isolados e tão depressa quanto possível para minimizar a perda de calor previamente à preparação do corpo-de-prova.

Além da obtenção de amostras compactadas para medições de densidade, pode ser necessário, ocasionalmente, amostrar o material misturado na estrada, para ensaios de extração e granulometria, antes de ser compactado. Estas amostras podem ser tomadas da tremonha da pavimentadora ou da mistura no caminhão em quatro pontos diferentes no mínimo e combinados numa amostra composta. Deve ser sempre lembrado que não há ensaio que seja melhor do que a amostra, e que é imprescindível que a amostra seja representativa do lote que está sendo testado.

Registros e Relatórios

O inspetor e o engenheiro responsáveis pela pavimentação devem manter um registro diário, e a partir deste devem preparar e apresentar um relatório ao término de cada dia e cada semana de operação. Estes relatórios devem ser modelados de modo que todo o pessoal superior possa acompanhar a evolução das operações de um dia inteiro. Na conclusão do serviço, o relatório pode tornar-se um registro do progresso da construção. As modificações de materiais, métodos e condições são anotadas no diário e amarrados às estacas de locação na pista. Toda vez que houver uma mudança na graduação e proporções da mistura, deve-se anotá-la com a localização da mistura no pavimento. São mostradas nas Figuras 7.15, 7.16 e 7.17 exemplos de formulários que podem ser utilizados pelos inspetores. Pode-se substituir as unidades costumeiras pelas unidades métricas.

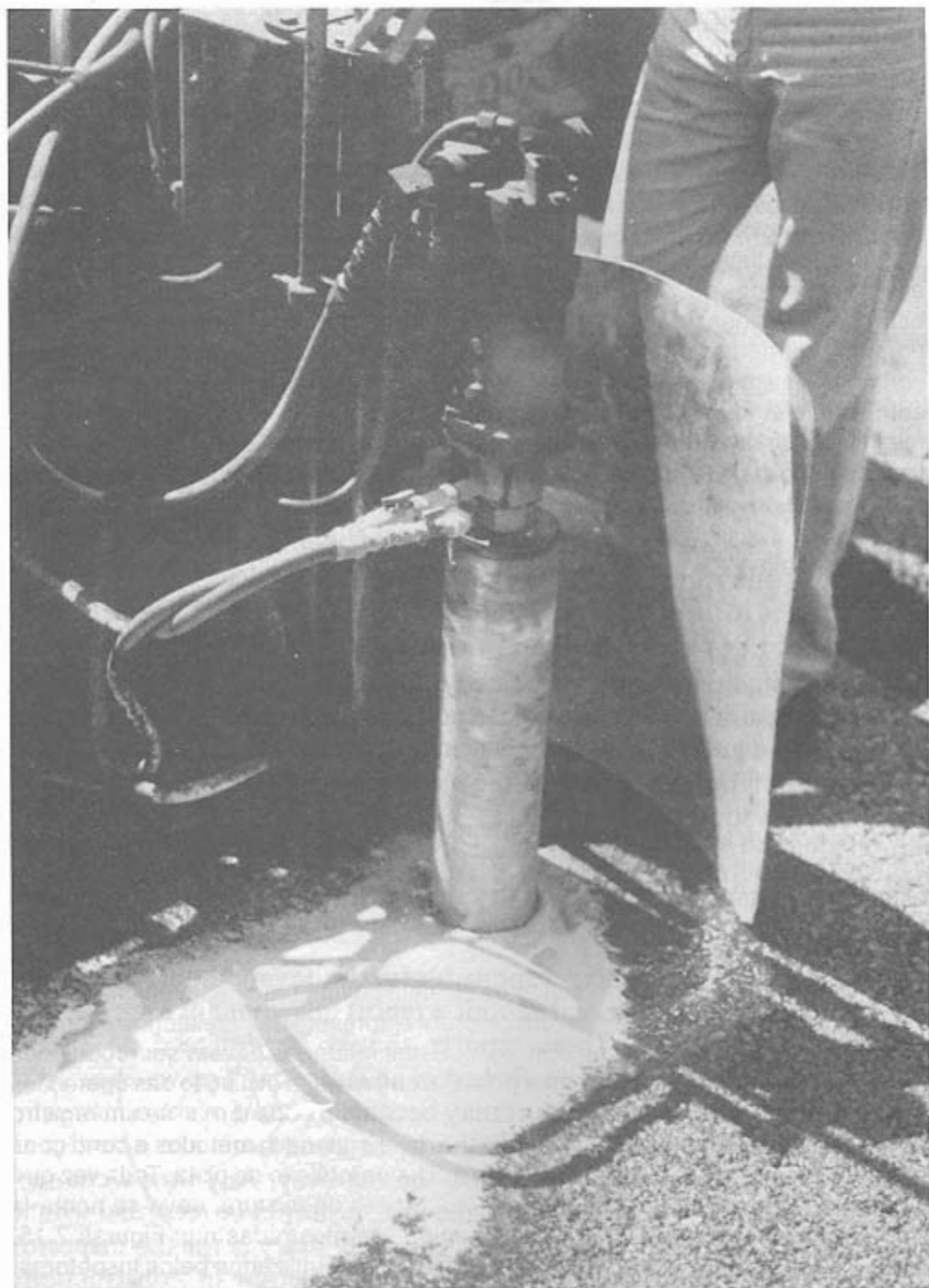


Figura 7.14 Retirada de Amostra de Rotativa do Pavimento Acabado

<i>Diário do Inspetor da Estrada</i> <i>Folha de Identificação</i> <i>(Ano)</i>	
Nº do Projeto ou nº Prov. Mist. Asf.	mm Linear, Hoje
Distrito:	mm Linear, Antes
Município:	mm Linear, até Hoje
Estrada:	kg/m, Média
Localização: De:	mg (Tons) Coloc. Hoje
A:	mg (Tons) Coloc. Previám.
Tonelagem Básica:	mg (Tons) Coloc. Até Hoje
Tonelagem Real:	mg (Tons) Deste Programa
Duração Prevista:	Balanço a Colocar
Iniciado:	% Tempo Decorrido
Completado:	% Trab. Completado
Empreiteiro:	Observações:
Inspetor:	Assinatura do Inspetor:
<i>Diário do Inspetor da Estrada</i>	<i>Diário do Inspetor da Estrada</i>
Data:	<i>Índice</i>
Tempo:	_____ Página
Temperatura:	_____ Página
Tempo de Trabalho:	_____ Página
Largura do Pavimento (m):	_____ Página
Da Estaca:	
Até a Estaca:	
Largura do Pavimento (m):	
	1. Descrição da estrada a se revestir
	2. Lista de descrição do equipamento do empreiteiro
	3. Nomes dos empregados supervisores do empreit.
	4. Diário das operações na estrada
	5. Distribuição da tonelage aplicada

Figura 7.15 Diário de Inspeção do Pavimento

Controle do Tráfego

O tráfego deve ser mantido fora da superfície da mistura recém - espalhada até que tenha esfriado bastante de modo a não marcá-la. Quando se mantém o tráfego nas construções de largura parcial, é necessário existirem sinais de advertência em número suficiente e corretamente situados, para que o tráfego se mantenha fora da mistura recém - espalhada. Deve-se planejar o serviço de modo que o tráfego não seja muito perturbado por ter que circular em longos trechos de faixas de mão única. Se o tráfego de mão única se tornar necessário ao longo do trechos de distância de visibilidade insuficiente ou falta de acostamentos alargados, deve o mesmo ser controlado por bandeirolas de sinalização ou caminhão - piloto.

A Limpeza do Canteiro-de-Obra

A limpeza do canteiro-de-obra deve ser mantida durante a construção. Mistura asfáltica descartada, tábuas, lixo, partes descartadas do equipamento, ferramentas manuais descartadas, etc, não devem ser deixados na faixa de domínio. Uma vez concluídas as operações de pavimentação e compactação e antes da partida do pessoal da obra do local de trabalho, uma faxina final deve ser feita.

**DEPARTAMENTO DE
ESTRADAS DE RODAGEM**

Registro Semanal da Pavimentação Asfáltica

Rod. _____ Obra _____

Nº do FHWA _____

Programa de Manut. _____

Distrito _____

Data _____

Local _____

Tipo e Condição do Pavimento Antigo _____

Tipo de pavimentadora _____ Tipo e Peso dos Rolos - Revestimento _____

Base _____

Imprimação

Tipo _____ Fonte _____

Largura _____ Taxa de Aplicação _____

Camada de Base

Tipo _____ Largura _____ Kg/m² _____

Fonte dos Materiais _____

Material Asfáltico _____ Agregados _____

Data	Estacas	t (tons)	Distância de Transportes	Temperatura da Mistura			Temperatura do Ar			Condições Atmosféricas
				Mínimo	Máximo	Média	Mínimo	Máximo	Média	

Camada de Revestimento

Tipo _____ Largura _____ Kg/m² _____

Fonte dos Materiais _____

Material Asfáltico _____ Agregados _____

Data	Estacas	t (tons)	Distância de Transportes	Temperatura da Mistura			Temperatura do Ar			Condições Atmosféricas
				Mínimo	Máximo	Média	Mínimo	Máximo	Média	

Observações: _____

_____ Inspetor

_____ Endereço

Figura 7.16 Relatório Semanal do Inspetor da Estrada

DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGENS

Nº do Programa da Usina de Mistura _____ Distrito _____

Nº da Obra: _____

Data: _____ Hora de Início: _____ Hora de Término: _____

Estrada: _____ Município: _____ Cond. Atmosféricas: _____ Temp. _____

De _____ Até _____

Tipo de Base: _____ Largura: _____ Comprimento: _____ Kg/m' _____

Tipo de Revestimento: _____ Largura: _____ Comprimento: _____ Kg/m' _____

Toneladas (Tons) de Base, Hoje: _____

Toneladas (Tons) de Revestimento, Hoje: _____

ESTA PROGRAMAÇÃO

Data do Início dos Trabalhos: _____ Prazo: _____

Toneladas (Tons), desta Programação: _____ Toneladas (Tons), Espalhadas: _____

Balanço: _____ % Tempo Decorrido _____ % Trabalho Concluído _____

Empreiteiro: _____ Data Conclusão Estim. _____

Data Final - Programação Completada: _____

Inspetor

Figura 7.17 Registro Diário da Inspeção de Estrada.

Capítulo 8

Tratamentos Superficiais Asfálticos

Os tratamentos superficiais asfálticos são formas versáteis amplamente utilizadas de construção e manutenção asfálticas. Conforme indicarão as próximas seções, existem diversas formas de tratamentos e de capas selantes. Quando adequadamente projetados, mostram-se econômicos, fáceis de colocar e de longa duração. Selam e aumentam a vida de superfícies de estradas, porém cada tipo tem um ou mais propósitos. O tratamento superficial não é isoladamente um pavimento. Na verdade, provê uma cobertura protetora que ajuda a resistir à abrasão do tráfego e provê uma cobertura impermeabilizadora da estrutura subjacente. Acrescenta pouco ou nenhuma resistência de suporte de carga e, portanto, não é normalmente tomado em consideração no cálculo da carga limite de um pavimento. Embora o tratamento superficial possa prover uma excelente superfície se usada com a finalidade correta, não constitui uma solução para todos os problemas de pavimentação. O entendimento claro das vantagens e limitações dos tratamentos superficiais asfálticos é essencial para se obter os melhores resultados. É vital que um estudo cuidadoso dos requisitos do tráfego, junto com a avaliação das condições dos materiais e pavimentos existentes, seja feito antes de decidir se um tratamento superficial deve ser usado.

SEÇÃO 8.1 Tipos de Tratamento Superficiais Asfálticos

Tipos

Funções do Tratamento Superficial

SEÇÃO 8.2 Tratamentos Superficiais de Agregado - Asfalto

Tipos

Materiais

Distribuidores de Asfalto

Espalhadores de Agregado

Outros Equipamentos

Projeto de Tratamento Superficial

Procedimento Construtivo

Tratamentos Superficiais de Agregado - Asfalto Especiais

SEÇÃO 8.3 Outros Tratamentos Superficiais

Introdução

Tratamentos Superficiais Aspergidos

Lama de Emulsão Asfáltica

BIBLIOGRAFIA

1. Tratamentos Superficiais Asfálticos – Especificações (“Asphalt Surface Treatments - Specifications”), ES-11, Asphalt Institute.
2. Tratamentos Superficiais Asfálticos – Técnicas de Construção (“Asphalt Surface Treatments – Construction Techniques”), ES-12, Asphalt Institute.
3. Um Manual Básico de Emulsões Asfálticas (“A Basic Asphalt Emulsion Manual”), MS-19, Asphalt Institute.

AUDIOVISUAIS

1. Aplicações por Aspersão de Emulsões Asfálticas (“Asphalt Emulsion Spray Applications”), VA-1V, fita VHS (cor, som, 23 min), Asphalt Institute.

8.1. Tipos de Tratamentos Superficiais Asfálticos

Tipos

Definição do Tratamento Superficial Asfáltico

O tratamento superficial asfáltico, ou simplesmente tratamento superficial, é um termo amplo que abrange vários tipos de aplicações de asfalto com ou sem cobertura de agregado mineral a qualquer tipo de estrada ou superfície de pavimento. Tem usualmente menos de 25 mm de espessura. A capa selante asfáltica, ou simplesmente capa selante, é um tratamento superficial asfáltico aplicado a uma superfície pavimentada.

Tipos de Tratamentos Superficiais Asfálticos

Os tratamentos superficiais variam desde aplicações simples e leves de emulsões asfálticas diluídas até camadas múltiplas superficiais constituídas de aplicações alternadas de asfalto e agregado. Um tipo de mistura de agregado – asfalto, a lama asfáltica, é, também, considerada um tratamento asfáltico. Todos os tratamentos asfálticos podem aumentar a vida de superfícies de estradas existentes. Cada tipo tem uma ou mais finalidades específicas. Segue-se uma classificação de tratamentos superficiais asfálticos conforme a aplicação ou uso:

1. Tratamentos superficiais de agregado e asfalto aspergido (Seção 8.2):
 - Tratamento superficial simples
 - Tratamento superficial múltiplo
2. Tratamentos superficiais aspergidos (Seção 8.3):
 - Capa de imprimação
 - Assentamento de poeira
 - Aplicação de óleo na estrada
 - Capa de ligação
 - Pintura de Impermeabilização ou Névoa selante
3. Lama a emulsão asfáltica (Seção 8.3):

Funções do Tratamento Superficial

O tratamento superficial não é por si mesmo considerado um pavimento. Basicamente, provê uma cobertura impermeável à superfície do pavimento existente e provê resistência à abrasão pelo tráfego. São funções específicas dos tratamentos superficiais:

- Prover superfícies econômicas duradouras para as estradas de bases granulares de volume de tráfego leve e médio.
- Evitar que a água superficial penetre nas bases granulares ou pavimentos antigos que se tornaram intemperizados ou trincados.
- Vedar os vazios, cobrir e ligar as partículas de agregados soltas na superfície dos pavimentos.

- Renovar a superfície e restaurar a resistência à derrapagem de pavimentos desgastados pelo tráfego em que os agregados na superfície foram polidos.
- Restaurar superfícies intemperizadas e reavivar as superfícies oxidadas de pavimentos.
- Prover cobertura temporária em casos de atraso na construção de pavimentos ou de construção por etapas planejada.
- Diminuir a poeira nas estradas de baixo volume de tráfego.
- Promover a aderência de camadas asfálticas sobre bases granulares (imprimação)
- Assegurar a ligação entre camadas sucessivas de pavimentos em construção ou de reforços sobre pavimentos existentes – capas de ligação.
- Melhorar a aparência de pavimento existente.

8.2. Tratamentos Superficiais de Agregado – Asfalto

Tipos

Tratamento Superficial Simples

O tratamento superficial simples é usado como uma camada de desgaste e impermeabilizante. Consiste na aplicação por aspersão de asfalto imediatamente coberto por uma camada simples de agregado de tamanho uniforme. A espessura do tratamento é próxima do diâmetro nominal máximo das partículas do agregado usado no tratamento superficial individual.

Tratamento Superficial Múltiplo

O tratamento superficial múltiplo provê uma camada de desgaste e impermeabilização de maior durabilidade do que um tratamento superficial simples, e pode acrescentar certa resistência à estrutura do pavimento. Consiste em duas ou mais aplicações alternadas de asfalto e agregado. O tamanho maior nominal do agregado da cobertura de cada uma das camadas sucessivas não deve ser maior do que metade do tamanho do agregado da camada anterior.

Capa Selante de Areia

A capa selante de areia vem a ser a aplicação de material asfáltico coberto de agregado fino. Pode ser usado para melhorar a resistência à derrapagem de pavimentos escorregadios ou para selar do ar e infiltração de água. Os procedimentos de construção de capas selantes de areia são semelhantes aos dos tratamentos superficiais simples. É característico ter-se a aspersão de asfalto sobre a superfície a ser tratada, seguida de aplicação de areia.

Materiais

Asfalto

Na seleção do tipo e grau de asfalto apropriados para um tratamento superficial, leva-se em conta o seguinte:

1. Temperatura da superfície na qual vai-se aplicar o tratamento superficial;
2. Temperatura do ar;
3. Umidade e vento;
4. Estado da superfície; e
5. Tipo e estado do agregado a ser aplicado.

O tipo e grau corretos do asfalto no tratamento superficial devem:

1. Quando da aplicação, ser bastante fluido para aspergir e cobrir a superfície uniformemente, entretanto, suficientemente viscoso para se manter como camada uniforme sem empoçar nas depressões ou correr da parte mais elevada da declividade transversal para baixo;
2. Após a aplicação, manter a consistência requerida para molhar o agregado aplicado;

3. Curar e desenvolver adesão rapidamente;

4. Depois da rolagem e cura, manter o agregado firmemente na superfície da estrada para evitar desalojamento pelo tráfego; e

5. Quando aplicado na exata proporção, não exsudar ou ser arrancado com as mudanças das condições atmosféricas.

Alguns graus de cimentos asfálticos e de emulsões asfálticas atendem a estes requisitos. Em tempo seco e quente, os graus mais moles de cimentos asfálticos podem ser usados se o agregado seco for colocado imediatamente após a aspersão. Contudo, as emulsões asfálticas de ruptura rápida são geralmente as mais adequados aos tratamentos superficiais.

Os tipos e graus de asfaltos mais adequados aos tratamentos superficiais simples e múltiplos são:

- RS-1, RS-2; CRS-1, CRS-2; MS-1, HFMS-1.
- AC 2.5, AC-5, (AR-1000, AR-2000; pen. 200/300 e pen. 120/150).

Agregado

A maioria dos agregados resistentes, como cascalho, pedra britada, escoria britada, pode ser usada com sucesso no revestimento. O agregado selecionado, contudo, deve atender a certos requisitos de tamanho, forma, limpeza e propriedades de superfície.

O agregado deve ser tão uniforme quanto for economicamente viável, de modo que o tratamento superficial tenha essencialmente uma única camada de agregado. De um modo geral, o maior tamanho não deve ser superior ao dobro do tamanho menor, com razoável tolerância nas dimensões que permita a produção econômica. Os agregados de diâmetro máximo de menos de 13 mm permitem obter uma superfície de rolamento mais silenciosa e suave do que os de tamanhos maiores.

A forma de agregado ideal é a cúbica. É indesejável que exista uma grande quantidade de partículas achatadas e alongadas pois que podem não ser totalmente cobertas pelo asfalto disponível na quantidade que seria suficiente para unir partículas cúbicas.

É importante que o agregado esteja limpo. Se as partículas são cobertas de pó, silte, e argila, estes formam uma película que prejudica a adesão do asfalto ao agregado. A boa adesão entre o agregado e o asfalto, e sua permanência, são essenciais ao sucesso do tratamento superficial. Entretanto, a adesão é influenciada por muitas variáveis. O cimento asfáltico não adere bem ao agregado úmido. Obtem-se melhor adesão quando os agregados são quentes e secos. Toleram-se alguma umidade quando o tempo seco e quente promove secagem rápida quando se utiliza uma emulsão asfáltica.

Mais adiante nesta seção (Tabela 8.1) fornece-se a gama de aplicações de agregado e asfalto, como guia para estimar a quantidade adequada de materiais para um determinado tamanho de agregado. Deve-se fazer os ajustes das condições reais do campo e dos materiais.

Distribuidores de Asfalto

O distribuidor de asfalto é o mais importante equipamento de um serviço de tratamento superficial. É fabricado com o propósito específico de aplicar o produto asfáltico uniformemente e nas quantidades especificadas.

O distribuidor de asfalto (Figura 8.1) consiste num tanque isolado montado num caminhão (carro – tanque) ou num reboque, de capacidade de 3.000 a 20.800 litros. A maioria dos distribuidores são equipados com sistema de aquecimento que mantém o asfalto na temperatura adequada de aspersão.

O distribuidor tem uma bomba mecânica capaz de trabalhar com produtos que variam desde as aplicações leves e frias de emulsões asfálticas até os cimentos asfálticos pesados aquecidos até a viscosidade de distribuição. Atrás do tanque está um sistema de barras espargidoras com bicos através dos quais o asfalto é forçado sob pressão contra a superfície da estrada. Estas barras espargidoras cobrem larguras de 1,8 a 9,1 m numa passagem, dependendo de sua largura e da capacidade da bomba.

O Sistema de Circulação

O sistema de circulação tem uma bomba mecânica que:

1. Enche o tanque distribuidor,
2. Faz circular o material pela barra e tanque.
3. Asperge o material através da barra e bicos,
4. Retira o material da barra ou aspersor manual de volta para o tanque.
5. Bombeia o material do tanque para a estocagem externa e,
6. Transfere o material de um tanque de estocagem para outro.

A barra espargidora deve exercer uma pressão constante e uniforme ao longo de todo o comprimento para que a saída seja igual por todos os bicos.

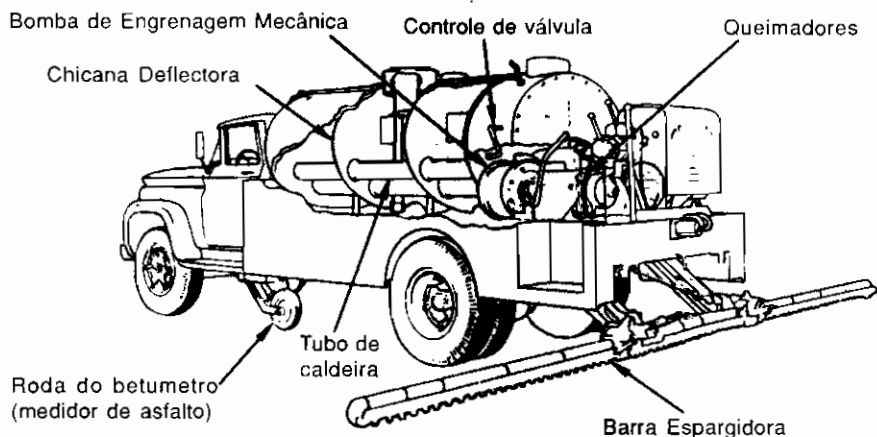


Figura 8.1 Distribuidor de Asfalto

Embora possam variar os métodos de manutenção da pressão, todos os distribuidores usam bombas de engrenagem mecânica para fornecer o asfalto à barra de espargimento. Em alguns distribuidores a pressão é controlada por uma bomba de velocidade variável, e em outros por uma bomba de velocidade constante com uma válvula reguladora de descarga.

A velocidade ou a pressão correta da bomba deve ser tal que não pulverize o asfalto nem distorça o leque espargidor. Se a pressão for pequena pode resultar o

estriamento devido à descarga não - uniforme do material pelos bicos individuais. A pressão alta além de pulverizar o asfalto, pode distorcer o leque espargidor. Os fabricantes fornecem gráficos e dados com a pressão ou a velocidade da bomba adequadas para a determinação da descarga em volume por minuto de cada tamanho de bico.

A Barra Espargidora de Asfalto

Uma das partes mais importantes do distribuidor é a barra espargidora. É através da barra espargidora e bicos, que a quantidade apropriada de asfalto é forçada sob pressão contra a superfície da estrada. Para se obter bons resultados, deve-se selecionar o tamanho correto de bicos para o tipo e grau do asfalto e a taxa de aplicação. Antes de usá-los, os bicos devem ser checados quanto a avarias e o ajuste correto.

O ângulo do eixo maior da abertura dos bicos (Figura 8.2) deve ser ajustado de modo que os leques espargidores não interfiram uns com os outros. O ângulo de bico varia de acordo com a marca do distribuidor, porém, são típicos os valores entre 0,26 e 0,52 radianos (15 a 30 graus). É importante que todos os bicos sejam ajustados ao ângulo apropriado dentro de tolerâncias pequenas.

Além do ângulo do bico, a altura da barra espargidora acima da superfície do pavimento deve ser ajustada a fim de assegurar a uniformidade do espargimento do asfalto. Também, é importante que a altura correta seja mantida durante toda a operação. A barra espargidora se estiver a uma altura incorreta causa o estriamento. Também, se muito alta pode ocorrer a distorção dos leques pela ação do vento.

Por exemplo, os melhores resultados para o espaçamento de 100 mm entre os bicos decorrem de uma cobertura exatamente tripla dos leques espargidores (Figura 8.3). Porém, com o espaçamento de 150 mm, para obter a cobertura tripla, a altura da barra espargidora seria tão grande que estaria sujeita a distorção pelo vento. Nesta situação usa-se a cobertura dupla.

Para o melhor resultado possível, a altura da barra espargidora acima da superfície da estrada, não pode variar de mais de 13 mm durante a aplicação. Medidas especiais devem ser tomadas a fim de assegurar que este valor máximo admissível seja garantido à medida que a carga de asfalto diminui sobre as molas do caminhão distribuidor. O chassi do distribuidor pode ser preso abaixo no eixo durante as passagens de espalhamento. Vários distribuidores de asfalto têm controles mecânicos para manter a altura adequada.

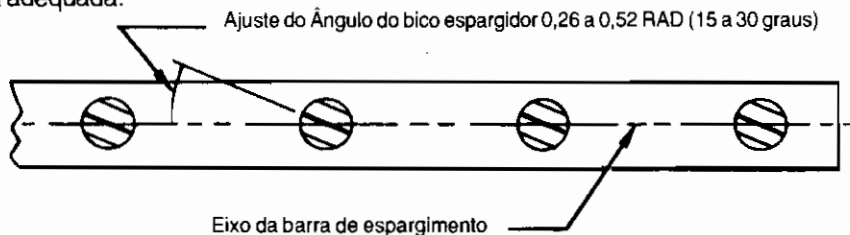


Figura 8.2 Ajuste Angular Adequado do Bico
Controles

Os controles incluem o sistema de válvulas que comandam o fluxo de material; o tacômetro da bomba ou um medidor de pressão que registra a vazão da bomba; e o medidor de asfalto.

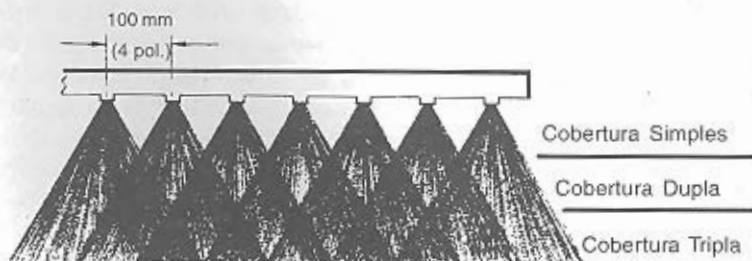


Figura 8.3 Superposição de Leques Distribuidores.

O betumetro é uma roda de pneu de borracha montada numa estrutura retrátil tendo um cabo condutor até um mostrador circular na cabine do veículo (Figura 8.4). Aparecem no mostrador a velocidade de percurso, em comprimento por minuto, e a distância percorrida.

Deve-se checar a acurácia do betumetro a intervalos constantes. A roda do betumetro deve ser mantida limpa a fim de assegurar a leitura acurada da velocidade do caminhão. O acúmulo de asfalto na roda causará um erro.

Para verificar a taxa correta de aplicação, pode colocar-se um tabuleiro raso de dimensões conhecidos [comumente um metro quadrado] na área de espargimento dos distribuidores. O asfalto colhido no tabuleiro deve ser pesado e convertido em litros por metro quadrado e comparado à taxa especificada.

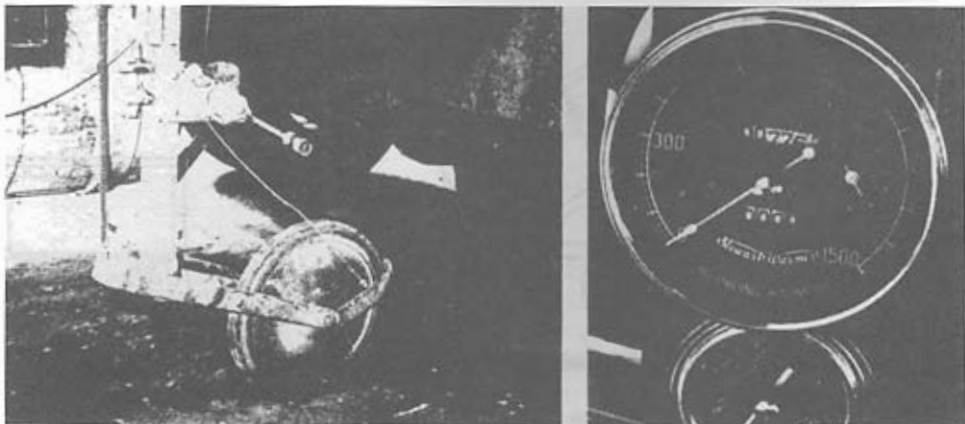


Figura 8.4 Roda de Betumetro e Mostrador de Betumetro.

Espalhadores de Agregado

O espalhador de agregado vem em segundo lugar quanto a importância, depois do distribuidor de asfalto. Tem como função aplicar uma cobertura uniforme de agregado sobre a membrana asfáltica recém-espargida.

Os espalhadores de agregados usados na construção de tratamentos superficiais são de três tipos básicos. Um deles é o espalhador de comporta de descarga que está diretamente ligado à comporta de descarga do caminhão. Outro tipo é o espalhador mecânico que também se conecta à comporta de descarga do caminhão, mas tem rodas de apoio; e o terceiro tipo é o espalhador mecânico autopropulsionado, o qual, na verdade, empurra o caminhão e tem energia própria para a operação de espalhamento em vez de depender do próprio caminhão.

São vários os tipos de espalhadores de comporta de descarga. O mais simples é o espalhador de lâminas que se mostra na Figura 8.5. Consiste numa placa de aço com uma série de lâminas que espalham o agregado na largura que se quer na superfície da estrada. Existem espalhadores de comporta de descarga que consistem numa tremonha com um rolo alimentador que é atuado por rodas pequenas em contato com as rodas do caminhão (ver a Figura 8.6).

Os espalhadores mecânicos presos aos caminhões são tremonhas com rodas que se engatam nos caminhões e são movidos por caminhões de agregados em marcha à ré como se mostra na Figura 8.7. As tremonhas contêm, geralmente, barras helicoidais que distribuem o agregado em toda a largura da caixa. As rodas que suportam o espalhador e acionam as barras helicoidais também fazem girar um rolo alimentador entalhado ou rugoso no fundo da tremonha.

O rolo alimentador assegura a distribuição uniforme do material sobre a superfície da estrada. Existe um engate ajustável na frente do espalhador que serve para prendê-lo ao caminhão de agregados. Os espalhadores mecânicos também têm controles que regulam as comportas de alimentação, o rolo alimentador, a barra helicoidal e a altura de engate do caminhão.

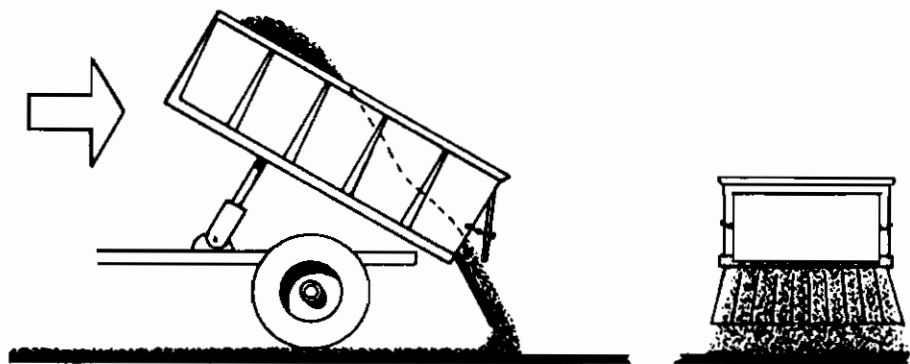


Figura 8.5 Espalhador de Comporta de Descarga de Lâminas.

Ilustra-se na Figura 8.8 um espalhador autopropulsionado. Esta máquina provê a distribuição de agregado muito uniforme e contínua, e permite níveis de produção muito grandes. O espalhador autopropulsionado conecta-se ao caminhão de agregado por meio de um gancho de engate direto, o qual, na marcha à ré do caminhão até a parte trazeira da máquina engata-se ao caminhão. A seguir, o espalhador puxa o caminhão por sobre a área de espalhamento. A máquina tem uma tremonha receptora



Figura 8.6 Espalhador de Comporta de Descarga do Tipo Tremonha



Figura 8.7 Espalhador Mecânico Preso a Caminhão.

na parte posterior. O material é deslocado da tremonha receptora até a tremonha espalhadora por meio de duas esteiras transportadoras independentes que são, geralmente, controladas automaticamente.

Pelo ajuste da velocidade de cada correia transportadora, o fluxo de agregados para a tremonha espalhadora pode ser fixado de modo a condizer com a descarga da tremonha. Por meio de sensores de nível de material na tremonha espalhadora,

em combinação com o controle de velocidade da correia, assegura-se o operador de que se mantém a tremonha confiavelmente cheia, sem necessitar da presença de outra pessoa na máquina.

No caso de comportas controladas individualmente, pode o operador utilizar desde, apenas, 150 mm da largura do espalhador até mesmo a largura total do espalhador sem ter que sair de seu assento ou contar com uma segunda pessoa na máquina. Isto permite trabalhar em curvas e interseções e com várias larguras do leito da estrada. Quando o material cai na tremonha espalhadora, o mesmo passa, usualmente, por uma peneira de escalpo no topo da tremonha. Isto permite escalpelar o material grande demais que possa ter ido do caminhão para a tremonha receptora. O material cai na tremonha de espalhamento e escoá-se sobre o rolo espalhador. Depositam-se, então, as partículas sobre a superfície da estrada coberta de asfalto.

A calibração e ajustes de todos os tipos de espalhadores de agregados devem ser feitos de acordo com as instruções e manuais de operação dos fabricantes. Contudo, algumas sugestões adicionais no sentido de assegurar bons resultados seguem-se:

- O tacômetro usado como auxiliar na obtenção de velocidade de espalhamento constante, tem sido muito bem sucedido.
- As taxas de distribuição podem ser bem controladas, marcando-se fora do leito o comprimento correspondente ao carregamento de agregado que cada caminhão deve cobrir.
- Pode-se fazer uma verificação expedita da quantidade de agregado que se está aplicando (taxa de aplicação) colocando-se um pedaço de pano ou papel de construção de um metro quadrado no pavimento [ou apoiando-se uma caixa rasa de um metro quadrado acima da superfície com asfalto por meio de pregos ou parafusos] e sobre o mesmo passando o espalhador. Então, levanta-se cuidadosamente o pano, papel ou caixa, e pesa-se o agregado. Obtem-se, assim, a taxa de aplicação do agregado que se está espalhando.

Outros Equipamentos

Equipamentos de Limpeza

O asfalto poderá não aderir ao pavimento se a superfície não estiver perfeitamente limpa. Portanto, é importante que se limpe a superfície antes de aspergir a emulsão asfáltica. Recomenda-se a vassoura mecânica aspiradora de ruas – Figuras 8.9 – para pegar a poeira e partículas soltas; porém, se esta não for disponível, a vassoura rotativa poderá ser usada. O jato de água pode ser necessário quando se utilizam vassouras, para se respeitarem os padrões de pureza do ar ou para remover os materiais que se empastaram na superfície.

As vassouras mecânicas de rua e as rotativas comuns também são usadas para remover as partículas soltas uma vez completado o tratamento e devidamente curado o asfalto. Deve-se aplicar somente pressões leves de vassoura a fim de evitar o desalojamento das partículas de agregado acomodados na membrana asfáltica.

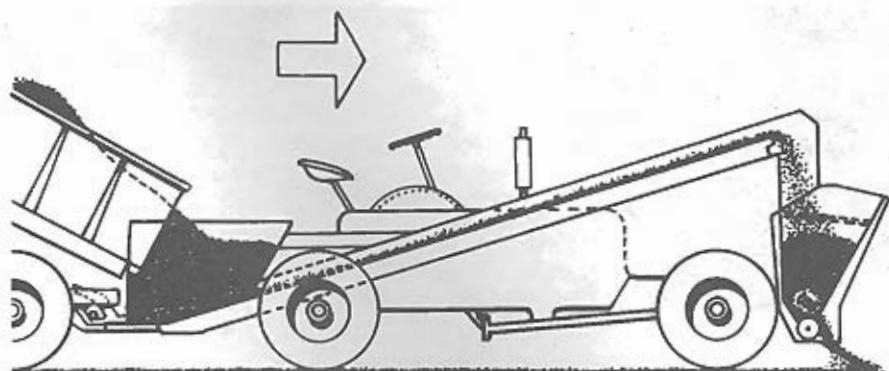


Figura 8.8 (Topo) Escoamento de Agregados Através de Espalhador Mecânico Autopropulsor.
(Fundo) Espalhador Mecânico Autopropulsionado.

Rolos

O assentamento das partículas de agregado é uma parte importante da operação de tratamento superficial. São vários os tipos de rolos compactadores existentes, porém os de rodas pneumáticas são os mais usados.

Recomenda-se para os tratamentos superficiais de agregados-asfalto o rolo pneumático autopropulsionado de pressão de inflação dos pneus de 415 a 620 kPa. Os pneus forçam o agregado fortemente no ligante asfáltico pela face achatada sem quebrar as partículas. Os rolos lisos de rodas de aço transpõem as partículas menores e as depressões pequenas na superfície; também podem esmagar as partículas menos resistentes de modo que a degradação comece mesmo antes de o tráfego usar a nova superfície.

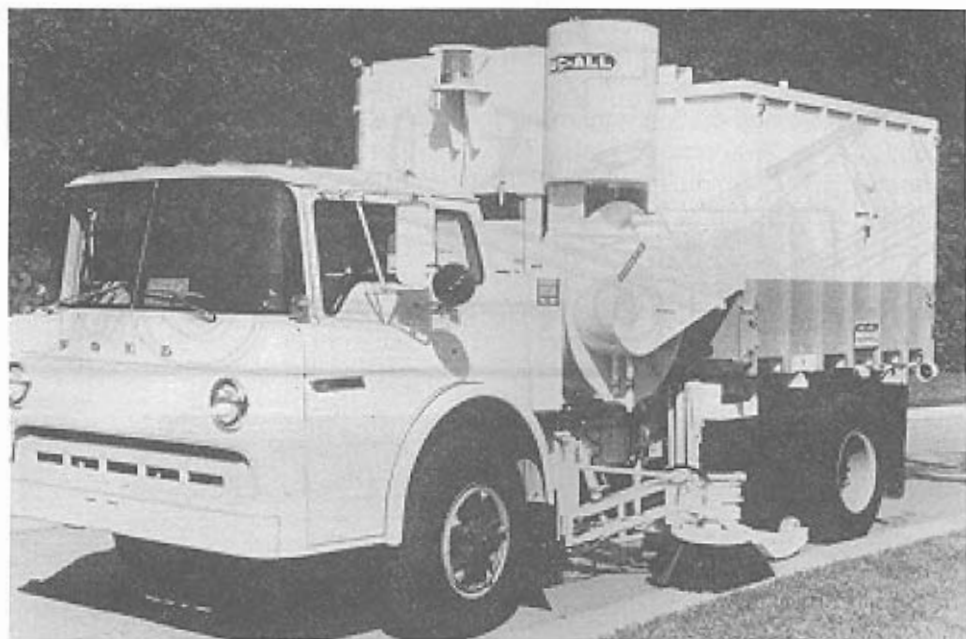


Figura 8.9 Vassoura Mecânica (Cortesia de Leach Co.)

Projeto do Tratamento Superficial

Tratamentos Superficiais Simples

Uma vez tomada a decisão de que se deve usar um tratamento superficial de agregado – asfalto, o passo seguinte é saber quais as taxas de aplicação de asfalto e agregado que melhor convêm. O objetivo é produzir uma superfície de pavimento da espessura de uma pedra, com asfalto suficiente para manter o agregado em posição, porém sem excesso que exsude.

Quando o agregado de cobertura de um só tamanho é jogado pelo espalhador numa película de asfalto, as partículas se dispõem em posição desordenadas. Após a compactação e tráfego considerável as partículas ficam orientada na posição de maior densidade com cerca de 20 por cento de vazios entre as partículas. Deve-se procurar preencher de dois - terços a três - quartos dos vazios com asfalto. Uma dosagem típica indicaria 70 por cento dos vazios preenchidos. Devido ao efeito dos meniscos o asfalto residual deixado no agregado após a evaporação da água ao se usar emulsão asfáltica, pode ser reduzido a 55 a 60 por cento dos vazios entre os agregados nas condições médias.

São vários os procedimentos teóricos de determinação da quantidade de agregado de cobertura. Envolvem, geralmente, determinações da menor dimensão média, os vazios da cobertura de agregado e a densidade relativa global.

Utilizam-se, em geral, cálculos matemáticos, junto com ensaios de laboratório, na determinação das quantidades requeridas de asfalto e agregado. No lugar de

desenvolver um modo complicado de fazer tais determinações, apresenta-se a Tabela 8.1. Esta fornece uma gama de aplicações de asfalto e agregado relacionadas ao tamanho particular de agregado que se está usando.

As quantidades sugeridas de asfalto da Tabela 8.1 referem-se à gama média de condições que incluem bases granulares imprimadas e superfícies de pavimentos antigos. As quantidades e tipos de materiais podem variar conforme as condições e experiência locais ou quando se realizam, de fato, ensaios de laboratório.

Um modo bastante simples para estimar a quantidade de agregado é, tão - somente, o espalhamento do agregado a ser usado sobre uma área de um metro quadrado. Sugere-se um tabuleiro de 1 m por 1 m e 25 mm de profundidade, o que também permitirá a determinação da quantidade de asfalto. O agregado deve ser colocado neste tabuleiro na condição mais densa que se pode prever no campo depois que o tratamento superficial tiver sido sujeito ao tráfego. Para se fazer isto é necessário que se visualize uma boa imagem do produto acabado. Determina-se o peso do agregado necessário, e este será o valor da taxa de espalhamento do agregado, em quilogramas por metro quadrado.

Estando o agregado cuidadosamente arrumado como descrito, enche-se o tabuleiro com água até que o nível desta aflore o topo dos agregados. Mede-se este volume de água e utiliza-se cerca de dois - terços do mesmo com a quantidade de asfalto requerida (ajustado, como é natural, segundo a Nota b da Tabela 8.1).

Tratamentos Superficiais Múltiplos

Existem diversos métodos arbitrários de projeto dos tratamentos superficiais múltiplos. No método que se mostra aqui, cada camada é projetada como se fosse um tratamento superficial simples. Para cada uma das camadas que se sucedem o tamanho máximo nominal não pode ser superior a metade do tamanho do agregado da camada anterior. Não se leva em conta as perdas. Também, após colocar a primeira camada, não se efetuam correções referentes à textura superficial da camada subjacente.

As quantidades de asfalto de cada camada são somadas, 40 por cento do total devem ser aplicados na primeira camada e 60 por cento na segunda, no caso de tratamento duplo. Se o tratamento for triplo, 30 por cento do total devem ser aplicados na primeira camada, 40 por cento na segunda e 30 por cento na terceira.

Nos tratamentos superficiais múltiplos, a primeira camada de agregado de cobertura determina, geralmente, a espessura. As camadas subseqüentes preenchem parcialmente os vazios superiores da camada previamente colocada (Ver Tabelas 8.2 e 8.3).

Procedimento Construtivo

Seqüência das Operações

A seqüência das operações é, basicamente, a mesma para todo os tipos de construções de tratamento superficial. A ordem usual é a seguinte:

1. Levantamento das condições da superfície a ser tratada;
2. Remendo das painelas e conserto das áreas danificadas no pavimento existente;

Tabelas 8.1 Quantidades de Asfalto e Agregados para Tratamentos Superficiais Simples

Tamanho Nominal do Agregado	Número do Tamanho da AASHTO	Quantidade ^(a) de Agregado kg/m ² (lb/jd ²)	Quantidade ^(b) de Asfalto l/m ² (gal/jd ²)	Tipo e Grau de Asfalto
1 19,0 mm a 9,5 mm (3/4 a 3/8 pol)	6	22 - 27	1,6 - 2,0 (0,35 - 0,45)	Cimento Asfáltico ^(c)
		(40 - 50)	1,8 - 2,3 (0,40 - 0,50)	RS-2, CRS-2
2 12,5 mm a 4,5 mm (1/2 pol a nº 4)	7	14 - 16	0,9 - 1,4 (0,20 - 0,30)	Cimento Asfáltico ^(c)
		(25 - 30)	1,8 - 2,3 (0,30 - 0,45)	RS-1, RS-2 CRS-1 - CRS-2
3 9,5 mm a 2,36 mm (3/8 pol a nº 8)	8	11 - 14	0,7 - 1,1 (0,15 - 0,25)	Cimento Asfáltico ^(c)
		(20 - 25)	0,9 - 1,6 (0,20 - 0,35)	RS-1, RS-2 CRS-1 -HFMS-1
4 4,75 mm a 1,18 mm (nº 4 a nº 16)	9	8-11	0,7 - 0,9 (0,15 - 0,20)	RS-1, MS-1 CRS-1 -HFMS-1
		(15-20)		
5 Areia	AASHTO M-6	5-8 (10-15)	0,5 - 0,7 (0,10 - 0,15)	RS-1, CRS-1 MS-1 -HFMS-1

Estas quantidades de asfalto cobrem gama média de condições que incluem base granuladores imprimadas e superfícies de pavimentos antigos. As quantidades e tipos de materiais podem ser variados de acordo com as condições e experiências locais.

- (a) A massa (peso) de agregado mostrada na tabela baseia-se num agregado de densidade relativa de 2,65. No caso de ser a densidade relativa do agregado usado inferior a 2,55 ou superior a 2,75, a quantidade mostrada na tabela acima deve ser multiplicada pela razão da densidade relativa aparente que apresenta o agregado para 2,65.
- (b) As taxas de aplicação de asfalto menores da tabela acima devem ser usadas para agregados de graduações do lado fino dos limites especificados. As taxas de aplicação maiores devem ser usadas para os agregados de graduação do lado grosso dos limites especificados.
É importante ajustar o Teor de asfalto para a condição de estrada aumentando se a estrada for absorvente, trincada ou reduzindo se a estrada for oleosa com asfalto disperso.

Correções pelas Condições de Superfície

Textura	Litros/m ²	(Gal/Jd ²)
Preta, asfalto exsudado	-0,04 a 0,27	-0,01 a - 0,6
Lisa, não porosa	0,00	0,00
Absorvente		
- levemente porosa, oxidada	+ 0,14	+ 0,03
- levemente esburacado (bexiguenta), oxidada	+ 0,27	+ 0,06
- muito esburacado (bexiguenta), oxidada	+ 0,40	+ 0,09

- (c) AC - 2.5, AC - 5, AR - 1000, AR - 2000, pen. 200/300, pen. 120/150 (Nota: em algumas áreas foram verificadas dificuldades persistentes em reter o agregado quando usado o cimento asfáltico de penetração 200-300. Quando destas ocorrências, recomenda-se não usar o asfalto de penetração 200-300.

Tabela 8.2 Quantidades de Asfalto e Agregados por Metro Quadrado (Jarda Quadrada) para o Tratamento Superficial Duplo.

	Tamanho Nominal do Agregado	Quantidade de Agregado kg/m ² (lb/jd ²)	Quantidade de Asfalto l/m ² (gal/jd ²)
12,5 mm (1/2 pol) de espessura			
1ª Aplicação*	9,5 a 2,36 mm (3/8 pol. a nº 8)	14 - 19 (25 - 35)	0,9 - 1,4 (0,20 - 0,30)
2ª Aplicação	4,75 a 1,18 mm (nº 4 a nº 16)	5 - 8 (10 - 15)	1,4 - 1,8 (0,30 - 0,40)
15,9 mm (5/8 pol) de espessura			
1ª Aplicação*	12,5 a 4,75 mm (1/2 pol a nº 4)	16 - 22 (30 - 40)	1,4 - 1,8 (0,30 - 0,40)
2ª Aplicação	4,75 a 1,18 mm (nº 4 a nº 16)	8 - 11 (15 - 20)	1,8 - 2,3 (0,40 - 0,50)
19,0 mm (3/4 pol) da espessura			
1ª Aplicação*	19,0 a 9,5 mm (3/4 a 3/8 pol)	22 - 27 (40 - 50)	1,6 - 2,3 (0,35 - 0,50)
2ª Aplicação	9,5 a 2,36 mm (3/8 pol a nº 8)	11 - 14 (20 - 25)	2,3 - 2,7 (0,50 - 0,60)

*Quando aplicado em base granular (agregado) não tratada usar asfalto diluído em vez de emulsões.

Tabela 8.3 Quantidades de Asfalto e Agregados por Metro Quadrado (Jarda Quadrada) para o Tratamento Superficial Triplo.

	Tamanho Nominal do Agregado	Quantidade de Agregado kg/m ² (lb/jd ²)	Quantidade de Asfalto l/m ² (gal/jd ²)
12,5 mm (1/2 pol) de espessura			
1ª Aplicação*	9,5 a 2,36 mm (3/8 pol. a nº 8)	14 - 19 (25 - 35)	0,9 - 1,4 (0,20 - 0,30)
2ª Aplicação	4,75 a 1,18 mm (nº 4 a nº 16)	5 - 8 (10 - 15)	1,1 - 1,6 (0,25 - 0,35)
3ª Aplicação	4,75 mm a 150 µm (nº 4 a nº 100)	5 - 8 (10 - 15)	0,9 - 1,4 (0,20 - 0,30)
15,9 mm (5/8 pol) de espessura			
1ª Aplicação*	12,5 a 4,75 mm (1/2 pol. a nº 4)	16 - 22 (30 - 40)	0,9 - 1,4 (0,20 - 0,30)
2ª Aplicação	9,5 a 2,36 mm (3/4 pol a nº 8)	8 - 11 (15 - 20)	1,4 - 1,8 (0,30 - 0,40)
3ª Aplicação	4,75 a 1,18 mm (nº 4 a nº 16)	5 - 8 (10 - 15)	0,9 - 1,4 (0,20 - 0,30)
19,0 mm (3/4 pol) de espessura			
1ª Aplicação*	19,0 a 9,5 mm (3/4 a 3/8 pol)	19 - 25 (35 - 45)	1,1 - 1,6 (0,25 - 0,35)
2ª Aplicação	9,5 a 2,36 mm (3/8 pol a nº 8)	11 - 14 (20 - 30)	1,4 - 1,8 (0,30 - 0,40)
3ª Aplicação	4,75 a 1,18 mm (nº 4 a nº 16)	5 - 8 (10 - 15)	1,1 - 1,6 (0,25 - 0,35)

*Quando aplicado em base granular (agregado) não tratada usar asfalto em vez de emulsões.

3. Limpeza da superfície pela passagem da vassoura mecânica ou outro meio aprovado;

4. Espargimento de asfalto à taxa e temperatura especificados (Tabelas 8.1 – 8.4);

5. Espalhamento do agregado de cobertura à taxa especificada logo atrás do espargimento do asfalto (a emulsão ainda de cor marrom) para alcançar a molhagem maior possível do pedrisco;

6. Rolagem da cobertura de agregado para assentar as partículas na membrana asfáltica.

A Figura 8.10 mostra uma operação de tratamento superficial típica. Quando necessários tratamentos duplos ou triplos, as etapas 4 até 6 devem ser repetidas uma ou duas vezes.



Figura 8.10 Operação de Tratamento Superficial (Cortesia de E. D. Etnyre Co.)

Levantamento para o Projeto

Antes, de iniciar qualquer trabalho, deve ser feito o exame pormenorizado da superfície para determinar os reparos necessários e avaliar os requisitos para o tratamento. Pontos fracos que possam acarretar futuras falhas, bem como variações na largura, seção transversal e perfil que deixariam a estrada disforme, são anotados. Os defeitos de drenagem lateral são particularmente críticos. No caso de restauração de uma superfície antiga, detectar as painelas, áreas trincadas, depressões, áreas escorregadias ou com asfalto exudado, áreas de absorção e outros defeitos superficiais.

Preparação da Superfície da Pista

Alguns pavimentos antigos não necessitam de reparações antes de serem revestidos. Outros podem exigir escarificação completa, mistura e recompactação junto com a remoção do material estragado. Entretanto, a maior parte dos pavimentos precisam de alguns remendos e de remoção do excesso de asfalto.

As reparações e correções podem ser feitas de modo que a superfície antiga esteja em boas condições antes do início do tratamento superficial. Quando os consertos superficiais como os remendos são executados, deve-se permitir tempo suficiente antes do tratamento superficial, de modo a assegurar a consolidação pelo tráfego.

Quando a pista existente tem uma superfície granular e a seção transversal ou perfil está deformado, deve-se escarificar a estrada e acrescentar novo material. A fim de evitar camadas delgadas que possam lascas depois de executado o tratamento superficial, deve-se misturar o novo material com o que foi escarificado. A seguir, compacta-se em camadas não superiores a 150 mm de espessura. Deve-se remover o material dos pontos fracos em toda a espessura e largura necessária, e o novo material de base acrescentado e compactado até uma densidade comparável à da base circunvizinha. Aplica-se, então, a imprimação.

Depois de fazer todas as reparações, deve-se limpar a superfície imediatamente antes de espalhar o asfalto. Deve-se retirar toda a lama ressecada e outras matérias estranhas e varrer completamente a superfície com uma vassoura mecânica.

Condições Atmosféricas

O estado do tempo tem um papel importante no sucesso dos tratamentos superficiais. A melhor época do ano para executar um programa de tratamentos superficiais é quando as condições atmosféricas são de maior possibilidade de tempo quente e seco durante e (por algumas semanas) após o tratamento.

Muitas especificações estabelecem que a temperatura do ar seja de, pelo menos, 10°C antes de começar o tratamento superficial. Algumas especificações estabelecem que a temperatura da superfície seja superior a 20°C antes de começar a construção. Por mais quente esteja o asfalto quando aspergindo, seu esfriamento se dará até a temperatura da superfície do pavimento num minuto ou menos.

Nunca se deve começar um tratamento superficial quando a superfície está úmida ou quando houver ameaça de chuva. A combinação de água, tratamentos superficiais recentes e tráfego resultará na perda do agregado de cobertura.

Equipamento e Materiais

Antes de começar o serviço, deve-se examinar todo o equipamento para se certificar de seu bom estado de operação. O operador do distribuidor deve assegurar-se de que a barra de distribuição está a uma altura correta acima da superfície e de que todos os bicos estejam ajustados no ângulo correto e estejam limpos e aspergindo livremente. O espalhador de agregado deve ser checado para verificar seu funcionamento adequado.

O fornecimento de material deve ser coordenado para que não haja atraso depois de começado o serviço. Se a fonte de agregado não for próxima do serviço, é necessário que se disponha de um número suficiente de caminhões para prover o abastecimento contínuo de material; ou, então, que haja agregado suficiente, estocado com antecedência próximo ao local da obra.

Espargimento do Asfalto

Visto que o asfalto é aspergido na pista quando se constroem tratamentos superficiais, deve-se escolher a temperatura que resulte na viscosidade mais efetiva. As temperaturas mostradas na Tabela 8.4 devem ser usadas como orientação. Cada distribuidor tem um ou mais termômetros para checagem da temperatura do asfalto. A temperatura no espargimento para uma determinada pressão na barra distribuidora deve ser aquela para a qual não se forme névoa quando o material asfáltico sai dos bicos aspersores.

Tabela 8.4 Temperaturas Sugeridas para o Espargimento do Asfalto

Tipo e Grau do Asfalto	Temperatura de Espargimento do Asfalto	
	Graus Celsius*	Graus Fahrenheit
Emulsões Asfálticas		
CRS-1	50 - 85	125 - 185
CRS-2	50 - 85	125 - 185
RS-1	20 - 60	70 - 140
RS-2	50 - 85	125 - 185
MS-1	20 - 70	70 - 160
HFMS-1	20 - 70	70 - 160
Cimentos Asfálticos	130 + **	265 + **

Observações:

* 1. Arredondaram-se as conversões exatas de °F para °C a menos de 5°C

** 2. A temperatura máxima deve ficar abaixo da temperatura em que ocorre a névoa

A velocidade do distribuidor e o comprimento da carga de asfalto espalhado são determinados antes de começar o espargimento. Pode-se determinar a velocidade do distribuidor por:

Métrico

$$S = \frac{Q}{WR}$$

Onde: S = velocidade do distribuidor, m/min;

Q = vazão da barra distribuidora, l/min;

W = largura do espargimento, m;

R = taxa de aplicação, l/m²

O asfalto deve estar à temperatura correta para a viscosidade de espargimento. Se estiver não haverá problema na aplicação à taxa correta. O motorista apenas mantém a velocidade predeterminada conforme indica o mostrador de betumetro.

O comprimento da carga de asfalto espalhado é determinada antes de começar cada aplicação de asfalto. Baseia-se no número de caminhões carregados de agregado presentes quando tem início a operação. Não se espalha asfalto a mais que não possa ser coberto de agregado num minuto. O comprimento do espalhamento pode ser determinado por:

Métrico

$$L = \frac{T}{WR}$$

Onde:

L = comprimento do espargimento, m;

T = total de litros a serem aplicados pelos distribuidores sobre a superfície;

W = largura do espargimento, m; e

R = taxa de aplicação, l/m²

Uma vez determinado o comprimento da descarga de asfalto, o motorista do distribuidor só tem que manter a velocidade preestabelecida. Embora o distribuidor contenha vários dispositivos medidores da taxa de aplicação de asfalto, é necessário que cálculos específicos sejam feitos após cada carga. Isto pode ser feito de forma bem simples pelas fórmulas abaixo. Para verificar-se a taxa de aplicação, é necessário que o número de litros de asfalto aspergido seja conhecido junto com o comprimento e a largura do espargimento.

$$L = \frac{TM}{WL}$$

Métrico

Onde:

- R = Taxa de aplicação, l/m²;
- T = Total de litros aspergidos do distribuidor à temperatura de espargimento (leitura da haste de medição antes do espargimento menos a leitura da haste de medição após o espargimento);
- M = Multiplicador de correção do volume de asfalto para a base a base de 15,6°C, de tabelas de volume - temperatura;
- W = Largura do espargimento, m;
- L = Comprimento do espargimento, m

Juntas Transversais

Pode-se evitar que as juntas transversais fiquem rugosas e disformes, começando e terminando as distribuições de asfalto e agregado sobre papel de construção. O papel é colocado transversalmente à faixa a ser tratada de modo que a borda dianteira esteja no local desejado da junta. O distribuidor – deslocando-se a velocidade correta da taxa de aplicação que se quer – começa o espargimento no papel de tal modo que a barra espargidora faça uma aplicação plena e uniforme quando atingir a superfície exposta. Uma segunda tira de papel de construção é colocada transversalmente à faixa no ponto predeterminado de interrupção da distribuição. Por este procedimento obtém-se uma junta transversal retilínea e nítida. Depois que o espalhador de agregado tiver passado por cima do papel, este deve ser retirado e ter um fim adequado.

Na aplicação seguinte a borda de entrada do papel é colocado até 13 mm da linha de interrupção do tratamento colocado previamente. Com isto, evita-se um hiato entre os dois espalhamentos.

Juntas Longitudinais

As aplicações de asfalto e agregado em toda a largura eliminam as juntas longitudinais. É comum, na maioria dos serviços de tratamento superficial, contudo, não se poder evitar a junta porque devem ser mantidas faixas de tráfego.

A fim de evitar que o agregado se acumule na junta longitudinal, a borda do espalhamento de agregado deve coincidir com a borda de espessura total do asfalto aplicado. A superfície de espessura total do asfalto aplicado é mais estreita do que a largura total de asfalto aplicado de metade da cobertura dos bicos no extremo da barra espargidora. Resta, assim, uma largura em que o asfalto está presente numa espessura parcial que será sobreposta quando se aplica o asfalto na faixa adjacente.

Então, ao se espalhar o agregado em toda a largura na próxima faixa não ocorre o acúmulo na junta. A largura da faixa de asfalto que se deixa exposta varia [tipicamente, 150 – 200 mm], conforme o espaçamento dos bicos e o tipo de padrão de espargimento, se de dupla ou tripla superposição.

Quando possível, a junta longitudinal deve ficar ao longo da linha central do pavimento que se está tratando. Um alinhamento fixo ajuda a assegurar a junta longitudinal retilínea.

Espalhamento do Agregado

A totalidade do agregado necessário para o espalhamento planejado deve estar disponível antes de iniciar a operação. Quando o distribuidor avança para aspergir o asfalto, deve o espalhador de agregado seguir-lhe logo atrás. O asfalto deve ser coberto no prazo de um minuto. Do contrário, o aumento de viscosidade que tem lugar neste intervalo de tempo pode impedir uma boa molhagem e ligação do agregado. Também é importante que o agregado seja espalhado uniformemente à taxa especificada. Numa aplicação simples, o agregado, normalmente, não fica preso ao asfalto numa espessura maior que o tamanho de uma partícula, sendo, por isto, inútil e um desperdício espalhar o agregado a uma taxa superior à que produz uma camada simples. Além do mais, agregado em excesso, sob a ação do tráfego pode soltar partículas engastadas.

É possível um controle excelente com espalhadores mecânicos. Uma taxa de aplicação uniforme pode ser assegurada com um espalhador corretamente ajustado se for usado um tacômetro para manter a velocidade uniforme. Outra ajuda para o controle das taxas de distribuição é a marcação do comprimento que cada carregamento de agregado do caminhão deve abranger.

Se for colocado agregado em excesso em algumas áreas, deverá o mesmo ser retirado imediatamente com pás de face quadrada. Nas áreas em que a aplicação é insuficiente, deve-se acrescentar mais agregado imediatamente. Entretanto, com espalhadores de agregado corretamente ajustados e operados, o trabalho manual não deverá ser necessário.

Rolagem

A rolagem assenta o agregado na membrana de asfalto e, assim, permite a ligação necessária para resistir às tensões do tráfego.

Deve-se usar rolos pneumáticos em todos os serviços de tratamento superficial. Os rolos pneumáticos exercem pressão uniforme sobre toda a área. Os resultados obtidos serão melhores quando forem usados dois rolos autopropulsionados com cada espalhador de agregado.

A operação com rolos pneumáticos tem início logo após que o material de cobertura tiver sido distribuído e continua até que o agregado esteja perfeitamente assente na membrana asfáltica. Logo que o asfalto estiver definitivamente firme ou endurecido, interrompe-se a rolagem, a fim de evitar que a ligação entre a superfície e o agregado seja rompida pelo rolo. A rolagem começa na borda externa do tratamento e, seguindo na direção longitudinal, vai chegando para o centro da estrada. Cada faixa deve sobrepor-se à anterior de cerca de metade da largura das rodas da frente.

Agregado em Excesso

Apesar das precauções, costuma-se ter agregado solto na superfície da estrada depois de terminada a rolagem. Antes de cobrir a faixa adjacente com asfalto, varre-se

o agregado solto ao longo da junta e, se necessário, do restante da faixa não coberta.

O agregado não cravado é, frêquente, apanhado pelos pneus de veículos velozes e atirado de encontro a outros veículos, muitas vezes danificando faróis dianteiros, vidros pára-brisas e pinturas. Os agregados soltos podem ser retirados por leve varredura com vassoura mecânica rotativa. Esta varredura só deve ser feita depois que o asfalto estiver firme e uma boa ligação desenvolvida. Uma hora boa para a varredura é bem cedo pela manhã quando o tempo está fresco.

Controle do Tráfego

O controle do tráfego é importante para o trabalho de alta qualidade e deve ser mantido durante todo o serviço. O tráfego de alta velocidade sobre um tratamento superficial recente desloca o agregado e produz uma superfície polida e preta. Deve-se desviar o tráfego ou permiti-lo apenas na faixa de tráfego onde não se está construindo. Quando se completa a construção e já há o enrijecimento inicial do asfalto, ainda se mantém o tráfego a menos de 32 km/h, até que o asfalto, finalmente, se firme. O tempo que decorre até o endurecimento final varia com as condições atmosféricas. Deve-se controlar o tráfego de modo a garantir segurança máxima aos operários e a menor interrupção possível do trabalho. Sinalização de advertência, sinaleiros e um caminhão - piloto conduzindo os veículos pelo canteiro de serviço, são meios seguros e eficientes de controle do tráfego.

O controle do tráfego também se estende aos equipamentos de transporte de materiais da obra. Os caminhões de transporte de agregados seguem rota do espalhador de agregado em sentido oposto ao da evolução do tratamento superficial. Isto evita que caminhões dêem meia-volta sobre o tratamento recém - colocado. Todos os caminhões têm que fazer o retorno num ponto escolhido afastado do canteiro de serviço.

Procedimentos de Construção de Tratamentos Superficiais Múltiplos

Os procedimentos de construção de tratamento superficiais múltiplos são essencialmente os mesmos dos tratamentos superficiais simples, salvo quanto ao processo ser repetido duas ou três vezes. O procedimento para um tratamento superficial duplo compreende os passos seguintes:

1. Preparação da superfície;
2. Colocação da primeira aplicação de asfalto;
3. Colocação da primeira camada de agregado;
4. Rolagem da primeira camada de agregado;
5. Colocação da segunda aplicação de asfalto;
6. Colocação da segunda camada de agregado;
7. Rolagem da segunda camada de agregado; e
8. Varredura do excesso de agregado.

Deve haver um período de cura entre os tratamentos. Deve-se permitir a cura antes da colocação da segunda aplicação do asfalto (passo 5). Sob condições favoráveis este período varia de um a sete dias. No caso de tratamento de três camadas, os passos 5, 6 e 7 são repetidos para a aplicação adicional.

Tratamentos Superficiais de Agregado - Asfalto Especiais

Capa Selante

O termo "Capa Selante" é atribuído à Administração Provincial do Cabo da África do Sul. Pode-se definir a capa selante como um tratamento superficial de camada simples (selo de pedrisco) seguido de selo de lama asfáltica a emulsão.

A fim de se ter um serviço bem sucedido de capa selante além de seguir as especificações e métodos dos tratamentos superficiais e lamas asfálticas correntes, é importante que o tratamento superficial seja colocado apenas como uma camada simples. O elemento mais crítico a ser evitado numa capa selante é o excesso de lama, pois isto pode acabar com a textura superficial encarçada que se pretende obter. Também se deve providenciar um tempo de cura de quatro a dez dias entre a colocação do tratamento superficial e a aplicação seguinte de lama asfáltica, durante o qual deve-se fazer varreduras regulares para remover o material solto ou outro material estranho que possa prejudicar a aderência da lama. (ver Tabela 8.5).

Tabela 8.5 Quantidades de Asfalto e Agregados por Metro Quadrado (Jarda Quadrada) para Capa Selante

12.5 mm (1/2 pol) de espessura	l/m ² - Asfalto (gal/jd ²)	kg/m ² - Agregado (lb/jd ²)	kg/m ² - Lama Asfáltica (lb/jd ²)
Emulsão (RS-2, CRS-2)	1,4 - 2,0 (0,30 - 0,45)		
Agregado Graúdo ASTM OU AASHTO Tamanho n ^o 7 12,5 a 4,75 mm (1/2 pol a n ^o 4)		14 - 16 (25 - 30)	
Capa Selante de Lama Tipo I			3 - 5.5 (6 - 10)

Selo de Areia

Define-se o selo de areia como uma aplicação de aspersão de emulsão asfáltica seguida de leve cobertura de agregado fino, como areia ou pedrisco limpos. Embora seja esta uma operação bastante simples, pode ser útil na correção de certo número de falhas dos pavimentos. Comumente, usam-se as emulsões de graus RS-1, CRS-1, MS-1 e HFMS-1, a taxas de cerca de 0,70 a 0,90 l/m². Segue-se a capa de areia ou pedrisco de cerca de 5,5 a 8 kg/m².

O selo de areia é usado principalmente com as finalidades seguintes:

- Enriquecer um pavimento seco, intemperizado ou oxidado
- Evitar a intrusão de ar e água
- Desenvolver uma textura superficial antiderrapante
- Diminuir a taxa de deterioração de um pavimento existente.

8.3 Outros Tratamentos Superficiais

Introdução

Descrições

Foi dito anteriormente que todos os tratamentos superficiais selam e aumentam a vida das superfícies de estradas, mas cada tipo com um ou mais propósitos especiais. Os tratamentos superficiais que falta discutir são os tratamentos do tipo aspersão de asfalto e as lamas asfálticas a emulsão.

Escolha do Asfalto

A Tabela 8.6 sugere tipos de asfalto a usar em vários tratamentos superficiais do tipo selante. Incluem-se os tratamentos com agregados de cobertura (como já descrito).

Tabela 8.6 Tipos de Asfalto para Tratamentos Superficiais

Tipos de Construção	Cimentos Asfálticos		Emulsões Asfálticas e Asfaltos																
	AC-2.5 ¹	AC-5 ²	Emulsões Aniônicas						Emulsões Catiônicas				Cura Média (MC) - CM			Cura Lenta (SC) - CL			
			RS-1	RS-2	MS-1	HFMS-1	SS-1	SS-1h	CFS-1	CAS-2	CSS-1	CSS-1h	30	70	250	70	250		
Tratamentos superficiais com Agregado de Cobertura	X	X	X	X	X	X				X	X								
Imprimação ³							X ²	X ²			X ²	X ²	X	X	X				
Assentamento de poeira / Tratamento anti pó							X ¹	X ¹			X ¹	X ¹	X	X	X	X	X		
Capa de ligação							X ¹	X ¹			X ¹	X ¹							
Névoa Selante							X ¹	X ¹			X ¹	X ¹							
Selo de Areia			X		X	X				X									
Selo de Lama							X	X			X	X							

1 Diluída na água

2 Imprimação de mistura no local, apenas

3 AR - 1000 ou pen. 200/300 dmm

4 AR - 200 ou pen. 120/150 dmm

5 MS - 2 ou CMS - 2 também podem ser usados

Tratamentos Superficiais Aspergidos

Os tratamentos de aspersão asfáltica não têm agregados de cobertura. São (a) imprimações, (b) tratamentos de assentamento de poeira, (c) tratamentos de óleo de estrada, (d) camada de ligação e (e) nevoas selantes.

Imprimação

A imprimação é a aplicação de asfalto diluído de baixa viscosidade ou emulsão asfáltica a uma base granular, como preparação para posterior camada asfáltica. A fim de que a imprimação satisfaça estes critérios, deve penetrar na camada de base, Projeta-se a imprimação para desempenhar várias funções:

- Cobrir e ligar as partículas minerais soltas na superfície da base.
- Endurecer e enrijecer a superfície.
- Impermeabilizar a superfície da base.
- Vedar os poros capilares.
- Prover adesão entre a base e a camada seguinte.

A base não tratada deve ser adequadamente conformada e compactada antes da aplicação da imprimação. Deve-se varrer o material solto da superfície e esta deve apresentar-se seca ou apenas levemente umedecida.

Os asfaltos diluídos usados normalmente para a imprimação são o MC-30 e o MC-70. Porém, o MC-250 é, às vezes, usado em superfícies de textura aberta fracamente ligadas. A taxa ideal de aplicação é a quantidade que será completamente absorvida pela superfície num período de 24 horas. Em geral, esta quantidade está entre 0,90 e 2,25 litros/m².

As emulsões asfálticas de ruptura lenta podem ser usadas em imprimações de mistura no local. A quantidade de emulsão a ser usada depende da natureza da base granular e das condições do tempo. A graduação do agregado, o tamanho dos poros, e a absorção do agregado, todos afetam a taxa de aplicação. Geralmente, entre 0,3 e 0,9 litros/m²/25 mm de emulsão SS-1, SS-1h, CSS-1 e CSS-1h, seriam misturados no local com este propósito. Se encontrado um excesso de resíduo asfáltico na superfície quando tiver havido a ruptura da emulsão, uma pulverização muito leve de areia irá impregnar-se deste material em excesso.

Tal como nos tratamentos superficiais simples ou múltiplos, pode-se colocar papel de construção no chão tanto no início como no fim de cada passagem, a fim de criar linhas nítidas de início e fim.

Nas áreas em que o asfalto de imprimação não tiver sido completamente absorvido pela base dentro de 24 horas, uma camada mata - borrão de areia pode ser aplicada. A quantidade aplicada deve ser suficiente para enxugar o excesso de asfalto e evitar que seja pego sob tráfego. Toda areia solta deve ser varrida da base antes de colocar camadas asfálticas adicionais na superfície imprimada.

A temperatura do ar na ocasião da imprimação deve estar acima de 10°C na sombra. Esta é uma orientação básica para a maioria dos tratamentos de aspersão asfáltica.

Assentamento da poeira

O assentamento da poeira consiste no espargimento de uma superfície não tratada com emulsão asfáltica de ruptura lenta diluída ou com asfalto diluído de viscosidade pequena. O asfalto e o diluente penetram e recobrem as partículas finas e aliviam temporariamente o incômodo da poeira.

O asfalto diluído é espalhado usualmente à taxa de 0,45 a 2,25 l/m². Quando se usar emulsão, deve a mesma ser diluída com até cinco ou mais partes de água em volume. A poeira agitada pelo tráfego entre aplicações acaba por

aglomerar-se e não se levanta mais. Este é um tratamento eficaz em áreas muito empoeiradas em que uma aplicação de asfalto diluído é insuficiente.

Aplicação de Óleo na Estrada

A aplicação de óleo na estrada difere do assentamento de poeira porque é geralmente feita como parte da construção planejada de revestimentos de estradas de baixo custo durante vários anos. Cada aplicação pode ser misturada mecanicamente com o material que está sendo tratado, ou se permite que o óleo penetre. Os óleos leves nos óleos de estrada penetram no subleito granular e tendem a repelir a absorção de água. O objetivo em todo serviço de oleado de estrada é obter um tapete firme de camada de desgaste sem poeira, e uma camada de subleito resistente que não venha a ficar saturado de água.

Porque há grande variação dos solos, os procedimentos de oleado são mais uma questão de erro e acerto local não sujeitos a uma análise exata. A quantidade de oleado requerida no primeiro ano de trabalho varia de 3,40 a 4,50 l/m³. Esta deve ser aplicada em três vezes. A primeira aplicação faz-se à taxa de cerca de metade do total; as aplicações seguintes são feitas em duas partes menores e iguais.

Tratamentos oleados são aplicados a intervalos de várias semanas, dependendo do caráter do tapete de solo - asfalto.

Quando ocorre alguma desagregação após o primeiro inverno, uma escarificação leve e retrabalhamento no segundo ano produzirá uma superfície mais espessa e mais resistente.

Capa de Ligação

A capa (pintura) de ligação é o espargimento muito leve de emulsão asfáltica diluída. É usada para assegurar a ligação entre a superfície que se está pavimentando e a nova camada. Na maioria dos reforços, recomenda-se a capa de ligação. Talvez que a única exceção é para uma camada adicional colocada dentro de um ou dois dias sobre uma superfície asfáltica recém - espalhada que não tenha sido entregue ao tráfego. Neste caso desenvolve-se ampla ligação entre as duas camadas sem ter que usar uma capa de ligação. Em todos os casos, contudo, a superfície deve ser limpa e isenta de poeira e material solto.

Os tipos mais comuns de emulsões para as capas de ligação são SS-1, SS-1h, CSS-1 e CSS-1h diluídas. A diluição da emulsão se faz pela adição de água em partes iguais. Primeiramente, faz-se um teste de diluição para se certificar de que a água a ser usada é compatível com a emulsão. A fim de evitar a ruptura prematura, adiciona-se sempre a água à emulsão, e não a emulsão à água. O material diluído é, então, aplicado à taxa de 0,25 a 0,70 l/m². Não se deve aplicar capa de ligação a mais numa área que se pode cobrir no mesmo dia de operação.

As pinturas de ligação não devem ser aplicadas nos períodos de tempo frio ou úmido. Os melhores resultados se obtêm quando a superfície da estrada está seca, a temperatura superficial é superior a 27°C, e não há ameaça de chuva.

A meta é uma capa muito delgada, porém uniforme, de asfalto deixado na superfície quando ocorrer a ruptura da emulsão. Pintura de ligação em excesso pode criar um plano de escorregamento entre as duas camadas do revestimento pois que o asfalto

vai atuar como lubrificante e não como adesivo. Pode até criar “pontos gordos” ou exsudação na superfície do novo pavimento, condição esta que não é apenas desagradável mas que produz um pavimento perigosamente escorregadio. A rolagem com pneumáticos nas capas de ligação mosqueadas ajudará a espalhar o asfalto numa melhor cobertura. Também ajudará a atenuar a probabilidade de ocorrerem pontos gordos. Depois de espalhar a pintura de ligação deve-se dar tempo suficiente para que ocorra a ruptura completa antes do reforço ser colocado. O tráfego deve ser mantido afastado da área pintada.

A pintura de ligação também faz parte da boa operação de remendo. Inicialmente, a área a ser remendada deve ser completamente limpa e retirado todo o material solto. A seguir uma capa asfáltica bastante intensa de emulsão asfáltica é espalhada, ou pintada na área toda, inclusive nas faces verticais. A ligação ajuda a segurar o remendo no lugar e forma um selo impermeável entre o remendo e o pavimento circunvizinho.

Névoa Selante

A névoa selante é uma aplicação leve sobre uma superfície existente de uma emulsão de ruptura lenta diluída com água, semelhantemente à capa de ligação. Pode ser diluída em várias proporções até uma parte de emulsão por cinco de água, mas, na maioria dos casos, a diluição em partes iguais é a que se usa. Os graus de emulsão asfáltica normalmente usados com esta finalidade são o SS-1, SS-1h, CSS-1 e CSS-1h.

Uma névoa selante pode ser de valiosa ajuda na manutenção, quando usada com este propósito. Não se trata de um substituto do tratamento superficial de agregado-asfalto ou uma lama asfáltica. É usada na renovação de pavimentos antigos que se tomaram secos e quebradiços com a idade, na selagem de pequenas fissuras e poros superficiais e na inibição da desagregação. As emulsões diluídas de viscosidades razoavelmente baixas fluem facilmente nas trincas e vazios à superfície. Há, também, o recobrimento das partículas de agregado na superfície. Esta ação corretiva prolonga a vida do pavimento e pode retardar o momento em que se farão necessários serviços de manutenção e reabilitação de monta.

A quantidade total de névoa selante usada é normalmente da ordem de 0,45 a 0,70 l/m² de material diluído. As quantidades exatas são determinadas pela textura superficial, seca, e grau de trincamento ou desagregação do pavimento sobre o qual a névoa selante é aspergida. Deve-se evitar aplicações excessivas, pois isto resultaria na captura de asfalto pelos veículos e possivelmente numa superfície escorregadia. Se for aplicada excessiva quantidade de emulsão, pode-se remediar o problema por um leve polvilhamento da área afetada com areia fina.

Deve-se manter o tráfego afastado da névoa selante até que haja a ruptura da emulsão e seja esta substancialmente absorvida pela superfície existente. Este período de cura pode variar de uma hora em tempo seco e quente até 3 horas ou mais em tempo úmido e fresco. O período de cura pode ser reduzido, freqüentemente por rolagem com rolo pneumático.

Lama de Emulsão Asfáltica

Descrição

A lama asfáltica é uma mistura dosada de agregado fino bem graduado, filer mineral (se necessário), emulsão asfáltica e água aplicada a um pavimento como tratamento superficial. Não há acréscimo da resistência estrutural do trecho do pavimento.

Todo pavimento que seja estruturalmente fraco em áreas localizadas deve ser consertado antes da aplicação da lama asfáltica. Todos os afundamentos, saliências, bordas de pavimentos rebaixadas, falta de declividade transversal, ondulações e outras irregularidades superficiais que reduzem a qualidade da rolagem devem ser corrigidas antes de aplicar a lama asfáltica.

A lama asfáltica na aplicação em pavimentos antigos pode ser bastante eficaz. Sua aplicação oportuna ajudará a diminuir os defeitos superficiais causados pela oxidação do asfalto e pelo estado quebradiço da mistura de pavimentação. Produz-se a vedação das trincas superficiais, para-se o desgaste e perda da matriz, tornam-se impermeáveis ao ar e água as superfícies abertas, melhora-se a resistência à derrapagem e a aparência do pavimento.

A lama asfáltica tem diversas vantagens, entre as quais citam-se:

- É de aplicação rápida
- Não fica agregado de cobertura solto
- É de textura excelente para pintura de faixas
- É capaz de corrigir irregularidades superficiais de pequena monta
- Minimiza-se a perda de altura (ou espelho) do meio – fio.
- Não torna necessários os ajustes nos poços de visita e em outras estruturas
- Melhora a estética do pavimento existente
- Em muitos casos, o custo relativamente baixo do tratamento torna praticável que se tragam agregados com finalidades específicas, como a de aumentar a resistência à derrapagem, aumentar o contraste de cores e reduzir o ruído (dos pneus sobre a superfície).

Máquinas de Lama Asfáltica

Aplica-se a lama usualmente numa espessura de 3 a 6 mm. A lama sai diretamente de uma usina móvel de mistura para uma caixa distribuidora que espalha a lama numa ação de rodo (Figura 8.11). A máquina de produção da lama asfáltica é uma unidade de mistura independente e de fluxo contínuo. É capaz de fornecer com precisão à câmara de mistura, quantidades pré-estabelecidas de agregado, filer mineral (quando necessário), água e emulsão asfáltica. Também descarrega os materiais completamente misturados na superfície preparada. Alguns aspectos básicos são comuns a todas as máquinas de lama do tipo intermitente ou de bateladas. São unidades montadas em caminhões com tanques, silos e sistemas de medição da lama asfáltica, água, agregado e filer mineral separado. A máquina de lama dispõe de uma unidade de mistura de fluxo contínuo — misturador simples ou duplo — de onde a lama asfáltica é descarregada numa caixa distribuidora. Esta tem rodos flexíveis e um dispositivo de ajuste de largura. As caixas distribuidoras podem ser equipadas com trados helicoidais movidos hidráulicamente que mantêm a lama em movimento e ajudam a manter a mistura espalhada uniformemente na extensão de caixa distribuidora. Estes são úteis quando se utiliza emulsão de ruptura rápida ("QS"). No desenho esquemático da unidade misturadora, Figura 8.12, mostra-se um tipo de unidade malaxadora de lama. Máquinas de abastecimento automático contínuo capazes de colocar muitos quilômetros por dia de lama grossa estão sendo utilizadas em muitas regiões dos Estados Unidos.

Materiais

Os agregados que se utilizam nas lamas asfálticas devem ser limpos, angulosos, duráveis, bem graduados e uniformes. Um determinado agregado ou a combinação de agregados que se utilizem numa lama asfáltica devem atender aos limites seguintes:

- Valor de Equivalente de areia, ASTM D 2419 (AASHTO T 176) = 45, no mínimo.
- Perda de abrasão Los Angeles, ASTM C 131 (AASHTO T 96), Graduação C ou D = 35, no máximo.

Também, a quantidade de areia de textura lisa com menos de 1,25 por cento de absorção de água, limita-se a não mais de 50 por cento do total de agregado combinado.

Os três tipos geralmente aceitos de graduação usados nas misturas de lama estão mostrados na Tabela 8.7.

O tipo I é usado para penetração máxima nas trincas. Também, constitui um pré-tratamento excelente para o reforço de mistura a quente ou capa selante de pedrisco. Utiliza-se, usualmente, em áreas de baixa densidade de tráfego como em aeródromos de aviões leves, áreas de estacionamento e acostamentos quando a vedação é o objetivo principal.

O tipo II de graduação é o que se usa mais. É para vedação, correção de desagregação grave, oxidação, e perda da matriz, e para melhorar a resistência à derrapagem. Utiliza-se quando o tráfego é moderado, dependendo da qualidade de agregados disponíveis e do projeto.

O tipo III é utilizado para a correção das condições de superfície, como, por exemplo, na primeira camada de aplicações de várias camadas para tráfego pesado e para maior resistência à derrapagem.

A emulsão asfáltica usada na lama asfáltica pode ser SS-1, SS-1h, CS-1 e CSS-1h. A emulsão asfáltica de ruptura rápida (QS) tem sido a usada quando necessária a pronta abertura ao tráfego. Às vezes acrescenta-se uma pequena quantidade de aditivo líquido ou pulverizado à emulsão asfáltica para controlar o tempo de ruptura da lama. Este aditivo inicia a ruptura de emulsões aniônicas de ruptura rápida. O mesmo aditivo retarda a ruptura das emulsões catiônicas de ruptura rápida.

É quase sempre necessário adicionar uma pequena quantidade de filer mineral – cal hidratada, pó de calcário, cimento portland, cinza volante – para ajudar na estabilização e ruptura da lama.

A água utilizada na lama deve ser potável e compatível com a mistura. Para a dosagem de misturas do tipo lama asfáltica recomendam-se as referências seguintes:

“Práticas Padronizadas de Dosagem, Ensaio e Construção de Lama Asfáltica” (“Standard Practices for Design, Testing and Construction of Slurry Seal”) – ASTM D 3910. American Society for Testing and Materials, 1916 Race Street, Philadelphia, PA 19103
“Orientações de Desempenho Recomendadas para Lamas Asfálticas” (“Recommended Performance Guidelines for Emulsified Asphalt Slurry Seal Surfaces”) – A 105. International Slurry Surfacing Association, 1101 Connecticut Avenue, Washington, DC., 20036

“Orientação Recomendada de Lamas Asfálticas” (“Recommended Guideline for Slurry Seal”) Asphalt Emulsion Manufacturers Association, # 3 Church Circle, Annapolis, MD 21401

Preparação da Mistura

A combinação dos materiais da lama asfáltica em proporções variadas no laboratório é de grande ajuda na seleção da mistura adequada. A combinação correta deve produzir uma lama de textura cremosa que flua suavemente numa onda rolante à frente do rodo raspador. Esta lama deverá ser uma massa homogênea semifluida que não apresente escoamento de emulsão.

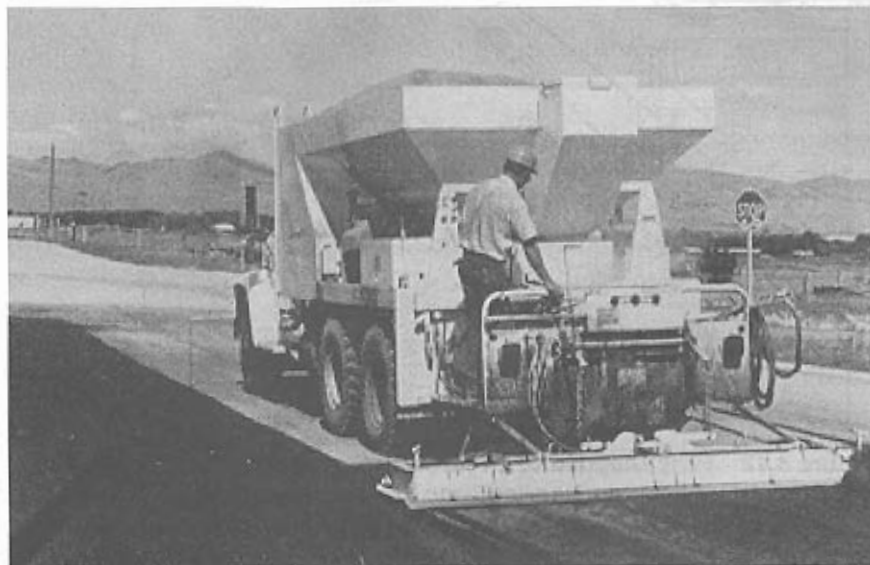


Figura 8.11 Máquina de Lama Asfáltica (Cortesia de ScanRoad Incorporated)

Depois de determinar as proporções da mistura no laboratório, convém colocar na pista uma ou mais misturas experimentais. Isto deve ser feito seja no local do serviço ou onde não sejam inconvenientes pequenos espalhamentos de lama asfáltica. Os trechos experimentais satisfazem duas finalidades. A primeira é a calibração da alimentação e dispositivo de medição da emulsão na máquina da lama. O escoamento do agregado deve ser determinado a diferentes aberturas das comportas e quantidades de emulsão bombeada por giro da correia alimentadora de agregado. A segunda finalidade, é a verificação se as proporções da mistura da lama são corretas. Frequentemente, é necessário fazer diversas tentativas até encontrar a melhor combinação de materiais mesmo quando se parte de uma mistura estabelecida em laboratório. Deve-se usar no trabalho de dosagem em laboratório exatamente os mesmos materiais que se usarem na construção no campo.

Se forem observados aglomerados, caroços e agregado não misturado, deve-se remover a lama do pavimento. Também deverá ser removida se partículas de

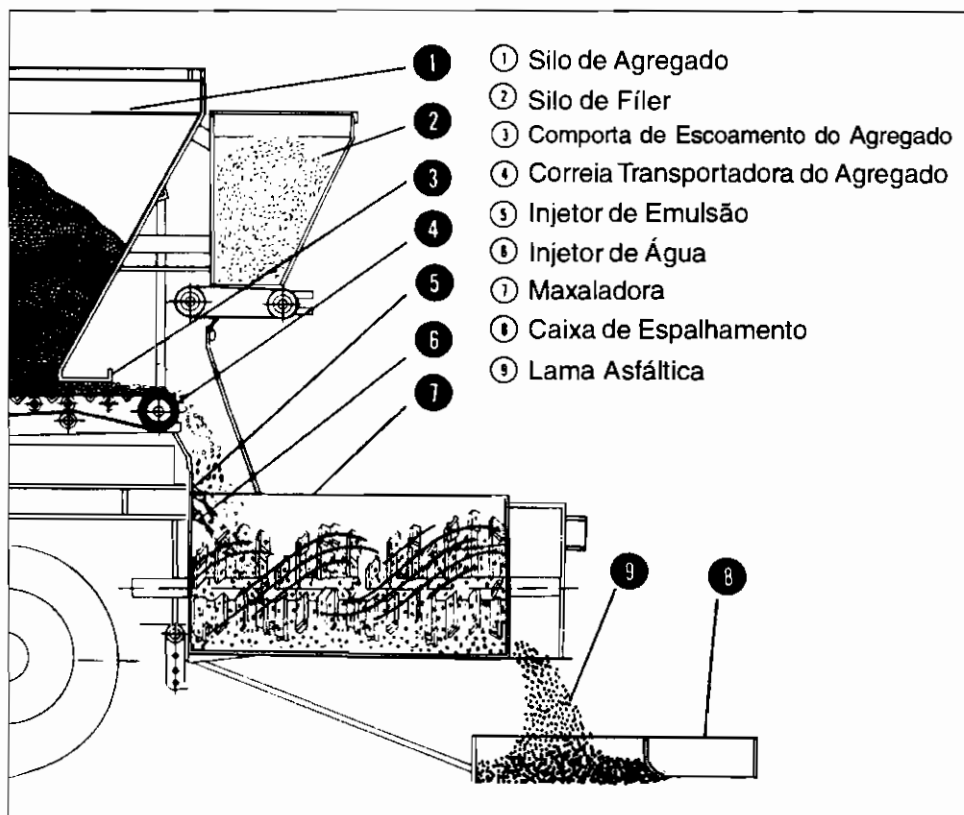


Figura 8.12 Diagrama de escoamento de um Misturador Típico de Lama Asfáltica Selante (cortesia de ScanRoad, Inc.)

agregado graúdo sedimentarem no fundo da mistura. Raias, como as causadas por agregado de tamanho acima do tolerado, devem ser reparadas de imediato com um rodo manual.

Colocação da Mistura

Pouco antes da colocação da mistura, deve-se limpar a superfície de toda terra, poeira, pontos de lama, vegetação e matéria estranha. Uma pintura de ligação de emulsão asfáltica diluída do mesmo tipo e grau especificado para a lama, por ser necessário bem à frente da aplicação da lama. No caso de pavimentos asfálticos relativamente novos, a pintura de ligação poderá ser omitida. A superfície do pavimento deve estar sempre úmida, mas sem água livre à frente da máquina de lama asfáltica.

É especialmente importante obter-se uma mistura bem homogênea, que produza uma lama asfáltica de textura cremosa que flua suavemente numa onda rolante dentro da caixa distribuidora. A mistura não homogênea causará uma superfície rica de asfalto e muitos problemas daí decorrentes.

Tabela 8.7 Graduações de Misturas de Lama*

Tipo de Lama	I	II	III
Uso mais comum	Preenchimento de trincas e capa selante delgada	Capa selante geral, em superfícies de textura média	1ª e 2ª aplicações, lama em duas camadas, em superfícies de texturas muito acentuadas
Tamanho de Peneira	Porcentagem Passante		
9,5 mm (3/8 pol.)	100	100	100
4,75 mm (nº4)	100	90 - 100	70 - 90
2,36 mm (nº8)	90 - 100	65 - 90	45 - 70
1,18 mm (nº 16)	65 - 90	40 - 70	28 - 50
600 µm (nº 30)	40 - 65	30 - 50	19 - 34
300 µm (nº 50)	25 - 42	18 - 30	12 - 25
150 µm (100)	15 - 30	10 - 21	7 - 18
75 µm (nº 200)	10 - 20	5 - 15	5 - 15
Teor de Asfalto Residual, % em peso de agregado seco	10 - 16	7,5 - 13,5	6,5 - 12
Taxa de Aplicação kg/m ² (lb/ft ²), com base na massa (peso) de agregado seco	3 - 5,5 (6-10)	5,5 - 8 (10-15)	8 (15) ou mais

* *Recomendas pela Associação Internacional de Revestimento de Lama Asfáltico (- ISSA)*

Deve-se tomar cuidado especial com as juntas **longitudinais** e transversais a fim de evitar o acúmulo exagerado de lama (crista) e evitar o estriado. É melhor fazer a junta após a primeira faixa ter curado **completamente** ou ainda estar num estado semi-fluido. Para uma boa aparência e **durabilidade**, não se deve fazer uma junta quando a faixa se encontrar apenas **parcialmente assentada**, pois, do contrário, podem resultar rasgos e cicatrizes.

Muitas vezes, puxam-se panos de lona ou de aniagem atrás da caixa de espalhamento a fim de melhorar a aparência da junta e geral da superfície. Estes arrastos devem ser trocados regularmente. Rodos manuais e arrastos manuais são utilizados na melhoria de juntas e para colocar a lama asfáltica em áreas **inacessíveis à máquina**.

Em greides planos, deve-se conservar a lama na caixa de espalhamento numa espessura uniforme. Nos pavimento de declividade transversal elevada ou em curvas superelevadas, a lama deve ser desviada para o lado alto da caixa de espalhamento. A ação da gravidade fará com que a parte baixa se **mantenha cheia**. O espalhamento de lama em regiões montanhosas é mais fácil se a máquina de lama asfáltica se deslocar morro acima. Se as circunstância obrigarem ao espalhamento morro abaixo, a lama asfáltica deve ser engrossada para impedir que escoe à frente da máquina.

A rolagem da lama asfáltica selante só é necessária nas áreas em que se melhore a durabilidade com a rolagem de rolos pneumáticos. Estas áreas compreendem pistas de rolamento (taxi), pistas de pouso e decolagem, pátios terminais de caminhões e interseções de estradas de tráfego pesado. Todas estas áreas estão sujeitas a tração motora nas voltas, frenagem e forças de aceleração. Para a rolagem, o uso de um rolo pneumático de 4,5 toneladas de pressão de inflação de 345 kPa será o mais efetivo. A rolagem pode ter início assim que, ao se pressionar a mistura asfáltica da lama com um pedaço de papel este não manche. Na maioria das vezes, o tráfego passará a ferro a lama e fechará quaisquer fissuras capilares de desidratação. Não é necessária a rolagem a não ser que a espessura seja superior a 6 mm ou em serviços de fim de estação.

Controle de Cura e Tráfego

A lama asfáltica só deve ser colocada quando a temperatura é de, pelo menos, 10°C, e estiver subindo e não houver previsão de chuva. Não se deve abrir ao tráfego uma mistura de lama asfáltica recém-colocada, antes que tenha curado. Tal como na rolagem, pode-se admitir o tráfego sobre a lama, assim que se possa extrair água pressionando a mistura com um pedaço de papel sem que este manche. Deve haver, naturalmente, um certo controle do tráfego, visto que paradas repentinas e acelerações e giros das rodas quando o veículo está estacionado causam danos à lama asfáltica.

Capítulo 9

O Asfalto na Manutenção e Reabilitação de Pavimentos

Este capítulo trata da manutenção e reabilitação dos pavimentos. São fornecidas informações úteis e práticas sobre métodos e terminologia que se aplicam ao uso do asfalto na manutenção e reabilitação de todos os tipos de estruturas de pavimentos.

As grandes diferenças de tipos de solos, clima, tráfego e outros fatores, contribuem para uma grande variedade de problemas, mesmo dentro de pequenas áreas. Algumas regiões são acidentadas e montanhosas, enquanto outras são suaves e planas, algumas chuvosas outras semi-áridas; algumas estradas e ruas devem acomodar veículos que carregam carvão, minério, toras de madeira, ou diferentes cargas pesadas, enquanto outras estão sujeitas apenas a tráfego leve.

No entanto, em que pese estas diferenças existem métodos de manutenção e reabilitação que podem ser usados indistintamente em todas as regiões. A apresentação de alguns destes métodos é o objetivo deste capítulo.

SEÇÃO 9.1 Planejamento para o Melhoramento e a Gerência de Pavimentos

Introdução

Gerência de Pavimentos

Estratégias para Melhoramentos Futuros

Definições Referentes a Manutenção e Reabilitação

SEÇÃO 9.2 Manutenção de Pavimentos Asfálticos

Introdução

Remendos

Causas e reparos das trincas

Causas e reparos das Distorções

Causas e reparos do Descolamento

Causas de Superfícies Escorregadias e seu Conserto

Problemas dos Tratamentos Superficiais

SEÇÃO 9.3 O Asfalto na Manutenção de Pavimentos Rígidos

Introdução

Manutenção de Juntas e Trincas

Causas e reparos da Distorção

Causas do Descolamento e seu Conserto

A Eliminação dos Riscos de Derrapagem

SEÇÃO 9.4 O Asfalto na Reabilitação de Pavimentos

Introdução

Avaliação da Condição do Pavimento

Reforços Asfálticos

BIBLIOGRAFIA

1. *O Asfalto na Manutenção de Pavimentos*, (“Asphalt in Pavement Maintenance”), MS-16, Asphalt Institute.
2. *Reforços de Asfalto para a Reabilitação de Estradas e Ruas* (“Asphalt Overlays for Highway and Street Rehabilitation”), MS-17, Asphalt Institute.

AUDIOVISUAIS

1. *Manutenção de Pavimentos com Asfalto* (“Pavement Maintenance with Asphalt”), VA-13, exibição de diapositivos/fita (220 diapositivos coloridos de 35 mm), Asphalt Institute.
2. *Reforços de Asfalto para a Reabilitação* (“Asphalt Overlays for Rehabilitation”), VA-24, exibição de diapositivos/fita (30 diapositivos coloridos de 35 mm), Asphalt Institute.
3. *Orçamento para a Reabilitação* (“Budgeting for Rehabilitation”), VA-19, exibição de diapositivos/fita (30 diapositivos coloridos de 35 mm), Asphalt Institute.

9.1. Planejamento para o Melhoramento e a Gerência de Pavimentos

Introdução

Os materiais de construção, onde quer que sejam utilizados, acabam se deteriorando com o tempo. Nas estradas, ruas e estacionamentos não constituem exceção. As estradas se deterioram de forma relativamente lenta nos anos iniciais de sua vida de projeto; porém, ao fim de sua vida de projeto, a deterioração é mais rápida. Se a manutenção for adequada, prolonga-se significativamente a vida do pavimento; porém, pode ser necessária, ocasionalmente, a reabilitação e a reconstrução. Muitas vezes, mais de uma técnica ou combinação de técnicas podem ser usadas para resolver um problema específico. As técnicas selecionadas devem basear-se numa análise de engenharia completa da aplicação que se quer dar ao pavimento e numa análise econômica de benefícios e custos.

Gerência de Pavimentos

A chave da boa gerência é o planejamento e a programação da manutenção e da reabilitação. Os sistemas de gerência de pavimentos ajudam o planejamento e a programação do trabalho. Define-se gerência de pavimentos como sendo o conjunto de atividades ligadas à operação de um sistema de pistas: planejamento, coleta de dados, projeto, construção e manutenção e reabilitação.

O sistema de gerência de pavimentos é decisório e integra as atividades de gerência de pavimentos com a avaliação de pistas e a simulação possível por computação, a fim de alcançar a melhor utilização dos recursos financeiros, o que se faz pela comparação das alternativas de investimentos e pela coordenação do projeto, construção e manutenção.

Os sistemas de manutenção de pavimentos variam bastante quanto ao escopo e complexidade. As grandes organizações como as dos departamentos de estradas de rodagem estaduais e as das grandes cidades, podem desenvolver sistemas que contenham modelos de predição complexos e sob medida para suas peculiaridades. As organizações menores usam, freqüentemente, sistemas já prontos ligeiramente modificados. Tanto os grandes sistemas de gerência de pavimentos como os pequenos têm, geralmente, as partes seguintes: predição, estratégias, implementação e avaliação.

Os inventários de dados abastecem o banco dados com informações para as decisões. O inventário deve conter dados sobre a distribuição da rede, histórico da construção, dados de tráfego, qualidade da rodagem, condições da superfície e suficiência estrutural. As avaliações estrutural e geométrica da pista são utilizadas na atualização do banco de dados.

As avaliações estruturais e geométricas da pista devem ser realizadas em todas as rodovias do sistema. A avaliação pode ser feita de posse das plantas de construção, com inspeção de campo e com técnica de inventário fotográfico. A

condição da superfície é avaliada, usualmente, por inspeções de campo, mas pode ser feita, também, por exame dos defeitos e medições das deflexões do pavimento.

A Figura 9.1 mostra um roteiro simples de reabilitação e manutenção. Nela estão os passos que se pode adotar na formulação de um plano. Embora existam sistemas de planejamento mais sofisticados, este diagrama fornece um arcabouço das decisões de engenharia quanto a manutenção e reabilitação.

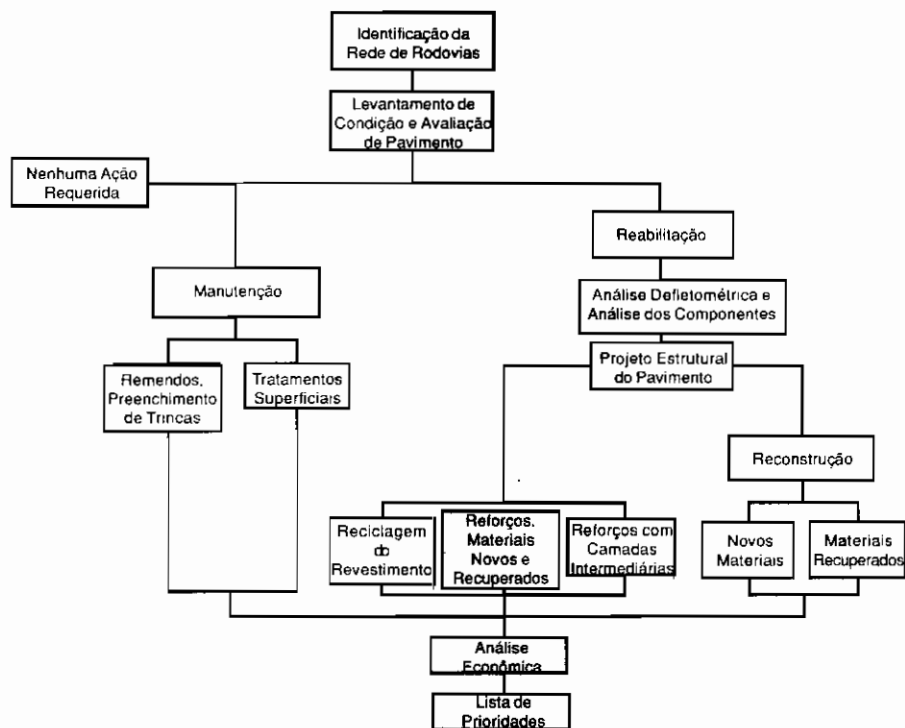


Figura 9.1 Roteiro para Desenvolvimento de Plano

O primeiro passo no desenvolvimento de um programa é a identificação dos trechos dos pavimentos. Os trechos devem ser reconhecidos pela localização, tipo de pavimento, espessura de cada camada, tipo de base, tipo de sub-base (se existir) e um índice da resistência de suporte do material do subleito. Qualquer modificação destes itens poderá exigir que o trecho seja reconsiderado pois que irá reagir ao tráfego e condições ambientes de maneira diferente.

O passo seguinte é a realização de um levantamento de condição, registrando-se a condição física de cada trecho de pavimento. É importante que uma pessoa qualificada dirija o levantamento. Todos os problemas da pista e dos acostamentos devem ser anotados com suas possíveis causas determinadas. Muitas vezes, quando o inspetor é habilitado, as causas e as soluções tornam-se evidentes.

Este capítulo contém orientações gerais das causas e soluções dos problemas de pavimentos.

Neste ponto faz-se a definição do nível de manutenção exigido. Quando a manutenção é necessária, deve-se determinar o tipo da mesma. Deve-se cogitar de remendos, preenchimento de trincas e tratamentos superficiais. Se o levantamento de condição indicar que é necessário mais do que manutenção, ou que os problemas podem resultar do excesso de carregamento, deve-se realizar uma análise deflectométrica. Se esta não for praticável pode-se fazer uma análise dos componentes. Os procedimentos para a condução e avaliação dos resultados da análise deflectométrica ou análise de componentes encontram-se na publicação do Asphalt Institute intitulada "Reforços de Asfalto para a Reabilitação de Estradas e Ruas", MS-17. Ver, também, informações no Capítulo 11, Seção 11.7. A análise fornecerá dados que poderão ser usados no desenvolvimento de projetos de correção adequados, levando-se em conta modificações previstas da utilização futura. A Tabela 9.1 contém várias alternativas de manutenção e reabilitação a considerar quando do desenvolvimento de estratégias de pavimentação.

O último passo é desenvolver a análise econômica e uma lista de prioridades das exigências de manutenção, reabilitação e reconstrução. Esta informação pode, então, ser usada para desenvolver um plano no tempo que leve em consideração o montante de recursos financeiros disponíveis. Até este ponto, a quantia real de dinheiro disponível não deve ser considerada. Quando, a priori, se leva em consideração a disponibilidade de recursos, a decisão poderá ser toldada e daí resultam decisões de engenharia erradas. O atraso da manutenção necessária quase sempre resulta em gastos muito maiores quando vem a ser realizada. A manutenção feita a tempo é um elemento importante de um bom sistema de gerência de pavimentos.

Devido às restrições orçamentárias, entretanto, nem sempre é possível cumprir o nível desejado de manutenção. Utilizam-se, então, expedientes temporários até se dispor de recursos financeiros suficientes. A compreensão nítida das limitações e do uso adequado de cada tratamento de manutenção permitirá ao engenheiro proceder ao uso adequado dos recursos existentes. Mas, cabe lembrar que a manutenção adiada custa mais caro. Este conceito está ilustrado no exemplo da Figura 9.2.

Estratégias para Melhoramentos Futuros

As aptidões de predição de um sistema de gerência de pavimentos permitem estimar as condições futuras. O sistema pode conter modelos de predição muito simples ou vários modelos complexos interligados e referentes a tráfego, ambiente, materiais de construção, defeitos superficiais e deflexões. É comum o sistema conter modelos que relacionam idade ou tráfego à condição de superfície, qualidade de rodagem e suficiência estrutural de classes de pistas agrupadas quanto ao tráfego, área ambiental, e espessura do pavimento.

Um sistema de gerência de pavimentos seguro que forneça um plano adequado para a manutenção e reabilitação, deve considerar todos os custos dos pavimentos.

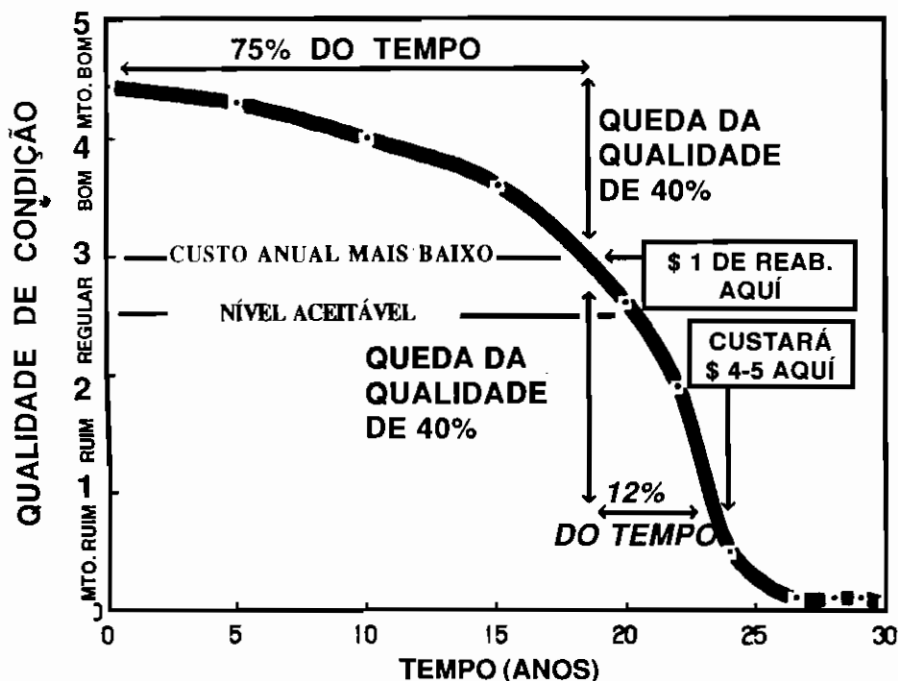


Figura 9.2 Exemplo de Deterioração da Estrada Contra o Tempo

Os custos de manutenção devem incluir a manutenção de rotina e a manutenção planejada principal. Devem incluir, também, o custo do atraso durante a construção e o custo da restrição ao acesso dos que têm propriedades que dão para a estrada.

A utilização de sistemas de gerência de pavimento permite a uma organização avaliar a aplicabilidade de várias estratégias de manutenção e de reabilitação. A estratégia escolhida como política de rotina, por exemplo, a construção de capas selantes, deve ser selecionada com base na solidez econômica. Quando se utiliza um sistema de gerência de pavimentos, pode-se simular estratégias alternativas e prever seus efeitos na rodagem, condições de superfície e suficiência estrutural. Por exemplo, o sistema é capaz de simular a construção de capas selantes, reforços delgados e reforços espessos. Os custos, condições de superfície e benefícios futuros são previstos e pode-se proceder a uma análise econômica a fim de determinar qual a política mais econômica. Além de avaliar qual o tratamento melhor, economicamente, o sistema de gerência de pavimentos pode avaliar a aplicação dos tratamentos para os diferentes níveis de defeitos. A escolha de diferentes requisitos de condições de superfície modifica as estimativas futuras de condições de superfície e qualidade de rodagem. Os custos e benefícios resultantes, associados a cada requisito de condição escolhido, podem ser avaliados de modo a determinar o melhor momento para a aplicação do tratamento.

As possibilidades de predição de um sistema de gerência de pavimentos permitem que uma organização escolha os tratamentos de custo adequado e os requisitos de condição próprios para várias classes de pistas. Também permite que a organização preveja os efeitos do adiamento da reabilitação ou da manutenção principal. As estruturas dos pavimentos sofrem deterioração acelerada quando a

manutenção principal e a reabilitação são adiadas. O sistema de gerência de pavimentos permite à organização prever os efeitos de orçamentos reduzidos para condições médias do sistema e estimar o custo de restabelecimento do sistema de pistas a um nível de serviço especificado. Com um sistema de gerência de pavimentos a organização é capaz de selecionar um programa que atenderá a critérios especificados, tais como a minimização dos custos atendendo aos níveis de serviço específicos com a maximização dos benefícios. Se os orçamentos são restringidos ou, então, aumentados, tem a organização a capacidade de estimar os efeitos da modificação do orçamento e minimizar os efeitos de orçamentos reduzidos ou maximizar os efeitos de orçamentos aumentados.

Definições Referentes a Manutenção e Reabilitação

Em cada localidade existem designações próprias relativas a manutenção e reabilitação. Os termos que seguem, contudo, consistem numa compilação de algumas definições principais e mais difundidas.

Nos Estados Unidos, devido às normas que presidem o financiamento de melhoramentos de estradas e ruas, faz-se uma distinção importante entre manutenção e outras técnicas de reabilitação de pavimento, inclusive os reforços. Em algumas jurisdições os reforços de espessura inferior a 25 mm, por exemplo, são considerados serviços de manutenção, e os reforços de espessura maior são considerados melhoramentos capitais. A Administração Rodoviária Federal dos Estados Unidos - define manutenção: "serviços feitos principalmente para o rejuvenescimento e a proteção de superfícies existentes; revestimentos de menos de 19 mm, como espessura mínima ou em pequenas extensões; remendos e conserto de pequenos defeitos; e subslagem de placas de concreto, que não sejam parte de uma restauração para novo revestimento".

Independentemente da definição, o reforço pode ter apenas 25 mm de espessura e melhorar a resistência estrutural dos pavimentos asfálticos. Reforços mais delgados são, geralmente, usados na melhoria da rodagem, impermeabilização da superfície do pavimento, ou para prolongar a vida de serviço que não tenha sido "projetada", no sentido aqui usado. Para os pavimentos de concreto de cimento portland o Asphalt Institute recomenda que os reforços de concreto asfáltico tenham, pelo menos, 100 mm de espessura, de modo a reduzir as trincas de reflexão. Pode ser necessário um reforço maior que atenda aos procedimentos de projeto.

Definições

Afundamento de Trilha de Roda ou Canelura - depressões canalizadas que podem desenvolver-se nas trilhas de roda de um pavimento asfáltico.

Agregado Polido - Partículas de agregado da superfície do pavimento com arestas arredondadas e superfície tornadas lisas no polimento pelo tráfego.

Arrebatamento - arrebatamento ou estilhamento localizado em pavimento do tipo rígido, que ocorre usualmente numa trinca ou junta transversal.

Avaliação de Serventia Atual - A média das avaliações individuais feita por membros de um painel específico selecionado com esta finalidade.

Bombeamento ou Espirro - O movimento da placa na passagem das cargas resulta em ejeção de água, areia, argila ou silte (ou ambos), ao longo das juntas transversais ou longitudinais e trincas, e ao longo das bordas do pavimento.

Camada Asfáltica de Nivelamento - Uma camada (de mistura asfalto - agregado) de espessura variável usada para eliminar irregularidades do perfil de uma superfície existente antes de colocar um reforço.

Concreto Asfáltico - mistura a quente de alta qualidade e minuciosamente controlada, de cimento asfáltico e agregado de alta qualidade, bem graduado, intensamente compactada numa massa densa e uniforme.

Corrugações ou Costelas - (tábua de lavar roupa) - uma forma de deslocamento plástico caracterizado por ondulações transversais da superfície do pavimento.

Couro de Jacaré - trincas interligadas que formam uma série de pequenos blocos assemelhando-se ao couro de jacaré ou tela de galinheiro.

Deflexão Recuperável - O valor do deslocamento vertical recuperado que ocorre quando se remove a carga da superfície.

Deflexão Recuperável Representativa - O valor médio das medidas de deflexões recuperáveis num trecho experimental, mais duas vezes o valor do desvio padrão, ajustado para a temperatura e o período mais crítico do ano quanto ao desempenho do pavimento.

Deflexão Residual - A diferença entre as cotas inicial e o final de uma superfície, que resulta da aplicação de uma ou mais cargas sobre a superfície e posterior remoção das mesmas.

Deflexão - O valor do deslocamento vertical para baixo da superfície quando nela se aplica uma carga.

Depressões do Greide, Afundamento - Áreas baixas de pequenas dimensões que podem ser acompanhadas ou não de trincamentos.

Desintegração - a quebra de um pavimento em fragmentos pequenos e soltos, devido ao tráfego, intemperização, má dosagem da mistura e construção deficiente.

Desprendimento - A separação de partículas de agregado progressivamente da superfície para baixo ou da borda para o interior.

Distorção - Qualquer modificação da forma original da superfície do pavimento.

Empolamento - Deslocamento localizado para cima de um pavimento devido à expansão do subleito ou de alguma parte da estrutura do pavimento.

Escamação - O descascamento ou desintegração da superfície do concreto de cimento portland.

Escurregamento - Uma modalidade de deslocamento plástico superficial que resulta no arqueamento localizado do pavimento.

Exsudação de Asfalto (sangria, ou escoamento de asfalto) - o movimento ascendente do asfalto num pavimento asfáltico que resulta na formação de uma película de asfalto na superfície.

Falha - Uma diferença de níveis de duas placas numa junta ou trinca.

Hidroplanagem - Ação perigosa de um veículo conduzido num pavimento onde se formou uma película de água da chuva ou de outra origem; ao atingir certa velocidade, os pneus do veículos tendem a deslizar sobre a superfície da água em vez de rolar sobre o pavimento, com o que é drasticamente reduzido o controle do motorista sobre o veículo.

Índice de Serventia Atual (PSI) - Uma combinação matemática de valores obtidos a partir de certas medições físicas em grande número de pavimentos, que é formulada de modo a prever, dentro de limites prescritos, a Avaliação de Serventia Atual para estes pavimentos.

Instabilidade - A falta de resistência intrínseca tende a causar deslocamentos e distorções da estrutura do pavimento.

Lascado - A quebra ou estilhaçamento do pavimento nas juntas, trincas e bordas, resultando em fragmentos chanfrados.

Medidor de Irregularidade - É um trailer de rodas simples instrumentado para medir a irregularidade da superfície do pavimento em milímetros por quilômetros (polegadas por milha).

Panelas - Buracos em forma de concha de diversos tamanhos no pavimento, resultantes de desintegração localizada.

Pavimentos Asfálticos - Pavimentos constituídos de uma camada superficial de agregados minerais recobertos e cimentados uns aos outros pelo cimento asfáltico, sobre camadas de apoio tais como bases asfálticas; brita, escória e cascalho; ou sobre concreto de cimento portland, tijolos, ou calçamento de pedra.

Período de Projeto - O número de anos desde a aplicação inicial do tráfego até o primeiro reforço ou novo revestimento principal planejado. Este termo não deve ser confundido com a vida do pavimento ou Período de Análise. Com a superposição de reforços na medida em que se fizerem necessários, estende-se a vida do pavimento indefinidamente ou até que as considerações de ordem geométrica ou outros fatores tornem o pavimento obsoleto.

Reforço Asfáltico - Uma ou mais camadas de construção asfáltica sobre um pavimento existente. O reforço inclui, em geral, uma camada de nivelamento, a fim de corrigir o perfil do pavimento antigo, seguindo-se uma ou mais camadas que dêem a espessura necessária.

Risco de Derrapagem - Qualquer condição que possa contribuir para tornar um pavimento escorregadio.

Rua de Cidade - Uma rua urbana cujo tráfego é de caráter predominantemente local.

Serventia Atual - A capacidade de determinado trecho do pavimento de servir ao tráfego que nele se espera que passe.

Trinca - Separação ou discontinuidade no pavimento devido a causas naturais, ação do tráfego ou reflexos do pavimento subjacente.

Trinca Longitudinal - Trinca que segue um curso aproximadamente paralelo à linha central.

Trincas de Escorregamento - Trincas, às vezes em forma de quarto crescente apontando no sentido do empuxo das rodas na superfície do pavimento.

Trincas Transversais - Trincas que se desenvolvem numa direção aproximadamente em ângulo reto com a linha central.

PROBLEMA	CAUSA POSSÍVEL				MANUTENÇÃO ¹				REABILITAÇÃO ²				RECONSTRUÇÃO ³	
	Falha Estrutural	Composição da Mistura	Mudanças de Temperatura e Umidade	Consolidação	Remendos e Manutenção Rotineira	Nível e Selante Superficial	Tratamento Superficial	Lama Astilática	Reciclagem da Superfície	Reforço Deixado	Revestimento de Graduação Aberta	Reforço Estrutural	Materiais Reciclados	Novos Materiais
Couro de Jacaré	X				X ⁴	X ⁵	X ⁵				X	X	X	
Trincas de Borda de Juntas	X	X	X	X	X									
Trincas de Reflexão			X		X	X ⁵	X ⁵				X			
Trincamento de Contração		X	X			X	X	X			X			
Trincas de Escorregamento				X	X									
Afundamento de Trilha de Roda	X	X	X	X	X			X	X ⁶		X	X	X	
Corrugação	X	X		X	X ⁴			X	X ⁷		X	X	X	
Depressões	X			X	X							X	X	
Empolamento			X		X							X	X	
Panelas	X	X	X	X	X			X	X					
Desagregação		X		X		X ⁵	X	X	X	X	X			
Asfalto Escoado		X		X			X ⁶			X				
Agregado Polido		X					X	X	X	X				
Perda de Agregado de Cobertura		X		X			X ⁶		X	X				

Notas: 1. Ver pormenores na publicação "Asfalto na Manutenção de Pavimentos" (MS-16), Asphalt Institute. 2. Quando os defeitos ocupam mais de 40% da área da superfície do pavimento. 3. Se o problema for bastante extenso. 4. Reparações permanentes de remendos profundos. 5. Reparação temporária. 6. Quando o defeito é menor. 7. Sobre a superfície depois de alisada. 8. Após preparação adequada da superfície.

Tabela 9.1 Algumas Alternativas na Manutenção e Reabilitação de Pavimentos

9.2 Manutenção de Pavimentos Asfálticos

Introdução

Existem nos Estados Unidos cerca de 3,2 milhões de quilômetros de estradas pavimentadas, todas sujeitas a manutenção. Os investimentos iniciais nestas estruturas são da ordem de bilhões de dólares. Sua manutenção atualmente custa milhões de dólares de impostos todos os anos.

A Definição da Manutenção

Não é fácil definir o que é **manutenção de pavimentos**. Os departamentos de estradas de rodagem geralmente concordam com seu significado, porém algumas diferenças existem, principalmente, nos objetivos. Alguns chamam qualquer melhoramento de "manutenção". Outros, **consideram apenas** o trabalho que mantém o pavimento na condição que tinha quando **construído**.

Levando-se em consideração tudo isto, a **definição** que parece mais adequada é:

A manutenção de pavimento é o trabalho de **rotina** realizado para manter o pavimento, em condições normais de tráfego e **das forças** normais da natureza, tão próxima quanto possível da sua condição inicial **assim** que construído.

O pavimento que fosse mantido na **condição** como foi construído, hipoteticamente, duraria para sempre. Mas, na **prática**, a **manutenção** apenas contribui para o desempenho satisfatório do pavimento durante sua vida projetada. Deve ser realizado com o mínimo de gastos e de **interrupção do tráfego**.

A manutenção além de preservar a superfície do **pavimento**, evita o desgaste acelerado. Não deve ser considerado um expediente **temporário**, mas um investimento na estrutura do pavimento e garantia **contra** a custosa renovação do pavimento.

Pode-se dividir a manutenção em três categorias.

- **Manutenção Preventiva** - o trabalho feito para **prevenir** a deterioração de um pavimento, o que reduz a necessidade de um trabalho de manutenção mais substancial (manutenção da drenagem, névoa selante, etc.).
- **Manutenção Principal** - o trabalho que deve ser feito para restabelecer as condições do pavimento como foi construído. **Inclui** tratamentos superficiais, lamas asfálticas, reciclagem do revestimento, reforços delgados de menos de 25 mm, (algumas organizações consideram estes revestimentos delgados como um trabalho de reabilitação).

A Importância de Inspeções Frequentes

Tensões que produzem pequenos defeitos estão agindo constantemente em todos os pavimentos. Tais tensões podem ser causadas por mudanças de temperatura e teor de umidade, pelo tráfego e por pequenos deslocamentos no solo subjacente e adjacente. As trincas, buracos, depressões e outros tipos de defeitos constituem a evidência do desgaste do pavimento.

A detecção e os reparos de pequenos defeitos, cedo realizados, constitui, sem dúvida alguma, o trabalho mais importante das turmas de manutenção. As trincas e outras rupturas na superfície, que no estágio inicial são quase imperceptíveis, podem evoluir para defeitos sérios caso não sejam cedo reparadas. Por esta razão, deve-se insistir na realização freqüente de inspeções do pavimento por técnicos qualificados.

Detectados os defeitos dos pavimentos, deve-se proceder aos reparos o mais rápido possível.

É essencial que se determine a causa do defeito do pavimento antes de procurar remediar o defeito ou ruptura. Na maioria das situações, se a causa de um defeito não for determinada e atendida antes do conserto, a parte reparada estará sujeita ao mesmo prazo de vida curta do pavimento original. Às vezes, a natureza da causa pode ser tal que a correção não seja viável no momento, e apenas se possam tomar medidas remediadoras.

Não obstante, deve-se procurar sempre a relação de causa e efeito.

Procedimentos de Manutenção

Os procedimentos de manutenção para a correção de defeitos em pavimentos asfálticos, incluem remendos, selagem de trincas e superfícies, e em alguns casos novo revestimento. O remendo, descrito pormenorizadamente adiante, tanto pode ser um reparo temporário como um permanente. A selagem de trincas faz-se com emprego de emulsões asfálticas, asfaltos diluídos, produtos especiais de selagem de trincas e juntas, ou com a possível selagem de toda a área. Porém, também podem fazer parte do procedimento de manutenção, os tratamentos superficiais com ou sem agregados e os reforços delgados.

Misturas e Materiais Asfálticos

O concreto asfáltico e outras misturas a quente usados em remendos torna-os duradouros e rapidamente estáveis. Devem ser usados sempre que praticáveis e econômicos. Os outros materiais de manutenção compreendem misturas asfálticas usinadas a frio e misturas asfálticas na estrada que utilizam asfaltos diluídos de cura média ou emulsões asfálticas de uso imediato ou amontoados por prazo curto. Pode-se usar asfalto diluído de cura lenta e emulsões contendo solvente nas misturas amontoadas para remendos.

Os graus mais leves de asfaltos diluídos de cura média e cura rápida são usados na selagem de pequenas trincas, tal como o são as emulsões asfálticas e as lamas asfálticas. No caso de trincas grandes, os mesmos produtos asfálticos podem ser combinados com agregado fino ou areia e varridos para as trincas. Estas trincas grandes podem ser seladas com asfalto e empoeirados com agregado fino ou pó mineral a fim de evitar a ação das rodas. Também são muito usados os asfaltos modificados e os selantes de trinca especialmente preparados para esta finalidade.

Remendos

O remendo é, provavelmente, o método de reparo mais amplamente usado na manutenção de estradas e ruas. Todo pavimento mais cedo ou mais tarde exigirá remendos. Se não forem os buracos pelo uso da estrada, são os cortes e as trincheiras abertas propositalmente, que exigem remendos. Os defeitos vão desde as áreas trincadas e as abrasões rasas até os buracos profundos.

exigirá remendos. Se não forem os buracos pelo uso da estrada, são os cortes e as trincheiras abertas propositalmente, que exigem remendos. Os defeitos vão desde as áreas trincadas e as abrasões rasas até os buracos profundos.

O trabalho de remendos exige habilidade e supervisão atenta. O reparo imediato de pequenas quebras ajuda na redução dos gastos, pois que se quebrada uma área e a água nela penetrar atingindo o subleito, decerto resultará um defeito importante.

Remendos Profundos

Fazem-se remendos profundos de, pelo menos, 100 mm de profundidade, para consertos permanentes de pavimentos. O material da área a ser reparada deve ser removido até alcançar uma profundidade que **ofereça apoio firme**. Para isto, poderá ser necessário remover um pouco do subleito. **A escavação também deverá estender-se a, pelos menos, 0,3 m no pavimento em bom estado** circunvizinho à área remendada. Os buracos devem ser de bordas em **ângulo reto** e os cortes de forma retangular (Figura 9.3). Com uma serra de pavimento **faz-se rapidamente um corte limpo**. A seguir aplica-se uma pintura de **ligação nas faces verticais da escavação** (Figura 9.4).

Caso o fundo da escavação for uma base **granular que faça parte da estrutura do pavimento**, deve-se imprimá-lo antes de colocar a **mistura asfáltica do remendo**. Se a profundidade da escavação atingir o subleito ou **neste se aprofundar**, sendo o remendo asfáltico de toda a espessura do pavimento, **não será necessária a imprimação**.

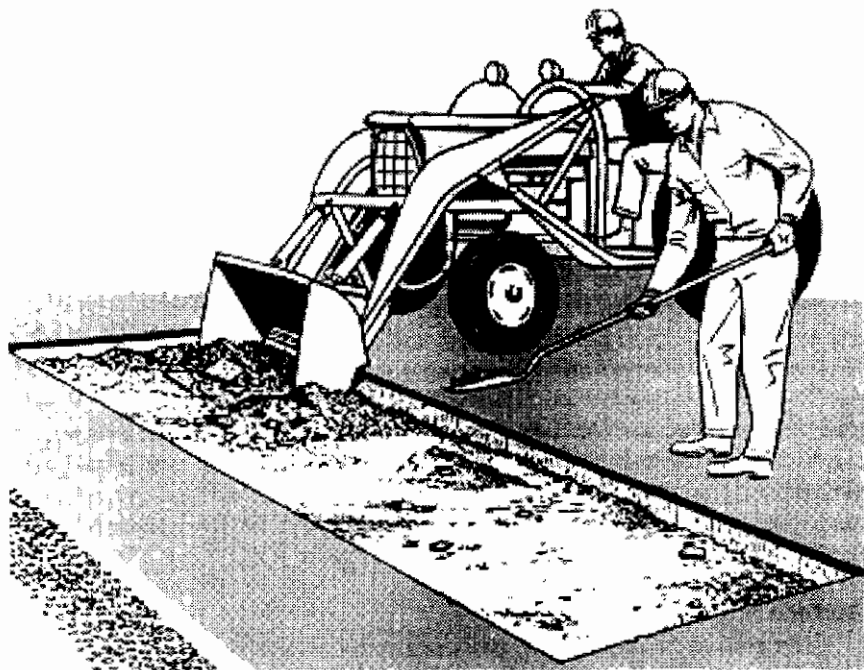


Figura 9.3 Remoção do Revestimento e Base.

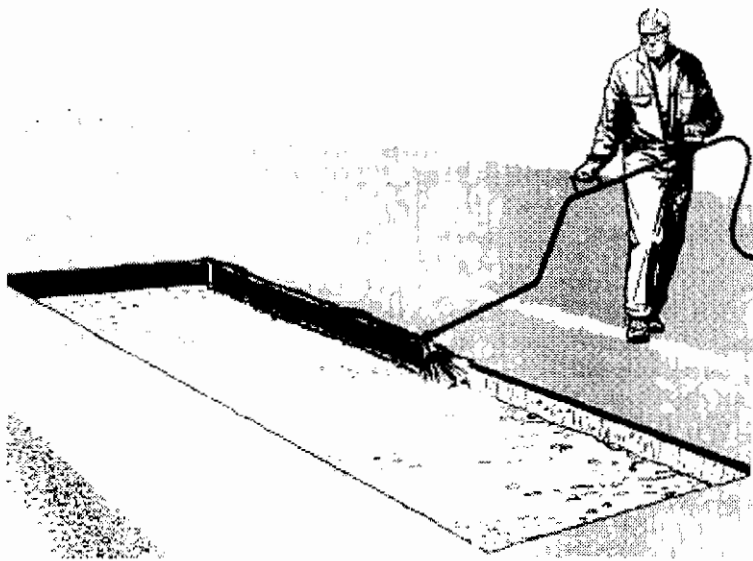


Figura 9.4 Aplicação de Pintura de Ligação nas Faces Verticais

Os melhores resultados são obtidos quando a escavação é preenchida com mistura usinada a quente densamente graduada (Figura 9.5), que se espalhe com cuidado a fim de evitar a segregação (Figura 9.6). Quando não se dispõe de mistura asfáltica, faz-se o preenchimento da escavação com material granular de base de boa qualidade. Parte do revestimento e a parte superior da base escavados podem ser quebrados em pedaços pequenos, misturados intensamente e colocados no fundo da escavação. Se a profundidade for superior a 150 mm o reaterro deve ser em camadas e cada uma delas intensamente compactada (Figura 9.7). A compactação apropriada é um fator primordial para se obter um remendo permanente. A placa vibratória de compactação é excelente para pequenos remendos. Já um rolo compressor pode ser mais prático em grandes áreas. Completa-se o remendo colocando-se uma camada superficial de mistura asfáltica a quente compactando-a rente à superfície do pavimento circunvizinho. Não se deve fazer o remendo com material em excesso contendo-se como a compactação futura pelo tráfego. Para se verificar a lisura da superfície pode-se usar uma régua ou uma linha de barbante (Figura 9.8).

Remendos Superficiais

Caso os defeitos da área a ser reparada consistam em pequenas fissuras capilares, e distorção e desagregação de pequena monta, a aplicação de um remendo superficial ou pelicular poderá ser a melhor técnica a usar. Para a construção de um remendo superficial não é normalmente necessária a remoção do pavimento existente. Costuma ser suficiente uma camada de mistura asfáltica a quente ou uma camada selante de pedrisco sobre a área defeituosa.



Figura 9.5 Preenchimento da Escavação com Mistura Asfáltica.



Figura 9.6 Espalhamento da Mistura.

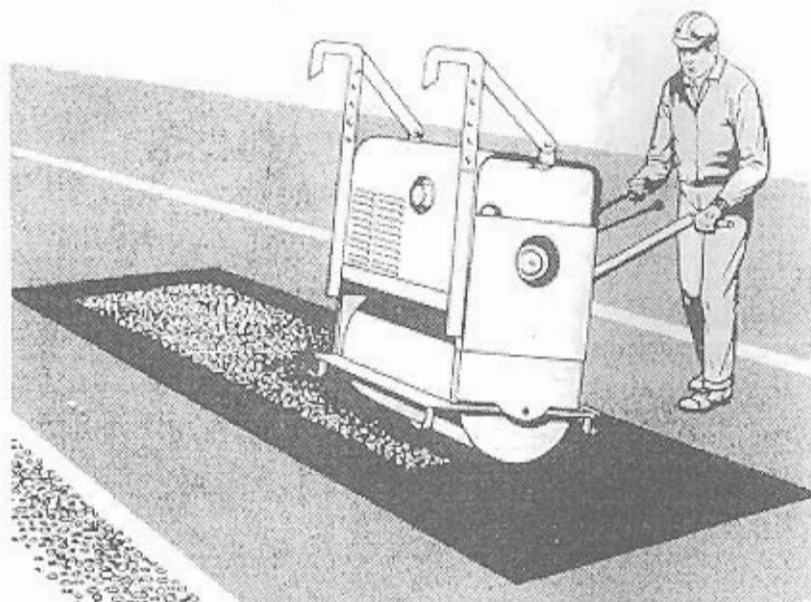


Figura 9.7 Compactação da Mistura



Figura 9.8 Verificação da Superfície Remendada com uma Régua

Quando se utiliza uma mistura asfáltica a quente para esta finalidade, é preferível a areia-asfalto. A razão para isto é que os remendos superficiais são de bordas chanfradas até anular a espessura, sendo que a espessura máxima do remendo superficial não excede, em geral, 12 a 18 mm. Portanto, deve-se evitar as misturas que tenham agregados graúdos neste tipo de aplicação. A área que se vai remendar deve ser limpa, primeiramente, por varredura ou jato de ar a alta pressão. A seguir, aplica-se uma pintura de ligação em toda a área a remendar. Espalha-se, a seguir, rapidamente, a mistura a quente sobre a pintura de ligação e compacta-se a mesma imediatamente com um rolo compressor ou com uma placa vibratória. As bordas devem ter o acabamento segundo uma linha nítida e limpa.

Um procedimento alternativo do remendo com mistura a quente é a aplicação de uma membrana aspergida de emulsão asfáltica na área defeituosa, seguida de aplicação de pedriscos ou agregado. O agregado, de tamanho uniforme, é espalhado imediatamente sobre a pintura de emulsão. Os agregados devem ser, então, encravados pela ação de um dispositivo de compactação adequado.

Causas e Reparos das Trincas

Selagem de Trincas

As trincas são seladas por duas razões principais:

- (1) Para evitar a intrusão de materiais incompressíveis;
- (2) Para evitar a intrusão de água nas camadas subjacentes do pavimento.

Existem vários tipos de materiais de selagem de trincas que são satisfatórios. Entretanto, algumas propriedades gerais se aplicam a qualquer material usado com esta finalidade. Estas propriedades incluem:

- Ligação / adesão boa
- Flexibilidade e Extensibilidade
- Facilidade de aplicação
- Resistência ao amolecimento
- Resistência ao arrasto das rodas
- Resistência à intemperização
- Compatibilidade com o asfalto

A selagem de juntas pode ser dividida em duas classes gerais.

A selagem temporária de trincas faz-se com materiais outros que o asfalto modificado ou selantes especialmente preparados de trincas e juntas. São selantes de trincas (na maioria, asfaltos emulsionados e diluídos) que mantêm a junta fortemente selada, mas em geral, somente enquanto o pavimento permanece razoavelmente estável, tanto longitudinal quanto verticalmente. Desde que ocorram expansão e contração ou deslocamentos verticais excessivos, a eficiência da selagem pode ser perdida, devendo-se proceder a nova selagem. Nos climas de modificações severas de temperatura, a resselagem pode ser necessária a cada ano. Nos climas moderados isto será necessário menos freqüentemente, e nos climas mais brandos ainda com menor freqüência.

Embora o custo por unidade, deste tipo de selagem de trinca, seja relativamente baixo, a freqüência necessária de sua execução poderá ditar uma solução mais duradoura.

A selagem de trincas com asfalto modificado faz-se com asfaltos modificados (p.ex.; selante de asfalto-borracha) ou com selantes de trincas e juntas especialmente preparados

(consultar, também, a ASTM D 3405). Estes materiais são por natureza mais caros, exigindo técnicas de manuseio muito bem controladas e uma preparação muito maior da trinca. Contudo, mantêm a selagem eficaz por longo prazo em quase todos os climas. Note-se, entretanto, que o período de vida esperado é de três a oito anos, dependendo do material usado, da condição do pavimento, e das técnicas utilizadas quando da aplicação da selagem de trincas.

Embora sejam, inicialmente, de utilização mais cara, os selantes de asfalto modificado permitem, de fato, a economia de mão-de-obra e tempo, podendo ser, a longo prazo, de custo real menor.

Antes de selar uma trinca é absolutamente imprescindível que se remova todo o material incompreensível, utilizando-se jatos de ar a alta pressão ou por raspagem. Se estiver crescendo mato na trinca, poderá ser necessário injetar um líquido herbicida aceito para impedir o crescimento futuro.

Usualmente, não é prática a selagem individual de trincas de menos de 6 mm de largura. No caso de trincas capilares pequenas pode-se espalhar, com um rodo, na superfície, uma lama asfáltica, forçando-a a penetrar nas trincas. A fluidez da lama deve ser mantida o bastante para que possa fluir pelas pequenas trincas.

Tipos de Trincas

As trincas surgem de várias formas. Em alguns casos o simples preenchimento das trincas pode ser a coisa certa a fazer. Em outros, pode ser necessária a remoção da área atingida e a instalação da drenagem, antes que o conserto possa, efetivamente ter lugar. Para o reparo adequado cabe determinar, previamente, as causas do trincamento.

O padrão do trincamento é freqüentemente o mesmo para várias causas e para vários estágios de ruptura. Os tipos de trincas que as turmas de manutenção encontram comumente são:

- Trincas em couro de jacaré
- Trincas nas bordas
- Trincas nas juntas
- Trincas de reflexão
- Trincas de contração
- Trincas de deslizamento

Trincas de Couro de Jacaré

As trincas de couro de jacaré são trincas interligadas que formam uma série de blocos pequenos assemelhando-se ao couro de jacaré ou a tela de galinheiro (Figura 9.9). Estão geralmente associados a uma base granular não tratada que se rompeu ou a subleito mole.

Visto que o couro de jacaré é provavelmente causado por bases ou subleitos saturados, sua correção inclui a remoção do material úmido e, possivelmente, a instalação de drenagem. Obtém-se um remendo resistente colocando-se em toda a espessura a mistura asfáltica a quente. Se esta não for disponível pode-se usar material granular novo compactado em camadas, que receba uma pintura de imprimação e se cubra com mistura asfáltica a quente numa espessura suficiente.

Os remendos peliculares podem constituir um reparo temporário. De qualquer maneira, cabe fazer sem delongas os reparos para que prejuízos adicionais não advenham ao pavimento.



Figura 9.9 Trinca - Couro de Jacaré.

Trincas nas Bordas

As trincas nas bordas são trincas longitudinais próximo às bordas do pavimento, podendo ter ou não ramificações na direção dos acostamentos (Figura 9.10). As trincas de borda ocorrem normalmente por faltar ao pavimento asfáltico o apoio lateral ou do acostamento. Também podem ser causadas por recalque ou escorregamento do material da base abaixo da área trincada. E isto, por seu lado, pode resultar de drenagem falha, expansão por congelamento, ou contração por ressecamento do solo circunvizinho.

O reparo das trincas de borda pode ser realizado por seu preenchimento com lama asfáltica ou mistura de areia e asfalto diluído. Caso a borda do pavimento tiver cedido, deve-se restabelecer o nível com material de remendo de mistura asfáltica a quente.

Trincas de Juntas

São dois os tipos de trincas de juntas. Um deles é a trinca de borda de junta, que ocorre entre o pavimento e o acostamento (Figura 9.11). O outro tipo é a trinca de junta de faixa que ocorre entre duas faixas de pavimentação vizinhas.



Figura 9.10 Trinca na Borda.

A alternância de molhagem e secagem e de gelo e degelo abaixo da superfície do acostamento é uma causa comum do trincamento de borda. Resulta, usualmente, de má drenagem e água presa ou empoçada nas depressões na junta do pavimento com o acostamento.

As trincas de junta de pista de pavimentação, por outro lado, são causadas usualmente por uma sutura fraca ou colagem deficiente entre os espalhamentos de mistura contíguos no pavimento.

Quando a água é um fator conducente ao trincamento, deve-se corrigir primeiramente a drenagem. Enchem-se as trincas com emulsão asfáltica. No preenchimento de trincas mais largas pode-se usar compostos asfálticos especiais ou asfaltos mais encorpados.

Trincas de Reflexão

As trincas de reflexão (Figura 9.13) ocorrem nos reforços asfálticos. Estas trincas refletem o padrão de trincas da estrutura de pavimento subjacente. São mais comuns nos reforços asfálticos sobre pavimentos de concreto de cimento ou bases tratadas pelo cimento.

As trincas de reflexão são causadas por deslocamentos verticais ou horizontais do pavimento sob o reforço, resultantes das cargas do tráfego, temperatura e movimentos do solo.

Se as trincas forem de largura inferior a 3 mm, poderá ser preferível desprezá-las, a menos que deixem entrar água e causem danos maiores. Neste caso podem ser preenchidas por uma técnica de rodo, usando emulsão asfáltica ou asfalto diluído coberto com areia. As trincas de mais de 6 mm de largura são preenchidas com lama de emulsão asfáltica ou por um asfalto diluído de grau leve e areia fina.

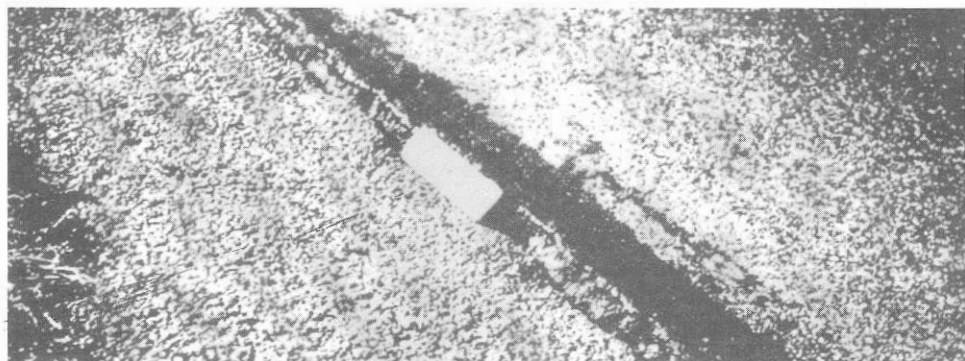


Figura 9.11 Trinca de Borda de Junta.

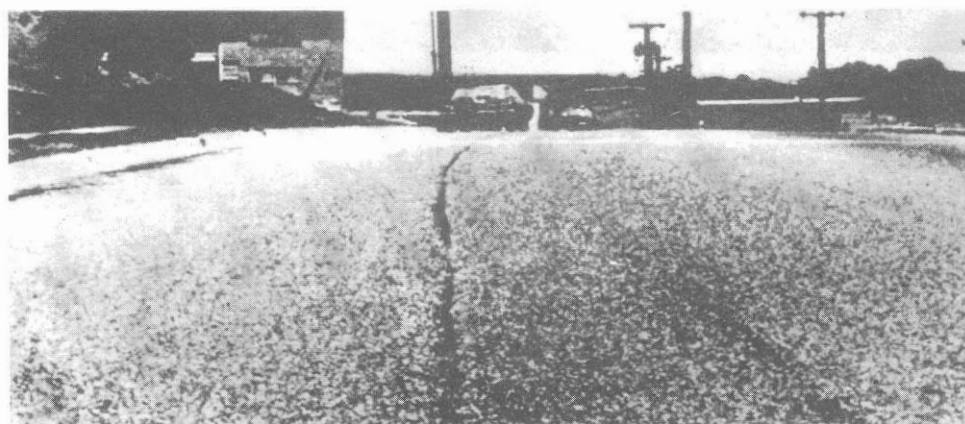


Figura 9.12 Trinca de Junta de Faixa.

Trincas de Contração

As trincas de contração são trincas inter-conectadas que formam uma série de blocos grandes, geralmente de cantos ou ângulos vivos (Figura 9.14). Frequentemente, torna-se difícil dizer se as trincas de contração são causadas por variação de volume na mistura asfáltica, base ou subleito. Muitas vezes se devem a variação de volume das misturas asfálticas de agregados finos que têm alto teor de asfalto de baixa penetração.

Outro tipo de trincas de contração são as causadas pelo envelhecimento. Decorridos vários anos de exposição à precipitação atmosférica, o asfalto pode perder parte de sua elasticidade ou resistência. Enquanto isto os materiais do pavimento estão submetidos constantemente a expansões e contrações causadas por variações de temperatura. Estes processos podem causar um padrão de trincas semelhante ao da Figura 9.14. Este tipo de trincamento não é indicativo de deficiência estrutural.

As trincas de contração devem ser seladas com lama de emulsão asfáltica seguida de tratamento superficial, lama selante, ou um reforço na superfície toda.



Figura 9.13 Trinca de Reflexão.

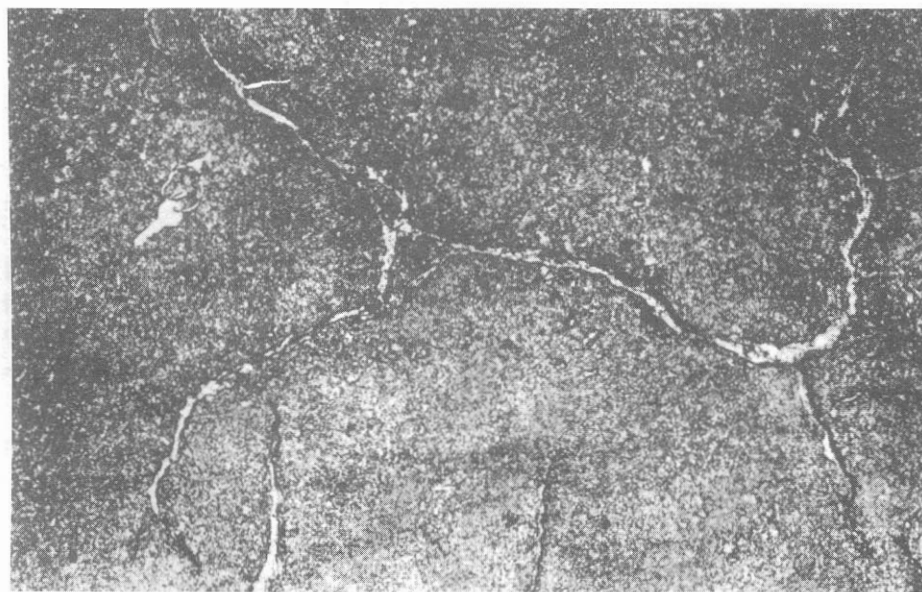


Figura 9.14 Trincas de Contração.

Trincas de Escorregamento

As trincas de escorregamento (Figura 9.15) são trincas em forma de quarto crescente resultantes das forças horizontais induzidas pelo tráfego. Produzem-se por falta de ligação entre a camada superficial e a subjacente. A falta de ligação pode ser devida a poeira, terra, óleo ou à ausência de pintura de ligação.

Só existe um modo efetivo de reparar uma trinca de escorregamento, que é a remoção da camada superficial à volta da trinca até o ponto em que seja boa a ligação entre as camadas. A seguir, remenda-se a área com mistura asfáltica a quente.



Figura 9.15 Trincas de Escorregamento.

Causas e Reparos das Distorções

A distorção de pavimentos resulta da fraqueza do subleito que permite que haja compactação adicional ou deslocamento do solo do subleito, ou que ocorra compactação da base. Pode ser acompanhada ou não de trincamento, porém em ambos os casos cria-se um risco para o tráfego, permite-se o acúmulo de água e, eventualmente, piora a situação. A distorção assume diferentes formas:

- Canalização
- Corrugações
- Escorregamento
- Depressões
- Empolamento

Como qualquer outro defeito, o de distorção tem uma causa que deve ser determinada antes que um corretivo próprio seja aplicado. A distorção do pavimento é de ocorrência mais provável nas interseções e em outras áreas de parada e partida onde o tráfego, principalmente o de caminhões pesados, impõe fortes tensões horizontais à camada superficial do pavimento. As técnicas de reparos vão desde o nivelamento da superfície colocando-se material novo até a remoção completa na área atingida, com a substituição por novo material.

Canalização

A canalização, ranhuramento e afundamento são depressões canalizadas que se desenvolvem nas trilhas de roda dos pavimentos asfálticos (Figura 9.16). A canalização pode resultar do adensamento ou de deslocamentos laterais sob o tráfego numa ou mais camadas subjacentes, ou por deslocamento na própria camada superficial. Pode desenvolver-se num novo pavimento asfáltico sob tráfego, que foi mal compactado durante a construção, ou por movimento plásticos de misturas sem estabilidade suficiente para suportar o tráfego.

A causa da canalização deve ser determinada. Há casos em que se faz necessário remover a camada de pavimento que deu origem ao defeito. Em situações menos graves os afundamentos ou caneluras podem ser fresados até uma superfície plana ou simplesmente preenchidos de mistura asfáltica a quente, seguindo-se um reforço em todo o pavimento. Falhando-se na determinação da causa e sua correção, pode resultar que a manutenção venha a ser inadequada e de efeito limitado.



Figura 9.16 Canalização.

Corrugações e Escorregamento

As corrugações ou costelas constituem uma forma de movimento plástico caracterizado por ondulações transversais na superfície do pavimento asfáltico (Figura 9.17). O escorregamento (Figura 9.18) é um movimento plástico que causa o arqueamento localizado da superfície do pavimento. Tanto as corrugações como os escorregamentos ocorrem, usualmente, nos pontos de parada e partida dos veículos ou nas rampas em que os veículos freiam nas descidas.

As corrugações e os escorregamentos também ocorrem, usualmente, em pavimentos de misturas asfálticas de pouca estabilidade. Isto pode resultar de excesso de asfalto, excesso de agregado fino, gradação inadequada, e agregado de textura graúda arredondado ou liso. No caso de misturas a emulsão asfáltica ou a asfalto diluído, pode ser causado por falta de aeração.

Quando o pavimento corrugado tiver uma base de agregado e um tratamento superficial delgado, deve-se escarificar a superfície, misturá-la com a base e recompactar antes de revestir. Se o revestimento tiver mais de 50 mm de espessura, pode-se remover as corrugações rasas com uma máquina fresadora a frio (Figura 9.19). Sobre a área aplica-se, então, a capa selante ou um revestimento de mistura a quente.

Para um reparo completo deve-se remover as áreas com escorregamentos e remendá-las.



Figura 9.17 Corrugações ou Costelas.

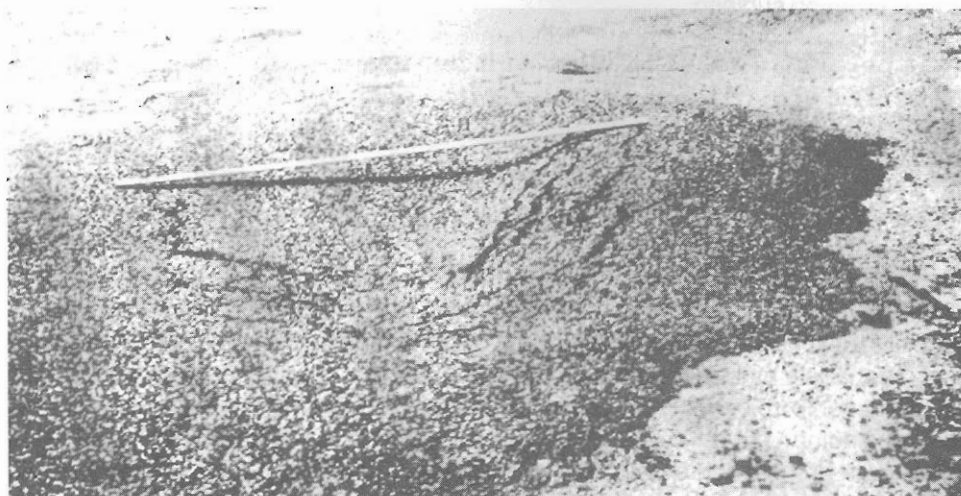


Figura 9.18 Escorregamento.



Figura 9.19 Maquina de Fresagem a Frio.
(Cortesia de CMI Corporation)

Depressões

As depressões são áreas localizadas de dimensões reduzidas que podem ser acompanhadas ou não de trincamento (Figura 9.20). A água acumula-se nas depressões, que se tornam, além de causa de deterioração do pavimento, também um risco para os motoristas. As depressões são causadas por cargas de tráfego mais pesadas do que as consideradas no dimensionamento e por adensamento ou movimento no subleito.

As depressões devem ser preenchidas com mistura asfáltica a quente e compactadas de modo a restaurar a área no mesmo nível do pavimento circunvizinho.

Empolamento

O empolamento ou sobrelevação é o deslocamento para cima e localizado, devido à expansão do subleito ou de outra parte da estrutura do pavimento (Figura 9.21). É mais comumente causado por expansão do gelo nas camadas granulares sob o revestimento ou no subleito. O empolamento também pode ser causado pelo efeito expansivo da umidade nos solos expansivos.

Para a correção das áreas de expansão do gelo é preciso que a fonte da água não se exponha às temperaturas de congelamento ou que a água sob o pavimento seja drenada e afastada. A fonte da água pode ser protegida das temperaturas de congelamento colocando-se camadas de isolamento sob a estrutura do pavimento ou substituindo o material natural do subleito por material granular de drenagem livre até a profundidade de penetração do gelo. Desde que localizada a fonte da água, a utilização de um sistema de subdrenagem pode ser eficaz. Em ambos os casos deve-se remover o pavimento e refazê-lo a fim de permitir reparo permanente.



Figura 9.20 Depressões. A Área Sob Depressão é Deliniada Pela Acumulação de Água no pavimento.

O empolamento causado por solos expansivos deve ser contido pela instalação de sistemas de drenagem que impeçam o acesso de água ao subleito. A manutenção corretiva para restaurar a qualidade de rodagem pode ser feita por fresagem a frio do revestimento e colocação de um tratamento superficial ou de reforço delgado. Se a drenagem não for bem sucedida, a única solução poderá ser a remoção completa do pavimento e sua reconstrução.

Causas e Reparos do Descolamento

O descolamento é a quebra do pavimento em fragmentos pequenos e soltos. Isto inclui o desalojamento das partículas de agregado. Se não for barrada de início, pode o descolamento prosseguir até que o pavimento exija reconstrução completa. As panelas e os desprendimentos são dois tipos, entre os mais comuns, de estágio inicial de descolamento. Os reparos vão desde selagens simples no estágio inicial até remendos profundos, caso se deixe o defeito progredir até uma situação pior.

Panelas

As panelas são buracos em forma de bacia (Figura 9.22) de vários tamanhos nos pavimentos, que resultam da desintegração localizada por ação do tráfego. São causados, usualmente, por uma deficiência no pavimento que



Figura 9.21 Empolamento.

resulta de subleito ou base fracos, carência de asfalto, revestimento asfáltico demasiadamente delgado, fração fina em excesso, muito pouco finos, e má drenagem. (Figura 9.21)

As panelas aparecem freqüentemente quando não se aplica prontamente a manutenção adequada, assim que se detectem as condições falhas. O reparo temporário envolve, usualmente, a limpeza da panela e seu preenchimento com material asfáltico premisturado de remendo. O reparo permanente faz-se pela construção de um remendo profundo com mistura asfáltica a quente.

Desprendimento

O desprendimento é a perda progressiva de material da superfície por intemperização ou abrasão pelo tráfego, ou ambos. (Figura 9.23). É o agregado fino que em geral se desprende primeiro, deixando pequenas marcas perfuradas, de variola na superfície do pavimento. A medida que prossegue a erosão, algumas partículas grandes, por vezes, se soltam e logo o pavimento adquire o aspecto rugoso e denteado que é típico da erosão superficial. O desprendimento é causado por métodos construtivos deficientes, agregados de qualidade inferior e má dosagem da mistura. A aplicação precoce de névoa selante assim que se detecta o desprendimento, irá retardar a deterioração progressiva.

As superfícies secas e intemperizadas exigem, usualmente, um tratamento superficial. As medidas de emergência incluem a névoa selante aplicada na superfície da pista. Os tratamentos superficiais incluem lama selante, selagem de areia e tratamento de asfalto-agregado, dependendo da condição de superfície e tráfego.



Figura 9.22 Panelas.

Causas de Superfícies Escorregadias e seu Reparo

Excesso de Asfalto

Exsudação ou escoamento superficial é o excesso de asfalto ou película de asfalto na superfície do pavimento (Figura 9.24). As camadas do pavimento contendo misturas ricas em asfalto, capas selantes mal construídas e pinturas de imprimação e de ligação demasiadamente densas, podem causar exsudação e escoamento superficial. As cargas de tráfego pesadas podem forçar ou fazer escorrer o asfalto para a superfície quando faz calor. Se agregados hidrofílicos forem usados nas misturas asfálticas a quente, as condições de umidade desfavoráveis podem causar o arrancamento do asfalto e a migração posterior do mesmo para a superfície do pavimento.

Em muitos casos pode-se corrigir a exsudação pela aplicações repetidas de areia, pó-de-pedra ou agregado graúdo, quentes, para absorver o excesso de asfalto. Quando se utiliza esta técnica o agregado usado deve ter o diâmetro de, pelo menos, o dobro da espessura das películas de asfalto. A técnica é mais eficiente se o agregado puder ser aquecido a, aproximadamente, 230°C, antes de aplicá-lo na área de exsudação. Depois de aplicar o agregado deve o mesmo ser rolado contra a película de asfalto. Se a exsudação for leve, pode-se usar uma camada de atrito de mistura asfáltica a quente ou uma capa selante de agregado de absorção.



Figura 9.23 Desprendimento.

Pode-se usar uma máquina aplainadora de pavimento, seja a frio ou a quente, a fim de remover o excesso de asfalto ou a camada toda.

Agregado Polido

As partículas de agregado na superfície de um pavimento podem ser desgastadas até ficarem lisas sob a ação abrasiva do tráfego (Figura 9.25). Neste caso incluem-se tanto os cascalhos não britados de superfície polida na natureza, como as britas que se desgastam rapidamente sob a ação do tráfego. Alguns agregados, em especial alguns tipos de calcários, tornam-se polidos bem depressa sob o tráfego. Outros, tais como certos tipos de cascalhos, são polidos por natureza, de modo que se usados sem britagem representam um risco de derrapagem. Os agregados polidos são bastante escorregadios quando umedecidos.

A única maneira de reparar um pavimento que tenha agregado polido é a cobertura da superfície com um tratamento anti-derrapagem. Deve-se aplicar uma camada de atrito de reforço de mistura asfáltica usinada a quente, selagem de areia ou de agregado. O agregado deve ser duro e anguloso, como escória, areia de sílica e e outros materiais que, comprovadamente, não se tornem polidos.



Figura 9.24 Exsudação.

Problemas dos Tratamentos Superficiais

Devido aos métodos construtivos, os tratamentos superficiais podem desenvolver defeitos que não ocorrem em outros tipos de superfícies de pavimentos asfálticos. Entre estes está a perda do agregado de cobertura e as ranhuras.



Figura 9.25 Agregados Polidos na Superfície do Pavimento

Perda de Agregado de Cobertura

A perda de agregado de cobertura é o arrancamento do agregado sob o tráfego de um pavimento de superfície tratada, o que deixa exposta a película de asfalto (Figura 9.26). Várias podem ser as causas da perda de agregado de cobertura:

- Espalhamento do agregado após o asfalto ter esfriado demasiadamente.
- Agregado muito empoeirado ou úmido quando espalhado.
- Agregado não foi rolado ou assente imediatamente após o espalhamento.
- Rolo compressor de rodas de aço transpôs pontos baixos.
- Permitiu-se cedo demais o tráfego sobre a nova superfície.
- Usou-se pouco asfalto ou grau errado de asfalto, ou a superfície é absorvente.
- Rolagem excessiva principalmente com rolo de rodas de aço.

Pode-se tentar o uso de areia grossa aquecida que se espalha na área atingida, em substituição ao agregado perdido. Deve-se proceder à rolagem imediata com rolos pneumáticos de modo a assentar a areia no asfalto.

Ranhas Longitudinais

As ranhas longitudinais (Figura 9.27) são linhas magras e gordas de asfalto que correm paralelamente à linha central da estrada. No momento do espargimento do asfalto, o padrão de aspersão não proporcionou uma cobertura uniforme, resultando as ranhas. Várias podem ser as causas, tais como:

- A barra distribuidora não está ajustada na altura adequada acima do chão.



Figura 9.26 Perda de Agregado de Cobertura.

- Os bicos espargidores da barra distribuidora não estão ajustados no ângulo correto ou são de tamanho errado, entupidos ou defeituosos.
- Errada a vazão da bomba de asfalto.
- O asfalto está muito frio ou é de viscosidade grande demais.
- Pressão da bomba muito baixa

Quanto ao único reparo satisfatório para as ranhuras longitudinais está o aplainamento da superfície ranhurada e a aplicação de novo tratamento superficial. É muito mais fácil evitar as ranhuras longitudinais do que tentar corrigi-las. A cuidadosa observância das recomendações do fabricante em relação ao distribuidor de asfalto antes e durante a utilização, irá prevenir as ranhuras. As boas práticas de inspeção durante o processo construtivo, também tornarão mínimo o potencial de formação de ranhuras.

Ranhuras Transversais

As ranhuras transversais constituem uma alternância de linhas magras e gordas de asfalto correndo transversalmente à estrada, podendo acarretar corrugações na superfície do pavimento. É causada por esguichos no espargimento do asfalto pela barra de distribuição. Estes esguichos podem ser produzidos por pulsos da bomba de asfalto devido ao desgaste ou partes frouxas, por velocidade de bomba inadequada, ou por uma falha no motor.

E, de novo, só resta, praticamente, aplainar a superfície ranhurada e aplicar um novo tratamento superficial.



Figura 9.27 Ranhuras Longitudinais.

9.3 O Asfalto na Manutenção de Pavimentos Rígidos

Introdução

Asfalto para a Manutenção de CCP

O asfalto desempenha um papel importante na manutenção dos pavimentos de concreto de cimento portland (c.c.p.). Faz a selagem de juntas e trincas, preenche cavidades de lascados e alça as placas afundadas. Também, renova pavimentos desintegrados e cobre superfícies escorregadias. A utilização de reforços de asfalto, camadas de alívio de trincamento e procedimentos similares são discutidos na seção sobre reabilitação. Quando se usa o asfalto corretamente os reparos de defeitos nos pavimentos de concreto funcionam muito bem. As técnicas aqui apresentadas não são exclusivas, mas representam métodos que provaram ser satisfatórios.

Os pormenores de misturas de remendo, pinturas de ligação, colocação de misturas de remendos, a compactação de remendos, vistos anteriormente, são igualmente válidos no reparo de pavimentos de concreto de cimento portland.

Selagem de Juntas e Trincas

A selagem de juntas e trincas é realizada por várias razões. Previne-se a entrada da água, protegem-se os materiais de enchimento das juntas e impede-se a entrada de material estranho. Já houve tempo em que o cimento asfáltico com ou sem fíler mineral era o material de selagem mais usado. Os compostos de asfalto-borracha têm ganho a preferência por sua tendência menor de tomarem-se quebradiços no inverno ou de amolecerem sob o tráfego no verão.

Varia o equipamento utilizado para a selagem de juntas e trincas, mas têm preferência os aplicadores sob pressão montados em caminhões ou reboques com espalhadores manuais.

Antes de usar qualquer selante, deve-se limpar as juntas e trincas. Este trabalho é muito facilitado pelo uso de compressores de ar, jatos de areia e desbastador mecânico. Coloca-se na junta ou trinca uma quantidade de material selante que seja apenas o necessário para enche-la. Os selantes quentes podem sofrer alguma contração ao resfriarem, de modo que é preciso usar bastante fíler adicional para preencher a abertura rente à superfície. Se o pavimento for receber tráfego logo após a selagem, deve-se proteger o material para que não cole nos pneumáticos. Faz-se isto polvilhando-se as juntas e trincas preenchidas com areia fina, fíler mineral, ou material semelhante. Os selantes de aplicação a frio podem ser cobertos com tiras de papel.

Subselagem

As cavidades no subleito podem ser de difícil detecção no seu estágio inicial. Um modo de detectá-las é reparar o movimento das placas sob as cargas, após uma chuva forte assim que a superfície secar. Quando existem cavidades, o movimento das placas é revelado pela saída de água ou o bombeamento pelas juntas ou nas bordas das placas. Entre outros sintomas está o ruído oco quando o veículo passa sobre a cavidade, e a rodagem irregular sobre a placa arriada.

A subselagem destas placas quando cedo realizada, é muito oportuna como manutenção preventiva. Se feita no tempo próprio, a subselagem acaba com o bombeamento e a distorção da superfície do pavimento. A subselagem nesta fase adia, em geral, a necessidade de novo revestimento por vários anos. Mas, se a superfície tornar-se irregular antes de se tomar a medida corretiva, é aconselhável que após a selagem seja feito um reforço ou novo revestimento de concreto asfáltico. Em quaisquer circunstâncias, cabe examinar o pavimento antes de reforçá-lo ou revesti-lo a fim de verificar se outra subselagem se faz necessária.

O cimento asfáltico para subselagem de pavimentos de concreto de cimento portland tem o ponto de amolecimento de 82 a 93°C e outras propriedades que obedecem aos requisitos da norma ASTM D 3141. Faz-se o aquecimento a 205 a 230°C antes de iniciar as operações de bombeamento. Durante a subselagem as pressões de bombeamento podem atingir 172 a 414 kPa.

Fazem-se perfurações de 38 a 50 mm de diâmetro na placa de concreto. O espaçamento deve ser de 3 m ao longo de cada faixa de tráfego e a 1 m da linha central do pavimento. Abrem-se furos adicionais a 1 m de cada lado de todas as trincas e juntas transversais. Caso o defeito do bombeamento nos cantos for excessivo, abrem-se furos a 1 m de cada lado da junta ou trinca e cerca de 1 m da borda do pavimento. Durante a operação de injeção deve-se tomar cuidado para não abusar de selagem. Algumas organizações monitoram a diferença de níveis das duas placas e interrompem imediatamente o bombeamento do asfalto quando a placa começa a subir mais do que a cota estabelecida.

Devem ser tomadas precauções extras para manejar tubos e bicos de asfalto extremamente quentes. Máscaras de segurança e luvas protetoras, bem como roupas resistentes devem ser usadas pelos operários a fim de protegê-los do asfalto quente. Não se deve usar pressão superior à necessária para bombear o asfalto. Deve-se ter cuidado especial ao se retirar o bico da perfuração, pois que as pressões passivas ou residuais podem provocar o jorro do asfalto pelo bico.

Manutenção de Juntas e Trincas

Produzem-se variações de volume relativamente grandes nos pavimentos de c.c.p. Assim sendo, todos estes pavimentos trincam. O trincamento é uma propriedade natural do material. Os pavimentos rígidos têm juntas a intervalos freqüentes, que permitem ao concreto trincar segundo linhas retas e definidas.

As juntas ou se estendem por toda a espessura da placa ou são sulcadas até 1/6 a 1/4 da espessura. As juntas de espessura plena são junções entre placas que permitem a expansão ou o atendimento dos requisitos de construção. As juntas sulcadas são formadas ou cortadas de modo a induzir o trincamento segundo o plano de fraqueza. Podem dispor-se longitudinal, transversal ou diagonalmente à pista.

Outra junta existe entre a placa de concreto e o acostamento. É longitudinal e chama-se junta de acostamento. Existem outros tipos de juntas de finalidade especiais. Devem ser mantidas da mesma forma que as juntas dos tipos principais.

Os métodos que se utilizam para a selagem tanto de juntas como de trincas são essencialmente as mesmas. Consistem na limpeza da parte superior das fendas e seu preenchimento com material selante. Este deve colar nas duas faces da abertura para que seja eficaz. Deve-se retirar a areia, pedregulho, poeira e lixo que possam ter acumulado na fenda. Do contrário, quando a junta fechar devido a expansão, pode causar o lascado das bordas da placa. Se a trinca for muito estreita ou tiver bordas muito lascadas, pode-se sulcar um rebaixo para receber o selante com uma serra de pavimento ou cortadora rotativa.

Novas Selagens de Juntas

As juntas necessitam de manutenção periódica. Pode ser necessário substituir o selante de juntas por diferentes razões. Por exemplo, pode-se ter usado um tipo errado de material; o selante pode ter sido superaquecido; ou a junta pode não ter sido completamente limpa antes da selagem.

Em todos os casos, as juntas que precisarem de nova selagem deverão ser escavadas até 25 mm de profundidade. Antes de aplicar o novo selante, todas as superfícies dentro e à volta das juntas devem ser limpas e secas, sem restar pedaços de fíler ou do antigo selante dependurados nos lados. Pode-se inserir borracha esponjosa, plástico ou fita de papel no sulco para se ter uma face inferior que não adira ao selante.

Freqüentemente, areia e pedregulhos se alojam no material de selagem da junta, e quando as placas expandem o selante é empurrado para cima sobre a junta e forma uma bossa. As vezes, a junta tem bastante material estranho que causa o lascado das placas. Quando isto acontecer, deve-se escavar e retirar o selante da junta e fazer nova selagem. Entretanto, em muitos casos, o excesso deve ser removido cortando-o fora com uma pá quadrada aquecida ou com um cortador rotativo mecânico.

Selagem de Trincas

As trincas dos pavimentos de Concreto de Cimento Portland (c.c.p.) são descontinuidades devido a causas naturais ou à ação do tráfego. Incluem-se sob esta definição:

- Trincas transversais
- Trincas longitudinais
- Trincas diagonais
- Trincas de cantos
- Trincas de restrição

Caso a trinca não seja de largura suficiente para receber o material selante com facilidade, não se deve nem tentar a selagem. As trincas largas devem ser completamente limpas antes da selagem.

Trincas Transversais

As trincas transversais (Figura 9.28) surgem formando ângulos aproximadamente retos em relação à linha central do pavimento. Algumas das causas principais das trincas transversais são sobrecargas, flexão repetida de placas sujeitas ao bombeamento, ruptura de fundações moles, juntas congeladas, falta de juntas, juntas muito rasas, e retração do concreto.

As trincas devem ser limpas de todo material solto, por desbaste, ar comprimido

e jato de areia das faces verticais da trinca até a profundidade de, pelo menos, 25mm. Depois de limpar a trinca deve-se retirar o material solto com ar comprimido. Pode-se então, preencher a trinca com um selante de asfalto-borracha. Se a trinca é causada por bombeamento, deve-se aplicar na área uma subselagem de asfalto.



Figura 9.28 Trincas Transversais

Trincas Longitudinais

As trincas longitudinais correm, aproximadamente, paralelas à linha central do pavimento (Figura 9.29). Algumas causas deste tipo de trinca são a retração do concreto (se o pavimento não tiver junta longitudinal e for largo), sub-base e subleito expansivos, tensões de encurvamento em combinação com as cargas, juntas da linha central demasiadamente rasas, e perda de suporte pelo bombeamento na borda.

O reparo é de procedimento igual ao das trincas transversais; seja, limpeza da trinca e preenchimento com selante de asfalto-borracha. Se o bombeamento for uma causa determinante, o vazio sob a placa do pavimento deve ser preenchido com asfalto de alto ponto de amolecimento

Trincas Diagonais

As trincas diagonais correm diagonalmente em relação à linha central (Figura 9.30). São causadas por cargas do tráfego sobre os extremos não apoiados de placas. A fundação assenta ou a placa encurva-se, e o solo do subleito é bombeado para fora, a maior parte pela borda, no que resulta uma trinca diagonal.

As faces verticais da trinca recebem jatos de areia e são limpas com ar comprimido. Preenche-se, então, a trinca com um produto selante de asfalto-borracha. Aplica-se uma subselagem de asfalto à placa, após o que usa-se um



Figura 9.29 Trincas Longitudinais.

composto selante para acabar o preenchimento da trinca.



Figura 9.30 Trincas Diagonais.

As trincas de canto são trincas diagonais que formam um triângulo com uma junta longitudinal de borda e uma junta ou trinca transversal (Figura 9.31). Podem ser causadas por cargas de tráfego nos cantos sem apoio e em placas encurvadas. Podem, também, ser causadas por cargas sobre pontos fracos do subleito sob as placas.

As trincas de canto têm o melhor reparo com a remoção do material de concreto quebrado do canto e remendo com uma mistura asfáltica a quente e densamente graduada.

As trincas de restrição (Figura 9.32) formam-se a uma distância de 1 m ou menos da borda externa do pavimento de c.c.p. e progridem num percurso irregular na direção da junta longitudinal. São causadas por material estranho como o pedregulho duro que se aloja no fundo de uma junta transversal e impede que as placas se expandam.

A junta transversal bloqueada deve ser raspada e feita a nova selagem. As trincas de restrição devem ser limpas e seladas com um composto de asfalto-borracha. Se as trincas não forem suficientemente largas para exigir selagem, nada se faz.



Figura 9.31 Trinca de Canto e Lascado.



Figura 9.32 Trinca de Restrição.

Causas e Reparos da Distorção

Distorção

Distorção é qualquer modificação da superfície do pavimento em relação a sua forma original. A falha é um dos mais freqüentes tipos de distorção de pavimento de concreto de cimento portland. O bombeamento não pode ser considerado uma distorção, mas resulta da falha de placas afundadas. As causas principais de distorção são os solos expansivos, solos susceptíveis ao gelo e o recalque de fundação.

Quando não muito extensas, algumas formas de distorção, por exemplo, o recalque, podem ser remediadas pelo levantamento da placa ao nível original. Um dos métodos de fazer isto, é o bombeamento de um cimento asfáltico de subselagem de alto ponto de amolecimento por baixo da placa. Às vezes, a superfície do pavimento está tão gravemente distorcida que o reparo mais econômico vem a ser o reforço de concreto asfáltico.

Falhas

A falha (Figura 9.33) é a diferença de nível entre duas placas numa junta ou trinca. As falhas se formam, usualmente, por transferência de carga inadequada entre placas junto com adensamento e contração do volume das camadas sob as placas. Também podem ser causadas pelo bombeamento do material de fundação.

Quando possível as placas com falhas devem ser trazidas de volta ao nível original por uma subselagem de asfalto de alto ponto de amolecimento. A junta ou a trinca devem ser limpas, submetidas a jatos de areia, sopradas por ar comprimido, e preenchidas parcialmente com um selante de juntas de asfalto-borracha, antes de iniciada a subselagem. Depois que a placa rebaixada é levantada até o nível original, a junta ou trinca é preenchida com um composto de asfalto-borracha. Em alguns casos é preciso colocar remendos do tipo cunha para o nivelamento e, a seguir, o reforço asfáltico. Outra técnica aceitável é a abrasão da área entre as duas placas até um plano verdadeiramente em nível.

Bombeamento

O bombeamento é o movimento para cima e para baixo da placa quando da passagem das cargas, no que resulta a ejeção ou bombeamento de solo saturado - areia, argila e silte. O bombeamento pode ocorrer em juntas e trincas transversais e longitudinais e ao longo das bordas do pavimento (Figura 9.34). O bombeamento para fora de material fino é causado pela presença de água livre sobre ou no subleito e sub-base. O movimento da placa para cima e para baixo causado por cargas pesadas força esta água com o material do subleito ou sub-base para cima através da trinca e até a superfície.

Os vazios sob o pavimento devem ser preenchidos com subselagem de cimento asfáltico de alto ponto de amolecimento. Isto trará, também, a impermeabilização do subleito e da sub-base.

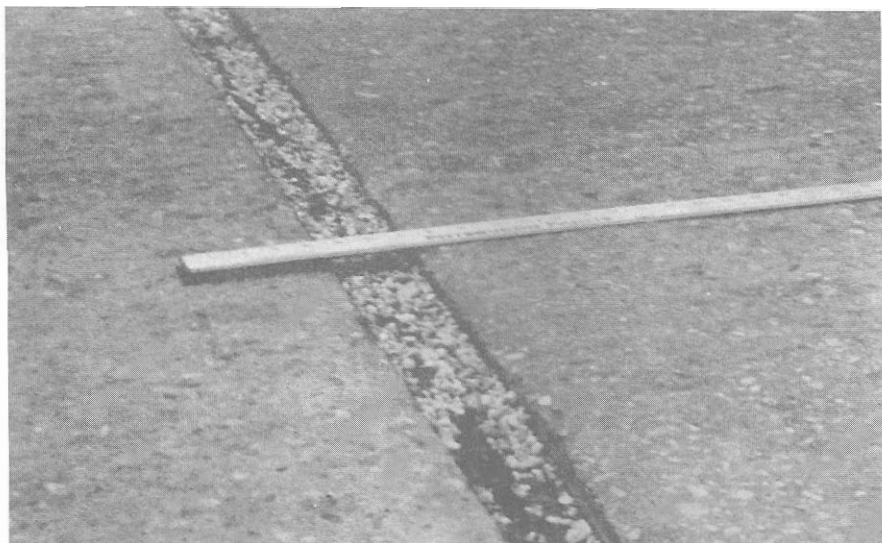


Figura 9.33 Falhas.

Causas do Descolamento e seu Conserto

O descolamento é a quebra do pavimento em fragmentos pequenos e soltos. Isto inclui o desalojamento das partículas de agregado. Se não for contido nos momentos iniciais, sua progressão irá até que seja necessário reconstruir completamente o pavimento.

Os tipos comuns de descolamento dos pavimentos de concreto de cimento portland que podem ser tratados com asfalto são:

- Arrebatamento
- Lascado
- Escamação

Arrebatamentos

O arrebatamento é o empenamento ou estilhaçamento de um pavimento do tipo rígido (Figuras 9.35 e 9.36) que ocorre, geralmente, numa trinca ou junta transversal. A maioria dos arrebatamentos ocorre quando faz calor, pois este faz expandir excessivamente o pavimento. A pressão sobe até que as placas não podem mais resistir e empenam ou estilhaçam, assim arrebatando segundo uma junta ou trinca transversal.

A parte danificada da placa é removida por serragem num corte reto e nítido com uma serra de pavimento. Se for necessário, nivela-se a sub-base que é, a seguir, imprimada. Coloca-se uma mistura asfáltica a quente densamente graduada, e se compacta. Caso a área não for bastante extensa para um rolo de tamanho grande deve-se usar placas vibratórias de compactação ou martelos (sapos) mecânicos. A superfície do remendo deve ter o acabamento no nível do pavimento vizinho.



Figura 9.34 Bombeamento.



Figura 9.35 Arrebentamentos.

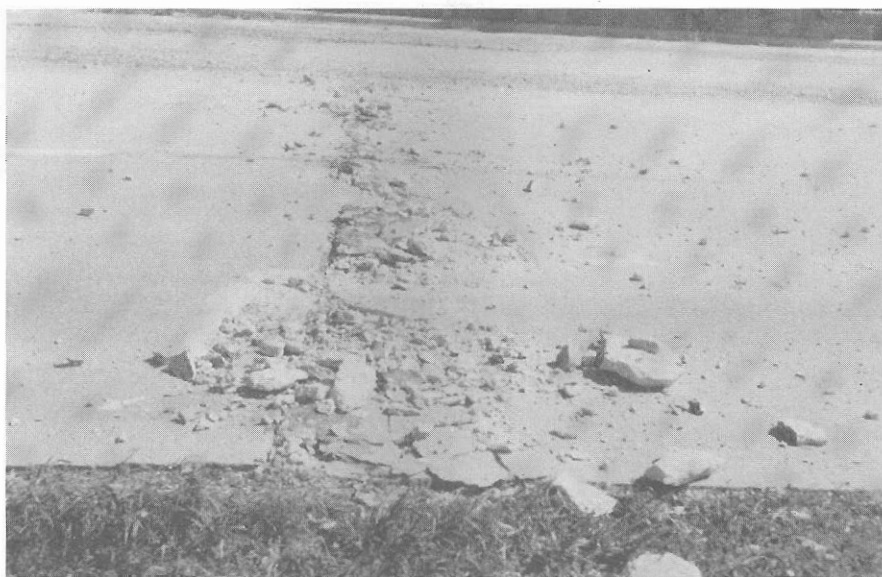


Figura 9.36 Arrebetamento (Estilhaçamento).

Escamação

A escamação é o descascamento da superfície do pavimento de c.c.p. (Figura 9.37). Em alguns casos a escamação pode avançar mais para o interior do pavimento. Uma das causas principais da escamação é a ação química de sais usados para o degelo. Outras causas são o fator água-cimento inadequado, acabamentos em excesso, incorporação de ar e mistura impróprios, agregados inadequados e cura imprópria.

Se a área escamada tiver 10 mm ou menos de espessura, pode-se usar uma escova mecânica de cerdas de aço para deslocar todas as partículas soltas. Depois de ter sido completamente limpa a área, pode-se aplicar uma capa selante de emulsão asfáltica para restaurar a superfície no nível original.

Se a escamação for excessiva e profunda, entretanto, o pavimento deve ser reforçado com concreto asfáltico.

Lascado

Chama-se de lascado a quebra ou trituração do pavimento nas juntas, trincas e bordas (Figura 9.38). Os fragmentos têm, em geral, bordas chanfradas. Este tipo de desintegração de pavimento pode ter inúmeras causas. Entre as principais estão o alojamento de pedaços duros de pedregulhos numa junta ou trinca, instalação inadequada dos dispositivos de transferência de cargas, formas de juntas ou sua serragem inadequada, e argamassa fraca.

Os reparos podem ser feitos quebrando-se a área lascada até chegar à parte sã, acertando as bordas tão verticalmente quanto possível. Após limpar completamente a área do material solto, aplica-se na escavação uma pintura de ligação, coloca-se uma mistura asfáltica a quente e densamente graduada, a qual é, a seguir, completamente compactada.



Figura 9.37 Escamação.

A Eliminação dos Riscos de Derrapagem

Causas

Um pavimento pode tornar-se escorregadio, quando molhado, por vários motivos. Uma das causas principais é o polimento dos agregados na superfície. O escorregamento também pode resultar de contaminações superficiais.

A Figura 9.39 mostra partículas de agregado que foram polidas até ficarem lisas. Alguns agregados sofrem polimento rápido com o tráfego. Outros, como certos tipos de cascalho, são lisos de natureza. Se utilizados na superfície dos pavimentos sem serem britados, tornam-se fonte de risco de derrapagem. Os agregados polidos são muitíssimo escorregadios quando molhados.

Reparo

A maneira mais eficaz e econômica de reparar um pavimento de agregados polidos é revesti-lo de um tratamento anti-derrapante. Deve-se usar uma camada de mistura asfáltica a quente contendo agregados afiados, angulosos e não susceptíveis ao polimento. A fim de reduzir os efeitos nocivos da reflexão de trincas, o reforço deve ter no mínimo, 115 mm de espessura.

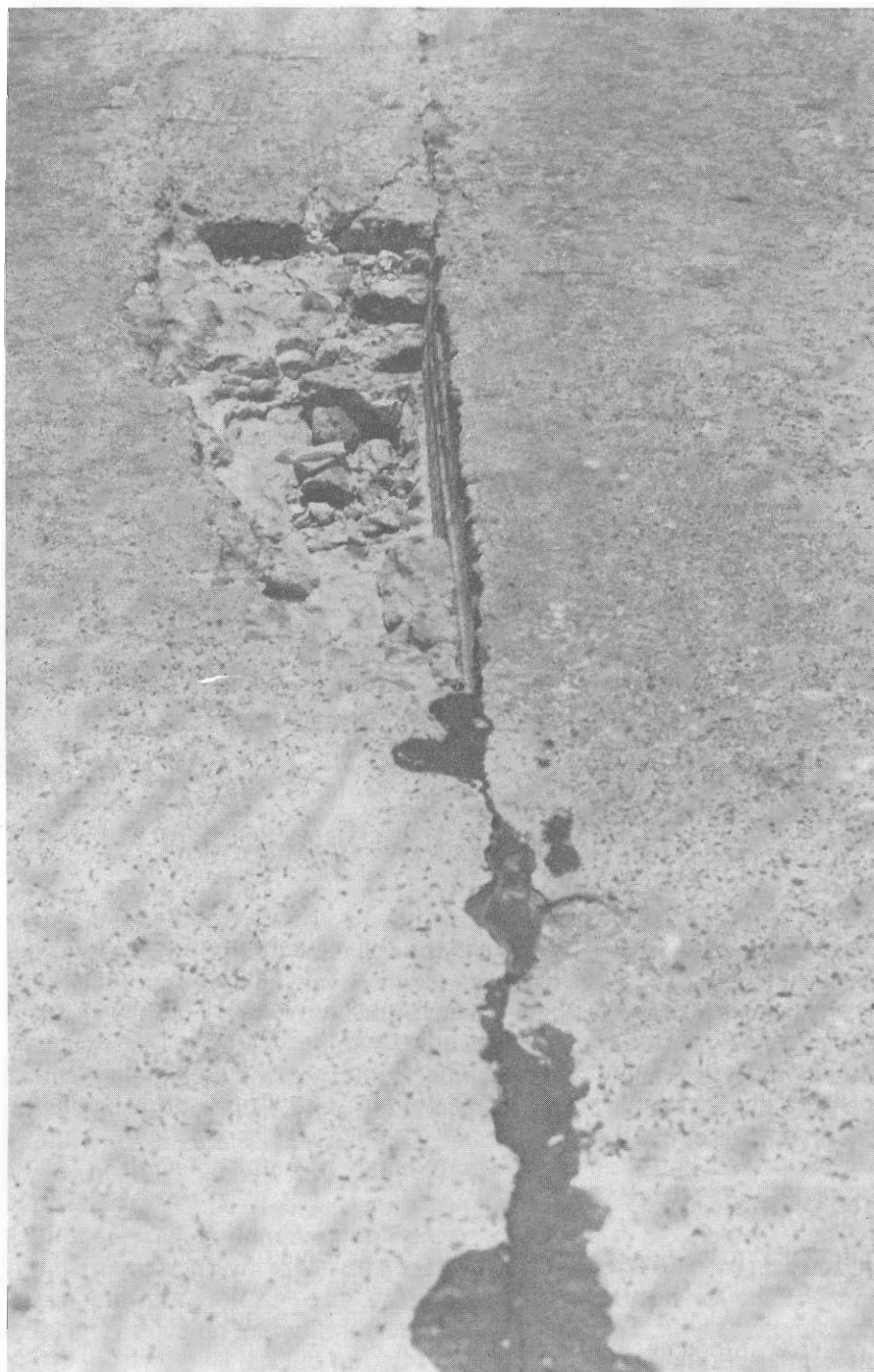


Figura 9.38 Lascado.

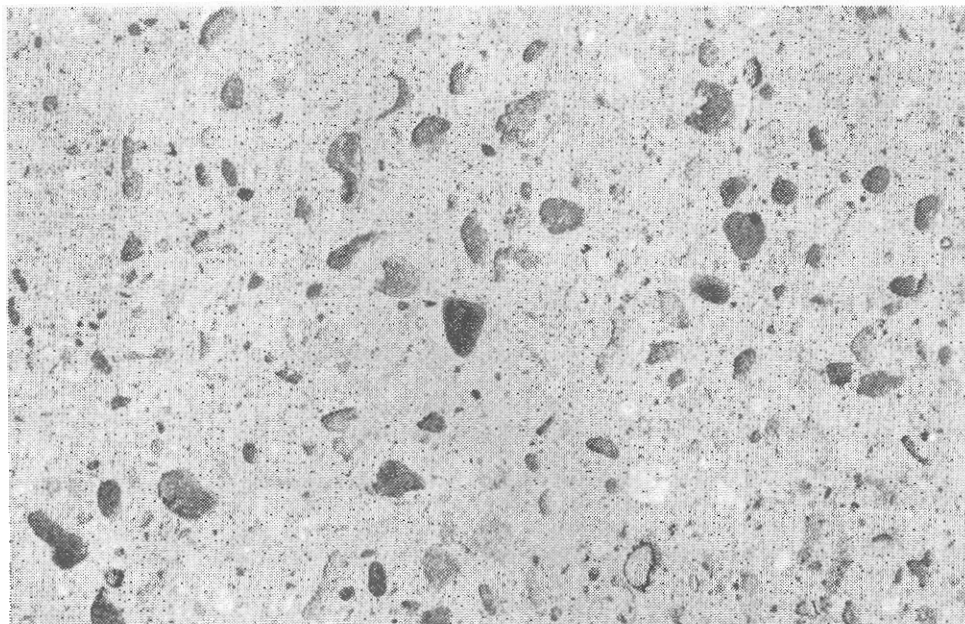


Figura 9.39 Agregados Polidos na Superfície de Pavimentos.

9.4. O Asfalto na Reabilitação de Pavimentos

Introdução

Conforme se discutiu na seção anterior, a manutenção ajuda o desempenho satisfatório dos pavimentos durante sua vida de projeto. Quando este período é ultrapassado no tempo ou nas solicitações do tráfego, requer-se um trabalho mais amplo. É chegado o tempo da reabilitação. A reabilitação de pavimentos é a recuperação, fortalecimento e a modernização de pavimentos deficientes. Pode-se reabilitar um pavimento por vários métodos, inclusive o reforço de diferentes espessuras, reciclagem das camadas superiores ou reconstrução completa.

Avaliação da Condição do Pavimento

Finalidade

Uma das funções do levantamento da condição do pavimento é a de determinar se um pavimento necessita de reabilitação e quando executá-la. A avaliação da condição do pavimento inclui medições de resistência à derrapagem, qualidade da rodagem, capacidade estrutural e defeitos do revestimento. Os defeitos do revestimento podem ser na forma de desprendimento, trincamento, afundamento de trilha de roda e outras formas de distorção e, no caso de pavimentos de concreto de cimento portland, incluindo-se trincamento e lascado, bombeamento e falhas nas juntas. Ao avaliar-se a condição do pavimento, faz-se um balanço do estado atual dos defeitos e estima-se o estado futuro, ou a época em que o defeito alcançará um nível crítico ou terminal; a esta altura faz-se necessário, usualmente, o reforço.

Nem todas as medições de condição do pavimento alcançarão um nível terminal ao mesmo tempo. Por exemplo, um pavimento asfáltico estruturalmente não poderá ter resistência à derrapagem fraca, o que se pede corrigir com um reforço delgado. O pavimento bastante defeituoso devido a espessura deficiente da estrutura exigirá um reforço mais espesso. De uma forma mais genérica, a avaliação da condição contribui para o estabelecimento de prioridades de reforço e outras medidas de reabilitação, e auxilia no estabelecimento de programas a seguir a fim de corrigir as deficiências do pavimento.

Resistência à Derrapagem

Várias organizações de estradas de rodagem julgam ser vantajoso medir a resistência à derrapagem em toda a rede de estradas ou, pelo menos, em trecho selecionados de seus sistemas de estradas, de um modo rotineiro, ou para a coleta de dados de pesquisa. As medições fazem-se com dispositivos mecânicos. Na América do Norte o reboque de roda travada de derrapagem [Método E 274 da ASTM] é, freqüentemente, empregado. Um pouco menos usual é o "Mu-Meter" ou reboque de roda guinada. Também se emprega o "British Portable Tester", especialmente como ferramenta de pesquisa.

A resistência à derrapagem de superfícies de pavimentos varia com a intensidade do tráfego, temperatura da superfície, textura superficial, espessura de água sobre o pavimento, velocidade do veículo e as características do dispositivo de medição. O ensaio faz-se, comumente, com o pavimento molhado, sendo a coleta de dados realizada, freqüentemente, a diferentes velocidades.

Valores baixos de resistência à derrapagem de um pavimento bom sob outros aspectos podem recomendar a necessidade de tratamento corretivo. Encontram-se noutra local deste capítulo as recomendações para a correção das superfícies de pavimentos asfálticos que apresentam problemas de derrapagem.

Qualidade de Rodagem – Conceito de Serventia Atual

A maioria dos usuários da estrada conhecem muito pouco a respeito da estrutura da estrada. Para eles, a referência da adequação é o grau em que a estrada serve-os bem. Foi partindo desta premissa que os engenheiros da pista experimental da AASHO desenvolveram um sistema de classificação da condição das superfícies dos pavimentos usando o que chamaram de “Conceito de Serventia Atual”. Segundo este conceito a serventia atual é a capacidade de um trecho específico do pavimento oferecer, na opinião do usuário, uma *rodagem suave e confortável* no momento considerado. Esta capacidade pode ser quantificada por um valor chamado de “Avaliação de Serventia Atual”.

Em geral, atribui-se a cada trecho, avaliação de um (1,0) a cinco (5,0), sendo que os números maiores indicam as condições mais satisfatórias. As avaliações baixas indicam má condição de pavimento, em princípio um pavimento irregular, e sugere que se faça o exame mais pormenorizado da superfície. Algumas organizações utilizam a escala de avaliação de 0 a 100. Estes valores são comparáveis à escala de avaliação de 1 a 5 quando estes números menores são multiplicados por 20. Independentemente da escala de avaliação numérica usado, a maioria dos sistemas de avaliação utilizam cinco categorias gerais de condição do pavimento - muito bom, bom, regular, fraco e muito fraco.

A medição de serventia por meios mecânicos fornece o que se conhece por “Índice de Serventia Atual”.

O engenheiro pode usar tanto o PSR como o PSI para decidir se deve proceder ou não, ou adiar, uma investigação mais pormenorizada. A Serventia Atual pode ser usada como o primeiro passo na avaliação da adequação de um pavimento. Se a história do PSR ou PSI é plotada por trechos de estrada que parecem estar em deterioração, é possível fazer, às vezes, predições sobre a ocasião propícia às medidas corretivas.

Sistema de Avaliação da Condição

Muitos engenheiros acreditam que a Serventia Atual, PSR ou PSI, não é suficiente para decidir se um pavimento exige ou não um reforço. Várias agências governamentais idealizaram sistemas em que se combinam medições de defeitos de pavimentos, às vezes incluindo-se a irregularidade do pavimento, numa única classificação ou índice que se usa para esse fim. E mais, a utilização de um único índice é conveniente quando se tem um sistema de gerência de

pavimentos automatizado. Nos Estados Unidos diversas organizações desenvolveram sistemas que utilizam algum tipo de índice de condição ligado a sistema de gerência de pavimento ou congêneres.

O Asphalt Institute publicou um sistema simples de avaliação de condição de pavimentos asfálticos – *Um Sistema de Avaliação de Pavimentos para Estradas Asfaltadas de Baixo Volume* – (“A Pavement Rating System for Low-Volume Asphalt Roads”). IS-169. A Figura 9.40 mostra a ficha de avaliação para este sistema. As descrições e fotografias ajudam o avaliador a identificar os diferentes tipos de defeitos, além de fornecerem indicações de ações corretivas apropriadas. O sistema também inclui uma escala (Figura 9.41) que pode servir como guia de quando os reforços se fazem necessários ou quando a manutenção rotineira ou, ainda, a reconstrução completa, se aplicam melhor.

Há sistemas mais elaborados que fornecem formas mais pormenorizadas de registrar o tipo e grau de defeito. A província de Ontário (Canadá) desenvolveu instruções para a indicação do índice de condição do pavimento.

Estabeleceram-se duas instruções ou guias neste sistema. Um é para pavimentos asfálticos (flexíveis) – (Figura 9.42) e o outro para pavimentos de concreto de cimento portland (rígido) – (Figura 9.43). Na utilização do sistema, determina-se, inicialmente, uma avaliação do pavimento, com anotações na ficha de avaliação, Figura 9.44 ou Figura 9.45, a fim de se obter um balanço da condição do pavimento. Embora não usado neste sistema, pode-se calcular um índice, atribuindo-se pesos a cada categoria de defeito mostrado nas fichas de avaliação, como feito no sistema do Asphalt Institute (Figura 9.40).

Quando se utilizam sistemas como os descritos acima, deve-se dar atenção à preservação da consistência das avaliações, principalmente se estiverem envolvidos mais de um grupo de avaliadores. Faz-se isto mantendo-se sessões de treinamento de avaliadores, usando trechos de pavimentos reais e fotografias ou transparências coloridas.

Avaliação Estrutural

A avaliação estrutural determina a capacidade de um pavimento suportar o tráfego sem que surjam defeitos estruturais apreciáveis. O intuito da avaliação estrutural é determinar tanto a adequação atual do pavimento como prever sua vida de serviço futura para o tráfego que o utiliza. Quando se conclui que o pavimento é inadequado para o uso atual e futuro, a avaliação constitui a base para o projeto dos melhoramentos necessários para fornecer serviço apropriado.

São várias as razões pelas quais a estrutura do pavimento pode ser inadequada. Poderá, simplesmente, ter excedido sua vida de projeto – o volume e o peso do tráfego podem ter crescido a uma taxa superior à que se antecipou no projeto original. Nestes casos, reduziu-se a vida de serviço. Algumas propriedades dos materiais do pavimento podem ter mudado sob as condições de serviço – o que pode reduzir a eficiência do material na estrutura do pavimento. Muitos pavimentos existentes foram construídos antes do desenvolvimento de procedimentos de projeto que levassem em conta as correlações do suporte do subleito, resistência dos materiais do pavimento e cargas do tráfego; portanto, estes pavimentos poderão deixar de atender os requisitos estruturais atuais.

As técnicas de avaliação de pavimentos asfálticos enquadram-se em duas categorias. A primeira corresponde ao procedimento da deflexão, que envolve a medição das deflexões do pavimento e sua análise em relação ao tráfego; este

FICHA DE AVALIAÇÃO DE PAVIMENTO ASFÁLTICO

RUA OU ESTRADA _____ CIDADE OU MUNICÍPIO _____

COMPRIMENTO DO TRECHO _____ LARGURA _____

TIPO DE PAVIMENTO _____ DATA _____

(Nota: Avaliação "0" indica que não ocorre o defeito)

DEFEITOS	AVALIAÇÃO	AVALIAÇÃO
Trincas Transversais	0-5	_____
Trincas Longitudinais	0-5	_____
Trincas Couro de Jacaré	0-10	_____
Trincas de Contração	0-5	_____
Afundamento de Trilhas de Roda	0-10	_____
Corrugações	0-5	_____
Desprendimento	0-5	_____
Escorregamento ou Empuxão	0-10	_____
Panelas	0-10	_____
Excesso de Asfalto	0-10	_____
Agregado Polido	0-5	_____
Drenagem Deficiente	0-10	_____
Qualidade de Rodagem Global		
(0 é excelente, 10 é muito fraco)	0-10	_____
Soma de Defeitos		_____
Avaliação de Condição = 100 - Soma de Defeitos		
= 100 - _____		
Avaliação de Condição = <input style="width: 50px; height: 20px;" type="text"/>		

Figura 9.40 Ficha de Avaliação de Pavimentos Asfálticos.

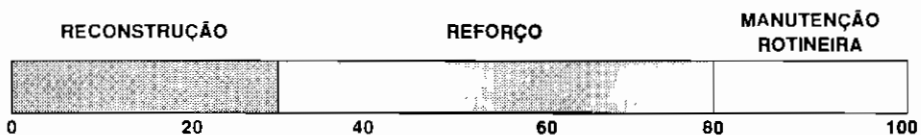


Figura 9.41 Avaliação de Condição Como um Indicador Geral do Tipo de Manutenção.

Reconstruir ou reciclar dentro de 2 anos.	0 – 20	O pavimento está em condição fraca a muito fraca com extensos e graves defeitos de trincamento, couro de jacaré e caneluras. Rodagem má e a superfície muito irregular e desnivelada.
Reconstruir ou reciclar dentro de 2 a 3 anos.	20 – 30	O pavimento está em condição fraca com defeitos moderados de couro de jacaré e extensos e graves de trincamento e caneluras. Rodagem má e a superfície muito irregular e desnivelada.
Reforço, reciclagem e reconstrução, 3 a 4 anos.	30 – 40	O pavimento está em condição fraca a regular com defeitos freqüentes mas moderados de couro de jacaré e extensos e moderados de trincamento e caneluras. Rodagem má a regular e superfície moderadamente irregular e desnivelada.
Reconstruir em 4 a 5 anos ou uma nova superfície dentro de 2 anos com extenso nivelamento	40 – 50	O pavimento está em condição fraca a regular com defeitos freqüentes e moderados de trincamento e caneluras e intermitentes e moderados de couro de jacaré. Rodagem má a regular e superfície moderadamente irregular desnivelada
Nova superfície dentro de 3 anos.	50 – 65	O pavimento está em condição regular com defeitos intermitentes, moderados e freqüentes, de trincamento leve, e com intermitentes, leves ou moderados, de couro de jacaré e caneluras. Rodagem regular e superfície levemente irregular e desnivelada.
Nova superfície em 3 a 5 anos.	65 – 80	O pavimento está em condição razoavelmente boa com defeitos freqüentes e leves de trincamentos, leves a muito leves de caneluras e algumas áreas de leve couro de jacaré. Rodagem razoavelmente boa com intermitentes, irregulares e desnivelados trechos.
Manutenção normal apenas.	80 – 100	Pavimento está em condição boa com defeitos freqüentes mas muito leves ou leves de trincamento. Rodagem boa com alguns trechos levemente irregulares e desnivelados.
Manutenção não é requerida.	90 – 100	Pavimento está em condição excelente com poucas trincas. Rodagem excelente com poucas áreas de leve distorção.

*Adaptado do Transportation Research Board Record no.700

Figura 9.42 Um Guia para Estimar a Avaliação da Condição do Pavimento e a Prioridade para Pavimentos Flexíveis.

Reconstrução e reforço estrutural dentro de 2 anos.	0 – 20	O pavimento em condição muito fraca com defeitos graves de trincas e falhas. Frequentes as placas muito quebradas e inclinadas. Rodagem muito má. Extremamente irregular e desnivelado do princípio ao fim.
Reconstruir com reforço estrutural em 2 a 3 anos.	20 – 40	O pavimento em condição fraca com defeitos graves de trincas e falhas. Intermitentes as placas muito quebradas e inclinadas. Rodagem má. Muito irregular e desnivelado do princípio ao fim.
Cortar juntas de alívio se necessário. Nova superfície e subselagem em 2 anos	40 – 50	O pavimento em condição regular a fraca com defeitos moderados e graves de trincas e juntas. Rodagem regular a má e superfície moderadamente irregular e desnivelada do princípio ao fim. Ocorrência possível e ocasional de arrebatamentos. Superfície moderadamente polida pelo tráfego.
Cortar juntas de alívio se necessário. Nova superfície e subselagem em 2 a 5 anos.	50 – 75	O pavimento em condição regular com defeitos moderados de falhas nas juntas e trincas. Rodagem regular e superfície leve a moderadamente irregular e desnivelada do princípio ao fim. Ocorrência ocasional de arrebatamentos. Superfície moderadamente polida pelo tráfego.
Ranhuradas e nova superfície para restaurar a resistência à derrapagem se necessário. Do contrário somente a manutenção normal.	75 – 90	O pavimento em condição regular a boa com defeitos leves de falhas nas trincas e juntas. Rodagem regular a boa com intermitentes trechos levemente irregulares. Superfície levemente polida pelo tráfego.
Manutenção normal apenas. Reparo da selagem das juntas se necessário.	90 – 100	O pavimento em condição boa com pequenas trincas entre as juntas, intermitentes e leves falhas nas juntas. Rodagem boa. Resistência à derrapagem é satisfatória.

Figura 9.43 Um Guia Para Estimar a Avaliação de Condição de Pavimento e a Prioridade Para Pavimentos Rígidos.

procedimento tem a vantagem de medir diretamente as respostas da estrutura do pavimento “in situ” às cargas do tráfego. O segundo procedimento, o da espessura efetiva, utiliza relações entre a resistência do subleito, estrutura do pavimento, e cargas do tráfego. Baseia-se no procedimento usado no dimensionamento de novos pavimento, exceto que a integridade estrutural e espessura dos componentes do pavimento existente, referidos à espessura do concreto, devem ser estimados.

Avaliação do Conforto na rodagem (A 80 km/h)		Excelente	Bom	Regular	Fraca	Muito Fraca										
Manifestações dos Defeitos dos Pavimentos		Gravidade dos defeitos do Pavimento					Densidade do defeito do Pavimento (% de Ocorrência)					Características dos Defeitos do Pavimento				
		Muito Pouco	Pouco	Regular	Grave	Muito Grave	Poucas	Intermitente	Frequente	Extensiva	Em toda a extensão	Trincamento de Reflexão	Espaçamento das Irincas Transversas (m)	Junta ou Irinca com bombeamento	Junta ou trinca com detritos	
																< 10%	10 20 %	20 50 %	50 80 %	80 100 %
Defeitos Superficiais	Polimento															
	Perda de Agregado Graúdo															
	Panela															
	Escamação															
Deficiência da Superfície	Falhas															
	Recalque															
Deficiências das Juntas	Escoamento da Junta															
	Perda de material Selante da Junta															
	Lascado da Junta															
	Rupturas da Junta (Arrebitamento, etc.)															
Trincas	Longitudinais															
	Sinuosas															
	Cantio															
	Transversal	Simplex														
		Múltipla														
	Diagonal															
	Quarto Crescente na Borda															
Trincas Miscelâneas																
Defeitos Miscelânea	Divisão de Faixas															
	Encurvamento da Placa															
	Desgastes nas Irinhas das Bordas															
	Outros															
Manutenção	Reparo de toda a Largura da Junta															
	Junta de alívio em toda Espessura															
	Placa Prémoldada															
	Hemendo de Mistura a Frio															
	Hemendo Pesado de toda a largura															
Observações Adicionais																

Figura 9.45 Ficha de Avaliação de Pavimento Rígido.

Reforços de Asfalto

Tipos de Reforços

Os reforços de asfalto podem ser usado para corrigir tanto as deficiências (desprendimento, irregularidades e derrapagem) como as estruturais. As deficiências de superfície nos pavimentos asfálticos são corrigidos, comumente, por novas superfícies delgadas. Porém, as deficiências estruturais exigem reforços

dimensionados tendo em conta fatores tais como as propriedades dos pavimentos e as cargas do tráfego.

Os reforços delgados vão, usualmente, de 25 mm a 50 mm de espessura, sendo constituídos de uma mistura densa de graduação fina [9,5 a 12,5 mm (diâmetro máximo)].

A camada de desgaste de graduação aberta é uma mistura asfáltica a quente ou a frio que se caracteriza por uma grande percentagem de agregado de tamanho uniforme que leva a um índice de vazios grande (15 a 25 por cento) da mistura. Tem como principal vantagem a capacidade de oferecer uma superfície antiderrapante que minimiza a hidroplanagem. É constituída, em geral, de agregado de 9,5 mm de diâmetro máximo e cimento asfáltico (CAP-10 a CAP-40, CAP-100 a AR-4000 ou pen. 85-100 a 40-50 dmm). Antes da construção deve-se corrigir todos os defeitos estruturais e selar as trincas de mais de 3 mm.

As deficiências estruturais exigem a resistência adicional dos reforços em função das propriedades do pavimento e tráfego. A abordagem empregada no projeto estrutural de um reforço pode ser classificada como análise dos componentes ou como análise defletométrica que se discutirá adiante.

Correção de Deficiências Superficiais com Reforços

As deficiências superficiais que fazem de um pavimento estruturalmente satisfatório ser indicado para um reforço são: permeabilidade excessiva, desagregação, irregularidades, e baixa resistência à derrapagem.

Permeabilidade e Desagregação - As causas de permeabilidade excessiva e desagregação são as mesmas. Tem-se a construção em tempo úmido ou frio, misturas sem o asfalto suficiente, e pavimentos que não foram compactados até a densidade que convinha. Qualquer destas causas pode afetar a resistência do pavimento, mas não necessariamente a ponto de desenvolver defeitos estruturais. Os requisitos para o tratamento corretivo eficaz de permeabilidade e desagregação excessivas são os mesmos: o tratamento superficial ou o reforço que também sela a superfície.

Irregularidades - As irregularidades superficiais podem ser causadas por recalque, desagregação, desgaste não uniforme, corrugações e defeitos similares. Os defeitos estruturais locais devem ser corrigidos, seguindo-se o nivelamento local em geral de espessura mínima a fim de assegurar uma superfície de rodagem lisa. Ao nivelamento deve seguir-se com tratamento superficial ou reforço de mistura asfáltica a quente.

Uma seção transversal distorcida pode resultar numa fraca condição de rodagem, mesmo que o pavimento seja satisfatório sob outros aspectos. A correção deste defeito compreende a construção de cunhas de nivelamento seguida de reforço.

Em muitos casos a qualidade de rodagem pode ser restaurada por aplainamento ou fresagem a frio da superfície irregular ou distorcida. Se for determinado que o reforço estrutural não se faz necessário deve-se aplicar um reforço delgado para substituir o material removido.

Superfície Escorregadia - O projeto de correção de uma superfície escorregadia exige que se tenha um material de revestimento anti-derrapante. Uma areia-asfalto ou um concreto asfáltico de graduação fina feitos de agregados duros e resistentes

ao polimento é o que se precisa ter. Em alguns casos, os tratamentos superficiais e as lamas asfálticas selantes também podem ser usados eficazmente. Quando a hidroplanagem é um problema, pode-se aplicar uma camada de desgaste ou de atrito de graduação aberta. Estas camadas de textura aberta também podem ser usadas para reduzir o ruído do tráfego.

Se ocorrer excesso de asfalto (exsudação) na superfície, deve-se corrigir esta situação antes do reforço. Em muitos casos, corrige-se a exsudação com aplicações repetidas de areia, escória ou pedriscos, aquecidos, para absorver o excesso de asfalto.

O asfalto exsudado pode ser removido com uma máquina aplainadora. Nos casos raros de superfícies grandemente atingidas por excesso de asfalto deve-se remover completamente a camada superficial e, após, colocar outra camada.

Reforços de Renovação

O reforço de renovação da superfície deve ser constituído de materiais que possam servir à construção de uma camada delgada. Deve preencher os vazios superficiais e fornecer uma superfície impermeável e resistente à derrapagem. Deve ser, também, bastante resistente à abrasão do tráfego para garantir uma vida de serviço econômica. Os materiais que atendem a estes requisitos são o concreto asfáltico de partícula de diâmetro máximo pequena e misturas areia - asfalto a quente.

As camadas de atrito asfálticas de graduação aberta podem ser usadas para evitar a hidroplanagem, reduzir os salpicos e esguichos provocados pelos pneus, e proporcionar superfícies antiderrapantes. Entretanto, as superfícies sobre as quais essas camadas são colocadas devem ser impermeáveis e razoavelmente suaves. Encontram-se recomendações sobre o projeto e construção de camadas asfálticas de atrito de graduação aberta na publicação do Asphalt Institute intitulada *Camadas Asfálticas de Atrito de Graduação Aberta*, Folheto de Construção nº 10 (CL-10).

Preparação dos Pavimentos para o Reforço

A espessura do reforço é projetada para corrigir uma condição de pavimento inferior à média, mas sem oferecer resistência estrutural adicional para as áreas fracas localizadas. Se a espessura do reforço for baseada na condição mais fraca do trecho, então o reforço será superdimensionado em relação ao restante do trecho e desnecessariamente custoso. Portanto, as áreas mais fracas, se possível, devem ser corrigidas a fim de fornecerem uma fundação mais uniforme para o reforço. A cuidadosa e correta preparação do pavimento existente, antes de um reforço para a melhoria da lisura da superfície ou um reforço estrutural, é essencial na construção de boa qualidade e o melhor desempenho possível do reforço.

A preparação correta dos pavimentos existentes para serem reforçados, varia com o tipo de pavimento e, por esta razão, cada uma é discutida separadamente a seguir.

Todas as áreas fracas devem ser reparadas com remendos adequados. A extensão das áreas fracas (as de deflexão excessiva) pode ser determinada com a viga Benkelman ou equipamento similar. Deve-se medir as deflexões em certo número de locais, o suficiente para delimitar toda a área de deflexões excessivas, antes de iniciar os consertos. As áreas de deflexões excessivas podem ser avaliadas pela comparação da deflexão nessas áreas com os valores médios nas áreas de bom desempenho. Os remendos que forem estruturais deverão ser

dimensionados e construídos como concreto asfáltico de espessura plena. Isto irá assegurar ao remendo uma resistência igual ou superior ao da estrutura de pavimento circunvizinho. Os remendos cuidadosamente colocados e adequadamente compactados produzirão uma camada de suporte uniforme para o reforço, assegurando o bom desempenho.

Quando a superfície é distorcida, a construção de camadas de nivelamento ou de cunhas de nivelamento pode ser necessária a fim de restaurar o greide e a seção transversal. Também se pode usar o aplainamento a frio a fim de estabelecer o greide e o perfil verdadeiro. Quando se tem que usar camadas superficiais delgadas (tal como camadas superficiais de atrito de graduação aberta) é especialmente importante que se faça uma correção prévia dos níveis da superfície. As cunhas de nivelamento foram descritas com pormenores no Capítulo 6.

Considerações Adicionais de Projeto para Reforços Estruturais

Na construção de reforços, deve-se considerar o problema da reflexão de trincas. Mesmo sendo adequada a espessura do reforço para corrigir as deficiências comuns, podem as trincas de reflexão afetar negativamente a integridade estrutural e a qualidade da rodagem do pavimento reabilitado, acarretando aumento da manutenção. As trincas de reflexão podem ser definidas como sendo a migração da rede de trincas da camada subjacente até o reforço e através deste. Resulta dos movimentos da camada subjacente e das tensões verticais. Acredita-se que sejam causadas pela transferência de tensões horizontais elevadas ao reforço pelas trincas da camada do pavimento subjacente (ver Figura 9.46). Pode ser necessário algum tipo de sistema de alívio de trincas para reduzir a transmissão das trincas de reflexão através do reforço.

Reforços sobre Concreto de Cimento Portland

As trincas de reflexões são mais freqüentes em misturas asfálticas colocadas sobre concreto de cimento portland e bases solo-cimento ou de solo-cal-cinzas volantes. Isto acontece mais vezes quando as trincas no pavimento antigo reforçado não foram apropriadamente reparadas. Não existe um padrão típico para estas trincas; reproduzem-se, geralmente, as trincas presentes no pavimento original.

Muitos sistemas foram idealizados e testados para minimizar trincas de reflexões. São vários os métodos que mostram, atualmente, alguma promessa no controle das trincas de reflexão:

- Fratura e assentamento do c.c.p.
- Trituração
- Camada de alívio das trincas entre o c.c.p. e o reforço
- Camada intermediária de asfalto - borracha
- Camada intermediária de membrana para pavimentos
- Corte por serragem e selagem

O processo de fratura e assentamento consiste na indução controlada de trincas nas placas deterioradas de concreto de cimento portland (c.c.p.) a fim de reduzir o comprimento efetivo da placa e assentar os pedaços sobre o subleito por rolagem. As etapas do processo são:

1. Fraturar as placas de c.c.p.
2. Assentar os pedaços fraturados
3. Remover e remendar áreas fracas

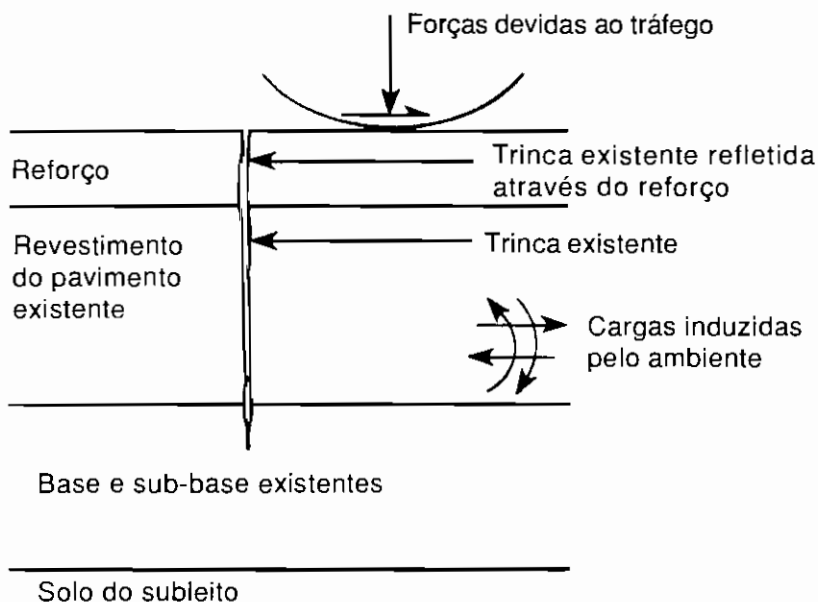


Figura 9.46 Diagrama Esquemático da Trinca de Reflexão

4. Varredura

5. Aplicar pintura de ligação

6. Colocar camada asfáltica de nivelamento e reforço

A fratura e o assentamento de c.c.p. deteriorado antes do reforço é especialmente eficaz em placas não armadas e de juntas simples. Em placas fortemente armadas, a fratura induzida, por si só, nem sempre basta. A aderência entre a armação de aço e o concreto tem que ser "quebrada", donde o nome "quebra e assenta". Uma alternativa muito promissora envolve a trituração (formar entulho) do c.c.p. no local, reduzindo-o a um material que passa na peneira de 75 mm, constituindo uma eficaz base granular.

Os pavimentos de c.c.p. que mais se prestam a fratura e assentamento são os de juntas simples e grande espaçamento de juntas. O procedimento de fratura e assentamento é uma técnica de reabilitação que se mostrou eficaz no controle de reflexão de trincas nos reforços. Tem sido usado por mais de 30 anos em vários estados.

Maiores informações sobre estes processos podem ser encontradas nas publicações do Asphalt Institute – Boletins Técnicos TB-1, Fratura e Assentamento e TB-3, Trituração ("Technical Bulletins TB-1, Cracking & Seating, e TB-3, Rubblizing").

Os estados de Arkansas e Tennessee têm sido pioneiros na utilização da camada de alívio das trincas. Tem sido usada principalmente sobre pavimento deteriorados de concreto de cimento portland, tanto os de juntas simples como os de armação contínua. Consiste numa mistura a quente de graduação aberta, grossa, tendo de 25 a 35 por cento de vazios interligados, constituído de 100 por cento de agregado de tamanho grande britado, de 90 mm de espessura. É colocada

como a primeira camada de um sistema reforçado. Devido à grande quantidade de vazios interligados, este sistema de alívio de trincas provê um meio através do qual os movimentos diferenciais das placas subjacentes não são transmitidos prontamente. Após a colocação da camada de alívio das trincas, coloca-se uma mistura de concreto asfáltico densamente graduado de 75 mm de espessura em duas camadas. Este sistema tem-se mostrado muito eficaz. Visto que a espessura mínima do reforço é 165 mm, pode não ser aplicável a todas as pistas, principalmente quando existem meios-fios e valetas ou limites de altura livre das pontes.

Tem-se utilizado, também, um tratamento superficial de asfalto-borracha delgado. Existem dois processos ambos desenvolvidos no Arizona. Em cada um deles aplica-se um tratamento superficial de asfalto-borracha delgado de cerca de 2,7 litros/m² ou um ligante de asfalto-borracha. Logo a seguir segue-se cerca de 22 kg/m² de agregado de cobertura de tamanho nominal de 12,5 mm ou 9,5 mm. No primeiro processo, o ligante é produzido com 25 por cento em peso de borracha de pneumático moída (95 por cento passante na peneira nº 16 ou 1,18 mm e 75 por cento de cimento asfáltico AC-5 (AR-2000). O aquecimento e a reação dá-se num caminhão - distribuidor a temperatura entre 177° e 204°C, e a seguir diluí-se com 5 a 7 por cento de querosene em volume. No segundo processo, produz-se o ligante com 20 por cento de borracha (consistindo em 60 por cento de borracha vulcanizada e 40 por cento de borracha desvulcanizada) e 80 por cento de cimento asfáltico aquecido e diluído como no primeiro processo. Ambos os tratamentos superficiais mostraram-se eficazes na redução da reflexão de trincas de fadiga, sendo, porém, susceptíveis à reflexão de trincas térmicas ou de contração.

Outro método usado é o da membrana. Neste processo utiliza-se a membrana como camada intermediária entre o pavimento e o reforço asfáltico ou o tratamento superficial. O material é fabricado e mercantilizado por vários fornecedores. É produzido de poliéster e polipropileno como material tecido ou não - tecido. Após a preparação do pavimento, que pode compreender selagem de trincas, camada de nivelamento, aplainamento com aquecimento e fresagem a frio, aplica-se uma pintura de ligação na superfície do pavimento antigo. Isto faz-se necessário para ligar bem a membrana e permitir a absorção do asfalto. Os cimentos asfálticos e as emulsões asfálticas de ruptura rápida (RS e CRS) são usados conforme as recomendações específicas dos fabricantes. A taxa de espargimento é ajustada para fornecer a aplicação necessária do asfalto residual. Aguarda-se que haja a cura das emulsões antes de deitar a membrana. Embora esta possa ser colocada manualmente, emprega-se equipamento apropriado nos serviços de monta. É possível que as operações de pavimentação possam seguir logo após a colocação da membrana. Quando a instalação da membrana faz-se sobre placas antigas de concreto de cimento portland que apresentam movimentos diferenciais nas juntas, é de se supor que um tecido contendo asfalto poderá continuar a atuar como membrana impermeabilizante, porém sem interromper a reflexão de trincas se o

movimento foi apreciável. Além do mais, a presença de tecido entre camadas poderá causar problemas futuros quando se cogitar uma reciclagem.

A serragem e a selagem do reforço de concreto asfáltico é outra técnica de redução dos efeitos prejudiciais das trincas de reflexão nas juntas, que prolonga a vida de serviço do reforço. A técnica de serragem e selagem estabelece juntas no reforço bem acima da junta existente no pavimento de concreto antigo, seguido de selagem. Os passos de processo são:

1. Localizar e estabelecer uma referência das juntas existentes na placa de c.c.p.

2. Colocar o reforço

3. Serrar diretamente acima da junta que tem a referência estabelecida

4. Limpar e secar o corte serrado

5. Selar o corte serrado

Encontram-se informações pormenorizadas deste procedimento no Boletim Técnico TB-2 – Serragem e Selagem (“Sawcut and Seal”) do Asphalt Institute.

Capítulo 10

Solos e Drenagem para os Pavimentos Asfálticos

Este capítulo não é um curso de mecânica dos solos e de drenagem. Na verdade, o leitor já deve ter conhecimento destas áreas. Neste capítulo apresentam-se os ensaios e métodos de classificação de solos do subleito usados na avaliação de solos de fundação para estradas, aeroportos e outras finalidades da engenharia de pavimentação. São muito valiosos os conhecimentos dos métodos de classificação e dos ensaios de avaliação da resistência, para o projeto e construção de pavimentos asfálticos.

Da mesma forma, a drenagem dos pavimentos asfálticos é um aspecto importante do projeto e construção desses pavimentos. Na parte final deste capítulo faz-se a revisão de algumas das preocupações básicas da drenagem relacionadas a pavimentação.

SEÇÃO 10.1 Sistemas de Classificação do Solo de Subleito

- Introdução
- Sistema de Classificação AASHTO
- Sistema Unificado de Classificação de Solos

SEÇÃO 10.2 Métodos de Avaliação da Resistência do Solo de Subleito

- Introdução
- Provas de Carga de Placas
- Método do Índice de Suporte Califórnia
- Método do Valor de Resistência
- Método do Módulo de Resiliência

SEÇÃO 10.3 Drenagem de Estruturas de Pavimentos Asfálticos

- Introdução
- Drenagem Superficial
- Drenagem Subsuperficial
- Construção

BIBLIOGRAFIA

1. *Manual de Solos* ("Soils Manual"), MS-10, Asphalt Institute.
2. *Drenagem de Estruturas de Pavimentos Asfálticos* ("Drainage of Asphalt Pavement Structures"), MS-15, Asphalt Institute

10.1. Sistemas de Classificação do Solo de Subleito

Introdução

Objetivo da Classificação de Subleito

O objetivo implícito de todo sistema de classificação de solos para a construção de estradas e aeroportos é tornar possível a previsão do desempenho do subleito constituído de um determinado solo tendo por base alguns poucos ensaios simples de realizar no solo numa condição amolgada. Com base nos resultados destes ensaios e de suas correlações com a experiência de campo, o solo pode, então, ser corretamente identificado e colocado num grupo de solos que tenham todas características e propriedades similares.

O agrupamento dos solos num determinado sistema de classificação não é o objetivo final. Isto porque, a classificação de um solo não pode ser vista como um fim em si mesmo, mas como um instrumento para a compreensão da ação e do desempenho do solo.

Sistemas de Classificação

Serão descritos dois sistemas de classificação:

1. Sistema de Classificação de Solos da AASHTO, e
2. Sistema Unificado de Classificação de Solos

O principal sistema de classificação de solos empregado nos Estados Unidos pelos engenheiros rodoviários é o da Associação Americana de Funcionários Estaduais de Rodovias e Transportes. Na sua origem foi desenvolvido pelo Escritório de Rodovias Públicas dos Estados Unidos por volta de 1928. Foi revisto várias vezes pelo "Bureau of Public Roads" até 1942. Uma ampla revisão foi realizada por um comitê de engenheiros rodoviários para o "Highway Research Board" em 1945. É a versão de 1945 que constituiu a base do atual sistema AASHTO.

O Sistema Unificado de Classificação de Solos baseia-se no Sistema de Classificação de Aeródromos criado pelo Professor A. Casagrande, da Universidade de Harvard durante a Segunda Guerra Mundial. Este sistema foi um pouco modificado e adotado pelo "Bureau of Reclamation" e o Departamento de Defesa.

Sistema de Classificação AASHTO

Generalidades

De acordo com o sistema AASHTO, os solos que tenham, aproximadamente, a mesma capacidade de suporte das cargas e características de serviço são agrupados de modo a constituírem sete grupos básicos (A-1, A-2, A-3, A-4, A-5, A-6 e A-7). Os melhores solos de subleitos de rodovias são, em geral, classificados como A-1. Os solos inferiores a este são enumerados numa ordem em que o grupo A-7 é o pior. Os solos do grupo A-3 são uma exceção. Os solos classificados

como A-3 são melhores subleitos do que os do grupo A-2. Em conseqüência, pode-se admitir, em geral, que para determinado conjunto de condições, a espessura do pavimento deve crescer progressivamente na mesma ordem do crescimento do grupo de solo de A-1 a A-7, com a exceção mencionada.

O sistema revisto que se usa correntemente adota os sete grupos básicos, alguns subdivididos o que somam 12 grupos e subgrupos (Tabela 10.1). Utiliza-se um índice de grupo que não é para colocar um solo num grupo específico, mas como um meio de avaliar os solos como materiais do subleito dentro dos grupos a que pertencem. O índice de grupo é uma função do limite de liquidez, índice de plasticidade e da quantidade de material que passa na peneira de 0,075 mm ou 75 µm (nº 200). Calcula-se:

$$\text{Índice de Grupo (IG)} = (F-35) [0,2+0,005 (LL-40)] + 0,01 (F-15) (IP-10)$$

onde F = porcentagem que passa na peneira de 75 µm (nº 200), expressa como número inteiro. [Esta porcentagem baseia-se no material que passa na peneira de 75 mm (3 pol)]
 LL = Limite de Liquidez
 IP = Índice de Plasticidade

Se o cálculo do índice de grupo der um valor negativo, atribui-se ao mesmo o valor zero. O índice de grupo deve ser expresso pelo número inteiro mais próximo.

Tabela 10.1 Classificação de Solos e de Misturas de Solo-Agregados
(Com Sugestão de Sub-Grupo)

Classificações Gerais	Materiais Granulares (35% ou menos passando 75 µm)							Materiais Silte a Argila (mais que 35% passando 75 µm)				
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7	
Classificação de Grupo	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7					A-7-5
Análise de Peneiramento, porcentagem passante												
2,00 mm (nº 1)	50 max	----	---	---	---	---	---	---	---	---	---	
425 µm (nº 40)	30 max	50 max	51 min	---	---	---	---	---	---	---	---	
75 µm (nº 200)	15 max	25 max	10 max	35 max	35 max	35 max	35 max	36 max	36 min	36 min	36 min	
Características de Fração que passa na peneira 425 µm (nº 40)												
Limite de Liquidez	----	---	40 max	41 min	40 max	41 min	40 max	41 min	40 max	41 min	41 min	
Índice de Plasticidade	6 max	N.P.	10 max	10 max	11 min	11 min	10 max	10 max	11 min	11 min	11 min	
Tipos Usuais de Materiais Constitutivos Significativos	Pedacos de Pedra, Pedregulho e Areia		Areia Fina	Pedregulho e Areia, Siltosos e Argilosos				Solos Siltosos		Solos Argilosos		
Avaliação Geral como Subleitos	Excelente a Bom							Regular a Fraco				

¹O índice de plasticidade de subgrupo A-7-5 é igual ou menor que LL menos 30. O índice de plasticidade de A-7-6 é maior que LL menos 30 (Ver a Figura 10.1)

Classificação

A classificação de um determinado solo baseia-se em resultados de ensaios feitos de acordo com métodos padronizados, tais como:

1. Análise por peneiramento de agregados fino e grosso (AASHTO T 27, ASTM C 136);
2. Análise mecânica de solos (AASHTO T 88, ASTM D 422);
3. Limite de liquidez de solos (AASHTO T 89, ASTM D 4318); e
4. Limite de plasticidade e índice de plasticidade de solos (AASHTO T 90, ASTM D 4318).

Tendo-se realizado os necessários ensaios de laboratório, a classificação de um dado material pode ser, normalmente, feita sem grande dificuldade. No entanto, a pessoa que faz a classificação deve estar atenta a vários termos que, freqüentemente, surgem. Além do mais, é essencial a compreensão de certas peculiaridades e características gerais de desempenho dos vários tipos de solos, para sua utilização adequada como material de estradas.

De acordo com o sistema AASHTO, dividem-se os solos em duas categorias principais: materiais granulares com 35 por cento ou menos que passam na peneira de 75 μm (n° 200), e os materiais silto-argilosos com mais de 35 por cento que passam na peneira de 75 μm (n° 200). Além do mais, identificam-se as cinco frações de solo seguintes, que servem, freqüentemente à descrição do material.

1. *Matacões* - material retido na peneira de 75 mm (3 pol). Deve-se excluí-lo da parte da amostra à qual se aplicará a classificação, porém, a porcentagem desse material deve ser anotada.

2. *Pedregulho* - material que passa na peneira de 75 mm (3 pol) e é retida na peneira de 2,00 mm (n° 10).

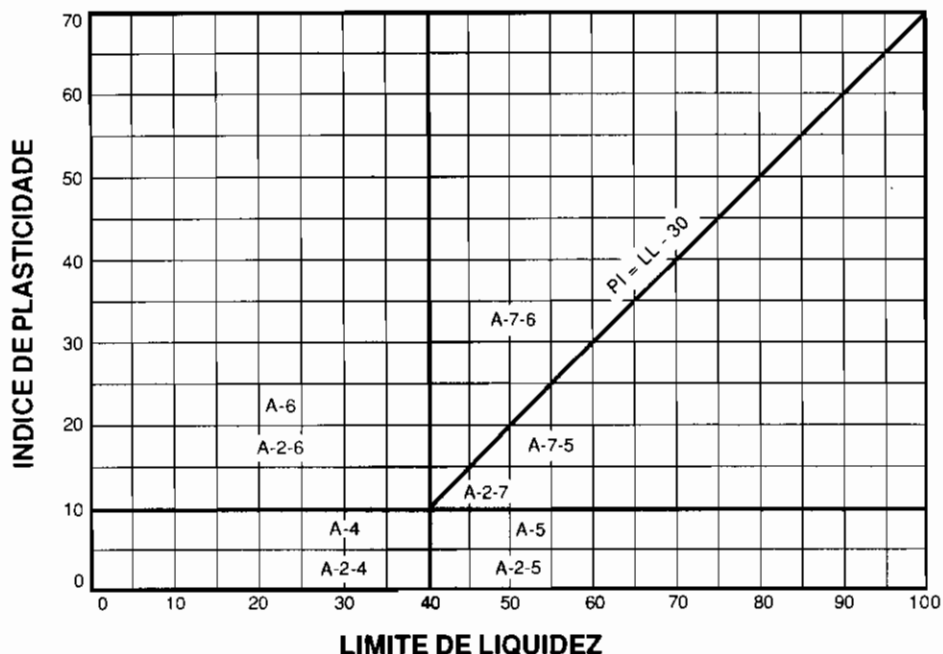
3. *Areia Grossa* - material que passa na peneira de 2,00 mm (n° 10) e é retida na peneira de 425 μm (n° 200).

4. *Areia fina* - material que passa na peneira de 425 μm (n° 40) e é retida na peneira de 75 μm (n° 200).

5. *Silte mais argila* - material que passa a peneira de 75 μm (n° 200). A palavra "siltoso" aplica-se ao material fino de índice de plasticidade (IP) de 10 ou menos, e a palavra "argiloso" ao material fino de IP maior que 10.

Procedimento de Classificação

A classificação final do solo obtém-se pela utilização dos resultados dos ensaios mencionados anteriormente e a determinação do índice de grupo. Com os dados de ensaios, caminha-se da esquerda para a direita na Tabela 10.1 até encontrar o grupo certo por um processo de eliminação. A classificação do solo pode ser feita pela utilização da Figura 10.1. Todos os valores de ensaios limitantes são mostrados como números inteiros. Se aparecerem números fracionários nos relatórios de ensaios, devem os mesmo ser arredondados para o número inteiro mais próximo com o propósito de classificação.



Nota: A-2 contém menos que 35% mais finos que 75 μm (n° 200)

Figura 10.1 Limite de Liquidez e Faixas de Índice de Plasticidade Para Sub-Grupos, A2 - A4 - A5 - A6 - A7.

Os valores do índice de grupo devem aparecer sempre entre parênteses depois do símbolo do grupo, tal como em A-2-6(3), A-4(5), etc. Considere-se, por exemplo, a classificação de um solo a partir dos dados seguintes:

Porcentagens passantes:

peneira de 2,0 mm (n° 10)	= 75
peneira de 425 μm (n° 40)	= 75
peneira de 75 μm (n° 200)	= 28
Limite de liquidez	= 41
Limite de plasticidade	= 34

Solução:

$$IP = LL - LP = 41 - 34 = 7$$

$$IG = (-1,435) + (-0,39) = -1,825. \text{ O índice de grupo é considerado zero.}$$

Começando pela esquerda da Tabela 10.1, eliminam-se, de pronto, as classes A-1 e A-3, com base na análise por peneiramento. Face às características da fração que passa na peneira de 425 μm (n° 40), será classificado na coluna de A-2-5. Como esta classe não tem índice de grupo, a informação sobre o mesmo é omitida. A classificação é, simplesmente, A-2-5.

Sistema Unificado de Classificação de Solos

Generalidades

O Sistema Unificado de Classificação de Solos baseia-se nas características texturais dos solos que têm tão poucos finos que estes não influem no comportamento do solo. Baseia-se, em princípio, nas características que determinam de que modo se comportará um solo quando usado como material de construção. Avaliam-se estas características pela plotagem do índice de plasticidade (IP) contra o limite de liquidez (LL) num gráfico de plasticidade padronizado (Figura 10.2). A posição dos pontos plotados fornece informações que levam à predição do comportamento do solo como material de construção de engenharia. As propriedades seguintes constituem a base de uma identificação do solo:

1. Porcentagens de pedregulhos, areia, e fração de finos passantes na peneira de $75 \mu\text{m}$ ($n^\circ 200$);
2. Forma de curva de distribuição granulométrica; e
3. Características de plasticidade e compressibilidade.

Dá-se ao solo um nome descritivo e um símbolo de letras que indica suas principais características. Quatro frações de solo - matacões, pedregulho, areia e finos - são reconhecidas neste sistema que designam as gamas de tamanhos das frações de solo (Tabela 10.2). O material que passa na peneira de $75 \mu\text{m}$ ($n^\circ 200$) será silte se for não plástico e se a plotagem de IP contra LL ficar abaixo da linha A da Figura 10.2; será argila se for plástico e a plotagem de IP contra LL ficar acima da linha A. Isto é válido para siltes e argilas inorgânicos e siltes orgânicos, mas não é válido para as argilas orgânicas porque estas ficam abaixo da linha A.

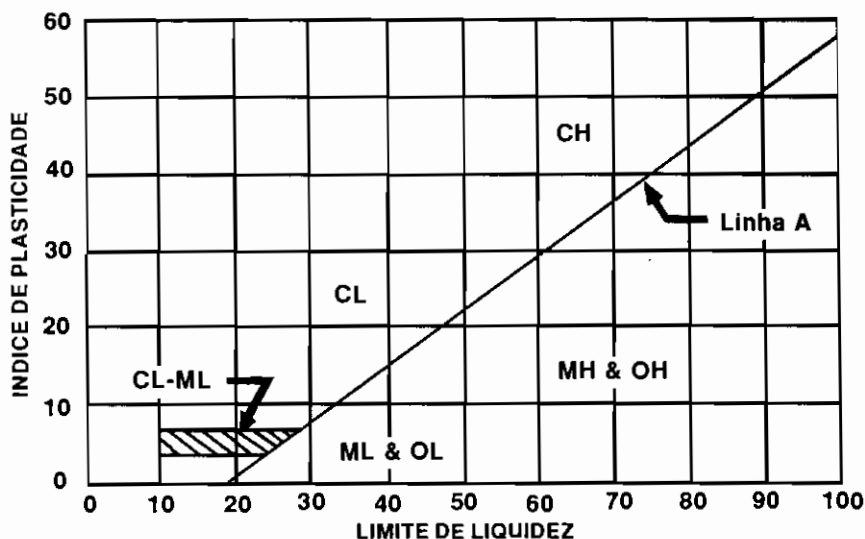


Figura 10.2 Gráfico de Plasticidade do Sistema Unificado de Classificação de Solos

Tabela 10.2 Segundo classificação Unificada de Solos - Faixa de Tamanho de Frações de Solo .

Componente	Faixa de Tamanho		
Pedra	Superior a 75 mm		(Superior a 3 pol)
Pedregulho	75 mm	a 4,75 mm	(3 pol. a nº 4 peneira)
Pedregulho graúdo	75 mm	a 19,0 mm	(3 pol a ¾ pol.)
Pedregulho fino	19,0 mm	a 4,75 mm	(¾ pol. a nº 4 peneira)
Areia	4,75 mm	a 75 µm	(nº 4 a nº 200)
Areia grossa	4,75 mm	a 2,00 mm	(nº 4 a nº 10)
Areia média	2,00 mm	a 425 µm	(nº 10 a nº 40)
Areia fina	425 µm	a 75 µm	(nº 40 a nº 200)
Finos (silte e argila)	Inferior a 75 µm		(inferior a nº 200)

Grupos de Solos

O Sistema Unificado de Classificação de Solos situa os solos em três divisões:

1. De graduação grossa
2. De graduação fina, e
3. Muito orgânicos

Os solos de graduação grossa são os que têm não mais de 50 por cento passando na peneira de 75 µm (nº 200). Os solos de graduação fina são os que têm mais de 50 por cento passando na peneira de 75 µm (nº 200). Os solos muito orgânicos são geralmente identificados por inspeção visual.

O sistema reconhece 15 grupos de solos e usa nomes e símbolos de letras fáceis de lembrar que permitem distingui-los. Os símbolos de letras (Tabela 10.3) são derivados dos termos descritivo das frações de solos, do valor relativo do limite de liquidez (alto ou baixo) e da graduação relativa (bem graduados - e mal graduados). Estes símbolos combinam-se e formam símbolos de grupos que correspondem aos nomes de solos típicos (Tabela 10.4); também são usados em combinação para designar os solos de fronteira.

Os solos de graduação grossa subdividem-se em pedregulhos e solos pedregulhosos (G) e areias e solos arenosos (S). Os pedregulhos são os que apresentam a maior parte do material retido na peneira de 4,75 mm (nº 4). As areias são os solos que em grande parte passam na peneira de 4,75 mm (nº 4) e são retidos na peneira de 75 µm (nº 200).

Os solos de graduação fina subdividem-se em siltes (M das palavras suecas mo e mjala ou farinha) e argilas (C) com base no seu limite de liquidez e índice de plasticidade. Os solos orgânicos também se incluem nesta fração. Os siltes são solos de graduação fina que pelo LL e o IP são plotado abaixo da linha A da Figura 10.2; as argilas são plotadas acima da linha A. As argilas orgânicas constituem exceção à regra pois que o LL e o IP marcam pontos abaixo da linha A. O silte, a argila e as frações orgânicas se subdividem ainda mais com base nos limites de liquidez relativamente baixos (L) ou altos (H). A linha divisória arbitrária dos limites de liquidez baixo e alto foi estabelecida no valor 50.

Os solos extremamente orgânicos estão num grupo (Pt). São, geralmente, muito compressíveis e têm características de construção indesejáveis. São solos orgânicos típicos a turfa, o humo e os solos lodosos de textura.

Tabela 10.3 Símbolos de Componentes, Graduação e Limite de Liquidez

Componente	Símbolo
Matações	Nenhum
Pedras	Nenhum
Pedregulho	G (gravel)
Areia	S (sand)
Silte	M (mjala)
Argila	C (clay)
Orgânico	O (organic)
Turfa	Pt (peat)
Bem-graduado	W (well)
Mai-graduado	P (poor)
LL elevado	H (high)
LL baixo	L (low)

grandemente orgânica. Esses solos comumente, **contêm pedaços** de folhas, plantas, galhos e outra matéria vegetal fibrosa.

Classificação de Campo

O Sistema Unificado de Classificação de Solos foi criado para que a maioria dos solos pudessem ser classificados em três grupos primários por exame visual e testes simples de campo. Com a experiência a classificação nas subdivisões pode ser realizada com sucesso por inspeção visual. Visto que a maioria dos solos é objeto de uma identificação preliminar no campo, a possibilidade de classificar no campo pelo sistema unificado é muito vantajosa. Quando necessário, pode-se fazer uma identificação melhor definida por ensaios de laboratório. Os métodos de ensaio no campo e no laboratório são semelhantes sob vários aspectos.

Os testes utilizados na identificação no campo são o de dilatância ou reação à sacudidela, resistência seca e rijeza ou consistência próximo ao limite de plasticidade. Os procedimentos para a realização destes testes se encontram, a seguir, na Tabela 10.4.

A classificação faz-se por um processo de eliminação, começando do lado esquerdo da Tabela 10.4 e caminhando para a direita até se obter o grupo correto.

Classificação de Laboratório

As mesmas informações descritivas necessárias para a classificação de campo pelo Sistema Unificado também são necessárias para a classificação de

Tabela 10.4 Classificação Unificada de Solos (Incluindo Identificação e Descrição).

Divisões Principais		1	2	3	4	5				
		1	2	3	4	5				
Solos de Granulação Grossa Mais de metade do material é retida na peneira de 75 µm (nº 200)	Mais de metade da fração grossa passa na peneira de 4,75 mm (nº 4)	Pedregulhos Mais de metade da fração grossa passa na peneira de 4,75 mm (nº 4)	(Para classificação visual a peneira de 6,3 mm (¼ pol) pode ser usada como equivalente a peneira (nº 4)	GW	Pedregulhos bem graduados, misturas de pedregulho e areia bem graduadas com pouco ou nenhum fino	Procedimentos de identificação no campo - Excluindo partículas > do que 75 mm (3 pol) e fazendo uma estimativa do peso para cálculo das frações				
				GP	Pedregulhos mal graduados, misturas de pedregulho e areia mal graduadas com pouco ou nenhum fino	Distribuição granulométrica extensa, com quantidades consideráveis de partículas representativas dos diâmetros intermediários				
				GM	Pedregulhos siltosos, misturas de pedregulho, areia e silte	Distribuição granulométrica uniforme, com predominância de partículas de determinado diâmetro ou falta de diâmetros intermediários				
				GC	Pedregulhos argilosos, misturas de pedregulho, areia e argila	Finos de pouca ou nenhuma plasticidade (ver procedimento de identificação abaixo, grupo ML)				
		Areias Mais de metade da fração grossa passa na peneira de 4,75 mm (nº 4)	(Para classificação visual a peneira de 6,3 mm (¼ pol) pode ser usada como equivalente a peneira (nº 4)	Areias Limpas (Pouco ou nenhum fino)	Areias com Fínos (Quant. apreciável de finos)	SW	Areias bem graduadas, areias pedregulhosas bem graduadas, com pouco ou nenhum fino.	Procedimentos de identificação no campo - Excluindo partículas > do que 75 mm (3 pol) e fazendo uma estimativa do peso para cálculo das frações		
						SP	Areias mal graduadas, areias pedregulhosas mal graduadas, com pouco ou nenhum fino.	Distribuição granulométrica extensa, com quantidades consideráveis de partículas representativas dos diâmetros intermediários		
						SM	Areias Siltosas, misturas de areia e silte	Distribuição granulométrica uniforme, com predominância de partículas de determinado diâmetro ou gama de tamanhos e/ou falta de diâmetros intermediários		
						SC	Areias Argilosas, misturas de areia e argila	Finos de pouca ou nenhuma plasticidade (ver método de identificação abaixo, grupo ML)		
										Finos plástico (ver procedimentos de identificação abaixo, grupo CL)
Solos de Granulação Fina Mais de metade do material passa na peneira de 75 µm (nº 200)	A peneira de 75 µm (nº 200) corresponde, aproximadamente, à menor partícula visível a olho nu	Siltos e Argilas Limite de Liquidez menor do que 50	Siltos e Argilas Limite de Liquidez maior do que 50			Procedimentos de identificação feitos na fração que passa na peneira de 425 µm (nº 40)				
				ML	Siltos inorgânicos e areias muito finas, pó de pedra, areias finas, siltsosas ou argilosas ou siltes argilosos com pequena plasticidade	Nenhuma a pouca	Rápida a lenta	Nenhuma		
				CL	Argilas inorgânicas de plasticidade baixa à média, argilas pedregulhosas, argilas arenosas, argilas siltosas, argilas magras.	Média a alta	Nenhuma a muito lenta	Média		
				OL	Siltos orgânicos e argilas siltosas orgânicas de plasticidade pequena	Pouca a média	Lenta	Pouca		
				MH	Siltos inorgânicos, areias finas micáceas ou diatomáceas, ou solos siltosos, siltes elásticos	Pouca a média	Lenta a nenhuma	Pouca a média		
				CH	Argilas inorgânicas de alta plasticidade, argila oleosa	Alta a muito alta	Nenhuma	Alta		
				OH	Argilas orgânicas de plasticidade, média à alta, siltes orgânicos	Média a alta	Nenhuma a muito lenta	Pouca a média		
Solos altamente orgânicos		PI	Turfa ou outros solos altamente orgânicos	São identificados pela cor, cheiro, impressão esponjosa ao tato e frequentemente por textura fibrosa						

(1) **Classificações fronteiras:** Os solos que possuem características de dois grupos são designados por combinações de símbolos de grupos. Por exemplo: GW-GC, mistura bem graduada de pedregulho e areia com argamassa argilosa. (2) Todas as aberturas nominais de peneiras nesta tabela são do padrão americano ("U.S. standard").

Peneiras Padronizadas dos E.U.A	
Padrão	Alternativa
73 mm	3 pol
12,5 mm	½ pol
6,3 mm	¼ pol
4,75 mm	nº 4
2,00 mm	nº 10
425 µm	nº 40
75 µm	nº 200

Procedimentos para identificação em campo de frações ou solos de graduação fina. Estes procedimentos devem ser aplicados à fração que passa na peneira de 425 µm (nº 40), aproximadamente 0,4 mm. Para classificação no campo não é feito o peneiramento, retirando-se, apenas, com a mão, as partículas graúdas que poderiam interferir nos ensaios.

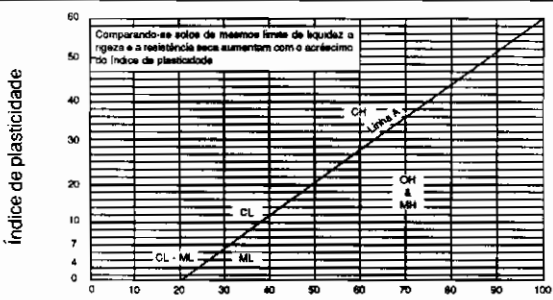
Dilatância (Reação à sacudida)

Depois de retirar as partículas retidas na peneira de 425 µm (nº 40), preparar um "bolo" de solo úmido com volume cerca de 8 ml (meia polegada cúbica). Acrescentar se necessário, água para que o solo fique macio, mas não pegajoso. Colocar o "bolo" na palma da mão aberta e sacudir horizontalmente, batendo vigorosamente contra a outra mão, várias vezes.

Considera-se como reação positiva o aparecimento de água na superfície do "bolo" que se torna visguento e brilhante. Quando se aperta a amostra entre os dedos, a água e o brilho desaparecem da superfície, o "bolo" torna-se rijo, e, finalmente racha ou desagra. A rapidez com que a água aparece quando a amostra é sacudida e desaparece quando a amostra é apertada é de grande ajuda na identificação das características da parte fina do solo.

As areias muito finas dão as reações mais rápidas e distintas, enquanto que as argilas plásticas não dão reação. Siltes inorgânicos, como o pó-de-pedra típico, dão uma reação de velocidade moderada.

laboratório. A classificação de campo é checada e refinada pelo emprego de aparelhos de laboratório que são usuais e a realização de ensaios simples e rotineiros, tais como a granulometria, limite de liquidez e limite de plasticidade. As características de plasticidade são avaliadas por meio dos ensaios de limite de liquidez e do limite de plasticidade da fração mais fina que a malha da peneira de 425 µm (nº 40).

Informações Necessárias à Descrição do Solo	Critérios de Classificação de Laboratório						
<p>6</p> <p>No caso de solos (amostras) não emolagadas acrescentar informações quanto à estratificação, grau de compactação, cimentação, condição de umidade e características de drenagem.</p> <p>Dar o nome típico, indicar as percentagens aproximadas de areia e pedregulho, o diâmetro máximo, forma dos grãos, condições de superfície e dureza dos grãos, denominação local ou geológica e outras informações descritivas pertinentes além do símbolo entre parênteses</p> <p>Exemplo: Areia Silteosa, pedregulhosa cerca de 20% de pedregulho de grãos duros e angulares, de diâmetro máximo 13 mm, 1/2 polegada; grãos de areia redondos e sub-angulares variando de grossos a finos cerca de 15%, de finos não plásticos de baixa resistência seca, areia aluvionar, bem compacta e úmida no local, (SM)</p>	<p>7</p> <p>$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} = \text{maior do que } 4$</p> <p>$C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}} = \text{entre } 1 \text{ e } 3$</p> <p>Não se enquadra em todas as exigências do grupo GW</p> <table border="1" data-bbox="558 326 1000 407"> <tr> <td>Limites de Atterberg abaixo da linha "A" ou IP menor do que 4</td> <td>Limites de Atterberg acima da linha "A" com IP entre 4 e 7 são casos limites que exigem o uso do símbolo duplo.</td> </tr> </table> <p>$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} = \text{maior do que } 6$</p> <p>$C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}} = \text{entre } 1 \text{ e } 3$</p> <p>Não se enquadra em todas as exigências do grupo SW</p> <table border="1" data-bbox="558 540 1000 639"> <tr> <td>Limites de Atterberg abaixo da linha "A" ou IP menor do que 4</td> <td>Quando os limites de Atterberg forem pontos dentro da área hachurada com IP entre 4 e 7 são casos limites que exigem o uso do símbolo duplo.</td> </tr> <tr> <td>Limites de Atterberg acima da linha "A" com IP maior do que 7</td> <td></td> </tr> </table> <p>Determine porcentagens de pedregulho e de curva de laminação de grão. Dependendo de porcentagem de muitas frações menor que 75 µm peneira Nº. 200 (grosso-granuloso) são classificações feitas como segue:</p> <p>GW, GP, SW, SP, GM, GC, SM, SC. Casos incertos que requerem uso de símbolos duplos</p> <p>Menos que 5% Mais que 12% 5% a 12%</p>	Limites de Atterberg abaixo da linha "A" ou IP menor do que 4	Limites de Atterberg acima da linha "A" com IP entre 4 e 7 são casos limites que exigem o uso do símbolo duplo.	Limites de Atterberg abaixo da linha "A" ou IP menor do que 4	Quando os limites de Atterberg forem pontos dentro da área hachurada com IP entre 4 e 7 são casos limites que exigem o uso do símbolo duplo.	Limites de Atterberg acima da linha "A" com IP maior do que 7	
Limites de Atterberg abaixo da linha "A" ou IP menor do que 4	Limites de Atterberg acima da linha "A" com IP entre 4 e 7 são casos limites que exigem o uso do símbolo duplo.						
Limites de Atterberg abaixo da linha "A" ou IP menor do que 4	Quando os limites de Atterberg forem pontos dentro da área hachurada com IP entre 4 e 7 são casos limites que exigem o uso do símbolo duplo.						
Limites de Atterberg acima da linha "A" com IP maior do que 7							
<p>Dar o nome típico, indicar o grau e caráter da plasticidade, quantidade e diâmetro máximo dos grãos mais grossos, coloração quando úmido, odor, se houver, denominação local ou geológica e outras informações descritivas pertinentes, além do símbolo entre parênteses.</p> <p>No caso de solos (amostras) não emolagadas acrescentar informações sobre estrutura, estratificação consistência nos estados natural e remoldado, umidade e condições de drenagem.</p> <p>Exemplo: Siltite Argilosa, marrom, ligeiramente plástico, pouca percentagem de areia fina, numerosos buracos verticais de raízes, firme e seca no local, (ML)</p>	<p>Usar a curva de distribuição granulométrica para identificar as frações dadas na identificação de campo.</p>  <p>Índice de plasticidade</p> <p>GRÁFICO DE PLASTICIDADE - LIMITE DE LIQUIDEZ</p> <p>Para classificar os solos de graduação fina em laboratório.</p>						

Resistência Seca (Característica quanto ao esmagamento)

Depois de retirar as partículas que ficam retidas na peneira de 425 µm (nº 40), moldar um "bolo" de solo na consistência de massa da calafate, adicionando água, se necessário. Deixar secar completamente em estufa, ao sol ou ao ar, e, então, experimentar sua resistência esmagando-o entre os dedos. Esta resistência dá uma noção das características e da quantidade da fração coloidal contida no solo. A resistência seca cresce com a plasticidade.

Resistência secas altas são características das argilas do grupo CH. Um silte inorgânico típico possui apenas ligeira resistência seca. Areias finas silteosas e siltes têm aproximadamente a mesma resistência seca, porém são distintas ao tato quando se reduz a pó a amostra seca. Areia fina é áspera ao tato, enquanto o silte tem aparência ao tato semelhante à farinha.

Rigidez (Consistência perto do limite de plasticidade)

Depois de retirar as partículas retidas na peneira de 425 µm (nº 40), molda-se uma amostra de solo de cerca de 13 mm (meia polegada) na consistência de massa de calafate.

Se estiver muito seca adiciona-se água e se estiver muito úmida, espelha-se a amostra em camada fina, deixando-

a perder alguma umidade por evaporação. Então role-se a amostra, com as mãos, sobre uma superfície lisa ou entre as palmas das mãos, de modo a formar um pequeno cilindro de cerca de 3 mm de diâmetro. Dobra-se, então o cilindro e remolda-se o mesmo repetidamente. Durante esta manipulação a amostra vai perdendo umidade, gradativamente, endurece, finalmente perde sua plasticidade e começa a quebrar nas proximidades do limite de plasticidade.

Após o cilindro desagregar, juntam-se os pedaços, formando um grumo e continua-se a amassar entre os dedos até o grumo desagregar-se. Quanto mais rijo o cilindro no ponto em que começa a desagregar, mais ativa é a fração de argila coloidal do solo. Quando o cilindro é pouco resistente nas proximidades do limite de plasticidade e o grumo perde rapidamente coesão abaixo do limite de plasticidade estamos em presença de argilas inorgânicas de baixa plasticidade ou de materiais como argilas do tipo caolim e argilas orgânicas que dão pontos abaixo da linha "A" no gráfico de plasticidade.

As argilas altamente orgânicas são muito pouco resistente e esponjosas ao tato no limite de plasticidade.

Os critérios para a classificação de solos são dados na coluna 7 da Tabela 10.4. O gráfico de plasticidade (Figura 10.2) é usado para classificar os solos finamente graduados e a parte fina dos solos de graduação grossa.

Os procedimentos de ensaio para a classificação dos solos são:

Ensaio Padronizados

	AASHTO	ASTM
Quantidade de material inferior a 75 μm (n° 200)	T 11	D 1140*
Análise de peneiramento de agregados finos e grossos	T 27	C 136*
Densidade relativa do solo	T 100	D 854*
Análise do tamanho das partículas de solo	T 88	D 422*
Limite de liquidez de solos	T 89	D 4318*
Limite de plasticidade e índice de plasticidade de solos	T 90	D 4318*

*Estes procedimentos de ensaios da ASTM diferem sob certos aspectos de suas contrapartidas da AASHTO.

10.2 - Métodos de Avaliação da Resistência do Solo do Subleito

Introdução

A Necessidade da Avaliação da Resistência

Os requisitos de espessura dos pavimentos asfálticos dependem em grande parte da resistência do subleito acabado. O conceito de ensaio dos solos na umidade e densidade previstos deve ser o critério determinante do dimensionamento.

A estabilidade ou capacidade de suporte relaciona-se diretamente à densidade e teor de umidade. Deve-se contar com uma variação de resistência, conforme o grau de compactação e o teor de umidade depois de concluída a pavimentação. Se a experiência tiver indicado que um determinado solo não pode ser compactado economicamente a densidades altas, seria imprudente realizar os ensaios de dimensionamento supondo o solo numa densidade elevada.

A resistência a considerar no dimensionamento deve ser baseada nos valores obtidos de amostras de solo nas piores condições previstas. A obtenção destes valores envolve, em geral, o ensaio de amostras que tenham sido embebidas na água.

Métodos de Avaliação

Os métodos de dimensionamento empregados por diferentes organizações variam muito; e suas abordagens na avaliação da resistência do subleito com finalidade de dimensionamento também variam. Os métodos de avaliação aqui apresentados são, provavelmente, os mais amplamente utilizados no dimensionamento de pavimentos asfálticos para aeroportos e rodovias. São os seguintes:

- Ensaio de Suporte de Placa
- Método do Índice de Suporte Califórnia (CBR)
- Método do Valor de Resistência (Valor R)
- Método do Módulo de Resiliência (Mr).

Nos anos de 1945 e 1946 o Departamento de Transportes do Canadá empreendeu uma ampla investigação sobre pistas de pouso e decolagem em certo número dos principais aeroportos do Canadá. Este trabalho foi relatado por Norman W. McLeod. Um dos objetivos era o de obter dados de ensaios que pudessem ser empregados no dimensionamento de pavimentos flexíveis a partir de provas de carga de placa repetitivas no subleito ou em camadas do pavimento já existente no local.

O ensaio do índice de suporte Califórnia (CBR), com suas numerosas variações, é, provavelmente, o método mais usado no dimensionamento de estruturas de pavimentos asfálticos. Este método foi desenvolvido em primeiro lugar pela Divisão de Estradas da Califórnia por volta de 1930. Desde então foi adotado e modificado por numerosos Estados, pelo Corpo de Engenheiros dos Estados Unidos e por muitos países, embora não seja mais usado pelo Departamento de Transportes da Califórnia.

F. N. Hveem e R. M. Carmany da Divisão de Estradas da Califórnia desenvolveram um método de avaliação de materiais não tratados de bases,

sub-bases e subleitos para o dimensionamento de pavimentos. É conhecido como o método do Valor de Resistência (Valor R). Este método é usado correntemente pelos departamentos rodoviários de vários outros Estados além da Califórnia.

O método do Módulo de Resiliência (Mr) foi desenvolvido pelo Asphalt Institute com base num ensaio originado na Universidade da Califórnia por H. B. Seed, C. K. Chan e C. E. Lee. É utilizado para determinar o caráter resiliente de um corpo de prova nas condições que representam as tensões nos pavimentos sujeitos a cargas móveis.

Provas de Carga de Placas

Generalidades

Os ensaios de suporte de placa são usados por um bom número de organizações no dimensionamento e avaliação de estruturas de pavimentos. Os procedimentos de ensaios empregados podem variar um pouco de uma organização para outra, porém o método aqui apresentado é tirado de *Ensaio de Prova de Carga de Placa Estático Repetitivo de Solos e Componentes de Pavimentos Flexíveis para Uso na Avaliação e Dimensionamento de Pavimentos de Aeroportos e Rodovias* (ASTM D 1195).

Como em qualquer outro ensaio de resistência, o ensaio de suporte de placa não fornece uma medida representativa da resistência do subleito, a não ser que seja realizado quando o solo se encontrar nas mesmas condições de que se tem expectativa após se manifestarem as influências ambientais de umidade, densidade, congelamento e drenagem e tráfego. Quando se deseja obter a resistência do solo do subleito de um pavimento novo de estrada ou aeroporto, pode-se recorrer a um dos métodos seguintes:

1. Realizar o ensaio no subleito de um pavimento asfáltico existente, em que o mesmo solo de subleito ocorra, e o pavimento exista faz muito tempo de modo que o subleito tenha atingido o equilíbrio com as condições ambientais.

2. Realizar o ensaio num trecho experimental especialmente construído com o solo em questão, tendo sido preparado numa espessura adequada que reproduza as condições esperadas depois que o pavimento tenha sido construído faz algum tempo.

Procedimento de Ensaio

A Figura 10.3 mostra um arranjo do equipamento usado na realização da prova de carga repetitiva. Os critérios para os requisitos de dimensionamento para rodovias e aeroportos se baseiam em:

	Rodovias	Aeroportos
Diâmetro da placa	300 mm (12 pol)	760 mm (30 pol)
Deflexão	5 mm (0,2 pol)	13 mm (0,5 pol)
Repetições de carga	10	10

O dispositivo de carregamento pode ser um caminhão, reboque, ou a combinação de trator e reboque, uma estrutura ancorada, ou outra estrutura. Deve ser carregada o suficiente para produzir a reação desejada na superfície ensaiada. Os pontos

de apoio (as rodas, no caso de um caminhão ou reboque) devem ficar a, pelo menos, 2,5 m da circunferência da placa de maior diâmetro que se utiliza.

O primeiro passo no processo de carregamento é o assentamento do conjunto de carregamento pela aplicação e retirada, rápidas, de uma carga suficiente para produzir a deflexão de 0,25 a 0,5 mm. Aplica-se uma carga igual à metade da carga de assentamento antes aplicada sobre a placa e ajustam-se os defletômetros, zerando-os.

Aplica-se a carga que dê uma deflexão de cerca de 1 mm mantendo-a até que o aumento da deflexão seja igual ou menor que 0,03 mm por minuto durante 3 minutos seguidos. Então, retira-se a carga completamente e observa-se a recuperação até que a razão de recuperação torne-se igual a 0,03 mm ou menos por minuto. Este procedimento de carregamento e descarregamento de mesmo valor é repetido até completar dez aplicações.

Concluída a série de aplicações e retiradas de carga, aumenta-se a carga de um valor necessário para produzir uma deflexão de cerca de 5 mm; repete-se o mesmo procedimento com esta carga maior. O aumento de carga que segue deve ser o necessário para se obter a deflexão de cerca de 10 mm, repetindo-se o mesmo procedimento com a nova carga.

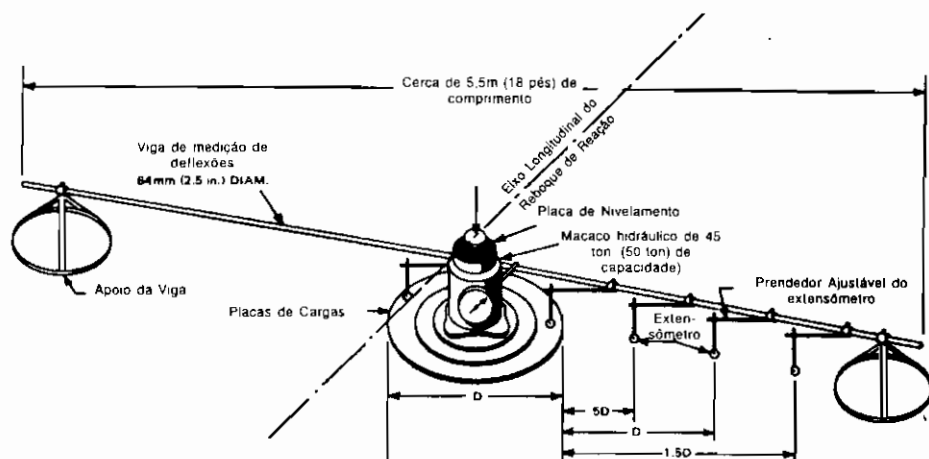


Figura 10.3 Arranjo do Equipamento de Prova de Carga de Placa

Cálculo e Plotagem dos Dados

Para cada repetição de nova carga, determina-se a deflexão terminal para a qual a deflexão é 0,03 mm por minuto. Fazem-se as correções necessárias dos valores de deflexões e cargas. Pode-se, então, plotar as deflexões contra repetições de cargas (Figura 10.5) e determinar o valor de suporte de placa determinado por uma linha curva que ligue os pontos.

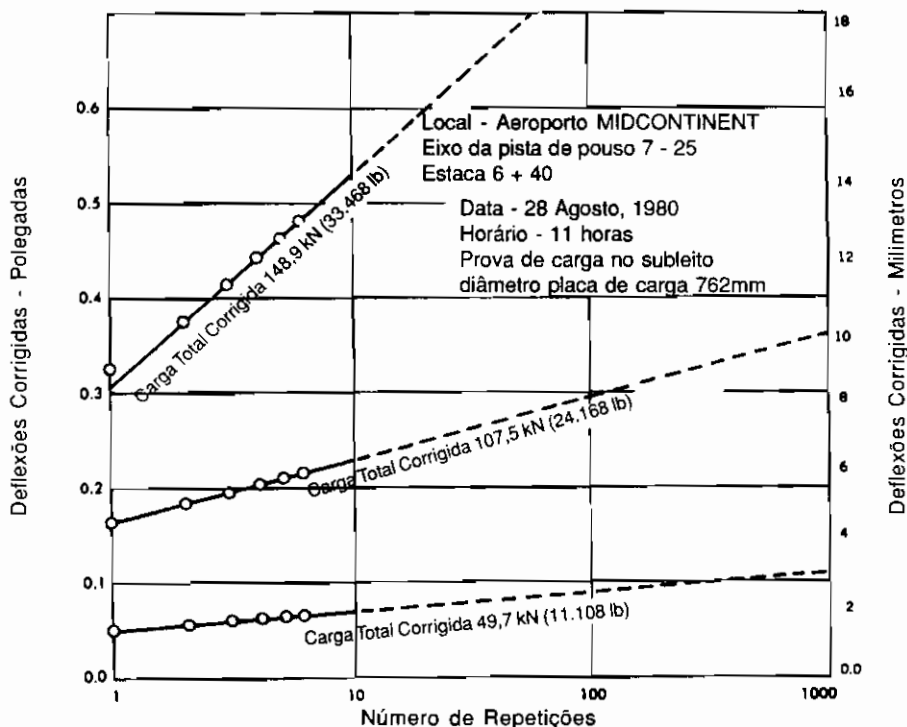


Figura 10.4 Influência das Repetições de Carga Nas Deflexões.

Método do Índice de Suporte Califórnia (CBR)

Generalidades

O método do Índice de Suporte Califórnia (CBR) é, provavelmente, o método mais amplamente usado para o dimensionamento de estruturas de pavimentos asfálticos. Este método foi desenvolvido pela Divisão de Estradas da Califórnia por volta de 1930 e, desde então, foi adotado e modificado por numerosos Estados, o Corpo de Engenheiros dos Estados Unidos e muitos países do mundo. O Corpo de Engenheiros adotou este método durante a década de 1940. O procedimento de ensaio desta organização de engenheiros militares norte-americanos era o mais usado até 1961, quando a Sociedade Americana de Ensaios e Materiais adotou o método como norma ASTM D 1883: *Índice de Suporte de Solos Compactados em Laboratório* ("Bearing Ratio of Laboratory - Compacted Soils" - ASTM Designation D 1883). O procedimento da ASTM difere em alguns pontos do inicialmente estabelecido pelo Corpo de Engenheiros e do procedimento da Associação Americana de Funcionários Estaduais de Rodovias e Transportes - Especificação AASHTO T 193. O procedimento da ASTM é o mais fácil de usar, sendo sua versão descrita nesta seção.

O CBR é uma medida comparativa da resistência ao cisalhamento do solo. O ensaio consiste em medir a carga necessária para que um pistão de dimensões padronizadas penetre numa amostra de solo a uma taxa especificada. Esta carga é dividida pelo valor da carga necessária a forçar o pistão a penetrar até a mesma

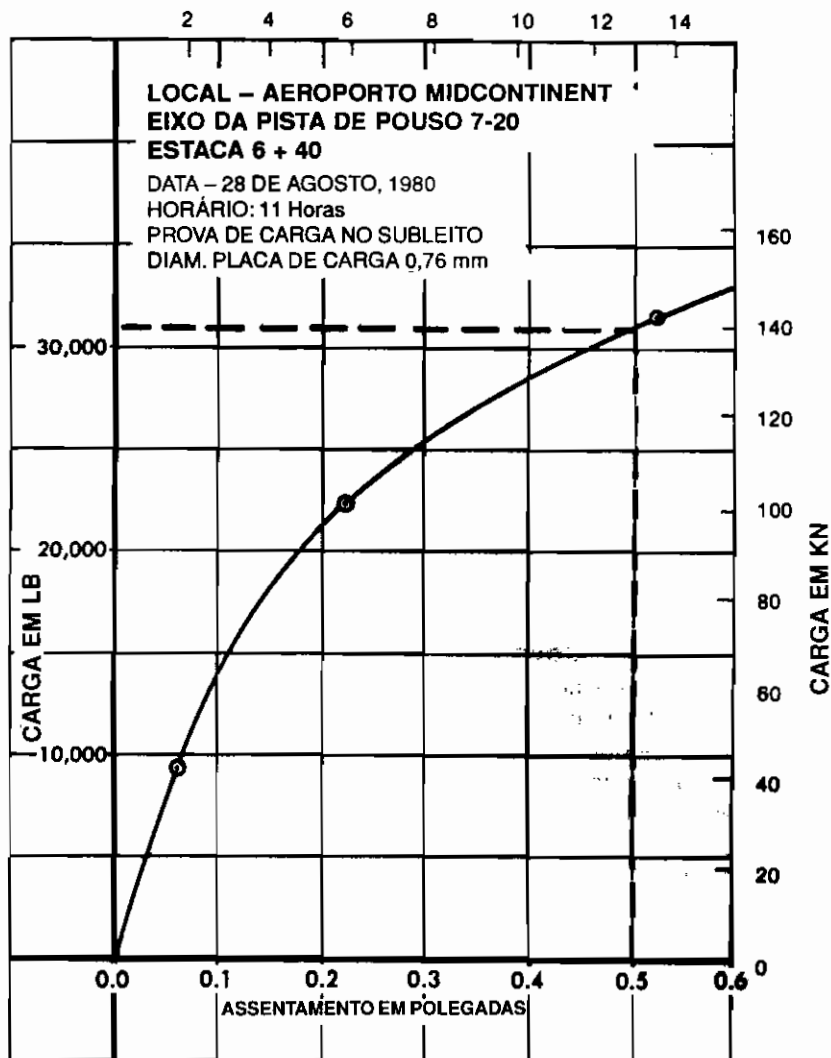


Figura 10.5 Carga Total Corrigida Contra Deflexão Corrigida para dez Repetições de Carga.

profundidade numa amostra padrão de pedra britada. O resultado, multiplicado por 100, é o valor do Índice de Suporte Califórnia (CBR). As penetrações de 2,5 e 5,0 mm são as usuais, porém podem ser usadas as de 7,5 mm, 10 mm e 12,5 mm. As cargas de penetração na pedra britada foram padronizadas. Pretende-se que este método de ensaio forneça o valor de suporte relativo, ou CBR, dos materiais da base, sub-base e subleito. Dispõe-se de procedimentos de laboratório de materiais compactados expansivos, não-expansivos e granulares. Realizam-se estes ensaios usualmente para a obtenção de informações a serem usadas no dimensionamento.

O valor de CBR de um solo depende da densidade, teor de umidade de moldagem e teor de umidade após embebição. Visto que o produto da compactação de laboratório deve representar de perto os resultados da compactação de campo, as duas primeiras variáveis têm que ser cuidadosamente controladas durante a preparação das amostras laboratoriais de ensaio. Os ensaios de CBR devem ser feitos em amostras embebidas.

Deve-se proceder a alguns ensaios de solo rotineiros antes de realizar o ensaio de CBR. Estes ensaios são os seguintes:

	ASTM	AAHTO
Análise por Peneiramento de Agregados Finos e Grossos	C136	T 27
Limite de Liquidez de Solos	D 4318	T 89
Limite de Plasticidade e Índice de Plasticidade de Solos	D 4318	T 90
Análise do Tamanho das Partículas de Solos (apenas para efeito de classificação)	D 422	T 88
Relações de Umidade - Densidade de Solos usando o Soquete de 2,5 kg	D 698	T 99
Relações de Umidade - Densidade de Solos usando o Soquete de 4,5 kg	D 1577	D 180

Preparação dos Corpos-de-Prova

Caso se pretenda embeber a amostra para o ensaio de CBR, deve-se extrair uma amostra representativa do material para a determinação da umidade no início da compactação e outra amostra do material que sobrar após a compactação. Pesa-se o material imediatamente e seca-se o mesmo numa estufa a $110 \pm 5^\circ\text{C}$ durante, pelo menos, 12 horas, ou até peso constante. Cada amostra para determinação de umidade deve pesar não menos que 100 g quando for de solo fino e não menos de 500 g se o solo for granular. Caso não se pretenda embeber a amostra, extrai-se uma amostra representativa de uma das faces cortadas, para determinar o teor de umidade.

O aparelho de ensaio de Índice de Suporte Califórnia está representado na Figura 10.6. O molde tendo o colarinho de extensão, é preso à placa de base. O disco de espaçamento é inserido sobre a placa de base e sobre o mesmo coloca-se um papel de filtro grosso. Compacta-se a amostra de solo na densidade máxima e teor ótimo de umidade como o determina a norma ASTM D 698 ou D 1557.

Remove-se o colarinho de extensão e apara-se o solo compactado rente as topo de molde com uma régua. Remove-se o disco espaçador e inverte-se o molde. A face raspada é colocada sobre a placa perfurada da base que é coberta com papel de filtro. O conjunto de haste ajustável e placa é colocado no topo do corpo-de-prova de solo compactado no molde.

Acrescentam-se pesos de sobrecarga que representem, a menos de 2,27 kg, o peso do material de base e revestimento. Não se admite, entretanto, sobrecarga inferior a 4,54 kg. Imerge-se a amostra na água e fazem-se as leituras iniciais para o cálculo da expansão. Após 96 horas, ou menos, no caso de solos que absorvam umidade com rapidez, fazem-se as medições finais para

determinar a expansão como porcentagem da altura inicial do corpo de prova. Retira-se a amostra da água e removem-se os pesos de sobrecarga e a placa perfurada. Permite-se que a amostra drene por 15 minutos, findos os quais, pesa-se e prepara-se a amostra para o ensaio de penetração.

Ensaio de Penetração

O ensaio de penetração é realizado com pesos de sobrecarga colocados na superfície, iguais aos que foram usados no período de embebição. Coloca-se o conjunto do molde numa prensa mecânica ou hidráulica. Inicialmente, assenta-se o pistão aplicando-se uma primeira carga de 44 N, e ajustam-se todos os extensômetros, zerando-os. Aplica-se, a seguir, uma carga à taxa uniforme de 1,27 mm de penetração por minuto. As leituras da carga total são feitas quando das seguintes penetrações:

0,6 mm;	3,2 mm;	6,4 mm;
1,3 mm;	3,8 mm;	7,6 mm;
1,9 mm;	4,4 mm;	10,1 mm;
2,5 mm;	5,1 mm;	12,7 mm.

Finalmente, alivia-se a carga, desmonta-se o conjunto do molde, e determina-se o teor de umidade dos 25 milímetros do topo, ou de toda a espessura da amostra.

Cálculo e Plotagem dos Dados

Concluído o ensaio, calcula-se a carga de penetração e pela área do pistão em megapascal e marca-se a curva de carga contra penetração em papel quadriculado. A fim de obter as verdadeiras cargas (ou pressões) de penetração a partir dos dados do ensaio, ajusta-se o ponto inicial da curva a fim de fazer as correções decorrentes das irregularidades superficiais e do trecho inicial ascendente côncavo da curva quando assim se mostrar. Quando a curva é regular como no exemplo nº 1 da Figura 10.7, calcula-se o valor CBR com os dados anotados. No caso de irregularidades superficiais, como no exemplo nº 3 da Figura 10.7, estende-se a parte reta da linha até a base de modo a obter a origem corrigida, ou o zero. Se a curva tiver uma curvatura reversa ou uma forma côncava ascendente, como no exemplo nº 2, traça-se uma tangente pelo ponto mais íngreme da curva (ponto A) e prolonga-se a linha até a base de modo a obter-se a origem corrigida ou o ponto zero (ponto B). A seguir, lêem-se os valores das cargas corrigidas para 2,5 mm (0,1 pol) de penetração (ponto C) e 5 mm de penetração (ponto D).

Penetração mm (pol)	Carga Padrão		Pressão Padrão*	
	N	(lb)	MPa	(lb/pol ²)
2,5 (0,1)	13345	(3000)	6,89	(1000)
5,0 (0,2)	20017	(4500)	10,34	(1500)
7,5 (0,3)	25355	(5700)	13,10	(1900)
10,0 (0,4)	30693	(6900)	15,86	(2300)
12,5 (0,5)	34696	(7800)	17,93	(2600)

*Área da seção transversal do êmbolo = 1935,5 mm² (3 pol²)

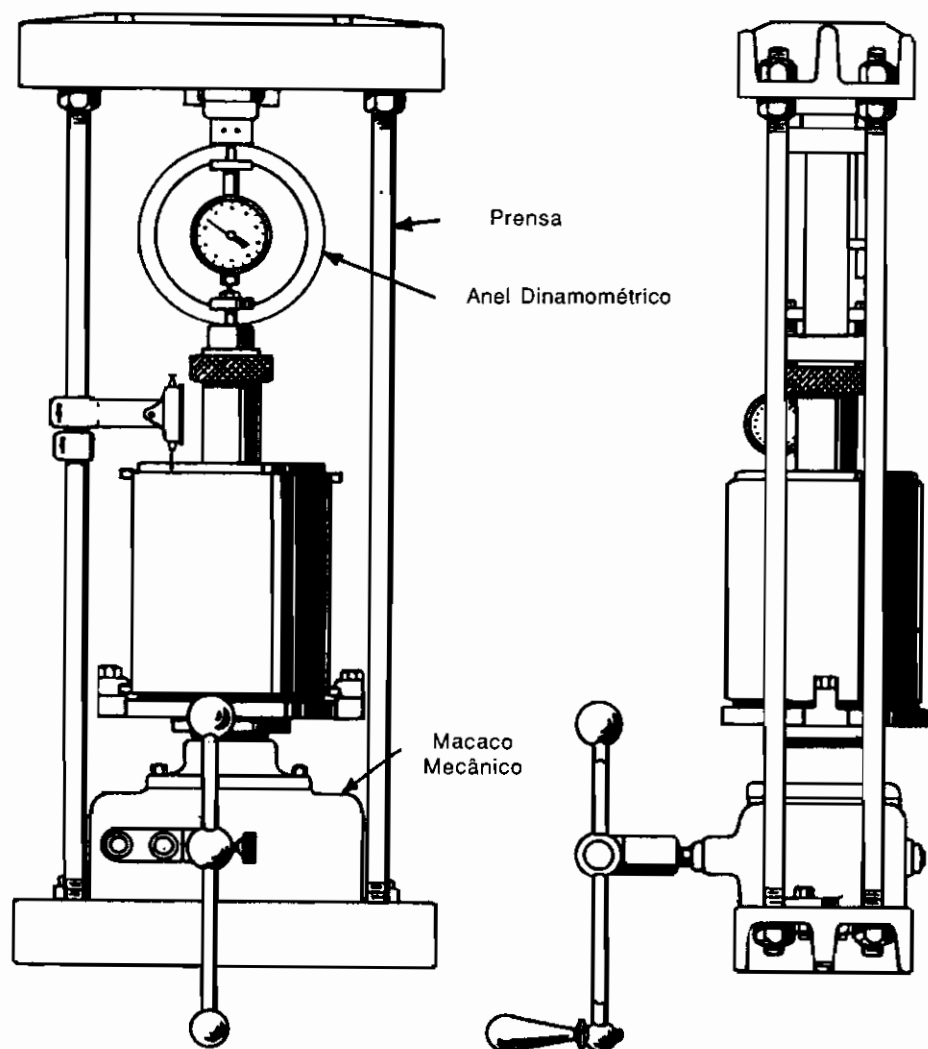


Figura 10.6 Aparelhagem de Ensaio CBR

O valor de CBR define-se como a razão do suporte de um material para o de pedra britada bem graduada. As cargas para as diferentes penetrações foram apresentadas acima.

Determina-se o CBR a partir dos valores corrigidos de carga para 2,5 e 5 mm, dividindo as cargas por unidade de área do pistão, correspondentes às penetrações de 2,5 mm e 5 mm, por 6,89 e 10,34 MPa, respectivamente. Adota-se, geralmente, o CBR calculado para 2,5 mm de penetração. Caso o CBR calculado para 5,0 mm for maior, deve-se repetir o ensaio. Se os ensaios de confirmação derem resultados semelhantes, adota-se o CBR calculado para 5 mm de penetração. A Figura 10.8 é uma ficha que se sugere para a anotação dos dados do CBR.

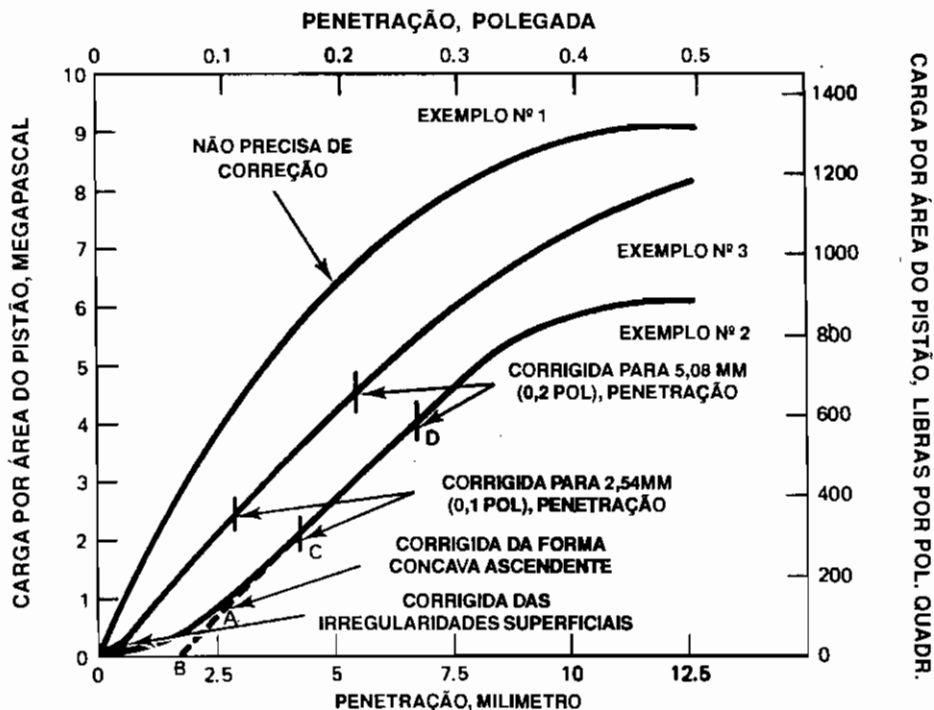


Figura 10.7 Correção das Curvas de Carga contra Penetração

Método do Valor de Resistência (Valor R)

Generalidades

O método de dimensionamento do valor R baseia-se em duas medições separadas: o valor R (ou valor de resistência) e o ensaio de pressão de expansão.

A espessura da cobertura ou do perfil da estrutura que evite deformação plástica do solo sob as cargas impostas pelas rodas dos veículos é determinada pelo valor R. O ensaio de pressão de expansão é utilizado para determinar a espessura ou o peso de cobertura necessário para manter o solo compactado. O valor R é determinado no teor de umidade e densidade em que estas duas espessuras são iguais. Com os solos granulares não-expansivos, o valor R de dimensionamento é determinado para uma densidade considerada equivalente à que se obtém por compactação de construção normal. O valor de densidade obtém-se dos dados de pressão de exsudação.

O método de ensaio de determinação do valor R consiste em:

1. Preparação das amostras,
2. Compactação dos corpos-de-prova,
3. Determinação da pressão de exsudação dos corpos-de-prova,
4. Determinação de pressões de expansão dos corpos-de-prova, e
5. Determinação do valor R.

FICHA DE DADOS DO ENSAIO DE ÍNDICE DE SUPORTE CALIFÓRNIA

DATA DA MOLDAGEM _____ DATA DA PENETRAÇÃO _____

OBRA _____

AMOSTRA N^o _____ COMPACTADO NA _____

A. Massa da Amostra Compactada, Molde e Placa de Base; kg _____

B. Massa da Tara do Molde e da Placa de Base; kg _____

C. Massa da Amostra; kg _____

D. Altura da Amostra Compactada; mm _____

E. Volume da amostra; cm³ _____

F. Massa Específica Úmida; kg/cm³ _____

G. Teor de Umidade; % _____

H. Massa Específica Seca, kg / cm³ _____

Dados de Expansão e Consolidação

N. "Peso" Sobrecarga _____ % R. % Exp. ou Cons. _____

O. Leitura Inicial do extensômetro _____ mm

P. Leitura Final do extensômetro _____ mm

Q. Diferença _____ mm $R = \frac{Q}{D} \times 100$

S. Massa da Amostra, Molde e Placa Base após Saturação; kg _____

Amostras Úmidas

Amostras Tipo 25 mm

Caps. n^o _____

Peso Um. _____

Peso Seco _____ Peso Seco _____ g

Umidade, por cento _____ Tara _____ g

T. Soma dos Pesos Líquido Úmido _____ + _____ = _____

U. Soma das Peso líquido Seco _____ + _____ = _____

Amostra Toda

Caps. n^o _____

Peso Um. _____

Peso Seco _____ Peso Seco _____ g

Umidade, por cento _____ Tara _____ g

Dados de Penetração

CBR Corrigido

Penetração	Carga kN (lb)	Carga MPa (lb/pol ²)	Penetração	Carga Corrigida MPa (lb/pol ²)	Padrão MPa (lb/pol ²)	CBR
------------	------------------	-------------------------------------	------------	---	--------------------------------------	-----

0,6 mm (0,025 pol): _____	:	_____	2,5 mm (0,100 pol): _____	06,89 (1000)	_____	_____
1,3 mm (0,050 pol): _____	:	_____	5,0 mm (0,200 pol): _____	10,34 (1500)	_____	_____
1,9 mm (0,075 pol): _____	:	_____	7,5 mm (0,300 pol): _____	13,10 (1900)	_____	_____
2,5 mm (0,100 pol): _____	:	_____	10,0 mm (0,400 pol): _____	15,86 (2300)	_____	_____
3,2 mm (0,125 pol): _____	:	_____	12,5 mm (0,500 pol): _____	17,93 (2600)	_____	_____
3,8 mm (0,150 pol): _____	:	_____				
4,4 mm (0,175 pol): _____	:	_____				
5,0 mm (0,200 pol): _____	:	_____				
6,4 mm (0,250 pol): _____	:	_____				
7,5 mm (0,300 pol): _____	:	_____				
10,0 mm (0,400 pol): _____	:	_____				
12,50 mm (0,500 pol): _____	:	_____				

Nota: C = A-B

$$F = \frac{C}{E}$$

$$R = \frac{C - U}{U} \times 100 \quad H = \frac{F}{100 + G} \times 100$$

Figura 10.8 Exemplo de Ficha de Anotações dos Dados do Ensaio CBR

Preparação das Amostras

O ensaio de valor R é realizado em amostra relativamente pequena, sendo necessário remover todo material de tamanho grande. Se 75% ou mais do material passar na peneira de 19,0 mm, deve-se remover o material nela retido. Se passar menos de 75% na peneira 19,0 mm, então, deve-se remover todo o material retido na peneira de 25,0 mm. A seguir, separa-se o solo

na peneira de 4,75 mm (nº 4), porém recombina-se nas proporções adequadas com os tamanhos grãos de modo a obter amostras de 1200 g e uma quantidade extra de 200 g para as determinações de teor de umidade.

Em cada ensaio de valor R, preparam-se quatro corpos-de-prova a diferentes teores de umidade. Cada corpo-de-prova tem de um meio a dois terços da quantidade de água necessária para saturar a amostra ou exsudar água entre 690 e 5500 kPa. Depois de misturar, deixa-se o material solto curar durante a noite num recipiente fechado. A seguir, adiciona-se mais água e mistura-se até obter a umidade de saturação que se calculou. O primeiro corpo-de-prova é utilizado como piloto para obter alturas de $63,5 \pm 2,5$ mm e pressões de exsudação tanto acima como abaixo de 2070 kPa.

Compactação de Amostras para Ensaio

As amostras são compactadas por compactador de amassamento (Figura 10.9), que é o mesmo que se utiliza no método de Hveem de dosagem de misturas asfálticas. O procedimento de compactação fornece uma ação de amassamento que pretende dar às partículas de solo a mesma orientação e pressão de contato que se obtém na compactação no campo.

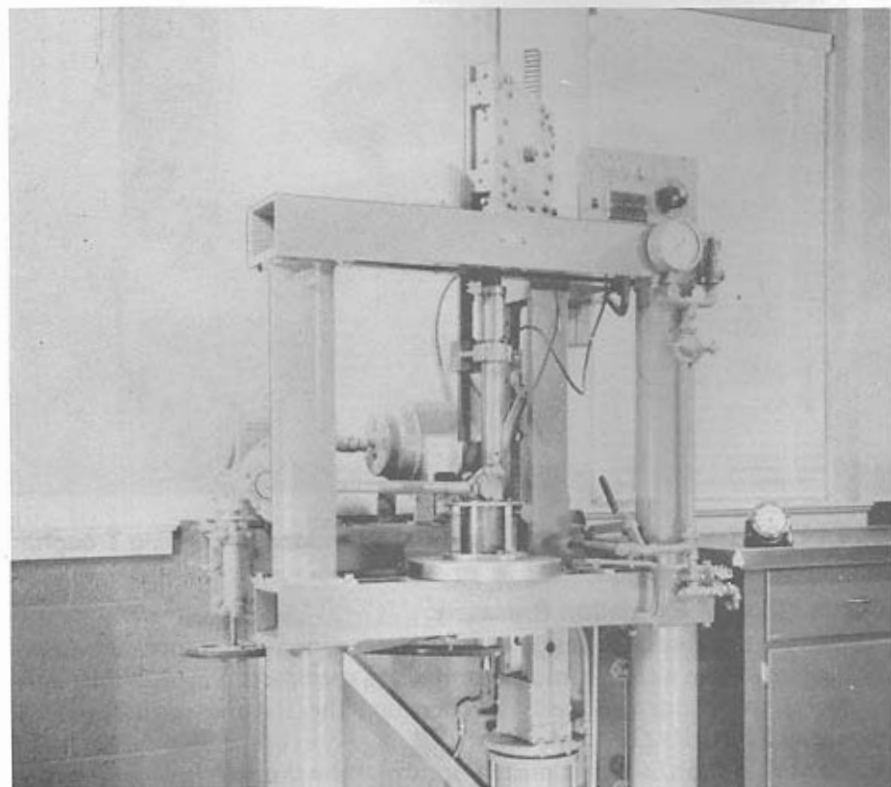


Figura 10.9 Compactador Mecânico

A amostra de solo preparada é colocada numa calha de alimentação do compactador (Figura 10.10) com o material distribuído igualmente em todo o comprimento. Um molde alto de 101,6 mm de diâmetro por 127 mm de altura é ajustado num prendedor especial a fim de levá-lo ao compactador. Coloca-se o material no molde por um procedimento especial enquanto o compactador de amassamento está operando a uma pressão no pé do pistão de 1720 kPa.

Quando todo o material tiver sido colocado no molde e se tiver aplicado 10 golpes extras para nivelar e assentar o material, compacta-se a amostra com 100 golpes e pressão no pé do pistão de 2400 kPa.

Algumas argilas e areias limpas precisam de pressões de compactação baixas. Pode ser necessário, se a superfície de impacto for desnivelada, alisar e nivelar a superfície de impacto.

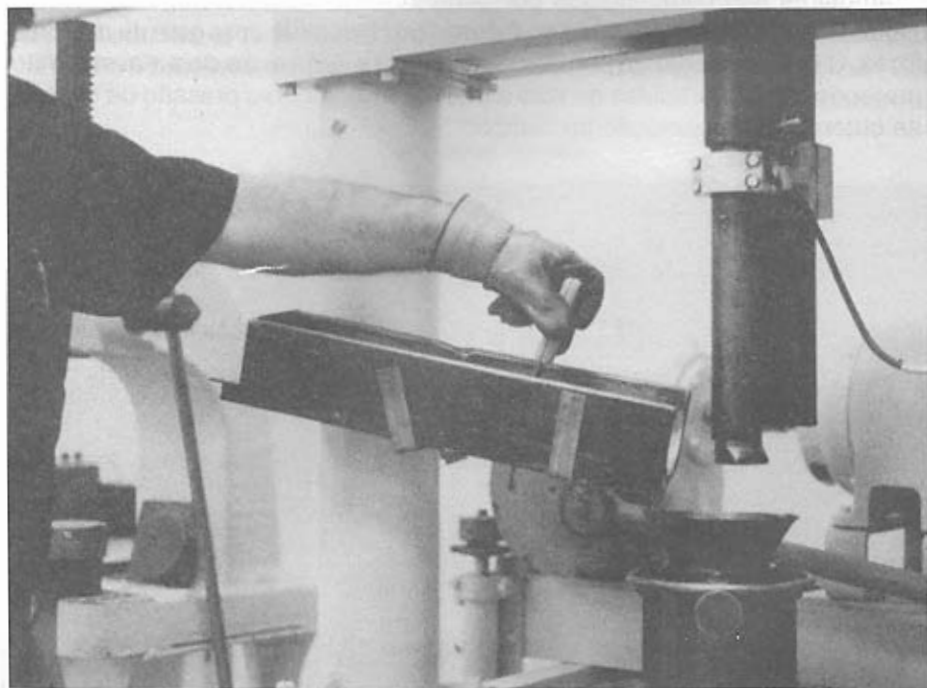


Figura 10.10 Colocação do Solo num Molde Através de uma calha de Alimentação.

Determinação da Pressão de Exsudação

O ensaio de pressão de exsudação é empregado para se determinar a tensão de compressão necessária à exsudação da água do corpo-de-prova compactado. Os resultados de ensaios de diversos corpos-de-prova são usados para determinar o valor R à pressão padronizada de 2070 kPa.

Neste ensaio coloca-se um disco de bronze no topo do corpo-de-prova compactado no molde e sobre o disco um papel de filtro. A seguir inverte-se o

conjunto de modo que o papel filtro fique na parte inferior. Antes de levar esta montagem para a prensa, coloca-se a mesma na placa de contato do indicador de umidade de exsudação (Figura 10.11).

Utiliza-se um pistão para forçar a amostra para baixo no molde contra a placa de contato do indicador de exsudação. A prensa aplica, então, uma carga no pistão à taxa de 8,9 kN por minuto até que a água de exsudação da amostra na placa indicadora acenda cinco das seis lâmpadas periféricas do indicador. Converte-se a carga total na amostra, nesse instante, em kPa e anota-se a pressão de exsudação. Os corpos-de-prova que têm pressão de exsudação inferior a 690 kPa ou, então, superiora 5500 kPa são, geralmente, descartados.

Concluído este ensaio, deixa-se o corpo-de-prova num molde coberto durante meia hora antes de passar para a etapa seguinte.

Determinação da Pressão de Expansão

O ensaio de pressão de expansão é usado na determinação da pressão de expansão que um solo desenvolve imerso na água. Este ensaio é realizado de tal modo que não ocorra uma grande mudança da densidade da amostra durante o ensaio. As espessuras de pavimentos requeridas para suportar as pressões de expansão podem ser determinadas e comparadas com as determinadas pelo ensaio de valor R.

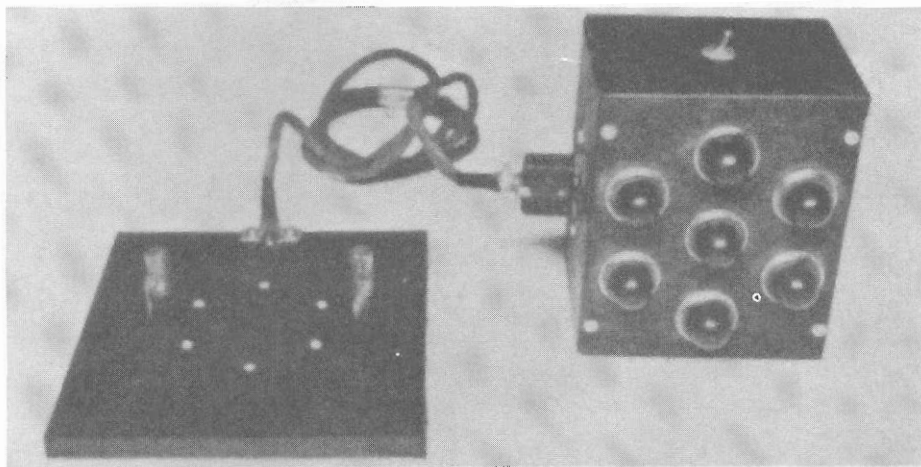


Figura 10.11 Dispositivo Indicador de Umidade de Exsudação.

Permite-se que o corpo-de-prova permaneça durante, pelo menos, meia hora em repouso após o ensaio de exsudação. Coloca-se uma placa perfurada de bronze com haste sobre a face do corpo-de-prova compactado no molde. Então, coloca-se o molde em posição no dispositivo de expansão calibrado (Figura 10.12), e vertem-se 200 ml de água no corpo-de-prova no molde. Espera-se o desenvolvimento da pressão de expansão, por 16 a 24 horas, após o que lê-se a deflexão da mola de barras de aço calibradas e determina-se a pressão de expansão.

Determinação do Valor R

O valor R constitui um meio rápido de se determinar a medida da estabilidade ou resistência a deformação plástica de materiais compactados, usando-se o estabilômetro de Hveem (Figura 10.13). É a mesma aparelhagem que se utiliza no método de Hveem de dosagem de mistura asfáltica.

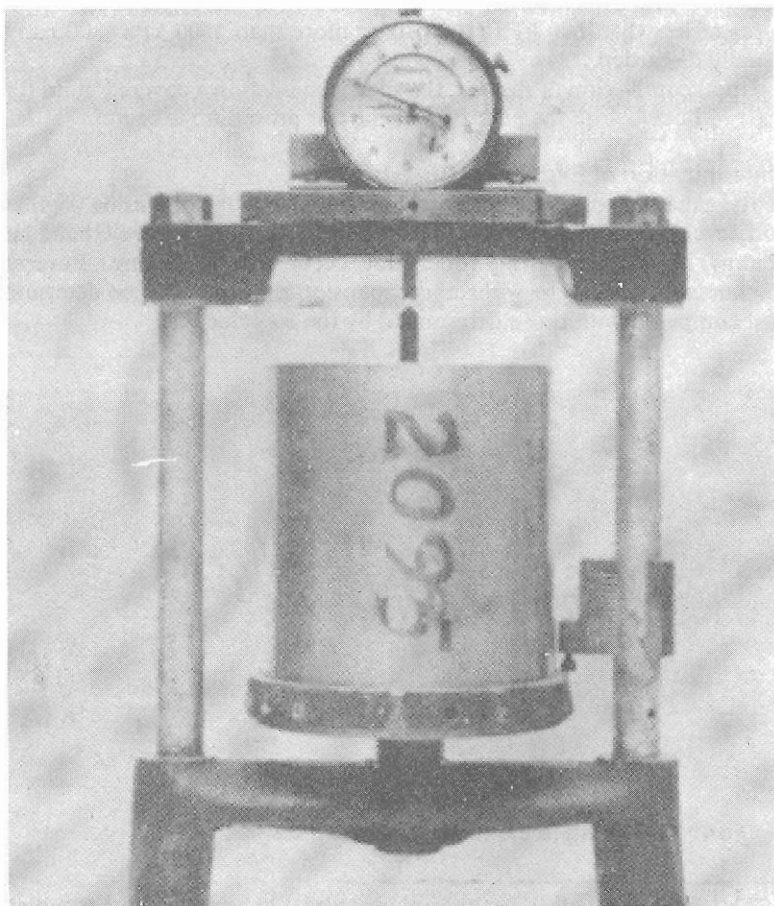


Figura 10.12 Conjunto Pressão-Expansão

O corpo-de-prova usado no ensaio de pressão de expansão é forçado para fora do molde indo para um estabilômetro ajustado. Coloca-se, então, o estabilômetro em posição na prensa. A cabeça da prensa é descida até que contacte o corpo-de-prova porém sem forçar. Aplica-se, então, uma pressão lateral de 35 kPa com a bomba do estabilômetro. A seguir, o corpo-de-prova é carregado à taxa de 1,3 mm por minuto e obtêm-se as leituras de pressão lateral a 550 e 1100 kPa de pressão vertical.

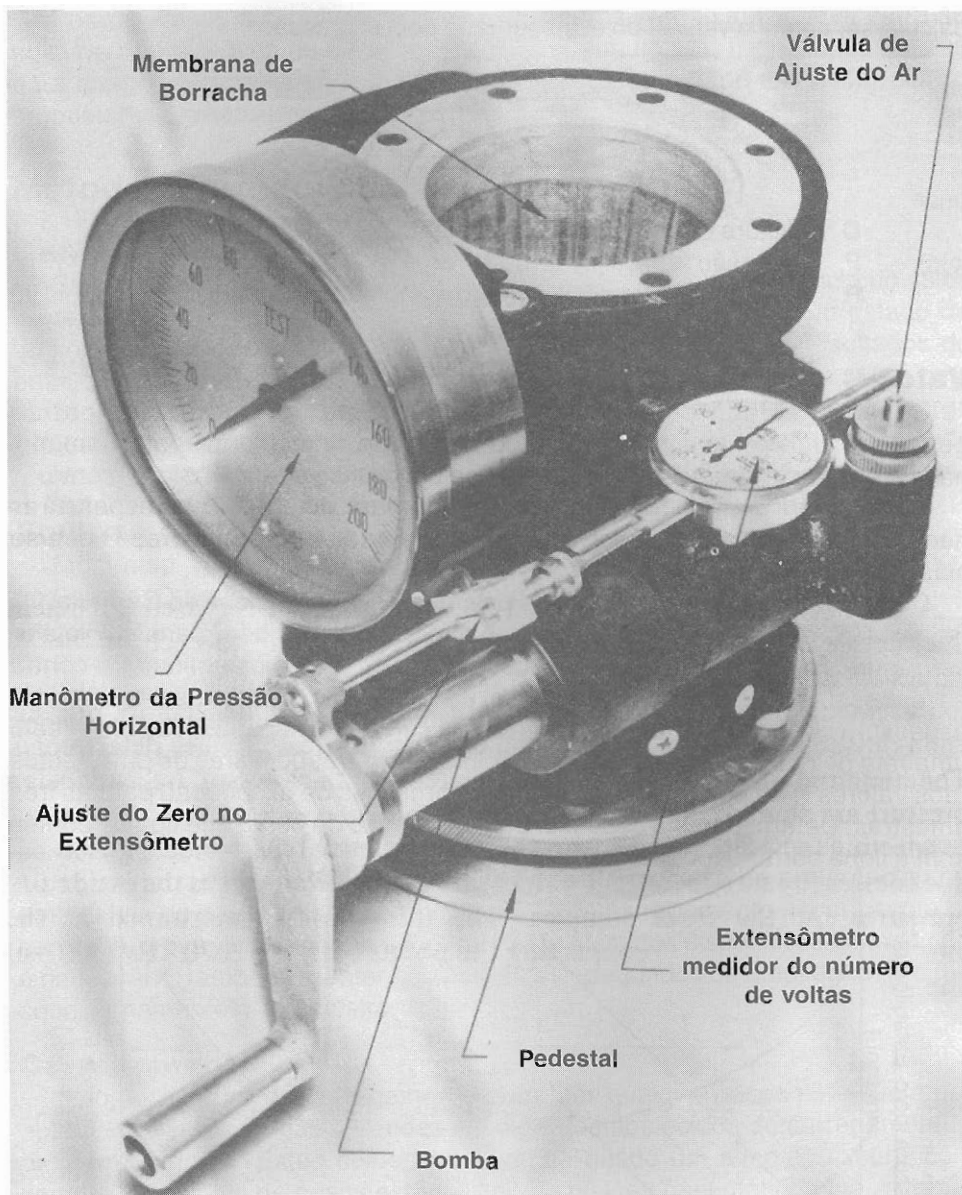


Figura 10.13 Estabilômetro Hveem.

O carregamento vertical deve ser interrompido ao atingir 8,9 kN e reduzido imediatamente a 4,45 kN. Reduz-se a pressão lateral a 35 kPa. Ajusta-se no zero o extensômetro de giros de deslocamento e gira-se a manivela da bomba à razão de duas voltas por segundo até que a manômetro do estabilômetro indique 690 kPa. Anota-se o número de giros, e

calcula-se, então, o valor R do estabilômetro pela expressão.

$$R = 100 - \frac{100}{\frac{2,5}{D} \left(\frac{P_v}{P_h} - 1 \right) + 1}$$

onde:

D = leitura dos giros de deslocamentos,

P_v = pressão vertical de 1100 k Pa

P_h = pressão horizontal [leitura do manômetro do estabilômetro de 1100 kPa, pressão vertical]

Valor R de Dimensionamento

O dimensionamento de pavimentos asfálticos será discutido pormenorizadamente no Capítulo 11. O valor R de dimensionamento, contudo, não pode ser determinado sem que se use um gráfico de dimensionamento.

O gráfico de dimensionamento é utilizado para determinar as espessuras necessárias de pavimento, correspondentes a cada um dos valores R que se classificou.

Determinam-se as espessuras de pavimentos (dos gráficos do Capítulo 11) necessários para que o seu peso contrabalance a pressão de expansão. Plotam-se (Figura 10.14) as espessuras necessárias segundo o estabilômetro contra as espessuras segundo as pressões de expansão e anota-se o valor da espessura correspondente na interseção da curva obtida por esses pontos com uma reta de equilíbrio de 45°. A seguir, plotam-se as espessuras de pavimentos (dos valores R do estabilômetro) contra as pressões de exsudação para as três amostras. Determina-se a espessura na interseção da curva que liga os pontos com a linha correspondente a 2070 kPa.

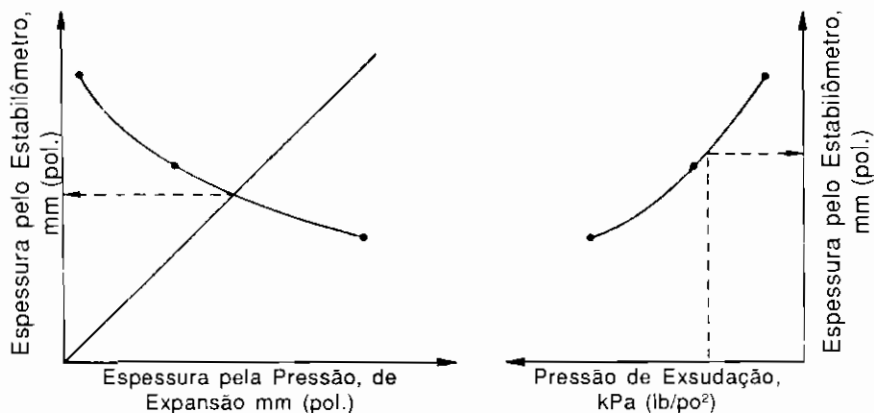


Figura 10.14 Gráficos de Resultados de Laboratório e das Espessuras de Pavimento Necessárias na Determinação do Valor R de Dimensionamento

Comparam-se, a seguir, estas duas espessuras. Com o maior valor entra-se novamente no gráfico de dimensionamento (Capítulo 11). Trabalhando de trás para diante, determina-se o valor R correspondente que se deve usar com o propósito de dimensionamento.

Método do Módulo de Resiliência (M_r)

Generalidades

Este método compreende a determinação do módulo de resiliência de solos de textura fina e não - tratados nas condições que representam o estado de tensões nos pavimentos sujeitos a cargas de roda móveis. Os resultados do ensaio descrevem o caráter resiliente de corpos-de-prova quando se aplica uma tensão axial de desvio repetida de intensidade, frequência e duração de carga pré-estabelecidas, no corpo-de-prova situado numa câmara triaxial e submetido a uma pressão estática à volta.

Equipamento

Mostra-se na Figura 10.15 uma célula triaxial para o ensaio de resiliência dos solos. O equipamento é semelhante à maioria da células padronizadas, embora seja um pouco maior de modo a facilitar a montagem dos equipamentos de medição da carga e da deformação, tendo aberturas de saída adicionais dos fios elétricos dos dispositivos de medição. (Também se pode usar células triaxiais tendo o equipamento de medição de carga e deformação montado externamente à célula). Para usar o equipamento mostrado, utiliza-se ar como fluido da célula.

O equipamento de medição da deformação consiste no transformador diferencial variável linear preso ao corpo-de-prova por um par de garras. Utilizam-se dois sensores LVDT para medir a deformação axial. Mostra-se na Figura 10.15 as garras e os LVDT em posição. Faz-se a medição de preferência com uma célula de carga colocada entre o pistão de carregamento e o cabeçote do corpo-de-prova, como mostra a Figura 10.15. Além dos dispositivos de medição, é necessário, também, manter equipamentos adequados de ampliação de sinal, condicionamento e de registro.

Carregamento

A fonte externa de carregamento pode ser qualquer dispositivo capaz de aplicar diferentes cargas repetidas em ciclos estabelecidos de carregamento e descarregamento. Estes dispositivos variam desde um simples excêntrico e controle por chave de pesos estáticos ou de pistões pneumáticos até sistemas eletro-hidráulicos de circuito fechado. A duração de carga de 0,1 segundo e duração do alívio da carga de 0,4 a 3 segundos foram considerados satisfatórios na maioria das aplicações.

A pressão de confinamento e a tensão desvio usadas devem ser próximas do estado de tensões *in situ* que se espera. A pressão de confinamento de 14 kPa e a tensão desvio de 41 kPa são valores razoáveis na maioria dos ensaios.

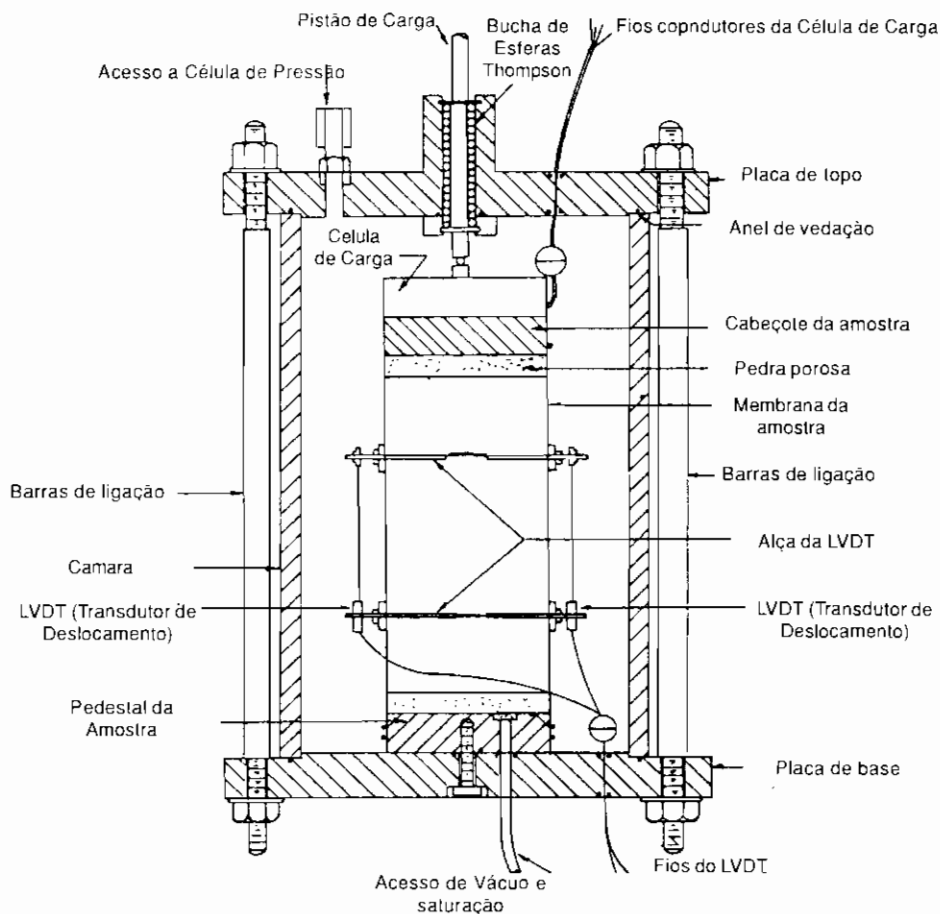


Figura 10.15 Aparelho de Ensaio de Módulo Resiliente do Solo.

Inicia-se o ensaio com a aplicação de 200 repetições da tensão desvio de, aproximadamente, 21 kPa seguidas de aplicação de 200 repetições de tensões desvio de, aproximadamente, 21 kPa seguidas de 200 repetições, sucessivamente, a 41 e 62 kPa. A seqüência precedente de tensões destina-se ao condicionamento da amostra, isto é, a eliminação dos efeitos do intervalo entre a compactação e o carregamento e, também, os efeitos da carga inicial face ao recarregamento. A tensão de desvio é reduzida a 41 kPa, após o que aplicam-se 200 repetições de carga e registram-se a tensão desvio e o deslocamento vertical recuperável na ducentésima repetição ou próximo. Concluído o carregamento reduz-se a zero a pressão aplicada na câmara triaxial.

Dados e Cálculo

Os dados de ensaios podem ser registrados e calculados utilizando-se um quadro como o que está ilustrado na Figura 10.16. No caso de procedimentos específicos, deve-se recorrer no Manual de Solos, MS-10, Asphalt Institute.

10.3. Drenagem de Estruturas de Pavimentos Asfálticos

Introdução

O Porquê da Drenagem

Os engenheiros rodoviários reconhecem a necessidade crucial da boa drenagem no projeto e construção de pavimentos. Possivelmente, nenhum outro fator é tão importante na determinação da capacidade que tem um pavimento de suportar os efeitos das intempéries e do tráfego, e de proporcionar a serventia sem problemas por longos períodos de tempo.

A água presente no subleito só lentamente se evapora ou drena. Frequentemente, as depressões nos materiais porosos transformam-se em reservatórios subterrâneos a menos que sejam drenados.

A maioria dos solos do subleito contém silte e argila, que enfraquecem com a umidade. Este enfraquecimento é acelerado pelas vibrações do tráfego. Quando o subleito não é conformado nem tem a declividade transversal necessária à drenagem, pode haver acúmulo de água na sua superfície e abaixo das camadas do revestimento. Isto pode levar, por vezes, à perda de estabilidade e suporte. Sob a ação do tráfego, o solo úmido pode transformar-se em lama que sobe pelos vazios do agregado da camada de base, desta forma destruindo o entrosamento dos grãos.

Projeto

O desenvolvimento dos vários aspectos de um sistema de drenagem requer que se dê atenção aos seus principais objetivos, que são:

- Coletar e drenar a água superficial e subsuperficial
- Evitar ou atrasar a erosão dos aterros
- Interceptar a água das áreas circunvizinhas e desviá-las do local
- Rebaixar o nível do lençol de água subterrânea

Os problemas de drenagem são superficiais e subsuperficiais. Cada um requer análise e tratamento separados.

A drenagem superficial compreende a remoção de toda a água presente na superfície do pavimento e no terreno vizinho. Deve-se evitar que a água superficial penetre no sistema de subdrenagem. É inevitável que alguma água penetre na estrutura do pavimento, mas deve ser reduzida ao mínimo por procedimentos de manutenção superficial.

A drenagem subsuperficial diz respeito à água nas camadas do pavimento e no solo vizinho. É a água que entra pela superfície do pavimento através de juntas abertas, trincas e outros acessos, pelo material poroso adjacente e do terreno mais abaixo.

A água subsuperficial pode estar presente de vários modos, a saber:

- Água que escoar livremente sob a ação da gravidade, dita "água livre"
- Água que se move por ação de forças capilares, dita "água capilar"

- Água sob a forma de vapor d'água

Existem diferenças importantes entre drenagem superficial e subsuperficial. O escoamento superficial resulta, em geral, da chuva e da neve derretida. O escoamento da água para um dreno subterrâneo depende inteiramente da permeabilidade do solo e das camadas do pavimento por onde se escoam. O escoamento máximo da água superficial dá-se, aproximadamente, a uma hora após a chuva torrencial. Diferente é o fluxo máximo para um subdreno (ao qual não tem acesso a água superficial) que pode ocorrer a várias horas ou mesmo dias após a chuva forte. Os requisitos de drenagem num caso baseiam-se na quantidade de água da chuva ou da neve derretida, e no outro, na permeabilidade do solo e do agregado.

Drenagem Superficial

Projeto para as Pistas

A proteção dos pavimentos da ação da água superficial é mais facilmente realizada por uma superfície asfáltica de fora a fora. Isto significa que a parte externa do pavimento, inclusive os acostamentos, é construída de modo a se ter uma cobertura impermeável que previna a entrada de água superficial na estrutura do pavimento pelos lados. A superfície do pavimento não deve apresentar buracos e trincas, deve ter a junção com o acostamento e a valeta permanentemente vedada, ter a superfície bem conformada e abaulada e o escoamento superficial adequado. A água superficial é, geralmente, coletada na borda da superfície revestida em valetas e sarjetas (Figuras 10.17 e 10.18) e levada para áreas mais baixas, bocas-de-lobo e galerias pluviais. Nos aterros deve-se conduzir a água para vertedouros asfaltados com a ajuda de meios-fios e banquetas de asfalto construídos na borda extrema do acostamento.

Quando não se adota uma superfície revestida de largura plena, pode ser difícil manter uma junta vedada no acostamento ou valeta. Deve-se dar atenção à remoção da água que possa infiltrar-se pela junta.

Os pavimentos rodoviários são construídos com declividade transversal ou abaulamento que facilita o escoamento da água de suas superfícies. Na prática de projeto usual faz-se com que a água superficial escoe pelo acostamento até uma valeta ou sarjeta lateral.

O dreno de acostamento mais eficaz é o que foi impermeabilizado por uma superfície asfaltada. Outra prática, esta menos eficaz (ainda assim aceitável) é a cobertura dos acostamentos da estrada com um agregado graduado de modo a tornar pequena a infiltração no subleito. Quando o abaulamento é utilizado para a drenagem rápida, a declividade do acostamento deve ser maior do que a da superfície da pista. Porém, no caso de um pavimento de declividade uniforme seja para dentro ou para fora, tal como nas curvas com superelevação, deve a declividade do acostamento ser a mesma do pavimento. Os acostamentos gramados tendem a evitar a erosão, mas, também, dificultam a drenagem livre da superfície da estrada, o que faz aumentar a umidade que entra pela face lateral da valeta. Por outro lado, a grama ou vegetação lateralmente à pista pode remover umidade do solo pelo seu sistema de raízes.



Figura 10.17 Valeta Lateral Típica.

Em alguns casos pode-se construir um ressalto ou meio-fio de 100 mm ou mais de altura na borda externa do acostamento a fim de interceptar a água e conduzi-la a alguma saída conveniente. Em tal projeto molda-se, às vezes, a borda do pavimento no formato de canal raso (Figuras 10.19 e 10.20), que conduz ao ralo de uma galeria pluvial ou de outros canais pavimentados. Os meios-fios e as banquetas devem ser localizadas de modo a não interferir com a remoção da neve da superfície do pavimento.

As valetas de drenagem recebem a água de superfície do pavimento e dos drenos subsuperficiais. Quando a declividade do terreno natural é na direção da pista, estas valetas também interceptam a água que, de outra maneira, alcançaria a pista. Costuma ser preferível alargar em vez de aprofundar a valeta de drenagem de modo a aumentar sua capacidade. A declividade dos taludes variam, em geral, de 4:1, aproximadamente, do lado da pista a 8:1 ou mais suaves no talude externo. A largura da valeta deve ser suficiente para acomodar o escoamento superficial estimado. Deve ser construída segundo um greide regular sem depressão ou bolsões que represem água.

Quando a área circunvizinha é de terreno mais alto, como nos trechos em corte, pode a água fluir para a pista seja superficialmente ou a profundidades rasas em camadas aquíferas. A construção de valeta de proteção de corte no seu topo ou em plataformas no talude do corte, intercepta a água e a conduz afastando-a.



Figura 10.18 Pavimentação das Valetas Laterais Evita Erosão das Valetas.



Figura 10.19 Banquetas Dirigidas para a Tubulação de Descarga leva a Carreamento de Água morro abaixo reduzindo manutenção de Valetas e declividades



Figura 10.20 Banqueta Lateral no Pavimento Sob Forma de valeta Pavimentada.

Este tipo de valetas também é eficaz na prevenção de erosão do talude e corridas de lama.

A água que é coletada em valetas pode descarregar diretamente em canais naturais ou em ralos de galerias pluviais. Em outros casos, pode ser conduzida diretamente para fora da pista por valetas especiais construídas com esta finalidade.

A velocidade ideal de escoamento numa valeta deve ser bastante elevada para evitar a sedimentação do material suspenso, mas não tão grande que cause erosão ou solapamento. São valores de velocidade de escoamento de margem segura, em geral, 0,6 m/s quando o solo for silto-argiloso ou areia fina recentemente semeado a 1,8 m/s para o bem semeado ou o revestido de pedregulho grosso. Se as velocidades forem maiores há necessidade de pavimentar a fim de evitar a erosão. A mistura asfáltica a quente é aconselhável para a pavimentação de valetas.

Projeto de Grandes Áreas Pavimentadas

Os procedimentos de projetos de drenagem superficial das áreas de estacionamento são os mesmo de aeroportos. A referência que se recomenda é, então, a publicação *Drenagem de Aeroporto* ("Airport Drainage"), Administração Federal de Aviação dos Estados Unidos ("U. S. Federal Aviation Administration").

Depois de estabelecida a planta da área de estacionamento e obtido um padrão eficiente de ocupação, deve-se projetar declividades para a drenagem que não permitam que os motoristas ao descer de seus veículos encontrem-se numa sarjeta.

A fim de evitar que se formem poças d'água em período chuvosos, é necessário um greide mínimo de 2 por cento ou 20 mm/m. Em terrenos inclinados não há dificuldade em se obter um greide; mas em áreas planas, cercadas de

valas de drenagem, verifica-se um fluxo suavemente sinuoso na área pavimentada. Os fluxos até os escoadouros devem ser calculados para as condições de escoamento superficial e, se necessário, o espaçamento ajustado para obter resultados satisfatórios. Em condições médias, o espaçamento dos escoadouros de 60 a 120 m é satisfatório.

Visto que só se pode ter um perfil preestabelecido numa passagem da pavimentadora, deve-se evitar o projeto de drenagem que indique sarjetas e valas meândricas. Tais sarjetas exigiriam colocação manual da mistura, o que seria de qualidade inferior à colocação por máquina. O leiaute deve prever drenos que sigam linhas retas. Quando a mistura asfáltica é colocada por máquina pavimentadora, a direção da pavimentadora deve ser paralela a estas linhas. Para que a utilização da pavimentadora tenha a maior eficiência possível estas linhas devem ter a direção da maior dimensão do lote de terreno. É essencial que se tenham juntas longitudinais vedadas à água a fim de impedir a intrusão da água superficial e de tornar menor possível a erosão sob o tráfego.

Drenagem Subsuperficial

Introdução

A água de subsuperfície provem da chuva e do degelo da neve que embebe o solo e percola para baixo até atingir uma camada impermeável. Neste ponto a água pode formar uma poça subsuperficial nos vazios do solo. O nível da água subsuperficial é o lençol de água subterrânea. A água subsuperficial também pode percolar distâncias grandes através de camada porosa desde que confinada por camadas ou estratos impermeáveis.

O pavimento poroso ou trincado pode permitir que a água da chuva ou da neve derretida entre na estrutura do pavimento e sature as várias camadas. Esta água pode, a seguir, drenar greide abaixo e criar problemas em outras áreas. Estes problemas podem ser evitados da maneira mais efetiva dando-se atenção adequada à dosagem e construção da mistura de pavimentação. É especialmente eficaz uma base asfáltica densa. Se a estrutura de pavimento contiver camadas de graduação aberta, deve-se drená-la por tubos de drenagens e outros meios positivos de evitar o acúmulo de água.

A percolação subsuperficial, em certas condições, pode criar uma carga piezométrica suficiente para separar o revestimento totalmente da base, levantando-o, o que causa trincamento e, em situação extrema, a desintegração completa da estrutura do pavimento. O problema é mais crítico nos greides íngremes. Nesta situação a água pode deslocar-se longitudinalmente numa camada da base não tratada segundo o maior gradiente e causar pressões hidrostáticas excessivas nos pontos baixos das curvas verticais ou na parte baixa das curvas horizontais com superelevação. Em muitos trechos de corte também são necessários subdrenos longitudinais para evitar que a água de terreno mais alto se acumule sob o pavimento. Se não houver a intercepção, a água subsuperficial do corte pode fluir do corte para o aterro e causar desmoronamento do talude do aterro e trincamento do pavimento. A escolha do material de filtro e o projeto do sistema de drenagem merecem toda a atenção, considerando-se tanto o tipo de material a drenar como a quantidade de água que se espera venha a fluir.

Material de Filtro e Pedra de Dreno

Pode-se ter como material de filtro um material granular de graduação tal que evite a migração das partículas do solo adjacente para o dreno; porém, sua permeabilidade pode ser pequena. A pedra de dreno, por outro lado, consiste, essencialmente, num material de tamanho único de alta permeabilidade. Mas, as pedras de dreno estão sujeitas ao entupimento a não ser que sejam usadas junto com um material de filtro ou tecido filtrante.

Visto que as rodovias são construídas com declividades transversais muito suaves, pouca é a água que drenaria num material de filtro.

A permeabilidade de um material de filtro granular reduz-se muito rapidamente à medida que o material fino aumenta. Isto fica claro nas curvas de graduação mostradas na Figura 10.21. A modificação da graduação que se mostra gráfico é menor que a variação normal que ocorre durante a produção desses materiais. Contudo, um desses materiais é onze vezes mais permeável do que o outro. A despeito do que se disse, é um fato que na maioria dos casos os materiais granulares disponíveis próximo ao canteiro de serviço estão usualmente do lado "terroso" em relação à quantidade e natureza dos finos. Ora, os engenheiros têm a incumbência de usar estes materiais no estado natural ou modificando-os de modo econômico para torná-los utilizáveis. A resposta lógica e prática a esta questão, contudo, é usar estes materiais com asfalto, em construções de espessura plena. Assim, reduz-se a possibilidade dessas camadas atuarem como reservatórios de água.

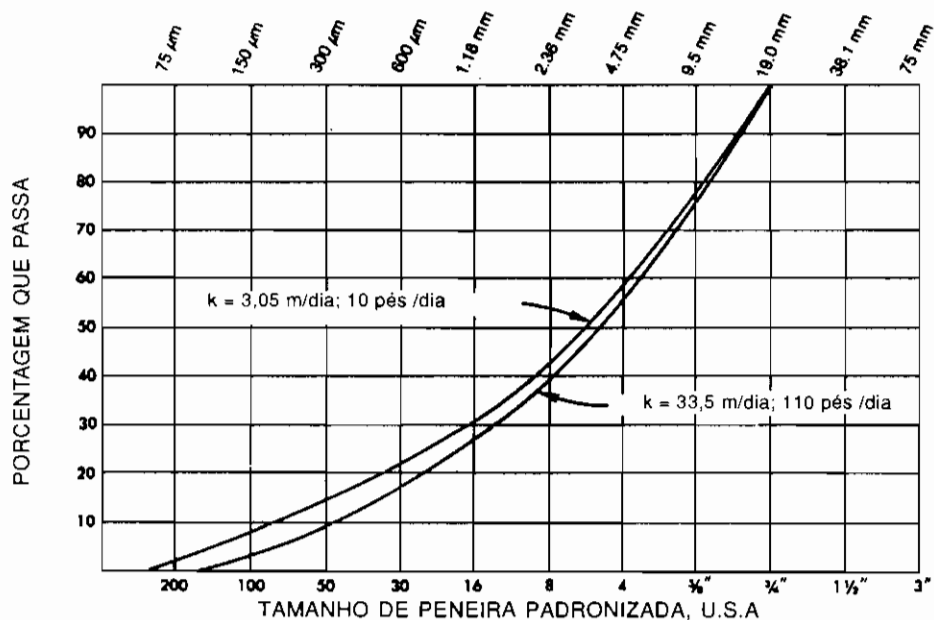


Figura 10.21 Efeito na Permeabilidade de Pequena variação da Graduação.

Esquemas de Drenagem Subsuperficial

Sugerem-se a consideração das abordagens seguintes.

(a) Cortes Úmidos

Se o material encontrado no nível da estrada for estratificado, pode ser possível remover água de infiltração por drenos interceptores no pé do talude do corte. Um ponto falho deste tipo de construção, entretanto, é que a água freqüentemente, desvia-se do dreno e sobe até a superfície por baixo do pavimento. Isto é causado por variações de curvaturas das zonas de estratificação ou de cisalhamento causadas por antigos movimentos de terra.

Se existir um gradiente apreciável, deve-se colocar um dreno interceptor na parte extrema descendente do corte. Isto irá interceptar qualquer água que flua longitudinalmente que, se não fosse drenada, poderia saturar os aterros e causar o esborramento dos taludes do aterro.

(b) Permeabilidade do Pavimento

O pavimento de concreto asfáltico densamente graduado e compactado que tenha sido adequadamente dosado, será impermeável à água.

(c) Lençol d'Água Superficial

Quando o lençol d'água (freático) é elevado, podem ser construídas trincheiras verticais profundas de cada lado da pista. Outras soluções possíveis são a elevação do greide da rodovia e a construção de pavimento asfáltico de espessura plena.

Drenagem Referente à Ação do Gelo

Quando a penetração do congelamento ultrapassa a espessura da estrutura do pavimento, pode ser necessário um sistema de drenagem subsuperficial para baixar o lençol d'água de modo a evitar a formação de lentes de gelo e os efeitos danosos dos inchamentos por congelamento.

(a) Inchamentos por Congelamento

Os inchamentos por congelamento constituem um problema sério. Resultam das lentes de gelo que se formam no solo. As lentes de gelo crescem para baixo (à medida que a água acumulada congele, sendo alimentada por mais água de profundidade), como se vê na Figura 10.22. Para que cresçam as lentes de gelo, deve ocorrer temperatura de congelamento no solo, lençol d'água próximo à frente de congelamento, e o solo favorável ao movimento rápido do vapor d'água ou da água capilar. Quando as temperaturas de congelamento se prolongam e a linha de congelamento aprofunda-se no solo, as lentes de gelo que se formam causam o inchamento da superfície.

A fim de evitar danos às estruturas de drenagem é necessário no projeto das mesmas que se determine a profundidade de penetração do gelo. As informações mais confiáveis se obtêm dos registros locais da penetração do gelo na área e dos solos em questão. Quando tais informações locais não são disponíveis pode-se estimar a penetração do gelo pelos gráficos obtidos do Departamento do Comercio dos Estados Unidos, Administração Oceânica e Atmosférica Nacional, Centro de Dados Climáticos Nacional, Asheville, North Caroline 28801.

Os solos problemáticos devem ser retirados até uma profundidade igual ou, pelo menos, metade, mas, de preferência, três-quartos da profundidade normal de penetração do gelo na área em questão.

Um método alternativo de construção é a remoção, mistura e recompactação de uma espessura adequada de subleito para obter uniformidade. Este método

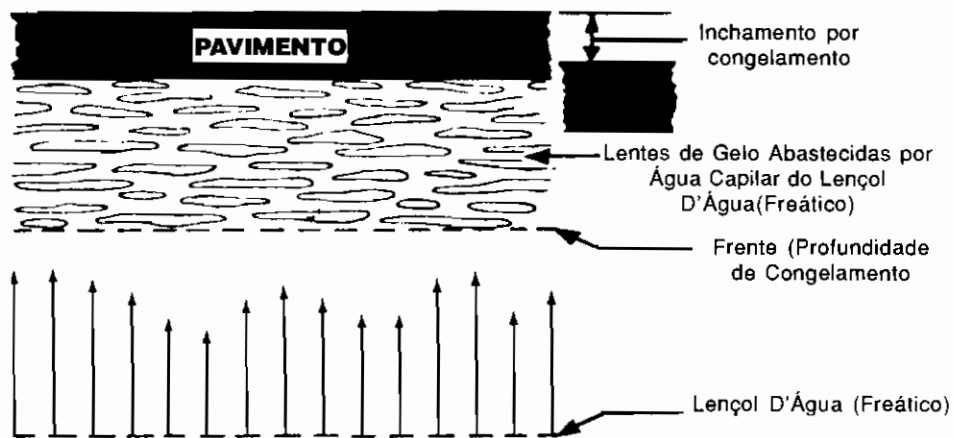


Figura 10.22 O Inchamento por congelamento é causado por lentes de gelo formadas abaixo da estrutura do pavimento

elimina inchamentos desiguais, embora toda a estrada possa inchar e romper-se.

Mesmo que todos os cuidados sejam tomados, ainda assim pode ocorrer uma forma generalizada de inchamento. Frequentemente, acumula-se o gelo entre a base granular e a camada asfáltica. A causa provável é a migração de vapor d'água das áreas quentes e profundas, dirigidas às camadas superficiais mais frias. A súbita mudança de permeabilidade ao atingir a camada asfáltica restringe o fluxo de vapor d'água causando sua condensação e congelamento.

Algumas vezes a lente de gelo firma-se logo abaixo da camada asfáltica. A melhor maneira de evitar que isto ocorra é pela implementação da pavimentação asfáltica de espessura plena.

(b) Degelo Primavera

O pior aspecto da ação de gelo é o enfraquecimento do subleito durante o período de degelo. As condições críticas de solo e umidade quanto ao inchamento são igualmente severas quanto aos danos de degelo. A maior perda de suporte de subleito dá-se quando o outono é seguido de um inverno com muitos ciclos de gelo-degelo e logo de um rápido degelo primaveril.

Outro efeito adverso do degelo primaveril pode ocorrer em bases granulares sobre solos de subleito de granulação fina. Os finos são carregados para a base granular, que de material satisfatório transforma-se num de baixa capacidade de suporte. Podem ser convenientes, nestas condições, um colchão de areia de filtro de, aproximadamente, 150 mm de espessura, ou um tecido filtrante.

Visto que a ação do gelo por vezes estende-se ao subleito, as fases de inchamento e de degelo, ambas, levam, frequentemente, ao trincamento do pavimento e da superfície. Portanto, o preenchimento das trincas de modo a afastar a água da base e do subleito constitui uma tarefa anual de manutenção importante. Como se mostrou sob o título de "Inchamento por Congelamento", os defeitos do degelo primaveril podem ser reduzidos pelo uso de pavimento de asfalto de espessura plena e pela manutenção de drenagem adequada.

Geotexteis

Os geotexteis são manufaturados com diversos materiais, tais como polipropileno, poliéster, náilon, polietileno, e cloreto de polivinilideno. O papel desses produtos como filtros é o de permitir a remoção da água do solo sem o aparecimento de forças de percolação ou pressões excessivas na água. O tecido também deve evitar a erosão interna do solo. Nesta aplicação, a água escoar pelo filtro para um meio condutor da água, usualmente uma trincheira preenchida com agregado de drenagem selecionado e um tubo perfurado ou fendilhado, o qual remove rapidamente a água.

O emprego de geotexteis na drenagem subsuperficial pode ser dividida nas três aplicações gerais que seguem.

(a) Drenos de Trincheira

Os geotexteis são usados como um manto que envolve o agregado de tamanho uniforme na trincheira. Este dispositivo evita que o solo se desloque para o interior vindo a obstruir as pedras enquanto deixa passar a água pelo geotextil. Um sistema mais eficiente se obtém com tubos de drenagem no fundo da trincheira que o agregado preenche, em vez de confiar apenas na porosidade do agregado para escoar o runoff.

(b) Invólucros de Tubos de Drenagem

Os geotexteis também podem ser usados como filtros envolvendo tubos de drenagem, especialmente na drenagem subsuperficial em solos arenosos e pedregulhosos. Na presença de solos finos como as argilas siltosas, este tipo de subdreno tem sua eficiência reduzida.

(c) Drenagem da Camada de Base

Os tecidos têm sido empregados com sucesso em substituição a filtros de agregado para impedir a migração de finos para as camadas de agregados não-tratados. Neste tipo de instalação, o tecido evita o crescimento de pressões hidrostáticas e de percolação.

No projeto de sistemas de drenagem subsuperficial, os geotexteis consistem numa alternativa a considerar. Devido a relativa facilidade de instalação quando comparada à colocação, numa trincheira, de um agregado de filtro e um agregado grosso, em camadas separadas sem contaminação, o filtro de geotextil pode ser mais justificável economicamente. Uma descrição mais pormenorizada do uso de geotexteis está apresentada num relatório preparado pela Administração Federal de Rodovias, FHDA/RD - 80/021.

Construção

Canais de Drenagem

A drenagem eficiente durante a construção, elimina freqüentemente, os atrasos custosos, bem como defeitos futuros que resultem de subleitos saturados. Os canais de drenagem devem ser construídos cedo nas operações de regularização do subleito antes que ocorram danos devido à erosão. Deve-se proteger os taludes da erosão tão cedo quanto possível para diminuir o risco de o solo erodido fechar os canais e estruturas de drenagem existentes ou recém-construídas. Um modo eficaz de dar proteção é o tratamento de palha asfaltada ou o espargimento de película asfáltica.

Os canais revestidos de concreto asfáltico devem ter o acabamento no greide e seções transversais especificados. Devem apresentar a espessura especificada, com a tolerância de até 15 por cento. Os revestimentos devem ser tão espessos quanto necessário para o uso e as tensões envolvidas, porém a experiência prática indica o valor mínimo especificado de espessura acabada de 50 mm.

Os taludes devem ser tão suaves quanto o permitam outros requisitos de construção, sendo o valor máximo de 1,5 :1 permitido até 3 m de profundidade.

Deve-se limpar o subleito de todo material orgânico ou solto. Se as condições favorecerem o crescimento de ervas daninhas ou outras plantas no subleito, torna-se necessário tratar o solo com um esterilizante antes de aplicar o revestimento asfáltico.

Deve-se compactar o solo suficientemente para que adquira estabilidade, especialmente nos taludes laterais. Deve-se, também, apará-lo sempre que necessário, antes, durante e após a compactação para que fique liso e uniforme.

Instalações de Tubos

A fim de que os sistemas de drenagem operem tal como foram projetados, todas as valas, os canais e as trincheiras devem ser escavados obedecendo-se ao alinhamento e greide. O quadrante inferior do cilindro do tubo deve ser plena e uniformemente apoiado numa fundação estável. É de boa prática escavar-se uns poucos milímetros abaixo da linha de greide e usar um material como o pedregulho, pedra britada, e areia como berço do tubo. A Figura 10.23 mostra berços típicos de tubos.

Todas as juntas devem encaixar-se firmemente e serem alinhadas e centradas. Os tubos devem ser unidos de acordo com as recomendações dos fabricantes.

A resistência de qualquer tipo de drenagem é, em grande parte, dependente de um adequado reaterro. Para que se obtenha a máxima capacidade de carga e se evite o arrasto e recalque, é preciso que reaterro seja de material de boa qualidade, corretamente colocado e cuidadosamente compactado em camadas de 150 mm uniformemente em ambos os lados do tubo. No caso de tubos de menos de 300 mm de diâmetro, a primeira camada não deve ser mais espessa do que metade do diâmetro do tubo. Este método de reaterro deve prosseguir até um ponto a, pelo menos, 300 mm acima do topo do tubo. Acima deste ponto, as camadas não devem exceder 200 mm e devem ser compactadas até a densidade requerida.

Construção de Trincheira Drenante

A construção de trincheiras drenantes é influenciada pelas condições locais como o tipo de solo e a quantidade de água presente, bem como a função que o dreno deve exercer. Se possível o dreno deve ser projetado de modo a ser de fácil construção com o equipamento normalmente disponível numa obra.

No caso de drenos rasos, de 0,3 a 0,6 m de profundidade – destinados a retirar a água da camada de base ou de uma camada drenante sob o pavimento - o uso de uma trincheira em V é geralmente o mais prático. Esta forma é a que mais de perto atende o padrão de escoamento da água a ser removida, e facilita

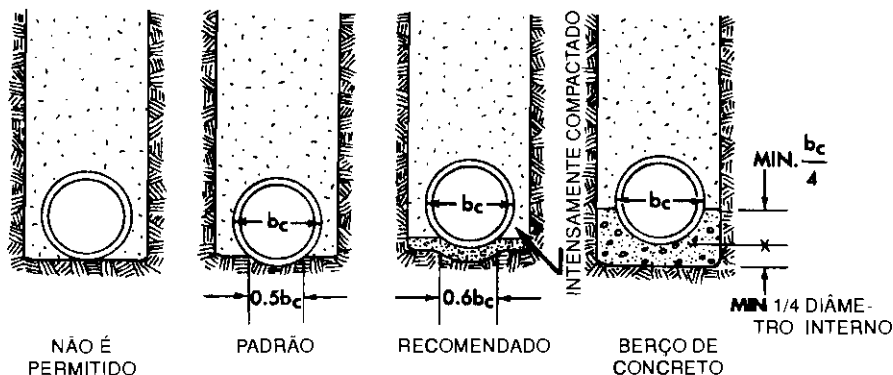


Figura 10.23 Berços Típicos das Tubulações em Trincheiras.

a colocação do tubo e do material de reaterro. É este procedimento especialmente válido quando se prevê um dreno de duas camadas. A trincheira em V também é necessária nos aquíferos em areia pois que este material não resiste a taludes íngremes. A trincheira pode ser construída com uma motoniveladora - um item de equipamento de que se dispõe normalmente.

No caso de drenos profundos projetados para interceptar água de uma camada permeável, ou rebaixar água num solo uniforme, a trincheira de paredes verticais (porque exige menos escavação) será mais econômica. O escoamento é, entretanto, necessário em formações instáveis caso a profundidade for superior a 0,6 a 0,9 m. Se for necessário um dreno de duas camadas, sua colocação manual é recomendada para evitar a mistura dos dois materiais.

Verificação da Drenagem Subsuperficial Durante a Construção

Independentemente dos cuidados tidos nas investigações preliminares, levantamentos de solos e no projeto da estrada, não é, em geral, possível determinar exatamente a partir de sondagens a cota do estrato aquífero e a velocidade do fluxo que se desenvolve. Por isto, é essencial que a necessidade e a adequação de qualquer drenagem indicada nas plantas seja continuamente avaliada.

Não se deve ignorar as variações sazonais da percolação comum em várias áreas, mas realizar um estudo cuidadoso da estrada. A consideração dos aspectos geológicos serão geralmente de valia nesta avaliação. Normalmente, a percolação em estratos profundos é menos afetada por variações sazonais do que a drenagem nos níveis inferiores de terraços de cascalho expostos na superfície.

Todas as áreas úmidas, moles e esponjosas que se encontram no greide devem ser investigadas e providências tomadas para sua drenagem adequada. Mesmo quando a velocidade de percolação é pequena, pode haver acúmulo de grande quantidade de água num curto período de tempo, se não for providenciado um meio de escoamento.

Capítulo 11

Projeto Estrutural de Pavimentos Asfálticos

A compreensão dos princípios do projeto de estruturas de pavimentos asfálticos, seja de rodovias ou de aeroportos, é do interesse de todos os que trabalham em projeto, construção e manutenção de pavimentos. O procedimento que aqui se descreve baseia-se numa aplicação da teoria da elasticidade ao projeto de pavimentos que utiliza os resultados de pesquisa hoje aceitos, os progressos na tecnologia da pavimentação asfáltica, o conhecimento existente sobre as propriedades dos materiais e a demanda atual de nossos sistemas de transportes.

SEÇÃO 11.1 Fundamentos do Projeto de Pavimentos

- Estrutura do Pavimento Asfáltico
- Pavimento Asfáltico de Espessura Plena

SEÇÃO 11.2 Métodos de Projeto Estrutural

- Procedimentos Geral
- Módulo de Resiliência do Subleito

SEÇÃO 11.3 Análise do Tráfego e Dimensionamento - Rodovias

- Análise do Tráfego
- Dimensionamento

SEÇÃO 11.4 Análise do Tráfego e Dimensionamento - Aeródromos

- Análise das Aeronaves
- Dimensionamento

SEÇÃO 11.5 Análise do Tráfego e Dimensionamento - Cargas de Roda Pesadas

- Análise dos Veículos
- Dimensionamento

SEÇÃO 11.6 Construção Planejada por Etapas

- Vantagens
- Abordagem do Projeto

SEÇÃO 11.7 Projeto de Reforço de Pavimento

- Avaliação da Capacidade Estrutural
- Análise da Espessura Efetiva
- Dimensionamento de Reforço

BIBLIOGRAFIA

1. Dimensionamento - Pavimentos Asfálticos de Rodovias e Ruas ("Thickness Design - Asphalt Pavements for Highways and Streets"), MS-1, 9ª edição, Asphalt Institute.
2. Dimensionamento - Pavimentos Asfálticos de Aeroportos de Carga Aérea ("Thickness Design - Asphalt Pavements for Air Carrier Airports"), MS-11, 3ª edição, Asphalt Institute.
3. Dimensionamento - Pavimentos Asfálticos para Cargas de Rodas Pesadas ("Thickness Design - Asphalt Pavements for Heavy Wheel Loads"), MS-23, 1ª edição, Asphalt Institute.
4. Reforços Asfálticos para a Reabilitação de Rodovias e Ruas ("Asphalt Overlays for Highway and Street Rehabilitation"), MS-17, 2ª edição, Asphalt Institute.
5. Yoder, E. J., Witczak, M. W., Princípios do Projeto de Pavimentos ("Principles of Pavement Design"), 2ª edição, 1975, John Wiley & Sons, Inc.

SOFTWARE DE COMPUTADORES

1. Programa de Computação DAMA ("Computer Program DAMA"), CP-1, Asphalt Institute.
2. Programa de Computação Carga de Roda Pesada ("Computer Program Heavy Wheel Load"), CP-2, Asphalt Institute.
3. Programa de Computação Aeroporto, CP-3, Asphalt Institute.
4. Dimensionamento de Pavimentos Asfálticos para Rodovias e Reforços ("Asphalt Design Thickness for Highways & Overlays"), CP-4, Asphalt Institute.
5. Análise de Custos dos Ciclos de Vida ("Life Cycle Cost Analysis"), CP-5, Asphalt Institute.

11.1. Fundamento do Projeto de Pavimentos

O projeto econômico e adequado de uma estrutura de pavimento é tão importante quanto o de qualquer outra estrutura de engenharia. Os pavimentos subdimensionados rompem-se prematuramente, gastando-se mais recursos financeiros para consertá-los. O desperdício de um superdimensionamento, ou a seleção de materiais que não são os mais econômicos e adequados para o projeto, contrariam os padrões da boa engenharia e depauperam orçamentos limitados.

Estrutura do Pavimento Asfáltico

A estrutura do pavimento asfáltico consiste em camadas de misturas de agregado - asfalto acrescida de quaisquer camadas granulares não tratadas entre aquelas e o subleito. A fim de diminuir as probabilidades de problemas de manutenção futuros, o que há de mais econômico a fazer é nivelar e compactar o solo de fundação de modo correto antes de construir o pavimento. Os requisitos de densidade são variáveis, conforme se trate de estradas, aeródromos ou vias de cargas de roda pesadas. Portanto, os manuais de projeto específicos devem ser checados em vista dos níveis recomendados de preparação de subleito a serem seguidos.

É o subleito que em última análise, suporta todas as cargas do tráfego. Portanto, o pavimento exerce a função estrutural de suportar a carga da roda que atua na superfície do pavimento e de espalhar e transferir esta carga ao subleito sem que se exceda a resistência do subleito e a resistência intrínseca do próprio pavimento (Figura 11.1a).

Vê-se na Figura 11.1a, a carga de roda, W , atuante na superfície do pavimento através do pneumático a uma pressão P_0 aproximadamente uniforme. O pavimento é, então, responsável pela distribuição da carga da roda sobre uma área maior do subleito, de modo que a pressão máxima do subleito seja de, apenas, P_1 . Quando se envolvem convenientemente os materiais do pavimento e se tem uma espessura adequada de pavimento, a pressão P_1 será suficientemente pequena que possa ser suportada pelo subleito. A Figura 11.1b mostra como se apresenta, em geral, o decréscimo da pressão vertical máxima com a profundidade, de P_0 a P_1 .

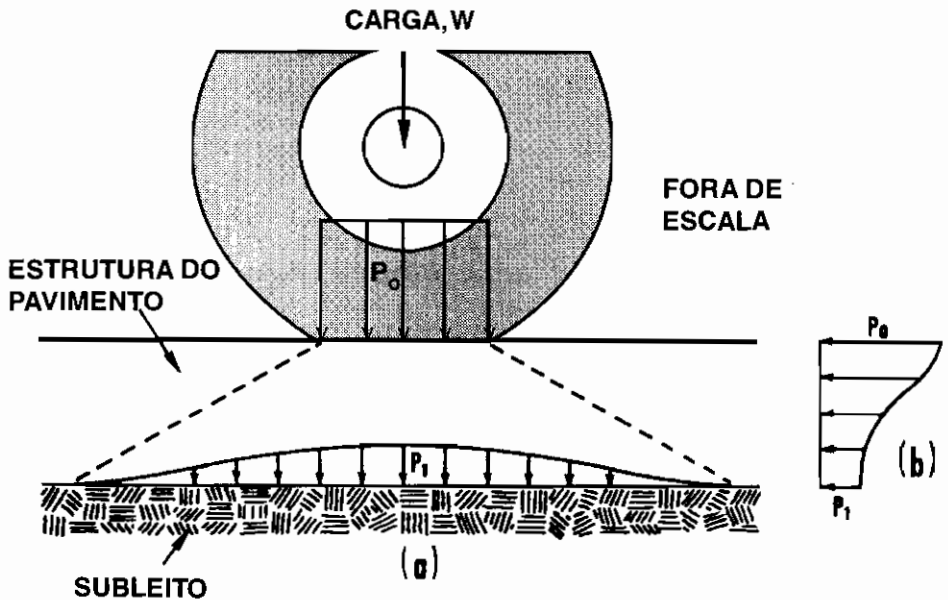
Pavimento Asfáltico de Espessura Plena

O pavimento asfáltico de espessura plena é constituído por misturas em todas as camadas acima do subleito ou do subleito melhorado (reforço de subleito). As camadas de base tratadas pelo asfalto são colocadas diretamente sobre o subleito.

Os pavimentos asfálticos de espessura plena têm muitas vantagens, sendo uma das principais a capacidade de resistir às tensões do pavimento (Figura 11.2). Na Figura 11.2, vê-se a carga W provocando a deflexão da estrutura do pavimento e

gerando tensões tanto de tração como de compressão. As misturas de agregado - asfalto resistem a estas tensões muito melhor do que as camadas de agregado não tratado, que não têm resistência à tração. Portanto, as bases de asfalto espraia a carga da roda sobre uma área mais larga do que as granulares não tratadas e, como resultado, exigem menores espessuras da estrutura do pavimento.

Além do mais, os pavimentos asfálticos de espessura plena apresentam outras vantagens como a resistência aos efeitos destrutivos da umidade decorrente das águas subterrâneas, a construção mais rápida e fácil. Nas obras de alargamento em que se deve manter a circulação de veículos nas pistas adjacentes, o pavimento asfáltico de espessura plena é particularmente vantajoso. Pela sua simplicidade e rapidez de execução a construção asfáltica de plena espessura traz redução dos gastos de controle do tráfego e menores interrupções para os usuários e o comércio local.



Figuras 11.1 Espalhamento da Carga da Roda pela Estrutura do Pavimento

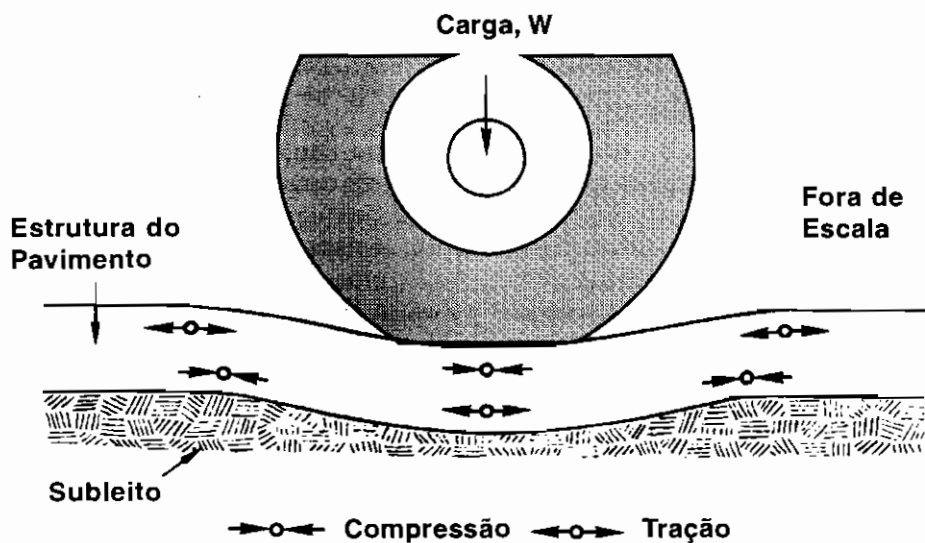


Figura 11.2 Resultados de Deflexões de Carga de Roda em Tensões de Tração e Compressão na Estrutura do Pavimento.

11.2 Métodos de Projeto Estrutural

Procedimento Geral

Os procedimentos de projeto descrito neste capítulo são utilizados na determinação da espessura de estruturas de pavimento constituídas de revestimentos de concreto asfáltico, revestimentos a emulsão asfáltica (em tratamentos superficiais) sobre base de concreto asfáltico, base a emulsão asfáltica e bases e sub-bases de agregado não tratado. Os passos usuais em cada procedimento de ensaio são:

1. Selecionar e determinar os dados do subleito, M_r
 - (a) módulo de resiliência do subleito, M_r
 - (b) tráfego previsto
 - (c) tipos de material de revestimento e base (relativo aos capítulos)
 - (d) climático (condições de temperatura e drenagem)
2. Determinar as espessuras de projeto para as condições específicas descritas nos dados de entrada.
3. Preparar o projeto de construção por etapas, se conveniente. (ver “Construção por Etapas”, neste capítulo).
4. Realizar uma análise econômica das várias soluções a que se chegou no projeto.
5. Selecionar a seção transversal do projeto final.

Os pormenores destas etapas variam com o tipo de tráfego que o pavimento suporta, isto é, rodovias, aeródromos e cargas muito pesadas. Este capítulo dará destaque ao procedimento a ser usado em cada uma destas situações, contudo, o manual respectivo relacionado na bibliografia deve ser consultado para maiores informações.

Módulo de Resiliência do Subleito

Um dos fatores mais importantes em qualquer projeto de pavimento é a resistência do subleito. Os procedimentos de projeto que se discute neste Capítulo baseiam-se no uso do módulo resiliente, M_r , na caracterização da resistência do subleito. O método de ensaio do módulo de resiliência é abordado no Capítulo 10 e no Manual de Solos, MS-10 do Asphalt Institute.

O módulo resiliente, M_r , pode ser estimado a partir de dados de ensaios de Índice de Suporte Califórnia, prova de carga de placa e Resistência Hveem (valor R). Os procedimentos de realização desses ensaios são, também, descritos no Capítulo 10 e no Manual de Solos, MS-10. Os valores aproximados de M_r são obtidos como segue. Note-se que estas relações não se aplicam a materiais granulares (agregados) de base.

Os módulo de resiliência do subleito podem ser obtidos, aproximadamente, dos valores de ensaio CBR de acordo com a relação:

$$M_r \text{ (MPa)} = 10,3 \text{ CBR}$$

$$M_r \text{ (lb/po}^2\text{)} = 1500 \text{ CBR}$$

O módulo resiliente do subleito pode ser determinado aproximadamente com o

valor do ensaio de suporte de placa utilizando-se o gráfico de correlação, Figura 11.3.

O módulo resiliente do subleito pode ser determinado aproximadamente com os resultados de ensaio de valor R, pelas relações

$$M_r \text{ (MPa)} = 8,0 + 3,8 \text{ (Valor R)}$$

$$(M_r \text{ (lb/pol}^2\text{)}) = 1500 + 555 \text{ (Valor R)}$$

A fim de determinar o M_r indicado para o projeto recomenda-se que se obtenham, no mínimo, seis a oito valores de ensaio, dependendo da importância da obra, e que este procedimento seja usado na determinação do módulo resiliente de projeto do subleito, M_r :

1. Ensaar de seis a oito amostras do subleito. Determinar M_r ou converter o CBR, o valor de Ensaio de Placa ou o valor R no valor do módulo resiliência do subleito.

2. Arrumar todos os valores de ensaios em ordem numérica.

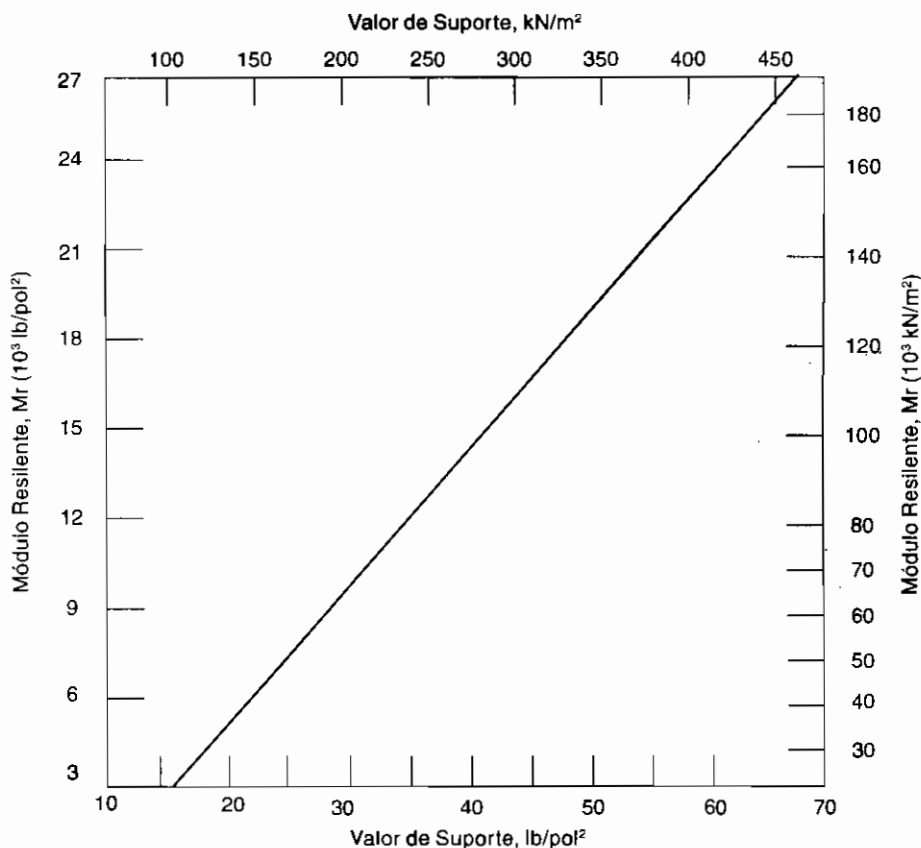


Figura 11.3 Relações Aproximadas entre Valor de Suporte de Ensaio de Placa e Módulo Resiliente (M_r)

3. Para cada novo valor de ensaio, a começar pelo mais baixo, calcular a percentagem do número total de valores que são iguais ou maiores que este valor.

4. Plotar os resultados em papel milimetrado.

5. Desenhar uma curva suave ajustada pelos pontos marcados. (Nota: se os dados de ensaio forem bem distribuídos a curva terá a forma de S e o valor 50 - percentil deve ficar perto da média dos dados.)

6. Ler na curva o valor de resistência do subleito no valor percentil apropriado de projeto, mostrado na Tabela 11.1. Este é o valor de projeto da resistência do subleito.

Tabela 11.1 Limites de Projeto para Subleito

Tipo de Obra	Nível de Tráfego	Percentil de Projeto para o Subleito Valor, Percentagem
Rodovia (EAL)	10^4 ou menos	60
	Entre 10^4 e 10^6	75
	10^6 ou mais	87,5
Aeroporto	Todos	85
Cargas Pesadas	Todos	85

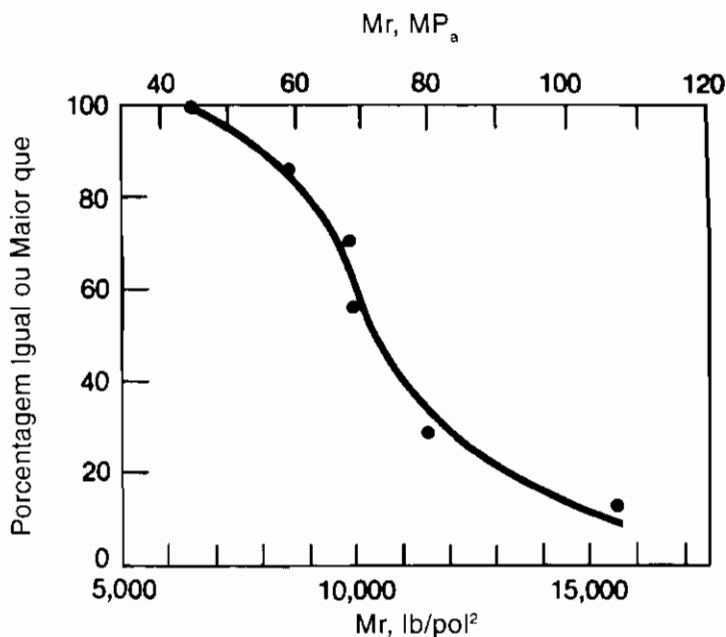
Exemplo - Determinar o Módulo Resiliente de Projeto do subleito para as condições que seguem.

1. Carga de Eixos Equivalente ("Equivalent Axle Load" - EAL) do Tráfego para projeto = 10^4 , 10^5 e 10^6 .

2. Os resultados de sete ensaios forneceram os seguintes valores de módulo resiliente do subleito : 44,8 - 58,6 - 67,6 - 68,3 - 68,3 - 80,0 - 106,9 MPa (6.500 - 8.500 - 9.800 - 9.900 - 9.900 - 11.600 - 15.500 lb/pol²).

3. Os valores de percentis foram calculados como segue:

Valores de Ensaio		Porcentagem Igual ou Maior que
MPa	lb/pol²	
44.8	6,500	100
58.0	8,500	86
67.0	9,800	71
68.3	9,900	57
68.3	9,900	57
80.0	11,600	29
106.9	15,500	14



4. Marcar os valores dos ensaios contra a percentagem igual ou maior, indicados acima.
5. Os valores de Mr do subleito para o projeto foram selecionados do gráfico acima e resumidos abaixo:

EAL	Valor Percentil	Mr de Projeto do Subleito	
	de Projeto	MPa	lb/pol ²
10 ⁴	60	69,0	10.000
10 ⁵	75	64,1	9.300
10 ⁶	87,5	56,9	8.250

11.3 Análise de Tráfego e Dimensionamento - Rodovias

Análise de Tráfego

Estimativa e Avaliação do Tráfego

Obviamente, quando se constrói um novo pavimento (que vai ter início) não se dispõe de dados de tráfego que se apliquem diretamente. O projetista fica, então, na dependência de estudos de tráfego de estradas semelhantes e estudos de planejamentos locais ou regionais que possam ajudar no projeto.

A análise de tráfego empregada neste procedimento exige que se determine o número de veículos de diferentes tipos, tais como automóveis, ônibus, caminhões simples e caminhões com reboques de que se tem a expectativa de usarem a via. Fazem-se contagens classificatórias do tráfego periódicas em determinadas estradas, a Administração Rodoviária Federal dos Estados Unidos, órgãos rodoviários estaduais e outras agências. Estas informações devem ser postas à disposição dos interessados e usadas no projeto estrutural de pavimentos.

Quando não se dispõe de dados classificatórios, podem ser feitas estimativas pela Tabela 11.2. Esta tabela é de dados compilados de contagens de caminhões pelos Estados e pela Administração Rodoviária Federal dos Estados Unidos.

Tabela 11.2 Distribuição Média dos caminhões em diferentes Classes de Rodovias - EUA¹

Tipo de Veículo	Percentual de Caminhões ²					
	Sistemas Rurais			Sistemas Urbanos		
	Inter-estadual	Outras Principais	Via Arterial Menor	Inter-estadual	Outras Expressas	Outras Principais
Caminhões de Unidade Simples						
2 eixos, 4 pneus	43	60	71	52	66	67
2 eixos, 6 pneus	8	10	11	12	12	15
3 eixos ou mais	2	3	4	2	4	3
Todos os Caminhões Simples	53	73	86	66	82	85
Trator semi-trailer						
4 eixos ou menos	5	3	3	5	5	3
5 eixos ³	41	23	11	28	13	12
6 eixos ou mais ³	1	1	<1	1	<1	<1
Todas as Unidades Múltiplas	47	27	14	34	18	15
Todos os Caminhões	100	100	100	100	100	100

¹ Coligido de dados fornecidos pela Divisão de Estatística de Rodovias, Administração Rodoviária Federal dos Estados Unidos.

² Existem casos individuais que podem diferir destes valores de 50 por cento ou mais

³ incluem combinações de trailers em alguns Estados

A faixa de tráfego de projeto é a faixa que tem o maior número esperado de caminhões. Tanto pode ser uma faixa da estrada de duas faixas como a faixa externa de uma rodovia de faixas múltiplas. Na ausência de dados específicos, pode-se usar a Tabela 11.3 para determinar a proporção relativa de caminhões que se espera ocorrer na faixa de projeto.

Tabela 11.3 Porcentagem do Tráfego Total de Caminhões na Faixa de Projeto

Número de Faixas de Tráfego (Dois Sentidos)	Porcentagem de Caminhões na Faixa de projeto
2	50
4	45 (35-48) ¹
6 ou mais	40 (25-48) ¹

¹ Faixa Provável

Cargas do Tráfego

O tráfego das rodovias e ruas varia tanto em número de veículos com em intensidade das cargas. Os limites de cargas de rodas legais variam entre os Estados e também variam para diferentes classes de estradas dentro de vários Estados. Os padrões do tráfego também variam e as mudanças freqüentes decorrem dos desenvolvimentos de uso do solo. As condições de tráfego presente e futuro, portanto, não podem ser estabelecidas com precisão.

Não obstante, os efeitos cumulativos das cargas do tráfego são fatores muito importantes do projeto estrutural de um pavimento. Tanto as condições iniciais do tráfego como o modo esperado de suas mudanças, devem ser avaliados. Devido à variedade infinita de condições de tráfego, seus efeitos cumulativos devem basear-se em algum denominador comum para o uso prático num método de projeto de pavimento. Os procedimentos esboçados nesta seção são baseados nas repetições de carga de eixo equivalente ("EAL") como denominador comum.

O efeito no desempenho do pavimento de qualquer combinação de cargas de eixos de intensidade variáveis é equacionado como o número de cargas de eixo simples de 80 kN necessárias para produzir o efeito equivalente. Este é conhecido como o número de cargas de eixo simples de 80 kN equivalente ("EAL").

O número de aplicações de cargas de eixo simples de 80 kN equivalente a uma passagem de um único veículo chama-se de Fator de Caminhão.

Apresentam-se na Tabela 11.4 valores médios de Fator de Caminhão para uma variedade de classes de caminhões e rodovias dos Estados Unidos.

Crescimento do Tráfego

Os pavimentos devem ser projetados de modo a servir à necessidade do tráfego adequadamente por alguns anos. O crescimento do tráfego, portanto, deve ser previsto quando se determinam os requisitos estruturais do pavimento. A história do crescimento do tráfego em vias comparáveis, junto com os programas de planejamento regional e local, fornecem a base da estimativa. O crescimento global parece não diferir muito entre as rodovias urbanas e rurais. Contudo, como o percentual de crescimento médio baseia-se no total de veículos - quilômetros que circularam, é aconselhável, por vezes, se possível, separar as porcentagens de crescimento de caminhões e automóveis.

TABELA 11.4 Fatores de Caminhões (“TF”), Médios para Diferentes Classes de Rodovias e Veículos – (EUA¹)

Tipo de Veículo	Fatores de Caminhões ²					
	Sistemas Rurais			Sistemas Urbanos		
	Inter-estadual	Outras Principais	Via Arterial Menor	Inter-estadual	Outras Expressas	Outras Principais
Caminhões de Unidades Simples						
2 eixos, 4 pneus	0.003	0.003	0.003	0.002	0.015	0.002
2 eixos, 6 pneus	0.21	0.25	0.28	0.17	0.13	0.24
3 eixos ou mais	0.61	0.86	1.06	0.61	0.74	1.02
Todos os Caminhões Simples	0.06	0.08	0.08	0.05	0.06	0.09
Tratores semi-tratores caminhões trucados						
4 eixos ou menos	0.62	0.92	0.62	0.98	0.48	0.71
5 eixos ³	1.09	1.25	1.05	1.07	1.17	0.97
6 eixos ou mais ³	1.23	1.54	1.04	1.05	1.19	0.90
Todos os Caminhões Combinados	1.04	1.21	0.97	1.05	0.96	0.91
Todos os Caminhões	0.52	0.38	0.21	0.39	0.23	0.21

1 Coligido de dados fornecidos pela Divisão de Estatística de Rodovias, Administração Rodoviária Federal dos Estados Unidos.

2 Existem casos individuais que podem diferir destes valores de 50 por cento ou mais

3 incluem combinações de trailers em alguns Estados

O crescimento normal por ano nos Estados Unidos é de 3 a 5 por cento. Contudo, novas vias e novos desenvolvimentos podem gerar taxas de crescimento maiores. Sugeriram-se valores de 4 a 9 por cento para as rodovias em zonas rurais e de 8 a 10 por cento em algumas rodovias do Sistema Interestadual dos E.U.A. Ao se aplicarem os fatores de crescimento, deve-se cuidar de que a capacidade não seja excedida. Este crescimento impossível poderia resultar num projeto desnecessariamente conservador.

O crescimento pode ser levado em conta no projeto usando-se os Fatores de Crescimento dados na Tabela 11.5. Estes fatores multiplicados pela estimativa do tráfego do primeiro ano fornecem o volume total de tráfego esperado no período de projeto.

O período de projeto é o número de anos desde a abertura inicial ao tráfego até o primeiro recobrimento da superfície ou reforço.

O período de projeto não deve ser confundido com a vida do pavimento. Esta pode ser estendida indefinidamente pela adição de reforço asfáltico quando exigido, ou até que outros fatores tornem o pavimento obsoleto.

Determinação de EAL de Projeto

Os passos seguintes esboçam o procedimento para a determinação do EAL de Projeto.

1. Determinar o número médio de cada tipo de veículo esperado na faixa do projeto durante o primeiro ano de tráfego.

2. Selecionar na Tabela 11.4 o Fator de Caminhão para cada tipo de veículo encontrado no passo 1.

3. Selecionar na Tabela 11.5, um Fator de caminhão simples de todos os veículos ou Fatores separados para cada tipo de veículo, como for mais conveniente.

4. Multiplicar o número de veículos de cada tipo (passo 1) pelo Fator de Caminhão e o Fator (ou Fatores) de Crescimento, determinados nos passos 2 e 3.

5. Somar os valores determinados no passo 4 para obter o EAL de Projeto.

A Figura 11.4 mostra o exemplo de uma planilha com o cálculo do EAL de Projeto de uma rodovia rural de duas faixas, conforme o procedimento aqui esboçado.

Tabela 11.5 Fatores de Crescimento ¹

Período de Projeto 1, Anos (n)	Taxa de Crescimento Anual, por cento							
	Sem Crescimento	2	4	5	6	7	8	10
1	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
2	2.0	2.02	2.04	2.05	2.06	2.07	2.08	2.10
3	3.0	3.06	3.12	3.15	3.18	3.21	3.25	3.31
4	4.0	4.12	4.25	4.31	4.37	4.44	4.51	4.64
5	5.0	5.20	5.42	5.53	5.64	5.75	5.87	6.11
6	6.0	6.31	6.63	6.80	6.98	7.15	7.34	7.72
7	7.0	7.43	7.90	8.14	8.39	8.65	8.92	9.49
8	8.0	8.58	9.21	9.55	9.90	10.26	10.64	11.44
9	9.0	9.75	10.58	11.03	11.49	11.98	12.49	13.58
10	10.0	10.95	12.01	12.58	13.18	13.82	14.49	15.94
11	1.0	12.17	13.49	14.21	14.97	15.78	16.65	18.53
12	12.0	13.41	15.03	15.92	16.87	17.89	18.98	21.38
13	13.0	14.68	16.63	17.71	18.88	20.14	21.50	24.52
14	14.0	15.97	18.29	19.16	21.01	22.55	24.21	27.97
15	15.0	17.29	20.02	21.58	23.28	25.13	27.15	31.77
16	16.0	18.64	21.82	23.66	25.67	27.89	30.32	35.95
17	17.0	20.01	23.70	25.84	28.21	30.84	33.75	40.55
18	18.0	21.41	25.65	28.13	30.91	34.00	37.45	45.60
19	19.0	22.84	27.67	30.54	33.76	37.38	41.45	51.16
20	20.0	24.30	29.78	33.06	36.79	41.00	45.76	57.28
25	25.0	32.03	41.65	47.73	54.86	63.25	73.11	98.35
30	30.0	40.57	56.08	66.44	79.06	94.46	113.28	164.19
35	35.0	49.99	73.65	90.32	111.43	138.24	172.32	271.02

¹ Fator $\frac{(1+r)^n - 1}{r}$, onde $r = \frac{\text{Taxa}}{100}$ e não é nulo

Se o crescimento Anual for nulo, Fator crescimento = Período de projeto

Localização: Rodovia Rural Interestadual de Quatro Faixas				Período de Projeto: 20 anos			
Tipo de Veículo	Números de Veículos por ano 1*	Fator de caminhão 2	Fator de crescimento de 4% 3	"EAL" (1x2x3) 4			
Caminhões Simples							
2-eixos, 4-rodas	84.700	x 0.003	x 29.8	=	7.600		
2-eixos, 6-rodas	15.800	x 0.21	x 29.8	=	98.900		
3-eixos ou mais	4.000	x 0.61	x 29.8	=	72.700		
Todos os caminhões simples	104.500		Subtotal		179.200		
Caminhão trucado, semi-trailer, tratores e combinações							
4-eixos ou menos	9.800	x 0.62	x 29.8	=	181.100		
5-eixos	80.800	x 1.09	x 29.8	=	2.624.500		
6-eixos ou mais	2.000	x 1.23	x 29.8	=	73.300		
Todos os caminhões trucados etc	92.600		Subtotal		2.878,900		
Todos os caminhões	197.100	EAL de Projeto = Total			3.058,100		
"ADDT" (Tráfego médio diário anual) = 5.000 durante o primeiro ano de tráfego, com 45 por cento na faixa de projeto, sendo 24 por cento de caminhões.							

Figura 11.4 Exemplo de Planilha de Cálculo para a Análise de Tráfego

Dimensionamento

Gráficos de Dimensionamento

O Manual de Dimensionamento ("Thickness Design Manual") (MS-1) do Asphalt Institute contém vários gráficos de dimensionamento para os perfis seguintes.

1. Concreto Asfáltico de Espessura Plena

2. Misturas a Emulsão Asfáltica:

Tipo I - Misturas a emulsão asfáltica preparadas com agregados densamente graduados e processados.

Tipo II - Misturas a emulsão asfáltica preparadas com agregados: semi - processados, de brita corrida, e de escavações e terraços, corridos.

Tipo III - Misturas a emulsão asfáltica preparadas com areias e areias siltosas.

3. Base de Agregado Não - Tratado, de 150 mm e 300 mm.

Os gráficos de 1 a 6 (Figuras 11.5 a 11.10) são exemplos de gráficos de dimensionamento de pavimentos de concreto asfáltico de espessura plena, revestimentos a emulsão asfáltica tipo II, e base de agregado não - tratado de 150 mm de espessura. Estes gráficos fornecem as espessuras de projeto necessárias como função do módulo de projeto do subleito, M_r , e o número de eixos de carga equivalente (EAL) para condições climáticas médias [temperatura anual média do ar de 15,5°C].

O método de projeto também está disponível na forma de programa de computador (CP-4) do Asphalt Institute.

Determinação de Espessura

Os gráficos de dimensionamento podem ser usados para determinar a espessura de um único tipo de base, ou de vários tipos de bases para comparar custos. Portanto, podem ser feitas uma ou mais determinações de espessura, como seguem:

1. Pavimentos de concreto asfáltico de espessura plena,

2. Pavimentos de base a emulsão asfáltica com revestimento de concreto asfáltico,

3. Pavimentos de concreto asfáltico e base de agregados não - tratados, e

4. Pavimentos de misturas a emulsão asfáltica e base de agregado não - tratados.

Todos os gráficos de dimensionamento incluem uma espessura mínima de camada superficial de concreto asfáltico. As demais camadas asfálticas compõem-se de base de concreto asfáltico ou misturas a emulsão asfáltica. As misturas de concreto asfáltico de revestimento e bases que atendam os critérios de dosagem da mistura, recomendados, têm propriedades estruturais semelhantes. Entretanto, para que se obtenha durabilidade suficiente é preciso que as espessuras mínimas das Tabelas 11.6 e 11.7 satisfaçam os critérios de dosagem de misturas de camadas de superfície.

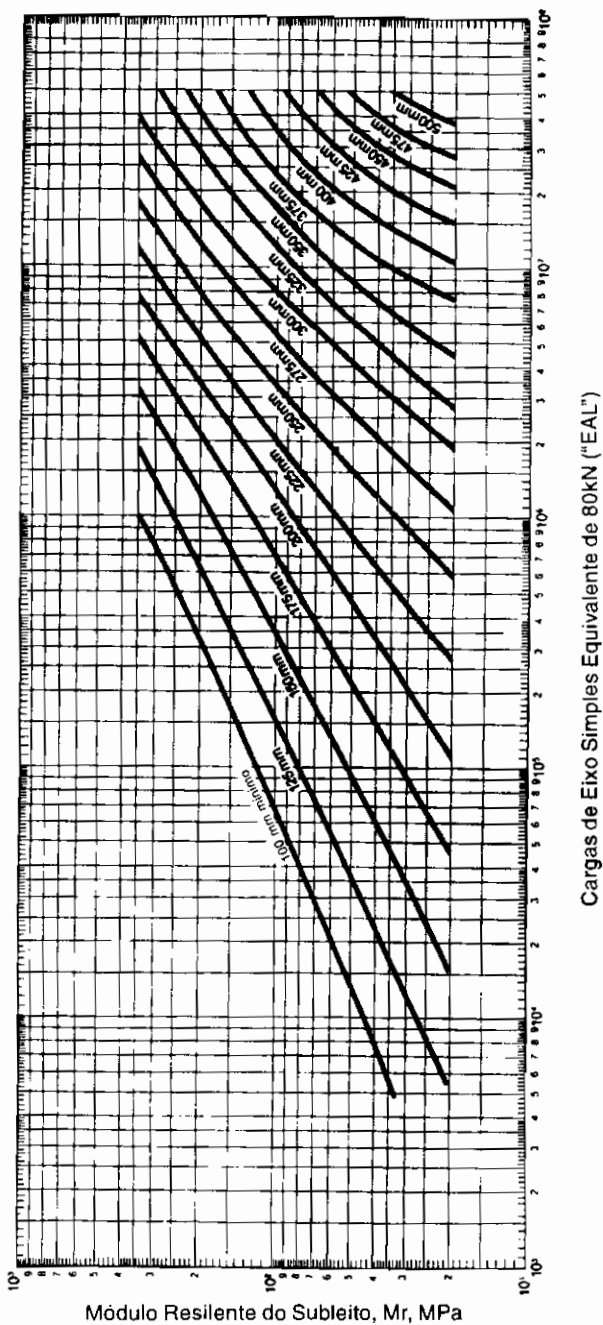


Figura 11.5 Gráfico 1, Concreto Asfático de Espessura Plena (Unidades Métricas)

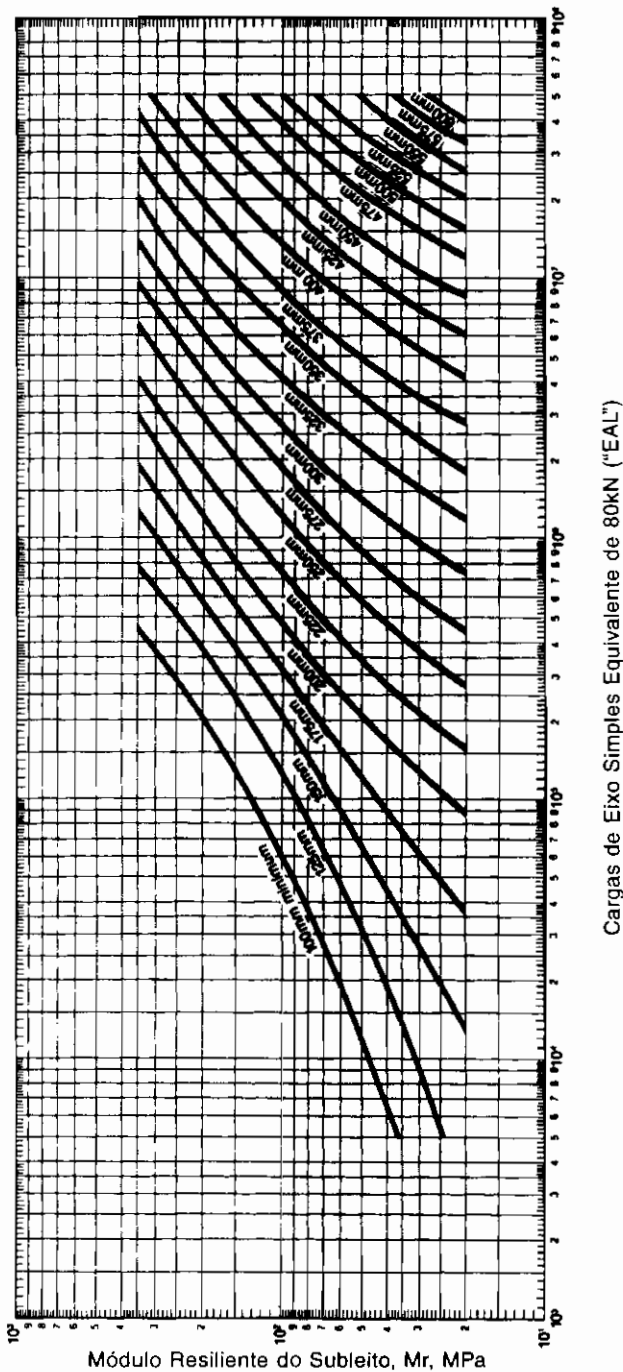


Figura 11.6

Gráfico 2, Mistura a Emulsão Asfáltica Tipo II (Unidades Métricas).

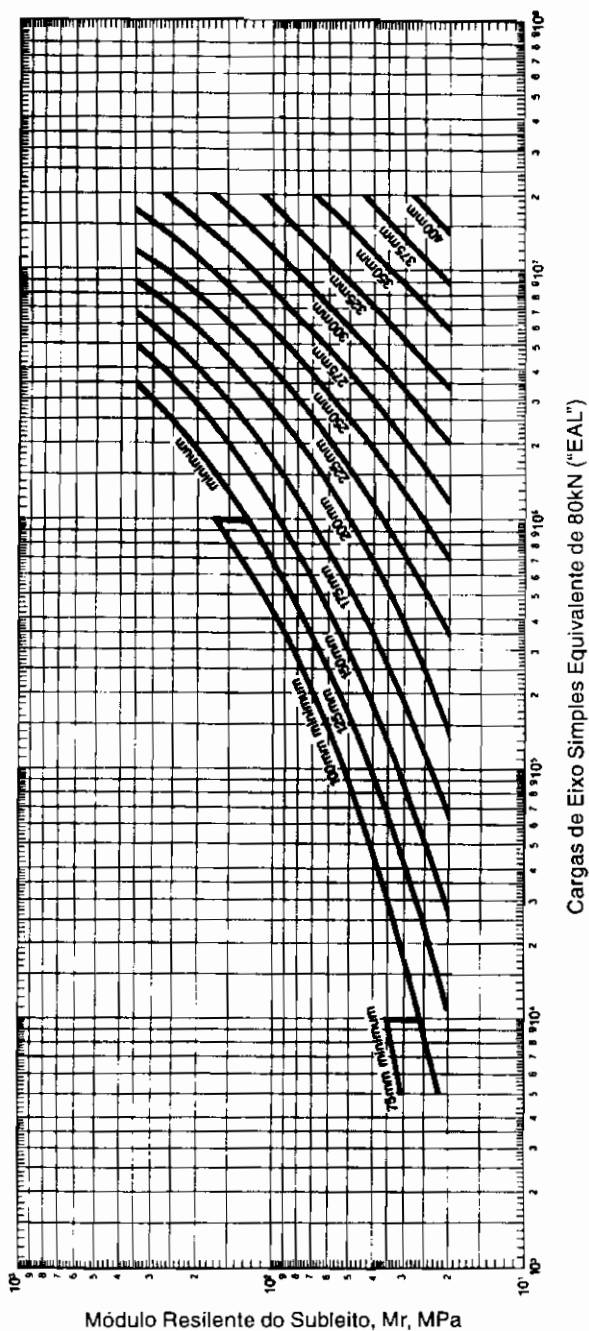
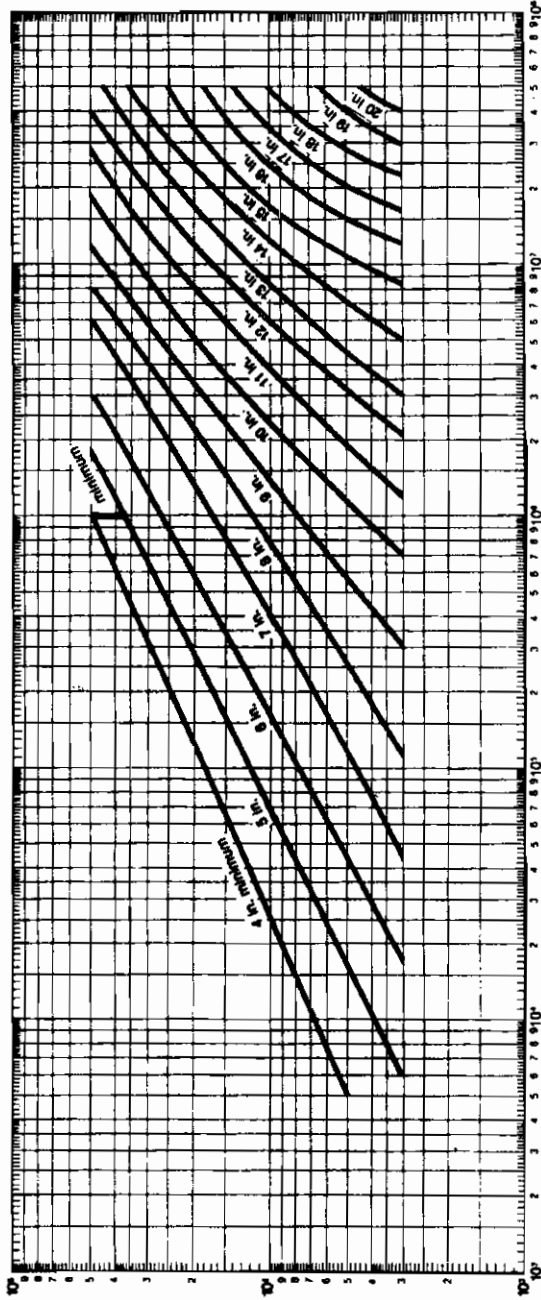


Figura 11.7 Gráfico 3, Concreto sobre base de Agregado não Tratada (Unidades Métricas)



Módulo Resiliente do Subleito, Mr, psi

Figura 11.8

Gráfico 4, Concreto Asfáltico de Espessura Plena (Unidades Costumeiras do EUA)

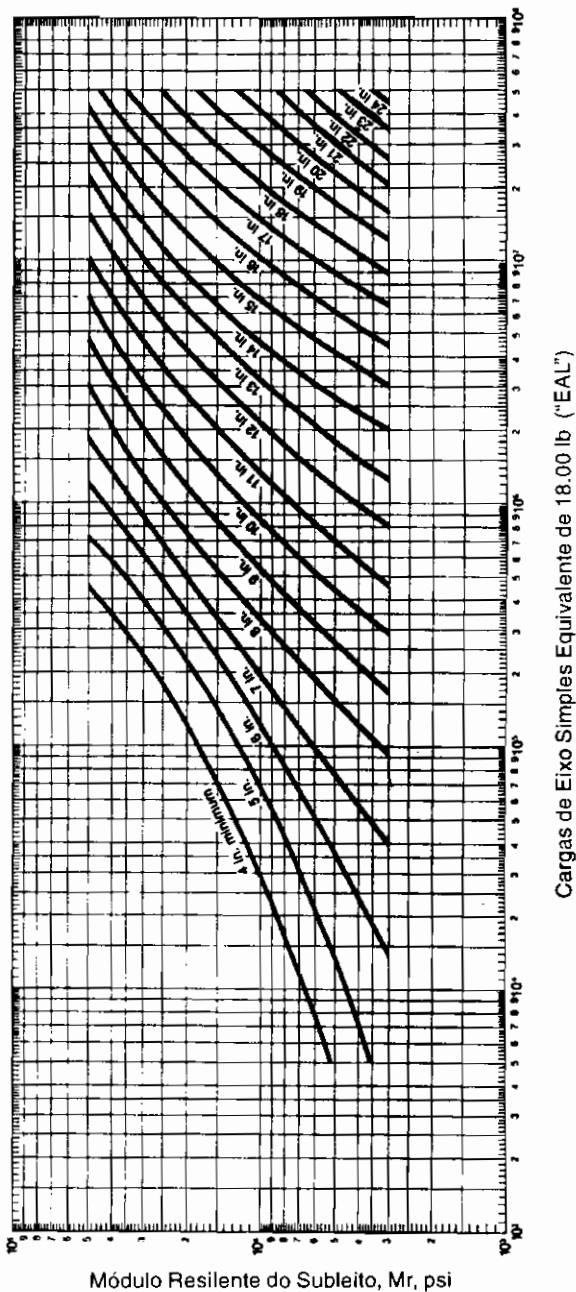


Figura 11.9 Gráfico 5, Mistura a Emulsão Asfáltica Tipo II (Unidades Costumeiras dos E.U.A)

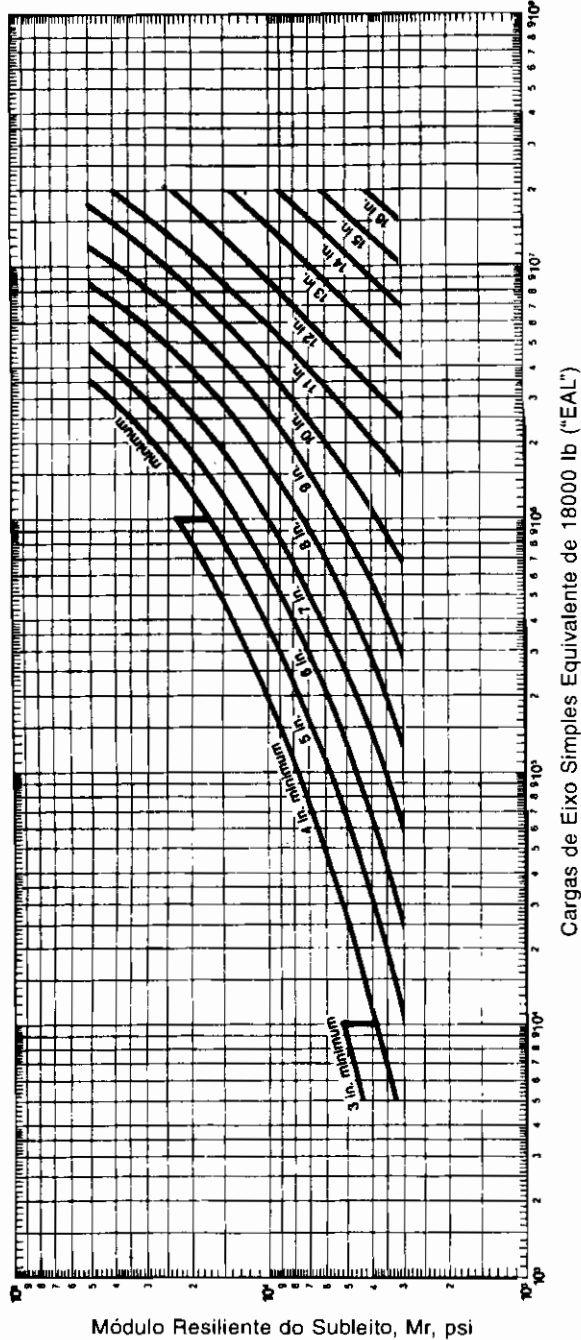


Figura 11.10

Gráfico 6, Concrete Asphalt sobre Base de Agregado não tratado (Unidades Costumeiras do EUA)

Tabela 11.6 Espessura Mínima de Revestimento de Concreto Asfáltico

Tráfego "EAL"	Espessura
10 ⁴	25 mm (1,0 pol.)
10 ⁵	40 mm (1,5 pol.)
10 ⁶	50 mm (2,0 pol.)

Tabela 11.7 Espessura Mínima de Concreto Asfáltico sobre Bases a Emulsão Asfáltica

Nível de Tráfego, "EAL"	Espessura de Concreto Asfáltico			
	Base Tipo I		Bases dos Tipos II E Tipos III	
	mm	(pol.)	mm	(pol.)
10 ⁴	25	(1)	50	(2)
10 ⁵	40	(1,5)	50	(2)
10 ⁶	50	(2)	75	(3)
10 ⁷	50	(2)	100	(4)
>10 ⁷	50	(2)	130	(5)

O concreto asfáltico e o tratamento superficial asfáltico podem ser usados sobre as camadas de base a emulsão asfáltica do Tipo I.

O concreto asfáltico e o tratamento superficial a emulsão asfáltica do Tipo I podem ser usados sobre camadas de base a emulsão asfáltica dos Tipos I e do Tipo II

O Manual de *Dimensionamento* ("Thicknes Design") MS-1, Asphalt Institute, contém requisitos específicos de materiais para todos os tipos de camadas de revestimentos e base incluídos nos gráficos de dimensionamento. Porém, apenas os requisitos dos materiais dos exemplos de dimensionamento aqui apresentados estão incluídos neste texto.

Exemplo 1: Concreto Asfáltico de Espessura Plena

Sejam as seguintes condições:

Módulo (de Projeto) do Subleito: Mr = 41,37 MPa

Tráfego de Projeto: EAL = 10⁶

No Gráfico 1 (gráfico 4) encontra-se a espessura de projeto do concreto asfáltico de espessura plena, como sendo igual a 240 mm de revestimento e base de concreto asfáltico. Na Tabela 11.6 encontra-se a espessura do revestimento de 50 mm, sendo a diferença resultante de 190 mm a espessura da base. É preciso que ambas as camadas atendam os requisitos seguintes:

1. A granulometria do agregado deve satisfazer o que se encontra em *Especificações-Modelo de Construção de Concreto Asfáltico e Outros Tipos de Misturas em Usina* ("Model Construction Specifications for Asphalt Concrete and Other Plant-Mix Types, SS-1, Asphalt Institute. Os ensaios devem ser conforme os procedimentos de *Métodos de Dosagem de Mistura de Concreto Asfáltico e outros Tipos de Misturas a Quente* ("Mix-Design Methods for Asphalt Concrete and Other Hot-Mix Types"), MS-2, Asphalt Institute. As granulometrias especificadas por órgãos públicos locais podem ser empregadas caso tenham tido um desempenho satisfatório no passado.

2. A mistura de ligante asfáltico e agregado deve ser dosada para atender os critérios sugeridos em SS-1.

3. A densidade do concreto asfáltico deve ser comparada aos requisitos da densidade especificada. Referir-se aos "Requisitos de Aceitação" da Especificação PM-1, *Especificações - Modelo de Construção de Concreto Asfáltico e Outros Tipos de Misturas em Usina* ("Model Construction Specifications for Asphalt Concrete and Other Plant-Mix Types") - SS-1, Asphalt Institute, como diretrizes para a determinação da densidade e da densidade relativa como alvos a atingir. Ver, também, o Capítulo 7.

Exemplo 2: Mistura a Emulsão Asfáltica , Tipo II

Sejam as seguintes condições:

Módulo do Subleito: $M_r = 27,6 \text{ MPa}$

Tráfego de Projeto: $EAL = 10^5$

No gráfico 2 (gráfico 5), a espessura total necessária é 195 mm. Na Tabela 11.7 encontra-se a espessura mínima de 50 mm de concreto asfáltico ou do tratamento superficial a emulsão asfáltica do tipo I, a ser colocada sobre a base a emulsão asfáltica. Subtraindo este valor do total tem-se 145 mm, ou seja, 150 mm de espessura de base a emulsão asfáltica do tipo II.

O agregado e a emulsão asfáltica utilizados nesta mistura devem atender os requisitos do capítulo Sete, *Manual Básico de Emulsões Asfálticas* ("A Basic Asphalt Emulsion Manual") MS-19, Asphalt Institute. A dosagem de mistura a emulsão asfáltica deve ser assistida pelos procedimentos e critérios incluídos em MS-19.

Exemplo 3: 150 mm de Base de Agregado Não - Tratado.

Sejam as condições seguintes:

Módulo (de Projeto) do Subleito : $M_r = 48,3 \text{ MPa}$

Tráfego de Projeto : $EAL = 10^6$

No gráfico 3 (gráfico 6), encontra-se a espessura de projeto de concreto asfáltico sobre base granular não-tratada, igual a 210 mm. Na Tabela 11.6, encontra-se a espessura mínima do revestimento de concreto asfáltico, para o $EAL = 10^6$, igual a 50 mm. Subtraindo-se este valor da espessura total de projeto do concreto asfáltico, resulta a espessura de 160 mm, seja 165 mm de mistura de base de concreto asfáltico. O pavimento total tem a seguinte constituição:

50 mm de concreto asfáltico de mistura do revestimento

165 mm de concreto asfáltico de mistura da base e

150 mm de agregado não tratado de base.

As misturas de concreto asfáltico do revestimento e base devem preencher os requisitos relacionados no Exemplo 1 acima.

O agregado não-tratado da base deve preencher os requisitos de ensaio seguintes:

CBR, mínimo*	80
ou	
Valor R, mínimo*	78
Limite de liquidez, máximo	25
Índice de plasticidade, máximo ou	NP
Equivalente de Areia, mínimo	35
Passante na peneira de 75 μm (n° 200)	7

* As fórmulas estabelecidas anteriormente nesta seção que relacionam o CBR e o valor R ao módulo resiliente do subleito não se aplicam a bases e sub-bases de agregado não-tratado.

11.4 Análise do Tráfego e Dimensionamento - Aeródromos

Análise das Aeronaves

Tipos de Aeroportos

A rede de aeroportos dos E.U.A. divide-se em três sistemas - o sistema nacional de aeroportos, aeroportos de uso geral da aviação (incluindo-se o sistema de aeroportos alternativos) e os aeroportos militares. O sistema nacional divide-se em subsistemas distintos, que se diferenciam pelo número de passageiros embarcados.

O Manual MS-11, que consta da bibliografia, discute somente os aeroportos servidos por aeronaves de mais de 270 kN de massa total (peso bruto). Os aeroportos de uso geral da aviação estão cobertos em *Dimensionamento - Pavimentos Asfálticos para Aviação em Geral* ("Thickness Design - Asphalt Pavements for General Aviation"), Série Informativa nº 154 (IS-154), Asphalt Institute. Excluem-se os aeroportos militares porque suas características próprias vêm especificadas na diretriz de sua criação.

Estimativa da Expectativa de Tráfego

Em cada aeroporto existe uma determinada área de pavimento que recebe mais tráfego do que qualquer outra. É a área sujeita ao maior número de movimentos de aviões, maiores pesos de aviões na decolagem, menores velocidades dos aviões e maior grau de canalização. Cada um desses fatores tem uma relação complexa mas direta com os requisitos de dimensionamento. Portanto, tal área deve ser escolhida como o local de projeto para o qual se determina a espessura máxima de pavimento do aeroporto. É na pista de rolamento ou taxiamento que se situa sempre o local de projeto. Em consequência, o procedimento de projeto aqui descrito considera a pista de rolamento com o local crítico de projeto, com o maior número de partidas e chegadas em porcentagem do total de operações do aeroporto.

Nos aeroportos de várias pistas de decolagem, há, usualmente, uma que atende a um tráfego maior do que as demais. Nestes aeroportos o número total de movimentos de aeronaves e de aterrissagens por tipo de avião, pode ser obtido, em geral, das estatísticas que mantém o gerente do aeroporto. Utilizando o gráfico da "rosa dos ventos" estabelecido em cada aeroporto, o qual fornece a porcentagem de aterrissagem segundo as condições de vento predominantes (os aviões são geralmente, conduzidos para o pouso contra o vento, se possível) a combinação específica ou divisões do tráfego que utiliza cada pista de pouso e as pistas de rolamento de conexão podem ser determinadas. Nestes casos, será mais econômico realizar dimensionamentos separados para cada sistema de pistas de pouso e de taxiamento.

Número Equivalente de Aeronaves - Padrão

As deformações específicas impostas ao pavimento são decorrentes do tipo de aeronave, carga do trem-de-pouso, número de passagens da aeronave e a distribuição transversal na área de projeto. A

espessura ótima ou de projeto é a espessura que permite ao pavimento ter serventia, face às solicitações impostas pelo tráfego antecipado, durante seu período de projeto.

Os efeitos de repetições de deformações de uma combinação de diferentes aeronaves são considerados cumulativos. O procedimento de análise de tráfego permite que se calculem os efeitos cumulativos do tráfego a diferentes intervalos, x , da linha central da pista de rolamento. Realiza-se isto equacionando-se o número de repetições de deformações produzidas pela combinação do tráfego de aeronaves a um número equivalente de repetições de deformações uma aeronave escolhida arbitrariamente como "padrão". A aeronave "padrão" (A. P.) é o DC-8-73, de 1590 kN. Esta aeronave padrão está indicada nesta seção pelo símbolo



Este tipo de procedimento de "padronização" é análogo ao que se emprega no projeto de pavimentos rodoviários, em que se adota a carga de eixo simples de 80 kN.

Os fatores de equivalência de vários tipos principais de aeronaves existentes ou propostas que foram desenvolvidos, estão apresentados de forma gráfica em MS-11 para utilização facilitada na análise de tráfego. Os fatores de equivalência dependem do tipo de aeronave, espessura do pavimento e critérios de desempenho (ϵ_r , ϵ_c). O efeito da distribuição transversal da aeronave segundo a pista de rolamento é levado em conta diretamente pelos fatores de equivalência, admitindo-se o desvio padrão de 1,1 metro.

Conceito de Projeto

Estabelece a Administração Federal da Aviação, "Federal Aviation Administration" (FAA) na Circular 150/5320-6, que são necessárias bases e sub-bases estabilizadas nos novos pavimentos dimensionados para receber aeronaves de 445 kN ou mais. Como exceção a esta orientação técnica estão as pedras britadas de qualidade superior, duras e não susceptíveis ao gelo (de valor mínimo de CBR embebido de 80 para base e 35 para sub-base) e materiais de história de desempenho comprovadamente satisfatória em condições de carregamento da aeronave e climáticas comparáveis às que se antecipa venham a ocorrer. Portanto, o pavimento asfáltico de espessura plena é o preferido do método de projeto da maioria das aeronaves consideradas nesta seção.

O método de projeto pormenorizado nesta seção baseia-se na teoria da elasticidade de sistema multi-camadas aplicada a pavimentos asfálticos de espessura plena. Portanto, a aplicação de carga no pavimento produz duas deformações específicas elásticas típicas. São estas: a deformação específica horizontal de tração, ϵ_r , na parte inferior da camada de concreto asfáltico, e a vertical de compressão, ϵ_c , no topo do subleito. Deve-se examinar cada uma, separadamente, na análise do projeto. As localizações e direções destas deformações estão mostradas na Figura 11.11.

No dimensionamento, cada tipo de deformação (ϵ_r , ϵ_c) é avaliado quanto à sua influência, dentro de certos limites, no desempenho do pavimento. Mas, quando se dimensiona com vista à limitação destes dois tipos de deformação específica, pode-se chegar a duas espessuras necessárias diferentes. Assim sendo, o dimensionamento final fica com a espessura maior.

CARGA DO TREM-DE-POUSO



CONCRETO ASFÁLTICO



Figura 11.11 Localizações e Direções das Deformações à Tração e à Compressão num Sistema de Pavimento Asfáltico de Espessura Plena

Requisitos dos Materiais

As informações sobre as especificações de materiais e de compactação recomendadas pela FAA, podem ser encontradas nas publicações distintas, MS-11 para aeroportos de transporte aéreo e o IS-154 para aeroportos de aviação geral.

Dimensionamento

Determinação da Espessura

A determinação da espessura do pavimento de aeroporto exige os dados de entrada seguintes:

- Módulo Resiliente do subleito
- Temperatura do ar anual média
- Previsão projetada do tráfego aéreo combinado

Os valores de entrada específicos usados em três etapas principais para cada critério de deformação analisado, são:

- Determinar o Valor de Tráfego Admitido, N_a . Este valor leva ao número de repetições de deformações específicas equivalentes \rightarrow da A.P., que um pavimento asfáltico de espessura plena pode suportar nas condições específicas de combinação de módulo resiliente e ambientais existentes no local de projeto.
- Determinar o Valor de Tráfego, N_p . Este valor leva aos números de repetições de deformações específicas equivalentes \rightarrow da A.P. (com base nas previsões de tráfego aéreo) que *realmente* ocorrerão no período escolhido de projeto.

- Determinar a espessura de pavimento de concreto asfáltico, T_A , necessária, que satisfaça os critérios de deformação específica para os dados de entrada de dimensionamento - módulo resiliente, temperatura do ar anual média, e a combinação do tráfego. Determina-se esta espessura por uma solução gráfica simultânea do Valor de Tráfego Admitido, N_A , e o Valor de Tráfego Previsto, N_p .

A Figura 11.12 ilustra de modo esquemático os três passos usados para determinar a espessura de projeto. Nesta ilustração a espessura de projeto (T_A) baseia-se na deformação específica de tração no concreto asfáltico, visto ser a maior das duas espessuras.

O método de projeto está disponível sob a forma de programa de computação (CP-3) do Asphalt Institute.

Exemplo

Sejam as condições seguintes:

Temperatura do ar anual média: "MAAT" = 16°C

Módulo de Projeto do Subleito: $M_r = 48$ MPa

Tráfego de Projeto: 149.000 passagens do B757-200

Das Figuras 11.13 e 11.14, pode-se calcular o tráfego admitido (N_A) contra a curva de dimensionamento para ϵ_c e ϵ_t , em cinco níveis de tráfego: $N = 100; 1.000; 10.000; 100.000$ e $1.000.000$.

Usando-se os gráficos A (Figura 11.15) e B (Figura 11.6) para o critério de deformação de compressão, ϵ_c , e os gráficos C (Figura 11.17) e D (Figura 11.18) para o ϵ_t , pode-se ler o número previsto de repetições equivalentes às repetições de deformação (N_p) na escala logarítmica, para cada espessura e distância da linha central da pista de rolamento, x . Estes valores N_p estão compilados nas Figuras 11.19 e 11.20 para ϵ_c e ϵ_t , respectivamente. Nas Figuras 11.21 e 11.22, onde as duas curvas (N_A e N_p) estão marcadas, tem-se as interseções gráficas com cada um dos critérios de projeto. A espessura de projeto é a maior das duas espessuras (interseções), arredondadas 10 mm (0,5 pol) mais próximos.

Deformação específica do subleito, ϵ_c = 419 mm

Deformação específica do concreto asfáltico, ϵ_t = 318 mm

Espessura de projeto, T_A (arredondada) = 420 mm

As espessuras reduzidas de áreas de pavimentação que não forem as críticas, podem ser obtidas da Figura 11.23.

Projeto de Aviação Geral

As espessuras de projeto contidas nos gráficos de projetos de aviação geral baseiam-se nas cargas de trens-de-pouso principais iguais a 47,5 por cento do peso total. Para os pesos totais superiores a 133 kN, as cargas de eixo simples equivalentes foram determinadas para trens-de-pousos de rodas duplas. A espessura total mínima de 100 mm de estrutura asfáltica é recomendada para estes pavimentos independentemente da resistência do subleito.

As espessuras de pavimentos de concreto asfáltico de espessura plena que servem a aviação geral até 270 kN de peso bruto máximo podem ser determinadas no gráfico de dimensionamento da Figura 11.24.

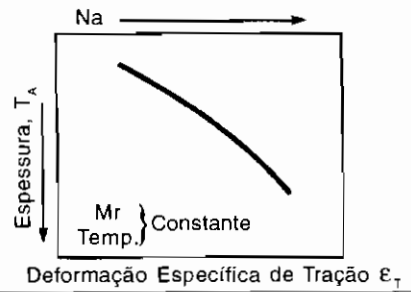
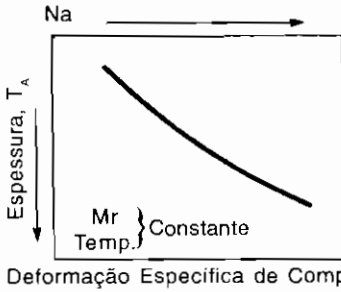
Da mesma forma, a Figura 11.25 é um gráfico de dimensionamento para bases a emulsão e revestimento de concreto asfáltico de 50 mm, espessura mínima.

ANÁLISE DO VALOR DE TRÁFEGO ADMITIDO

Número Equivalentes de Específicas Admissíveis de Aeronave Padrão



Repetições de Deformações de Aeronave Padrão

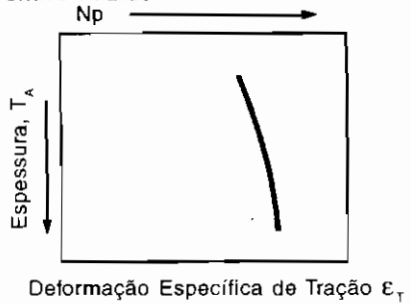
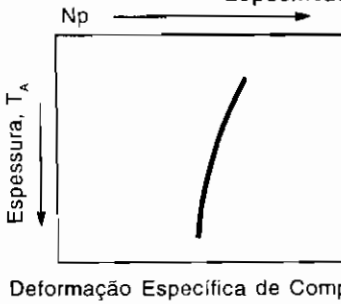


ANÁLISE DE VALOR DE TRÁFEGO PREVISTO

Número Equivalentes de Específicas Previstas de Aeronave Padrão



Repetições de Deformações de Aeronave Padrão

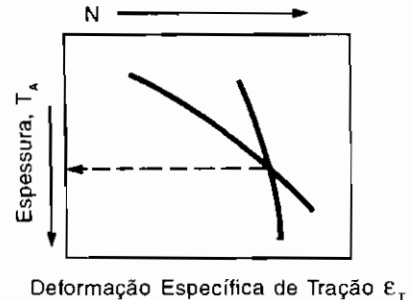
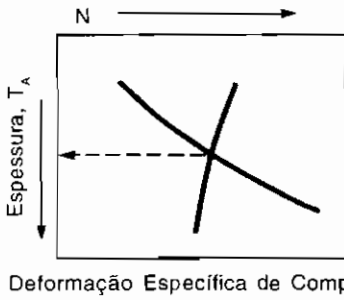


SOLUÇÃO GRÁFICA PARA A OBTENÇÃO DE T_A DE PROJETO

Número Equivalentes de



Repetições de Deformações



TOPO DO SUBLEITO

PARTE INFERIOR DO CONCRETO ASFÁLTICO

Figura 11.12 Passos na Determinação da Espessura de Projeto

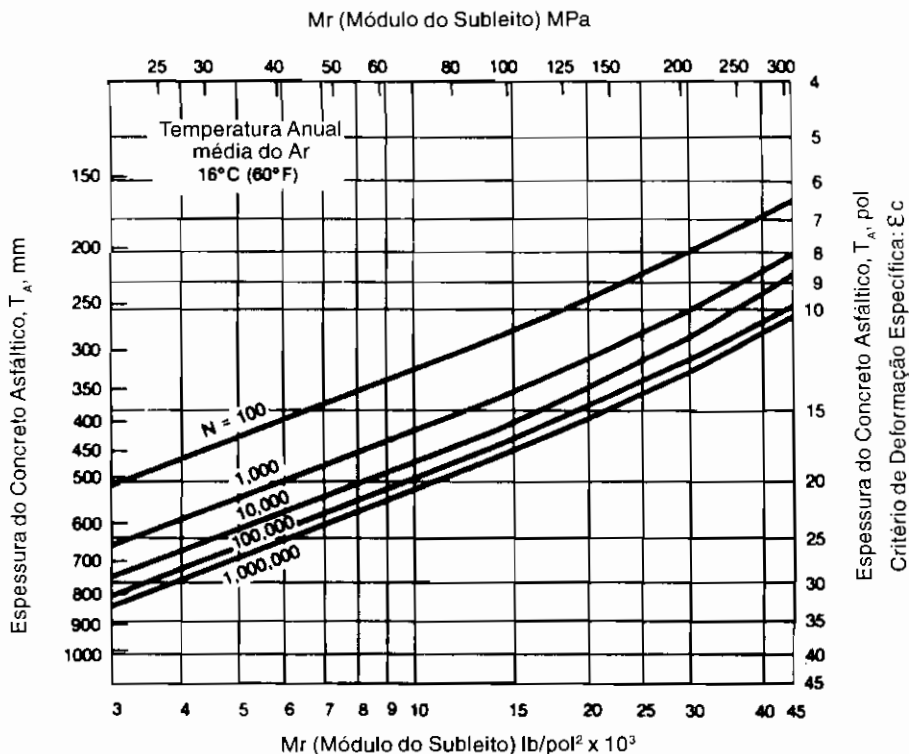


Figura 11.13 Espessura de Pavimento Necessário para Limitar a Deformação Específica Vertical de Compressão no Subleito, ϵ_c , sob as Repetições  de Carga da Aeronave.

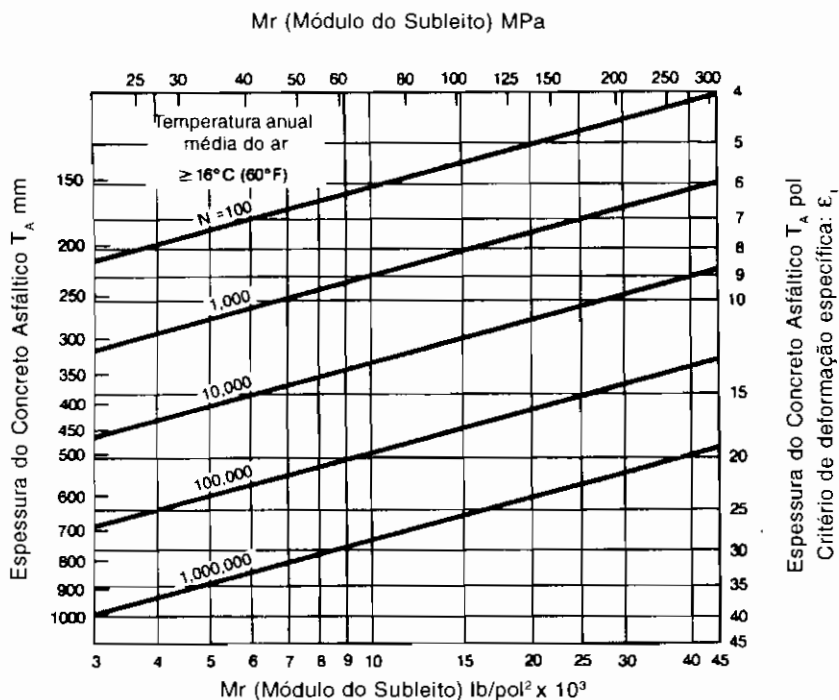


Figura 11.14 Espessura de Pavimento Necessária para limitar a Deformação Específica Horizontal de Tração no Concreto Asfáltico, ϵ_1 , sob as Repetições de Carga da Aeronave Padrão.

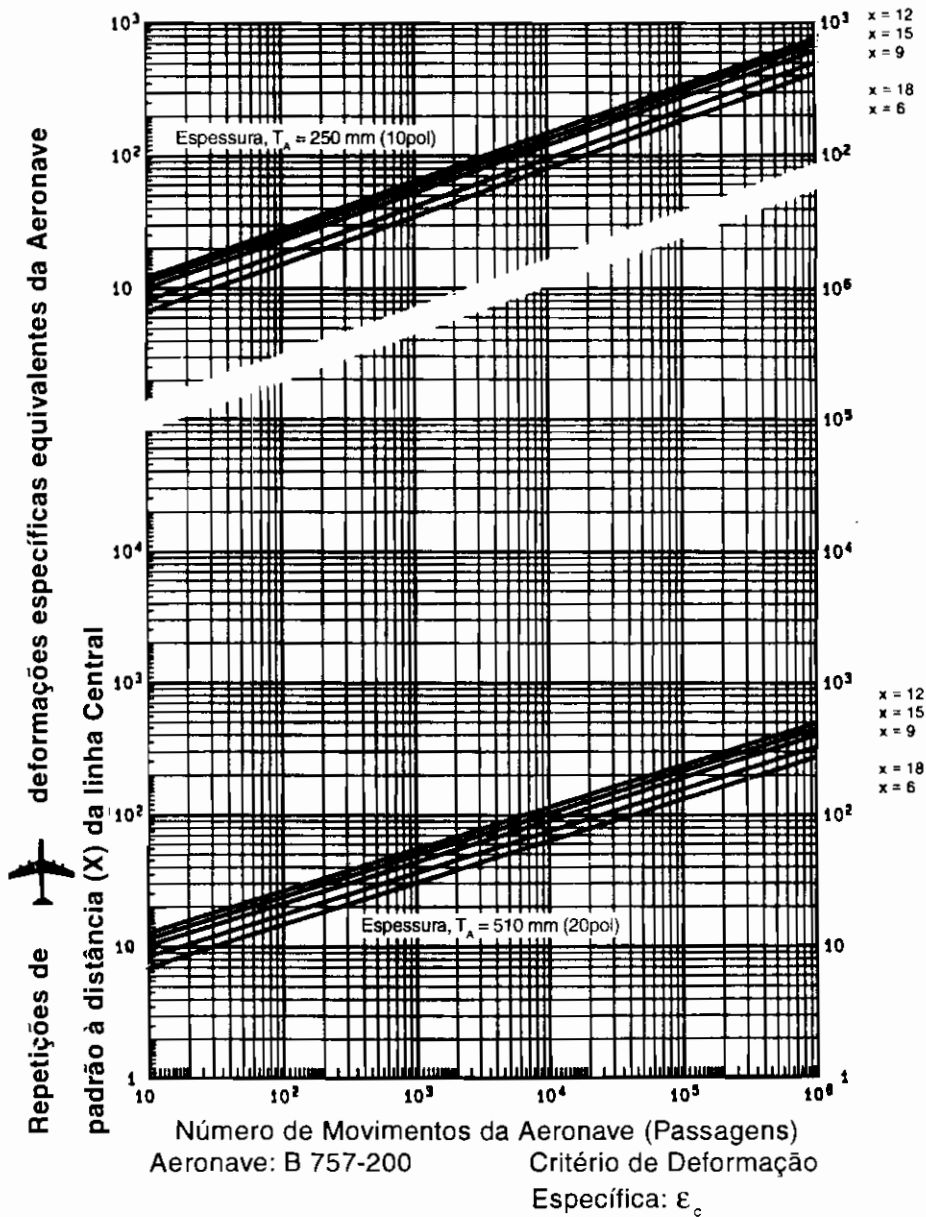
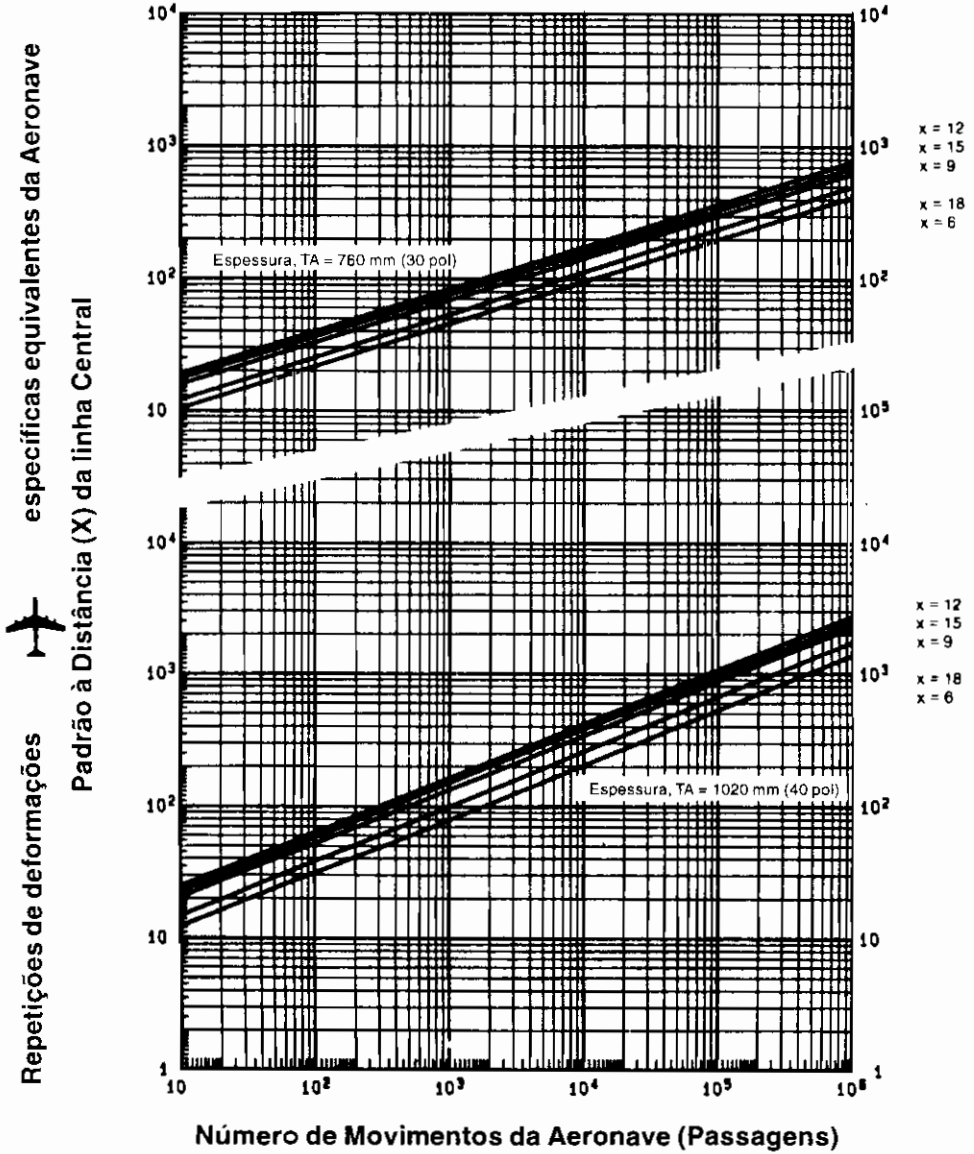


Figura 11.15 Gráfico A.



AERONAVE: B 757-200

CRITÉRIO DE DEFORMAÇÃO ESPECÍFICA: ϵ_c

Figura 11.16 Gráfico B

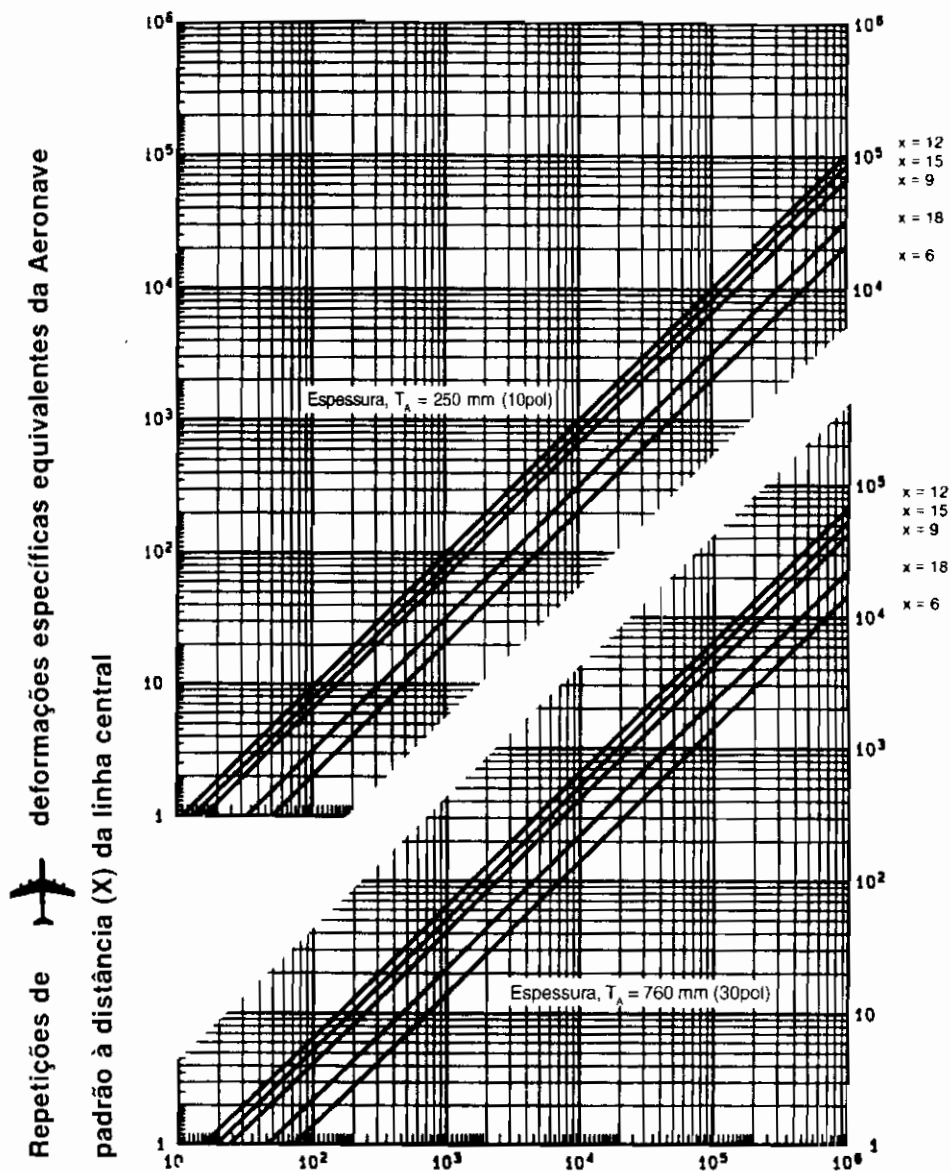
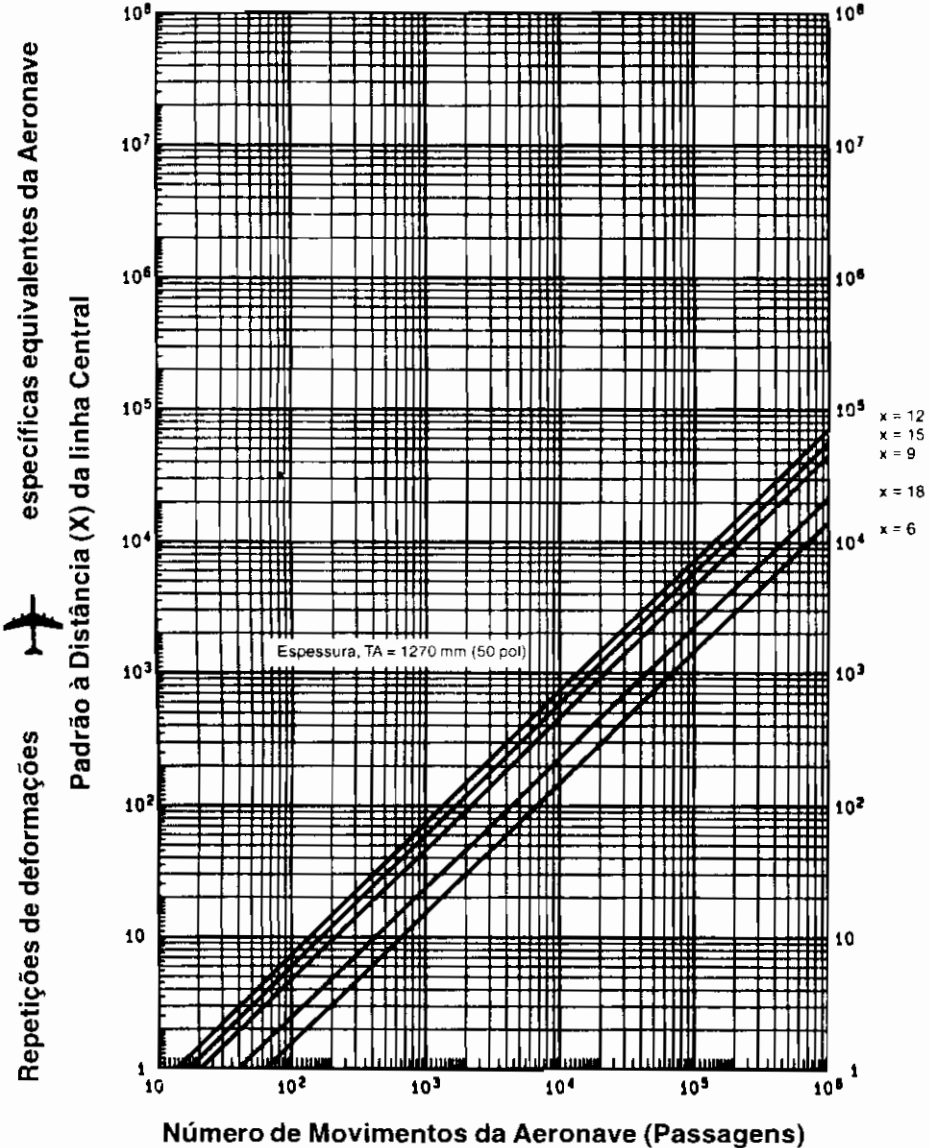


Figura 11.17 Gráfico C.



AERONAVE: B 757-200

CRITÉRIO DE DEFORMAÇÃO
ESPECÍFICA: ϵ_T

Figura 11.18 Gráfico D

Número de Repetições de Específicas Equivalentes



Deformações da Aeronave Padrão

TIPO DE DEFORM. ESPECIF: ϵ_c

PERÍODO DE PROJETO: 20 ANOS

AERONAVE	MOVIMENTOS NO PERÍODO DE PROJETO	DISTÂNCIA DA LINHA CENTRAL, X				
		1,8 m (6 pés)	2,7 m (9 pés)	1,8m (12 pés)	4,6m (15 pés)	5,5m (18 pés)
Espessura, $T_A = 250$ mm (10 pol.)						
1. B 757 - 200	149,000	210	330	390	350	250
2.						
3.						
4.						
5.						
6.						
7.						
8.						
9.						
10.						
Soma		210	330	(390)	350	250
Espessura, $T_A = 510$ mm (20 pol.)						
1. B 757 - 200	149,000	160	240	270	250	180
2.						
3.						
4.						
5.						
6.						
7.						
8.						
9.						
10.						
Soma		160	240	(270)	250	180
Espessura, $T_A = 760$ mm (30 pol.)						
1. B 757 - 200	149,000	230	340	390	350	260
2.						
3.						
4.						
5.						
6.						
7.						
8.						
9.						
10.						
Soma		230	340	(390)	350	260
Espessura, $T_A = 1020$ mm (40 pol.)						
1. B 757 - 200	149,000	620	1,100	1,300	1,200	800
2.						
3.						
4.						
5.						
6.						
7.						
8.						
9.						
10.						
Soma		620	1,100	(1,300)	1,200	800

NOTA: Trace um círculo à volta da maior soma para cada espessura. Cada número circundado e a espessura correspondente são usados na marcação de um ponto da Curva de Valor de Tráfego Real.

Figura 11.19 Ficha de Cálculo do Tráfego de Aeronaves nº 2, Deformação Específica de Compressão Vertical, ϵ_c , no Subleito.

Número de Repetições de Específicas Equivalentes



Deformações da Aeronave Padrão

TIPO DE DEFORM. ESPECIF.: ϵ_T

PERÍODO DE PROJETO: 20 ANOS

AERONAVE	MOVIMENTOS NO PERÍODO DE PROJETO	DISTÂNCIA DA LINHA CENTRAL, X					
		1,8 m (6 pés)	2,7 m (9 pés)	1,8m (12 pés)	4,6m (15 pés)	5,5m (18 pés)	
Espessura, $T_A = 250$ mm (10 pol.)							
1.	B 757 - 200	149,000	3,100	9,900	15,000	12,000	4,900
2.							
3.							
4.							
5.							
6.							
7.							
8.							
9.							
10.							
Soma			3,100	9,900	(15,000)	12,000	4,900
Espessura, $T_A = 760$ mm (30 pol.)							
1.	B 757 - 200	149,000	2,100	6,400	9,900	7,900	3,300
2.							
3.							
4.							
5.							
6.							
7.							
8.							
9.							
10.							
Soma			2,100	6,400	(9,900)	7,900	3,300
Espessura, $T_A = 1270$ mm (50 pol.)							
1.	B 757 - 200	149,000	2,200	6,500	10,000	8,000	3,400
2.							
3.							
4.							
5.							
6.							
7.							
8.							
9.							
10.							
Soma			2,200	6,500	(10,000)	8,000	3,400
Espessura, $T_A =$ mm (pol.)							
1.							
2.							
3.							
4.							
5.							
6.							
7.							
8.							
9.							
10.							
Soma							

NOTA: Trace um círculo à volta da maior soma para cada espessura. Cada número circundado e a espessura correspondente são usados na marcação de um ponto da Curva de Valor de Tráfego Real.

Tabela 11.20 Ficha de Cálculo do Tráfego de Aeronaves nº 2, Deformação Específica de Tração: ϵ_T no Concreto Armado.

Número de Repetições de
Específicas Equivalentes



Deformações
da Aeronave Padrão

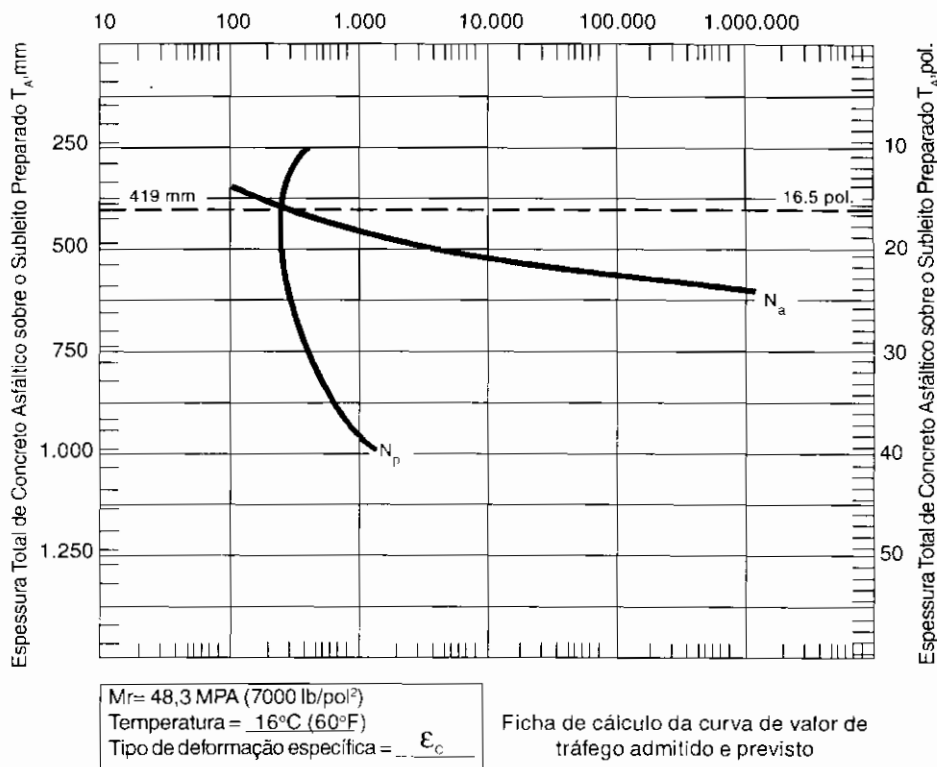


Figura 11.21 Curvas de valor de Tráfego Admitido, N_a , e de Valor de Tráfego Previsto, N_p , para Deformações Específicas Verticais de Compressão no Subleito, ϵ_c

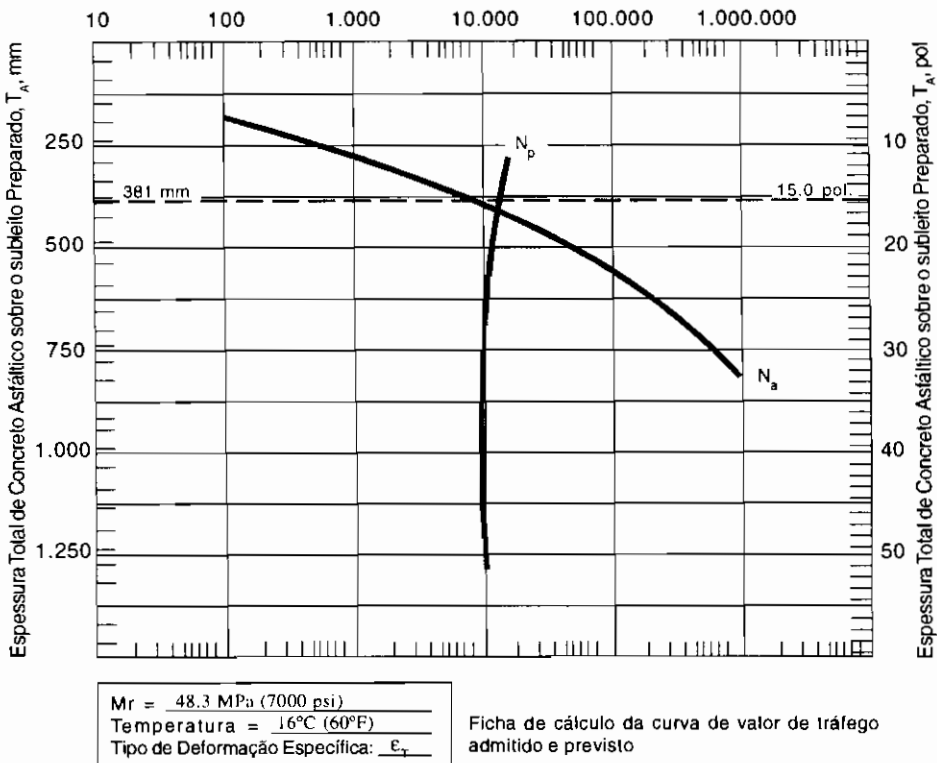


Figura 11.22 Curvas de Valor de Tráfego admitido, N_a , e de Valor de Tráfego Previsto, N_p , para deformações Específicas Verticais de Compressão no Concreto Asfáltico, ϵ_r

Também, a Figura 11.26 é um gráfico de dimensionamento que incorpora uma camada granular não-tratada de 150 mm, que pode ser usada para determinar a espessura necessária de concreto asfáltico sobre esta camada.

Exemplo – Dimensionar uma pista para aviação geral de uma combinação de aeronaves, sendo a mais pesada o Beechcraft King Air de 49 kN. O solo situa-se numa gama média de 10500 psi (CBR = 7).

A. Concreto Asfáltico da Espessura Plena (Figura 11.24)

A espessura de concreto asfáltico pode ser lida diretamente da interseção do valor do solo 10500 psi (CBR = 7) e a aeronave de 49 kN:

$T_A = 125 \text{ mm}$
(aproximado a 10 mm)

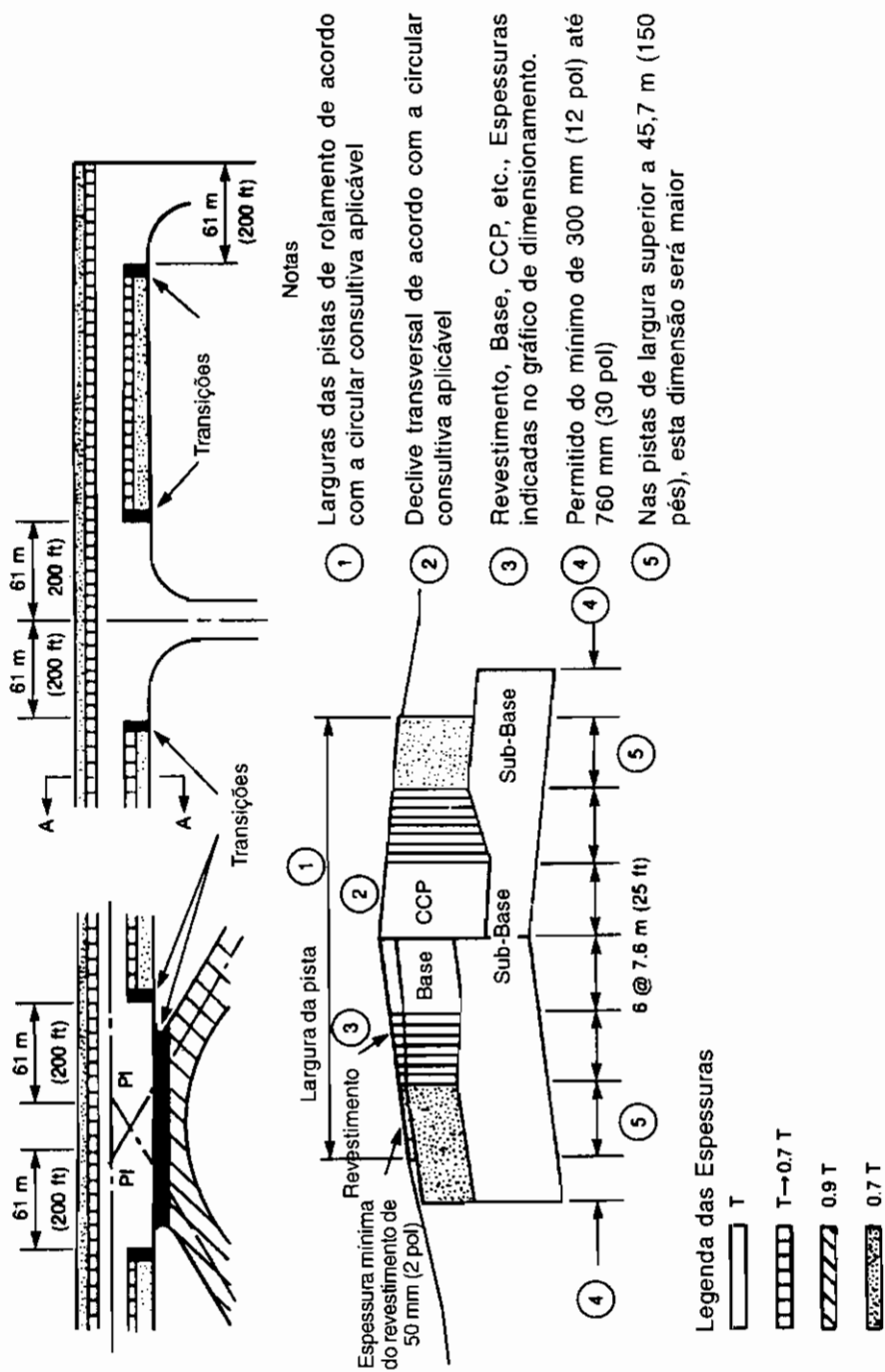


Figura 11.23 Planta e Seção Transversal Típicas de Pistas (de Pouso e Decolagem)

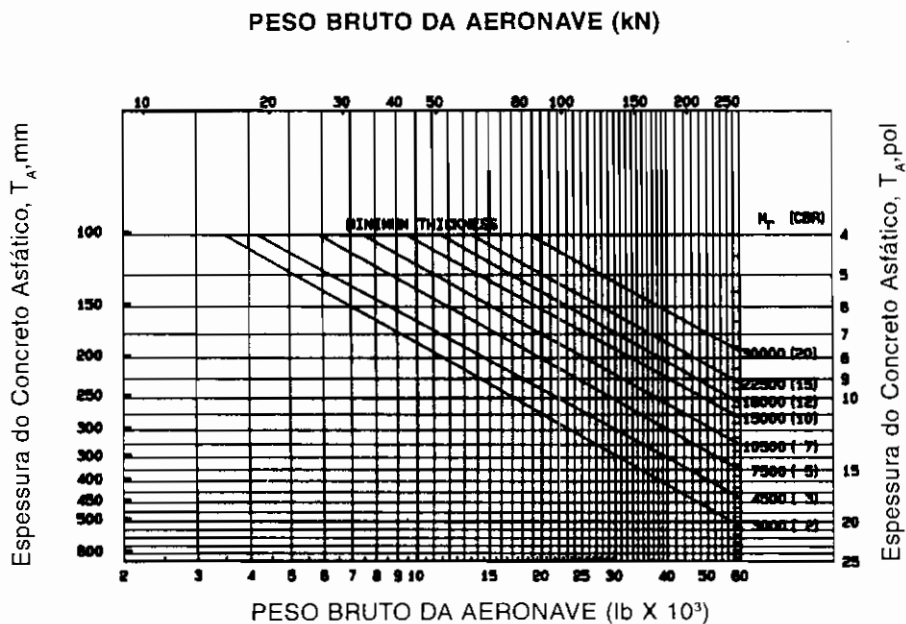


Figura 11.24 Dimensionamento - Concreto Asfáltico a Espessura Plena

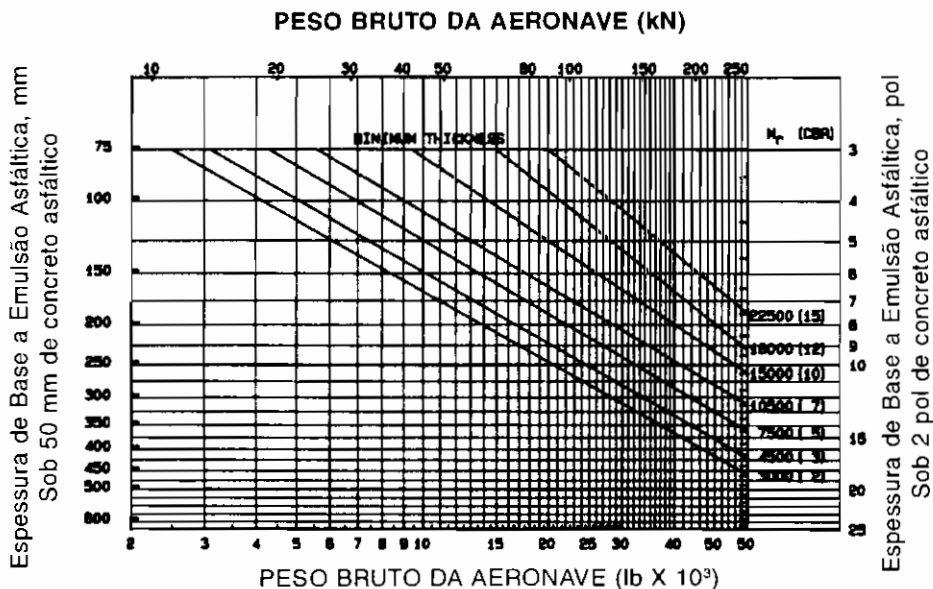


Figura 11.25 Dimensionamento - Base a Emulsão Asfáltica sob concreto Asfáltico

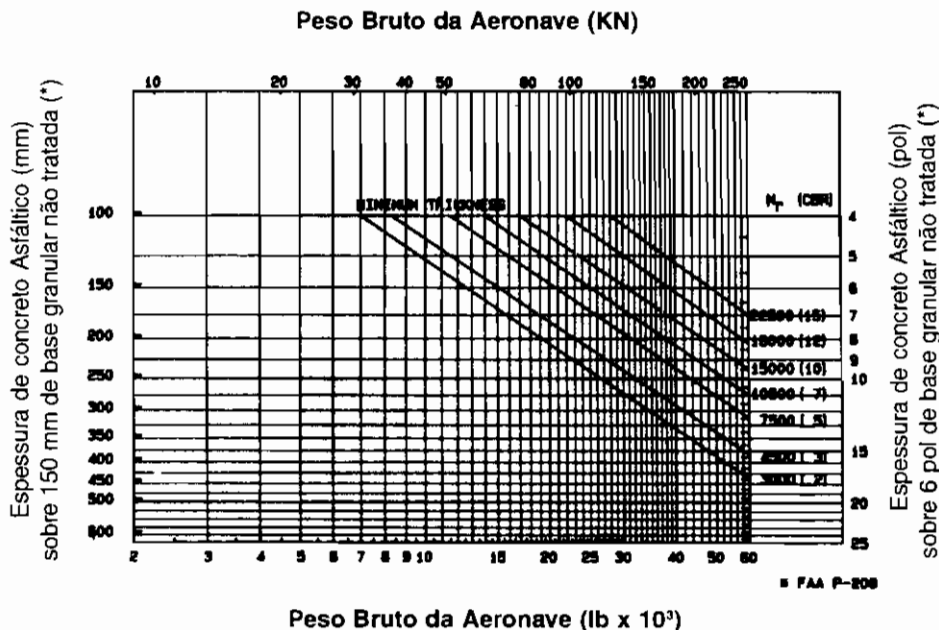


Figura 11.26 Dimensionamento - Concreto Asfáltico sobre base Não-Tratada.

- B. Base a Emulsão Asfáltica sob Concreto Asfáltico (Figura 11.25)
A espessura de base a emulsão é lida diretamente do gráfico (para o valor do solo e a carga da aeronave):

Concreto asfáltico	= 50 mm
Base de Agregado Não-Tratada	= 115 mm
	165 mm

- C. Concreto Asfáltico sobre Base Não-Tratada (Figura 11.26)
Visto que a interseção da aeronave com o valor do solo fica acima da espessura mínima, tem-se o dimensionamento:

Concreto asfáltico	= 100 mm
Base de Agregado Não-Tratada	= 150 mm
	250 mm

11.5 Análise do Tráfego e Dimensionamento - Cargas de Roda Pesadas

Análise de Veículos

Tipos de Veículos

Há muitas superfícies pavimentadas que estão sendo desenvolvidas para a operação de veículos pesados de modo a reduzir os custos de combustível e manutenção e aumentar a velocidade, eficiência e segurança das operações dos veículos. Os veículos pesados compreendem caminhões madeireiros, carregadores basculantes, "fork-lift trucks", "straddle carriers", guindaste de rodas de borracha e muitos veículos especiais desde os de, apenas, 4 rodas até os de 12 ou mais rodas. Pesos brutos superiores a 1800 kN constituem a carga de alguns desses veículos. Muitos têm características de cargas e espaçamento de rodas para as quais não se aplicam os procedimentos comuns de projeto de pavimentos.

Esta seção apresenta um procedimento de projeto de pavimentos asfálticos para veículos pesados. Baseia-se o procedimento no conceito de que o projeto de pavimentos para veículos de rodas múltiplas pode ser feito desde que se calcule primeiramente a carga de roda simples "equivalente". É esta carga de roda simples que se utiliza para selecionar a espessura do pavimento. As espessuras de pavimentos variam com a pressão de contato do pneu do veículo com o chão, a intensidade da carga e o espaçamento dos pneus carregados.

Dados Necessários dos Veículos

A solução dos problemas de projeto de cargas de roda simples por este método exigem pelo menos os seguintes dados de veículos e rodas:

P = carga de roda simples em quilonewton

p = pressão de contato do pneu com a superfície em quilopascal. (É preferível à pressão de inflação do pneu).

a = raio da área circular em milímetros correspondente à carga em quilonewton P , e pressão de contato, p em quilopascal.

A solução dos problemas de cargas de rodas duplas exige que se conheça o espaçamento entre os pneus.

D = distância centro-a-centro dos pneus em milímetros.

Os problemas de rodas múltiplas exigem o conhecimento dos espaçamentos entre rodas e entre eixos. Calcula-se a variável seguinte a partir dos dados de espaçamento das rodas, que se utiliza no procedimento.

r = distância radial do centro de cada pneu, em milímetros (polegadas), até pontos de máxima sobreposição de deflexões.

Em todos os cálculos admite-se que a carga é transmitida ao pavimento segundo uma área circular. O raio (a) da área circular equivalente é deter-

minado para o procedimento de projeto. O seu cálculo faz-se pelas equações seguintes:

Conhecidas a área de contato:
$$a = \sqrt{(area)/\pi}$$

Com a pressão de contato conhecida:
$$a = \sqrt{(P/p)/\pi}$$

O exemplo seguinte é um dois cinco do MS-23 (ver a bibliografia), que descreve o cálculo das características necessárias de carga de roda.

Exemplo: Carregadoras de toras

1. Determinar a carga a ser transportada.
2. Determinar a massa (peso) do equipamento e sua configuração
3. Determinar as cargas de eixos e a pressão de contato.

Dados:

Carregadoras de toras, similar ao da Figura 11.27, peso vazio com lastro = 525 kN

[Eixo de direção (parte traseira) restrito a 265 kN]

Carga pagável nominal (as toras) = 353 kN a 1.370 mm (54 pol) do eixo carregado

Pneumáticos:

Eixo motor (dianteiro) = 21:00 x 35 (4 pneus)

Eixo de direção (traseiro) = 23,5 x 25 (2 pneus)

Solução:

"LD" = Distância do centro de carga ao eixo dianteiro = 1370 mm

"AS" = Espaçamento de eixos = 7,3 m x 1.000 = 7.300 mm

"FA" = Peso (massa) sem carga no eixo dianteiro = 525 - 265 = 260 kN

"PL" = Carga Pagável = 353 kN

Portanto:

$$\begin{aligned} \text{Carga do eixo dianteiro} &= FA + \frac{PL (AS + LD)}{AS} \\ &= \frac{260 + 353 (7\,300 + 1\,370)}{7\,300} = 679 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\left[= \frac{58,425 + 79,365 (288 + 54)}{288} = 152,671 \text{ lb.} \right]$$

ou $679/4 = 170 \text{ kN/pneu}$

O manual de serviço dos pneus mostra para o pneu 21:00 x 35

Área total de contato = 0,2394 m²

$$\text{Pressão de contato no chão} = \frac{170}{0.2394} = 710 \text{ kPa}$$

Usar 710 kPa no projeto.

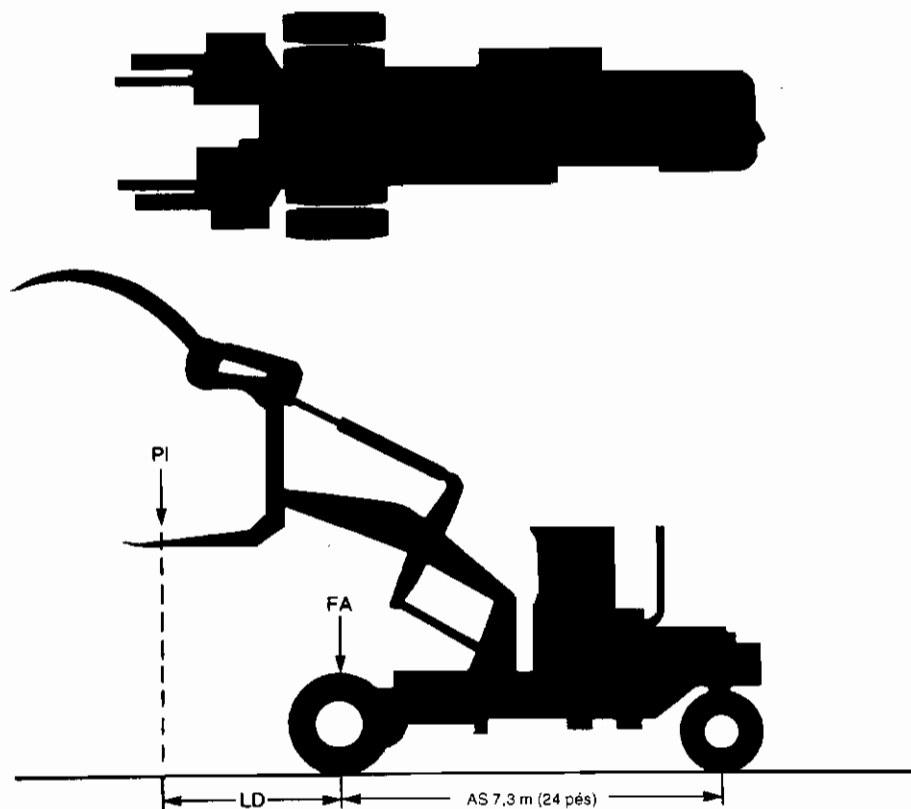


Figura 11.27 Carregadeira de Toras

Neste exemplo empregou-se a capacidade de carga estimada do veículo para determinar a pressão de contato que se procura. Devem os engenheiros projetistas ser alertados para o fato de que a utilização de 100 por cento de carregamento e tráfego canalizado, pode levar ao superdimensionamento. Em muitos casos o uso de capacidade de carga pode ser conservativo, sendo possível realizar projetos menos conservativos, porém adequados, considerando-se cargas menores de que as máximas nominais. São dois os fatores envolvidos: a carga de projeto e o número de repetições que se espera para esta carga.

Estudos realizados numa instalação de manuseio de contêineres portuários indicaram que os transportadores de contêineres operam vazios em metade do tempo, e que 95 por cento dos contêineres não são completamente carregados. Revelou um estudo que se fosse usada uma carga de projeto de 60 por cento da capacidade nominal do veículo, resultaria um projeto adequado em 88 por cento do tempo.

O número de repetições de cargas variará consideravelmente, conforme o leiaute geométrico e outros arranjos físicos da instalação, o tamanho da carga e muitas outras características. Alguns resultados de estudo de movimentos dos veículos em várias instalações estão resumidos abaixo:

Tipos de Equipamentos	Número Provável de repetições para Projeto, por ano
<i>Carregadores Frontais</i>	
Carregamento e descarregamento de reboques ferroviários com a utilização de veículos-pranchas (com transbordo em docas paralelas)	1.650
Carregadora de toras	12.000
Carregadora de contêineres	4.750
Carregadora "straddle" (seguindo faixas pintadas)	26.000

Dimensionamento

Conceito de Projeto

O procedimento de projeto desta seção baseia-se em conceitos de sistemas elásticos multicamadas semelhantes aos usados no desenvolvimento dos Manuais do Asphalt Institute, MS-1 e MS-11. Esta abordagem admite que a aplicação de uma carga num pavimento produz deformações específicas críticas. São a deformação horizontal de tração ϵ_x , na parte inferior da camada de concreto asfáltico, e a deformação vertical de compressão ϵ_z , no topo do subleito, como está ilustrado na Figura 11.11.

O procedimento de ensaio nesta seção leva em consideração todos os elementos acima e foi desenvolvido através de ampla análise dos resultados de tensão - deformação determinados teoricamente. As tensões e as deformações não são calculadas diretamente quando se utiliza o método de projeto esboçado, porém o mesmo objetivo se realiza indiretamente. Além disso, várias simplificações foram feitas a fim de reduzir a complexidade do procedimento de projeto.

Esta simplificação é necessária visto que o uso direto da análise elástica multicamadas é complicado. Requer-se um grande número de soluções de computador a fim de analisar a variedade de cargas e as gamas usuais de módulos do concreto asfálticos e do subleito. Além do mais, a localização horizontal das deformações máximas debaixo de cargas de rodas múltiplas varia com as dimensões do espaçamento das rodas, a intensidade das cargas, a espessura do pavimento e as razões modulares das camadas do pavimento.

O método de projeto para cargas de roda pesadas trata de três tipos de problemas, referentes a: carga de roda simples, carga de roda dupla e carga de roda múltipla.

Os problemas de cargas de roda dupla e de roda múltipla resolvem-se com a determinação de carga de roda simples equivalente. Os problemas de projeto para carga de roda simples são razoavelmente simples, exigindo apenas o valor da intensidade da carga de roda (P), a pressão de contato do pneu - chão (p) e o raio da área de contato (a). Os problemas de projeto para rodas duplas e múltiplas são mais complicados e exigem dados adicionais sobre o espaçamento das rodas. Se uma situação particular pode ser tratada como de roda simples, dependerá do espaçamento das rodas no veículo de referência para o projeto. Se as rodas estiverem distantes de mais de oito vezes o raio (a) da área circular carregada que se determina como descrito antes, o problema pode ser tratado como o de projeto para roda simples. Porém, se a distância entre as rodas for inferior a oito vezes o raio da área carregada, deve-se tratar o problema como o de roda dupla ou o de rodas múltiplas.

Contudo, é possível economizar tempo considerável para chegar a uma solução, determinando-se o tratamento que pode ser dado a um problema de projeto que é aparentemente, de carga de rodas múltiplas, seja como o de cargas de rodas duplas, o de uma sucessão de problemas de cargas de rodas duplas, ou, simplificada, o de cargas de rodas simples. Tanto no caso de rodas duplas como no de rodas múltiplas a espessura de projeto (T_A) é determinada para uma carga de roda simples equivalente calculada no ponto de deflexão máxima do subleito. Para as rodas duplas este ponto fica a meia-distância entre as rodas do eixo traseiro, no centro de gravidade de todas as rodas do veículo ou em algum ponto intermediário, o que depende das dimensões e grandeza relativa das cargas das rodas individuais.

Curvas de Projeto de Espessuras Admissíveis

O projeto estrutural de um pavimento asfáltico sujeito a carga pesadas de roda depende do número e intensidade das cargas de roda a que se submete o pavimento; pressão de contato; condições ambientais, como os efeitos da temperatura e do gelo - degelo; resistência do subleito; e propriedades dos materiais do pavimento. Para informações sobre os requisitos recomendados dos materiais, deve o leitor reportar-se ao manual MS-23.

Neste procedimento, a espessura admitida de pavimento asfáltico a espessura plena ("Full - Depth") é determinada em termos de p e $T_{A/a}$, sendo:

T_A = Espessura do pavimento asfáltico "full-depth"

a = Raio da carga de roda simples equivalente em milímetro (polegadas)

p = Pressão de contato pneu-chão em quilopascal (libras por polegada quadrada)

Os valores de $T_{A/a}$ são selecionados seja do Gráfico I (Tabela 11.8) ou do Gráfico II (Tabela 11.9), dependendo da região climática em que se localiza a obra.

A seleção do Gráfico I ou Gráfico II faz-se tendo em vista os critérios seguintes:

Gráfico n°	Condições Climáticas (médias de 30 anos)	Condições Subleito
I	Cerca de 3 meses de temperatura média diária de 0°C (32°F) ou menor. Médias anuais de temperatura de 13°C (55°F) ou menos.	Subleito sujeito a enfraquecimento pelo gelo. Crescimento gradual de condições fracas na primavera ao módulo de projeto no início do outono.
II	Não há temperaturas de congelamento. Médias anuais de temperatura superiores a 13°C (55°F).	O módulo do subleito permanece razoavelmente constante o ano todo, no valor de projeto.

Uma vez escolhido o Gráfico, lêem-se os valores de $T_{A/a}$ diretamente, para os valores do módulo de resiliência do subleito (M_r), pressão de contato do pneu (p) e o número de repetições de cargas de projeto. Converte-se $T_{A/a}$ em T_A como segue:

- O valor do raio da área de contato do pneu (a) determina-se como se explicou acima. A espessura de projeto calcula-se pela multiplicação de p por $T_{A/a}$ por a .
- O Asphalt Institute recomenda uma espessura mínima de concreto asfáltico, T_A de 180 mm, nos projetos de cargas de roda pesadas.

Tabela 11.8 Gráfico 1 - Valores $T_{A/a}$ de Projeto para Médias Anuais de Temperaturas Diárias de 13°C (55°F) ou Menos

Subleito M_r (CBR)	Repetições de cargas	Pressão de Contato Pneu-Chão, kPa(lb/pol ²)					
		275 (40)	415 (60)	550 (80)	690 (100)	1035 (150)	1380 (200)
30 MPa 4.500 lb/pol ² (3)	10.000	0.68	0.93	1.14	1.31	1.68	2.01
	100.000	0.82	1.15	1.39	1.59	2.01	2.36
	1.000.000	1.08	1.42	1.68	1.90	2.39	2.79
50 MPa 7.500 lb/pol ² (5)	10.000	0.55	0.80	1.01	1.20	1.55	1.86
	100.000	0.74	1.02	1.25	1.43	1.88	2.23
	1.000.000	0.96	1.27	1.54	1.75	2.25	2.63
100 MPa 15.500 lb/pol ² (10)	10.000	0.39*	0.59	0.81	0.98	1.33	1.62
	100.000	0.52	0.82	1.03	1.23	1.64	1.96
	1.000.000	0.74	1.06	1.32	1.54	2.00	2.30
150 MPa 22.500 lb/pol ² (15)	10.000	0.39*	0.48*	0.62	0.81	1.17	1.45
	100.000	0.39*	0.63	0.88	1.08	1.47	1.81
	1.000.000	0.56	0.90	1.16	1.38	1.82	2.19

* Mínimo $T_{A/a}$

Tabela 11.9 Gráfico 2. Valores $T_{A/a}$ de projeto para Médias Anuais de Temperaturas Diárias de mais de 13°C (55°F)

Subleito Mr (CBR)	Repetições de cargas	Pressão de Contato Pneu-Chão, kPa(lb/pol ²)					
		275 (40)	415 (60)	550 (80)	690 (100)	1035 (150)	1380 (200)
30 MPa 4.500 lb/pol ² (3)	10.000	0.59	0.81	1.00	1.16	1.50	1.79
	100.000	0.75	1.00	1.22	1.41	1.79	2.12
	1.000.000	0.92	1.22	1.46	1.68	2.11	2.47
50 MPa 7.500 lb/pol ² (5)	10.000	0.47	0.70	0.88	1.04	1.37	1.63
	100.000	0.63	0.87	1.10	1.28	1.66	1.97
	1.000.000	0.81	1.08	1.33	1.55	1.97	2.33
100 MPa 15.500 lb/pol ² (10)	10.000	0.39*	0.48*	0.67	0.84	1.17	1.44
	100.000	0.40	0.67	0.89	1.07	1.45	1.75
	1.000.000	0.60	0.88	1.13	1.35	1.75	2.10
150 MPa 22.500 lb/pol ² (15)	10.000	0.39*	0.48*	0.55*	0.67	1.03	1.29
	100.000	0.39*	0.51	0.73	0.93	1.30	1.60
	1.000.000	0.42	0.74	0.98	1.20	1.59	1.93

* Mínimo $T_{A/a}$

Determinação da Espessura para Cargas de Rodas Duplas

O procedimento de projeto para os problemas de cargas de rodas duplas exigem a conversão numa carga de roda simples *equivalente* que pode ser usada com os gráficos I e II para determinar a espessura necessária.

Os problemas de cargas de rodas duplas têm soluções gráficas de dois valores de T_A contra carga, a relação do T_A *admissível* contra o P , discutida previamente e a relação da carga equivalente (P_e) contra T_A .

Exemplo:

Determinar uma curva de projeto de carga de roda simples *equivalente* para as condições seguintes:

$$P = 88 \text{ a } 309 \text{ kN (19.840 a 69.450 lb)}$$

$$p = 690 \text{ kPa (100 lb/pol}^2\text{)}$$

$$M_r = 50 \text{ MPa (7.500 lb/pol}^2\text{)}$$

$$\text{Repetições} = 10.000$$

$$T_{A/a} = 1,20 \text{ do Gráfico I [“MAAT” (temperatura do ar média anual) 13°C]}$$

Os valores de carga de roda simples equivalente correspondente ao raio (a) e espessura asfáltica T_A estão mostradas na Figura 11.28 e marcadas na Figura 11.29.

Determinar a curva de carga de roda simples equivalente para a carga de roda dupla de 222 kN [$P = 111 \text{ kN}$, $p = 690 \text{ kPa}$, tendo o subleito $M_r = 50 \text{ MPa}$]. O espaçamento de centro-a-centro é de 610 mm para as rodas duplas.

Portanto:

$$P = 111 \text{ kN}$$

$$p = 690 \text{ kPa}$$

$$D = 610 \text{ mm}$$

$$a = \sqrt{\frac{P}{p \cdot \pi}} = \sqrt{\frac{111}{690 \pi}} = 0,226 \text{ m ou } 226 \text{ mm}$$

$$\left(= \sqrt{\frac{25000}{100 \pi}} = 8.9 \text{ pol} \right)$$

$D/a = 610/226 = 2,7$. ($24/8,9 = 2,7$). Visto que D/a é menor que 8,0 os dois pneus devem ser analisados como uma carga de roda dupla equivalente.

P		$a = \sqrt{\frac{P}{p \pi}}$		$T_A = (T_{A/a}) \cdot a$	
kN	(lb)	mm	(pol.)	mm	(pol.)
88	(19.840)	200	(8.0)	240	(9.6)
132	(29.760)	250	(9.7)	300	(11.6)
176	(39.680)	285	(11.2)	342	(13.4)
221	(49.600)	320	(12.6)	384	(15.1)
265	(59.520)	350	(13.8)	420	(16.6)
309	(69.450)	380	(14.9)	456	(17.9)

Figura 11.28 Dados para a Curva de Projeto da carga de Roda simples Admissível

Para o $D/a = 2,7$, obteve-se da Figura 11.30 os fatores de carga (L) que correspondem a $T_{A/a}$ de 1,0 - 1,5 - 2,0 - 2,5 - 3,0. A carga de roda equivalente (P_e) e a espessura asfáltica (T_A) foram calculados com as relações $P_e = 2P/L$ e $T_A = a (T_{A/a})$ para cada um dos $T_{A/a}$ selecionados. Os dados e valores calculados estão apresentados na Figura 11.31. Os valores de P_e contra T_A estão marcados na Figura 11.29.

Neste problema dado como exemplo, a espessura asfáltica de projeto (T_A) é determinada na interseção das curvas de T_A contra P e de P_e contra T_A , mostradas na Figura 11.29. O valor T_A de projeto é igual a 370 mm, que corresponde a $P_e = 204$ kN.

Se existissem mais rodas, seja simples ou duplas, localizadas a uma distância até 8 raios, o problema seria resolvido pelo procedimento das rodas múltiplas.

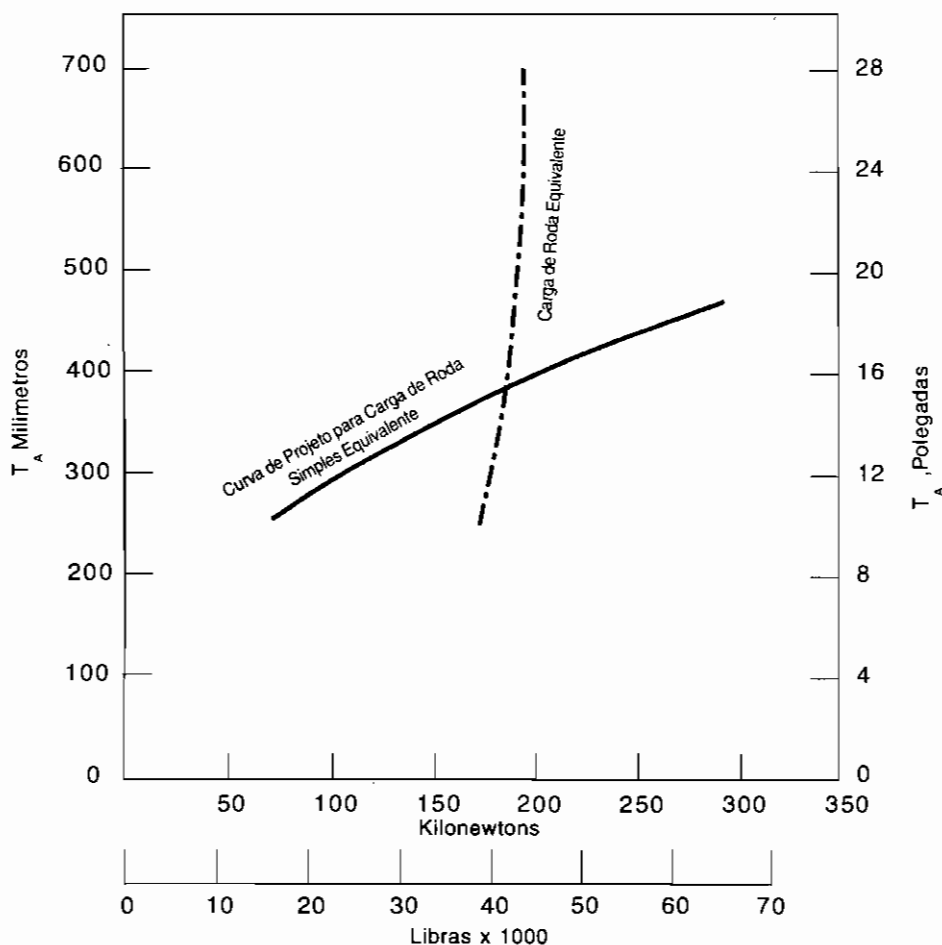


Figura 11.29 Curvas de Carga de Roda Simples Equivalente e Carga Admissível

Determinação da Espessura para Cargas de Rodas Múltiplas

O procedimento de projeto quando se tem mais de duas cargas de rodas é consideravelmente mais tedioso e complicado. Por esta razão, a abordagem manual gráfica não é apresentada aqui. Deverá o leitor referir-se ao Manual MS-23 ao programa de computação CP-2 disponíveis no Asphalt Institute. O programa de computação leva em conta até 20 cargas de roda e executa as computações necessárias ao projeto do procedimento de cargas de rodas múltiplas.

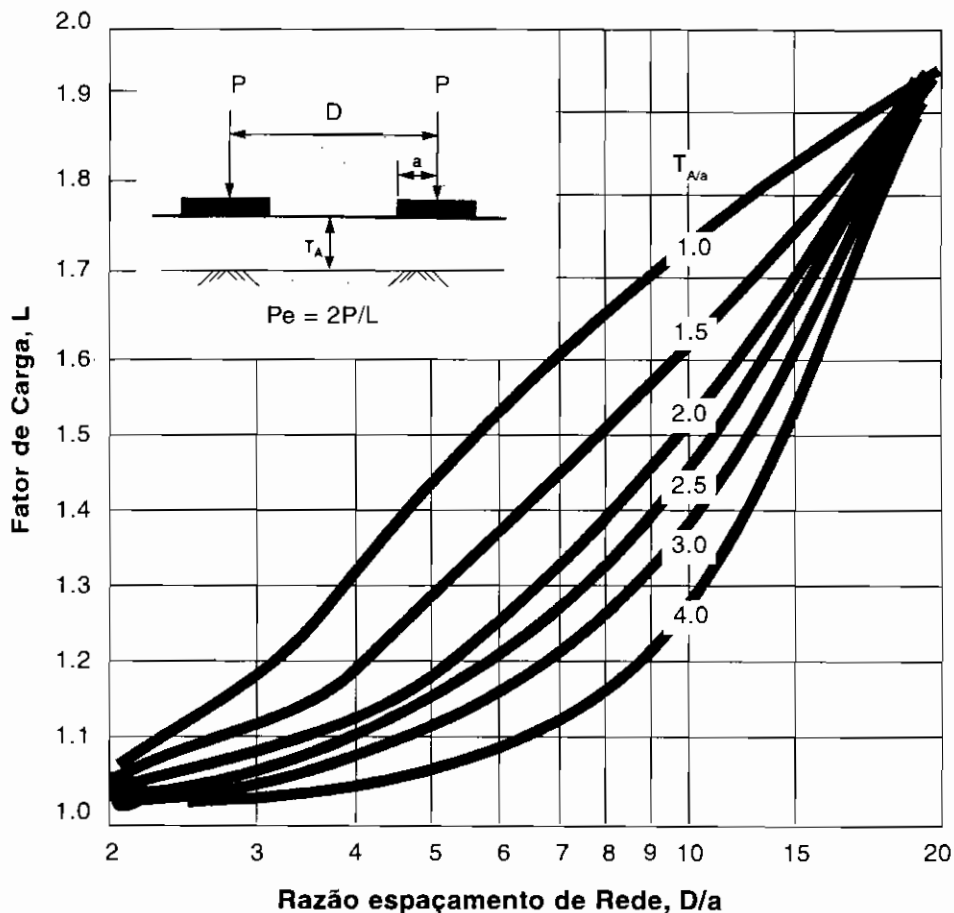


Figura 11.30 Fatores de Carga de Roda Dupla

a		$T_{A/a}$	L	$P_e = \frac{222 \left(\frac{50.000}{L} \right)}{L}$		T_A	
kN	(lb)			mm	(pol.)	mm	(pol.)
226	(8.9)	1.0	1.16	191	(43.100)	229	(8.9)
		1.5	1.10	202	(45.500)	344	(13.4)
		2.0	1.07	207	(46.700)	458	(17.8)
		2.5	1.06	209	(47.200)	573	(22.3)
		3.0	1.04	213	(48.100)	687	(26.7)

Figura 11.31 Dados para a Determinação da Carga de Roda Simples Equivalente.

11.6 Construção Planejada por Etapas

Vantagens

A construção planejada por etapas dos pavimentos faz-se pela construção de parte da espessura de pavimento necessária e a aplicação de camadas sucessivas conforme um cronograma pré-estabelecidos. Não se pode confundir a construção planejada por etapas com os serviços principais de manutenção e reabilitação de pavimentos existentes. O procedimento baseia-se na presunção de que o segundo será construído antes que o primeiro estágio mostre sinais de falhas graves.

A construção por etapas apresenta diversas vantagens:

1. Quando não há dinheiro suficiente para construir a espessura total do pavimento, este pode ser projetado para duas etapas – a primeira sendo prevista para um período de tempo menor. Entretanto, é importante que se façam planos para dispor de fundos quando a segunda etapa de construção estiver para se realizar.

2. As dificuldades de avaliação de tráfego em períodos de 20 a 25 anos, especialmente para aeroportos e rodovias em áreas rurais em perspectivas de desenvolvimento, fazem com que a construção planejada por etapas seja atraente. Pode-se projetar a obra para um período de tempo menor, fazendo-se, então, contagens de tráfego na obra executada. Com estes dados obtidos em serviço, podem ser feitas estimativas do tráfego futuro.

3. A experiência mostra que os pavimentos superpostos depois de submetidos ao tráfego, mostram um desempenho de certa forma melhor do que os novos pavimentos de igual constituição.

4. Os pontos fracos que aparecem na primeira etapa podem ser consertados, e estarão disponíveis dados de tráfego revistos. A avaliação cuidadosa das condições reais do pavimento ao se aproximar o final da primeira etapa, permite que se consiga obter economia na espessura final ou se conheça o prolongamento da vida do pavimento original.

Abordagem do Projeto

O projeto de construção por etapas baseia-se no conceito de vida restante. No procedimento de construção por etapas, presume-se que no projeto do pavimento se coloque o reforço planejado antes que o pavimento tenha esgotado sua vida de fadiga.

O período de projeto por etapas deve ser igual a 25 a 50 por cento do período total de projeto. Por exemplo, se o período de projeto for de 20 anos, então, o período da etapa de projeto deverá ser de 5 a 10 anos.

A fim de assegurar que a camada do primeiro estágio de concreto asfáltico funcione corretamente com a do segundo, a segunda camada deverá ser aplicada quando os danos acumulados na primeira camada não excederem cerca de 60 por cento. Isto significa que a vida restante do pavimento existente seja de, pelo menos, 40 por cento de sua vida de projeto.

Os símbolos seguintes são usados neste procedimento:

n_1 = Tráfego de projeto na etapa 1

n_2 = Tráfego de projeto na etapa 2

N_1 = Tráfego de projeto ajustado para a etapa 1

N_2 = Tráfego de projeto ajustado para a etapa 2

h_1 e h_2 = espessuras projetadas para as etapas 1 e 2, respectivamente

h_s = espessura a acrescentar na etapa 2

Os passos para obter as espessuras de projetos das etapas 1 e 2 são:

1. Determinar o tráfego de projeto que se atribui às etapas um e dois (n_1 e n_2)
2. Calcular os valores de tráfego de projeto ajustados
 $N_1 = (100/60\% \text{ de danos}) \times n_1 = 1,67 n_1$
 $N_2 = (100/40\% \text{ de vida restante}) \times n_2 = 2,5 n_2$
3. Determinar as espessuras de projeto h_1 e h_2 para os valores de tráfego ajustado, N_1 e N_2 , pelo procedimento normal de dimensionamento.
4. Determinar a espessura a adicionar na etapa 2.

$h_s = h_2 - h_1$

Nota: Quando se aproxima o fim do período de tempo da primeira etapa, pode-se alterar a espessura adicional planejada da segunda etapa com base nas condições correntes ou nas medições da resistência e tráfego, ou em ambas.

Exemplo: Seja o dimensionamento de um pavimento asfáltico de espessura plena sobre um subleito de módulo resiliente de 34,47 MPa; as repetições de cargas de eixo equivalente - "EAL" em número de 200.000 são esperadas nos primeiros cinco anos, e $1,8 \times 10^6$ repetições durante os 15 anos seguintes. Preparar um dimensionamento deste pavimento admitindo que a primeira etapa é de cinco anos e que o reforço será colocado nessa época a fim de atender ao tráfego esperado nos próximos 15 anos. Seguindo-se os passos acima obtém-se :

1. Valores "EAL" de projeto:

$n_1 = 200.000$; $n_2 = 1.800.000$

2. Valores "EAL" de Projeto, Ajustados:

$N_1 = 1,67 \times 200.000 = 334.000$; $N_2 = 2,5 \times 1.800.000 = 4.500.000$

3. Do Gráfico de Projeto, Figura 11.5 (ou Figura 11.8):

$h_1 = 215$ mm; $h_2 = 330$ mm

4. A espessura de projeto da primeira etapa,

$h_1 = 215$ mm

5. A espessura adicional planejada para a etapa 2 é:

$H_s = 330 - 215 = 115$ mm.

11.7 Projeto de Reforço de Pavimento

Avaliação da Capacidade Estrutural

A avaliação estrutural determina a capacidade de um pavimento de resistir ao tráfego sem desenvolver defeitos estruturais apreciáveis. A intenção de uma avaliação estrutural é determinar a capacidade corrente do pavimento e de prever sua vida de serviço futura em relação ao tráfego que o utiliza. Quando o pavimento se mostrar inadequado ao uso corrente e futuro, a avaliação constitui a base do projeto dos melhoramentos necessários para prover um serviço conveniente.

Pode uma estrutura de pavimento tornar-se inadequada por várias razões. O pavimento pode ter ultrapassado sua vida de projeto – o volume de tráfego e o peso podem ter aumentado a uma taxa maior de que a antecipada no projeto original. Neste caso a vida de serviço é reduzida. Algumas propriedades dos materiais do pavimento podem ter mudado nas condições de serviço – o que reduz a eficiência do material na estrutura do pavimento. Existem muitos pavimentos que foram construídos antes do desenvolvimento dos procedimentos de projeto que levam em conta as relações entre suporte do subleito, resistência dos materiais do pavimento e cargas dos veículos; portanto, esses pavimentos podem não obedecer aos requisitos estruturais correntes.

As técnicas de avaliação dos pavimentos enquadram-se em duas categorias gerais:

1. Método da Deflexão

Este método utiliza vários itens de equipamento especializado para medir deflexões dos pavimentos existentes que indiquem a vida de serviço restante e os requisitos de reforço estrutural. Porque são muitos os métodos disponíveis, os mesmos não serão discutidos aqui. Encontram-se informações pormenorizadas no Manual MS-17 do Asphalt Institute e no Guia de Projeto da AASHTO, de 1986.

2. Método da Espessura Efetiva

Este método utiliza levantamentos visuais de condições para indicar a condição estrutural do pavimento existente. Os componentes estruturais do pavimento são avaliados de modo a atribuir uma Espessura Efetiva representativa e fixar-lhes uma capacidade estrutural presente.

Análise da Espessura Efetiva

O procedimento da Espessura Efetiva para a avaliação estrutural e o projeto de reforços baseia-se no conceito de que o pavimento se deteriora, i.e., que sua vida é reduzida após se expor ao tráfego por muito tempo. Com efeito o pavimento “usa” parte de sua vida total como resultado das repetições de cargas impostas pelo tráfego. Quando condições defeituosas se manifestam na superfície do pavimento, uma certa quantidade da vida útil do pavimento é gasta, o que deve

ser levado em conta no projeto. Ao mesmo tempo a “vida restante” do pavimento existente pode ser utilizada no projeto do pavimento para as condições futuras.

O procedimento admite que ao usar parte de sua vida total, o mesmo se comporta como se ficasse cada vez mais fino, isto é, sua espessura efetiva diminuisse cada vez mais por conta da parte gasta da vida total do pavimento.

A fim de calcular a espessura efetiva de um pavimento existente e selecionar e formular o método de reabilitação apropriado, é necessário conhecer a composição de cada camada de pavimento, a espessura de cada camada do pavimento e as propriedades do subleito. A Espessura Efetiva (T_e) de um pavimento existente é a espessura que teria se pudesse ser convertido em concreto asfáltico de espessura plena. Se o reforço é necessário, esta Espessura Efetiva também pode ser usada no cálculo de espessura adicional de pavimento. A estrutura de pavimento existente, então, constituirá uma parte integrante e principal do pavimento redimensionado. Para calcular T_e , deve-se converter cada camada do pavimento existente em espessura equivalentes de concreto asfáltico, usando-se o Fator de Conversão (Tabela 11.10) próprio de cada uma.

Caso não se dispuser de registros originais, ou se necessário completar informações, será preciso amostrar e ensaiar as camadas granulares, a fim de determinar sua classificação como material granular de base, sub-base, ou subleito melhorado e as espessuras das camadas. As que forem classificadas finalmente, como de base granular, por exemplo, podem, realmente, não passarem de sub-bases ou subleitos melhorados, devido à intrusão de solo e à degradação do agregado.

As camadas asfálticas devem ser examinadas para determinar os tipos de mistura e o estado e espessura de cada uma.

O concreto de cimento portland deve ser examinado para determinar a condição, espessura e apoio. Entre os sinais de defeitos a procurar estão o bombeamento, trincamento, lascado, desníveis de juntas e o movimento da placa sob o tráfego.

A avaliação da condição de camadas asfálticas ou de concreto de cimento portland é, em grande parte, uma determinação arbitrária e sua classificação, em grau elevado, dependente da experiência do observador.

Uma vez identificadas as camadas componentes e determinadas suas condições, selecionam-se os Fatores de Conversão adequados da Tabela 11.10. A Espessura Efetiva (T_e) de cada camada é calculada como o produto da espessura da camada pelo Fator de Conversão. A espessura efetiva da estrutura total do pavimento é a soma das Espessuras Efetivas das diferentes camadas.

Dimensionamento de Reforço

Conhecidos o valor de resistência do subleito, a análise do tráfego e a Espessura Efetiva (T_e), decorrentes do exame do pavimento, pode-se determinar a espessura de reforço necessária para o fortalecimento de um pavimento inadequado

Tabela 11.10 Fatores de Conversão da Espessura dos Componentes do Pavimento Existente em Espessura Efetiva (T_e)

(Estes fatores de conversão aplicam-se somente à avaliação de pavimentos para projeto de reforço. Em hipótese alguma aplicam-se ao dimensionamento dos pavimentos originais)

Classificação	Descrição do Material	Fatores de Conversão*
I	<ul style="list-style-type: none"> a) Subleito natural em todos os casos. b) Subleito melhorado ** - materiais predominantemente granulares - que podem conter um pouco de silte e argila, mas têm IP 10 ou menor. c) Subleito modificado pela cal construído com solos de alta plasticidade - IP 10 ou maior. 	0,0
II	Subleito e base granular - agregado razoavelmente bem graduado, duro, tendo alguns finos plásticos e CBR não inferior a 20. Utiliza-se a parte superior se o IP for 6 ou menor; a parte inferior se o IP for maior que 6.	0,1 - 0,2
III	Bases** e sub-bases estabilizadas pelo cimento ou pelas cinzas volantes e cal, construídas com solos de baixa plasticidade, de IP 10 ou menor.	0,2 - 0,3
IV	<ul style="list-style-type: none"> a) Revestimentos e bases a emulsão asfáltica e a asfalto diluído que apresentam extenso trincamento, considerável desprendimento e degradação de agregados, apreciável deformação nas trilhas de rodas e falta de estabilidade. b) Pavimentos de concreto de cimento portland, (inclusive os sub revestimentos asfálticos que têm sobrepostos em pedaços pequenos de dimensões máxima de 0,6 m ou menos, antes da construção do reforço. Utiliza-se a parte superior quando existe uma sub-base; utiliza-se a parte inferior quando a placa está sobre o subleito. c) Bases** estabilizadas pelo cimento ou pelas cinzas volantes e cal que desenvolveram padrões de trincamento conforme se vê em trincas refletidas no revestimento. Utiliza-se a parte superior quando as trincas forem estreitas e vedadas; utiliza-se a parte inferior quando as trincas forem largas, quando houver bombeamento e quando existirem evidências de instabilidade. 	0,3 - 0,5

* Valores e gamas dos Fatores de Conversão são fatores multiplicativos para conversão da espessura de camada estrutural existente em espessura equivalente de concreto asfáltico.

** Originalmente sendo satisfeitos os requisitos mínimos de resistência e compactação especificados pela maioria dos departamentos rodoviários estaduais.

Classificação	Descrição do Material	Fatores de Conversão*
V	<p>a) Revestimento de bases de concreto asfáltico que apresentam considerável trincamento e padrões de trincas.</p> <p>b) Revestimentos e bases e emulsão asfáltica e a asfalto diluído que apresentam algum trincamento fino algum desprendimento e degradação de agregados e ligeira deformação nas trilhas de roda, mas permanecendo estáveis.</p> <p>c) Pavimento de concreto de cimento portland bastante trincado e afundado (inclusive os que têm sobreposto um revestimento asfáltico) que não podem ser subselados eficazmente. Fragmentos de placa, de dimensões, aproximadamente, entre um a quatro metros quadrados, têm sido bem ausentes no subleito por compressão de rolos pneumáticos pesados.</p>	0.5-0.7
VI	<p>a) Revestimento e bases de concreto asfáltico mostrando algum trincamento fino, padrões pequenos e intermitentes de trincas, e ligeira deformação nas trilhas de roda, mas permanecendo estáveis.</p> <p>b) Revestimentos e bases a emulsão asfáltica e a asfalto diluído, através, geralmente não trincados, sem exsudação, e pequena deformação nas trilhas de roda.</p> <p>c) Pavimentos de concreto de cimento portland (inclusive os que têm sobreposto um revestimento asfáltico) que são estáveis e subselados, apresentando algum trincamento porém sem pedaços menores do que, aproximadamente, um metro quadrado.</p>	0.7-0.9
VII	<p>a) Concreto asfáltico, inclusive base de concreto asfáltico, que não está, geralmente, trincado, e apresenta pequena deformação nas trilhas de roda.</p> <p>b) Pavimento de concreto de cimento portland, estável, subselado e, geralmente não trincado.</p> <p>c) Base de concreto de cimento portland, sob revestimento asfáltico, estável, não apresenta bombeamento e mostra pequeno trincamento no revestimento.</p>	0.9-1.0

de modo que o mesmo atenda ao tráfego que se antecipa numa projeção de tempo feita. Para encontrar a espessura de reforço necessária:

1. Determinar o Módulo de Resiliência de Projeto do Subleito, M_r . (Referir-se à seção anterior)
2. Determinar o gráfico futuro de projeto estimado.
3. Utilizando-se do gráfico de dimensionamento, para as condições ambientais apropriadas, determinar a espessura de pavimento de concreto asfáltico de profundidade plena, T_A , necessária para satisfazer as condições de subleito e de tráfego determinadas nos Passos 1 e 2 (acima) no Período de Projeto selecionado.
4. Determinar a espessura Efetiva, T_e , da estrutura de pavimento existente, conforme pormenorizado acima.
5. A espessura de reforço de concreto asfáltico necessário, então, é igual a $T_A - T_e$.

Quando se coloca um reforço sobre pavimentos de concreto de cimento portland, há sempre a preocupação com as trincas de reflexão. A espessura de projeto calculada no Passo 5 deve ser sempre confirmado em relação a este interesse adicional.

Caso a avaliação estrutural indicar que o trincamento de reflexão seja o fator decisivo do desempenho, o dimensionamento de reforço, discutido antes, poderá ser modificado. Conforme se descreve no Capítulo 9 e mais pormenorizadamente na publicação *Reforços Asfálticos para a Reabilitação de Rodovias e Ruas* ("Asphalt Overlays for Highway and Street Rehabilitation"), manual nº 17 ("Manual Series", MS-17), do Asphalt Institute, existem vários métodos correntes que se mostram promissores na restrições de trincamento de reflexão em certas situações:

1. Trincamento e assentamento de pavimentos de c.c.p. deteriorados.
2. Trituração dos pavimentos de c.c.p.
3. Incorporação de uma camada de graduação aberta de alívio do trincamento no reforço.
4. Reciclagem da camada (ou das camadas) superiores da seção transversal.
5. Incorporação de uma camada intercalada de asfalto – borracha no reforço.
6. Colocação de uma camada intercalada de tecido e uma pintura de ligação antes do reforço.
7. Serragem e selagem do reforço diretamente sobre a junta do concreto de cimento portland.

Dependendo da intensidade de movimento horizontal e vertical que ocorre no pavimento, os métodos 6 e 7 podem ser de eficácia limitada. O movimento vertical excessivo das placas de c.c.p. deve ser, inicialmente, reduzido pela subselagem conforme se explica no Folheto de Construção nº 13 (CL-13) *Especificações de Subselagem de Pavimentos de Concreto de Cimento Portland com Asfalto* ("Specifications for Undersealing Portland Cement Concrete Pavements with Asphalt").

Exemplo

Determinar a espessura efetiva de um pavimento de três camadas que consiste num revestimento de 100 mm de concreto asfáltico, 150 mm de base estabilizada com cimento portland e 100 mm de base de cascalho britado não – tratado. A superfície apresenta numerosas trincas transversais e considerável trincamento couro-de-jacaré nas trilhas de rodas. A base estabilizada com cimento portland mostra sinais de bombeamento e perda de estabilidade ao longo das

bordas do pavimento. Da Tabela 11.10 obtiveram-se os fatores de conversão, $C = 0,5$ para o revestimento, $C = 0,3$ para a base estabilizada pelo cimento e $C = 0,2$ para a base de cascalho britado.

T_e (revest. concr. asf.)	=	$100 \times 0,5$	=	50 mm (2,0 pol)
T_e (base estab pelo cimento)	=	$150 \times 0,3$	=	45 mm (1,7 pol)
T_e (base de cascalho)	=	$100 \times 0,2$	=	20 mm (0.8 pol)
T_e (todas as camadas)				<u>115 mm (4.5 pol)</u>

Dimensionar um Reforço do Pavimento Descrito:

Dados: Subleito, $M_r = 82,7$ MPa

“EAL” de projeto = 2×10^6 repetições

T_e (todas as camadas) = 115 mm

Do Gráfico de Dimensionamento, Figura 11.5 (ou Figura 11.8),

$T_A = 240$ mm

$T_o = T_A - T_e$

$T_o = 240 - 115 = 125$ mm

Usar 130 mm

Capítulo 12

Reciclagem de Misturas a Quente

A reciclagem de mistura a quente de pavimentos asfálticos tem sido cada vez mais usada nos últimos anos, tendo-se tornado uma das alternativas principais da produção de misturas asfálticas a quente. O interesse atual pela reciclagem de misturas a quente surgiu por diversas circunstâncias. A preocupação continuada com a utilização eficiente da energia, a vantagem econômica trazida pela reutilização do asfalto, o esgotamento das fontes facilmente disponíveis de agregado, e o aumento crescente dos custos de produção, todos trouxeram incentivos à utilização da reciclagem de misturas a quente.

Embora a operação de instalação de reciclagem de misturas a quente exija mais conhecimentos específicos do que os encontrados neste Capítulo, os princípios básicos aqui fornecerão uma introdução simples.

SEÇÃO 12.1 Fundamentos da Reciclagem de Mistura a Quente

- Introdução
- Definição
- Dimensionamento

SEÇÃO 12.2 Dosagem da Mistura

- Introdução
- Passos Preparatórios
- Avaliação dos Materiais
- Dosagem da Mistura

SEÇÃO 12.3 Materiais Recuperados

- Remoção do Pavimento
- Redução do Tamanho do Material do Pavimento
- Amontoado de Materiais

SEÇÃO 12.4 Métodos de Produção das Instalações

- Opções de Produção
- Instalações de Batelada
- Instalações de Misturas em Tambor
- Espalhamento e Compactação

BIBLIOGRAFIA

1. Reciclagem de Mistura Asfáltica a Quente ("Asphalt Hot-Mix Recycling"), MS-20, Asphalt Institute.
2. Diretrizes para a Reciclagem de Materiais de Pavimentos ("Guidelines for Recycling Pavement Materials"), Relatório nº 224, Programa Cooperativo Nacional de Pesquisa Rodoviária ("National Cooperative Highway Research Program Report 224"), Transportation Research Board, set. 1980.

12.1 Fundamentos da Reciclagem de Mistura a Quente

Introdução

Em primeiro lugar nas preocupações da indústria de construção de pavimentos e das agências financiadoras, está a conservação dos materiais, a proteção ambiental, e a economia dos procedimentos de construção e reabilitação.

A reciclagem de pavimentos com asfalto é um procedimento que destacadamente e com espírito prático atende a estas preocupações, especialmente por ser econômico quanto a energia e materiais.

Na reciclagem de pavimentos asfálticos, os materiais recuperados de estruturas de pavimentos antigos são reprocessados junto com algum material novo de modo a produzir misturas asfálticas que atendam a todos os requisitos de especificação usuais. As misturas recicladas podem ser colocadas nos mesmos leitos de onde provieram os materiais recuperados; ou podem ser usadas onde quer que as misturas asfálticas sejam necessárias.

A reciclagem asfáltica não é uma técnica nova; sua história já se estende por várias décadas. Contudo, foram as exigências crescentes da economia e da proteção ao meio ambiente que acarretaram ênfase maior e vários apuros técnicos nos procedimentos de reciclagem.

Definições

A reciclagem é o reemprego, geralmente após algum processamento, de material que já serviu aos objetivos iniciais. A reciclagem pode abranger várias formas - reciclagem do revestimento, reciclagem de mistura a frio, e reciclagem de mistura a quente, porém somente a última será tratada neste Capítulo. A reciclagem de mistura a frio está discutida no Capítulo 13. Aplicam-se as definições seguintes ao processo de reciclagem:

1. Pavimento asfáltico recuperado ou fresado – materiais de pavimento removidos ou reprocessados, ou ambos, contendo asfalto e agregados.

2. Material de agregado recuperado – materiais de pavimento removidos ou reprocessados, ou ambos, não contendo agente ligante reutilizável.

3. Reciclagem de mistura a quente – um processo em que os materiais de pavimento asfáltico recuperados (“RAP”) e materiais de agregado recuperados (“RAM”), ou ambos, são combinados com asfalto novo ou agentes de reciclagem, ou ambos, conforme for necessário, numa instalação de mistura central que produz mistura de pavimentação a quente. O produto final obedece a todas as especificações de materiais padronizados e requisitos de construção para o tipo de mistura produzido.

4. Agente de reciclagem – é um material orgânico de características químicas e físicas especiais selecionado para restaurar o asfalto envelhecido de modo a satisfazer as especificações desejadas.

Dimensionamento

Os procedimentos de dimensionamento da estrutura de pavimento que emprega misturas a quente recicladas não diferem dos que se aplicam a pavimentos constituídos de materiais totalmente novos. Isto é válido desde que a mistura reciclada atenda os requisitos aplicáveis a misturas virgens. Recomendam-se os métodos do Capítulo 11. O procedimento requer estimativas do tráfego previsto, condições ambientais, resistência do subleito e propriedades da mistura reciclada.

Em muitos casos o acréscimo do peso e volume do tráfego exige um perfil de pavimento mais resistente do que o originalmente construído. Isto pode ser feito economicamente projetando-se um pavimento asfáltico de espessura plena utilizando materiais de agregado não tratado de base em mistura de concreto asfáltico reciclado.

Qualquer deficiência de drenagem na estrutura do pavimento antigo deve ser corrigida antes de proceder à reconstrução. Se alguma parte da antiga sub-base ou base for permanecer, as propriedades destes materiais devem ser avaliadas e coeficientes de camada adequados devem ser indicados para os mesmos e usados no dimensionamento. Os coeficientes das camadas para obter as espessuras efetivas das camadas existentes podem ser encontradas no Capítulo 11.

12.2 Dosagem da Mistura

Introdução

Esta seção apresenta, passo a passo, o processo necessário para compor os materiais recuperados, escolher o grau e quantidade de cimento asfáltico (e mais, o agente de reciclagem, se necessário) e preparar a dosagem final da mistura reciclada. É este o método de reciclagem de mistura a quente, que usa de 10 a 60 por cento de pavimento asfáltico recuperado. As usinas de batelada podem manejar até 40 por cento (sem qualquer método auxiliar de pré-aquecimento de "RAP"), sendo a gama mais prática de 10 a 35 por cento; as usinas de mistura em tambor podem manejar até 60 por cento, sendo de 10 a 50 por cento a gama prática.

Passos Preparatórios

Este procedimento de dosagem de mistura utiliza tanto o método Marshall como o de Hveem, na dosagem da mistura (ver o Capítulo 4; também descritos, integralmente, os métodos Marshall e de Hveem em Métodos de Dosagem de Mistura de Concreto Asfáltico e de Outros Tipos de Misturas a Quente ("Mix - Design Methods for Asphalt Concrete and Other Hot-Mix Types"), MS-2, Asphalt Institute.

O agregado de um pavimento asfáltico recuperado ("RAP") é combinado com materiais de agregado recuperados ou novo agregado, ou ambos, de que se necessita para a obtenção de uma graduação combinada que atenda as especificações requeridas. Uma vez determinadas as proporções de agregados, pode-se calcular a demanda total de asfalto. Seleciona-se, então, o grau do novo asfalto (mais o agente de reciclagem, se necessário) afim de restaurar o asfalto envelhecido e obter um ligante final que atenda aos requisitos funcionais das especificações de asfalto, enquanto satisfaz a demanda de asfalto da mistura. Após estas determinações, a dosagem da mistura por um dos dois procedimentos, Marshall ou Hveem, é realizada sendo a quantidade exata de ligante total determinada.

Avaliação de Materiais

A dosagem de misturas asfálticas de pavimentação com pavimento asfáltico recuperado, exige alguns ensaios de laboratório além dos procedimentos usuais de Marshall e Hveem. Primeiramente, a composição da mistura do pavimento asfáltico recuperado deve ser determinada. Isto inclui:

- (a) Graduação do agregado,
- (b) Teor de asfalto,
- (c) Viscosidade do asfalto a 60°C

O agregado e o asfalto do pavimento asfáltico têm propriedades que devem ser avaliadas separadamente. É, portanto, necessário extrair o asfalto envelhecido de uma amostra representativa do pavimento asfáltico recuperado.

A seguir, deve-se determinar a graduação dos materiais de agregado recuperados, se houver. Esta informação é utilizada para a definição da graduação e quantidade de agregados adicionais e a quantidade do novo cimento asfáltico de que se necessita.

(a) Avaliação do Agregado – Faz-se uma análise por peneiramento, ASTM C 117 e C 136 (AASHTO T 11 e T 27) da parte de agregado da amostra de pavimento asfáltico recuperado, afim de determinar a graduação. Quaisquer deficiências podem ser corrigidas pela combinação apropriada das frações peneiradas de novo agregado ou de agregado combinado, ou de ambos, com o agregado do pavimento asfáltico recuperado.

(b) Extração – O método usado deve ser o da ASTM, Designação D 2172 (AASHTO T 164). A finalidade da extração é determinar as quantidades separadas de agregado e asfalto.

(c) Avaliação de asfalto – o teor de asfalto do pavimento asfáltico recuperado é determinado com base nas massas relativas de asfalto extraído e de agregados. O asfalto extraído é recuperado da solução pelo método da ASTM D 1856 (AASHTO T 170). A seguir sua consistência é determinada quanto á viscosidade a 60°C, ASTM D 2171 (AASHTO T 202). Esta determinação é necessária para se estimar a quantidade necessária e o grau de asfalto a ser usado na dosagem de misturas recicladas.

Indica-se não ser crítica a viscosidade do asfalto extraído quando não mais do que 10 por cento do pavimento asfáltico recuperado ("RAP") foi incorporado à mistura. O grau de asfalto que se deve usar na mistura reciclada é, em geral, o mesmo do que se usa em misturas tradicionais.

O novo cimento asfáltico que se adiciona à mistura de pavimento asfáltico recuperado e ao novo agregado, preenche duas finalidades. Há o aumento do teor de asfalto total de modo a atender os requisitos da mistura; e se combina ao asfalto envelhecido na parte recuperada da mistura conduzindo a um asfalto que obedece às especificações desejadas. Em geral, os cimentos asfálticos CAP-10, CAP-5 e CAP-2.5 (AR-4000, AR-2000 e AR-1000; pen. 85-100 dmm, 120-150 dmm e 200-300 dmm) são usados com este propósito. Estes asfaltos devem atender às especificações padronizadas ASTM D 3381 e D 946 (AASHTO M 226 e M 20).

Os agentes de reciclagem são materiais orgânicos de características físicas e químicas selecionadas para restaurar o asfalto envelhecido conforme as especificações desejadas. Na seleção do agente de reciclagem, as características de viscosidade da combinação do asfalto envelhecido com o agente de reciclagem, constituem os fatores determinantes. As especificações de agentes de reciclagem encontram-se na ASTM D 4552.

Um certo número de agentes de reciclagem tem sido usado com sucesso na dosagem de misturas recicladas.

Dosagem da Mistura

Tendo-se as informações obtidas na avaliação dos materiais, a dosagem de mistura a quente reciclada pode ser formulada. A viscosidade a 60°C, segundo a especificação ASTM D 2171 (AASHTO T 202), é o ensaio de medição deste procedimento que identifica o asfalto no pavimento asfáltico recuperado e na mistura reciclada.

Pode-se adotar os passos seguintes no procedimento de dosagem de mistura reciclada:

1. Calcular o agregado combinado na mistura reciclada.
2. Estabelecer aproximadamente a demanda de asfalto dos agregados combinados.
3. Estimar a porcentagem de asfalto novo na mistura.
4. Escolher o grau do asfalto novo.
5. Experimentar a dosagem de mistura pelo método Marshall ou o método de Hveem.
6. Selecionar a fórmula de mistura da obra.

Dá-se uma explicação destes passos nos parágrafos seguintes:

1. Combinação de agregados na Mistura Reciclada - Utilizando-se as graduações do agregado do pavimento asfáltico recuperado, do material de agregado recuperado, se existir, e do novo agregado, calcula-se a graduação combinada que atenda os requisitos das especificações desejadas.

Após a combinação dos agregados (agregado do pavimento asfáltico recuperado - "RAP", novos agregados e/ou material de agregado recuperado - "RAM") ter sido estabelecida, a quantidade de novo agregado e/ou de "RAM" exprime-se como r , em porcentagem.

Por exemplo, seja a combinação seguinte que foi estabelecida para uma mistura reciclada:

45%	agregado recuperado ("RAM")
20%	novo agregado
35%	agregado de pavimento recuperado ("RAP")
100%	Total

A quantidade de novo agregado e de "RAM" é 65%. Assim, $r = 65$. A Tabela 12.1 contém formulas de proporcionamento de materiais de misturas asfálticas a quente recicladas onde a combinação de agregados na mistura mantém-se constante.

2. Estabelecer aproximadamente a Demanda de Asfalto dos Agregados Combinados – A demanda aproximada de asfalto da combinação de agregados pode ser determinada pelo ensaio do Equivalente Centrífuco ao Querosene, que faz parte do Método de Dosagem de Mistura de Hveem, segundo o Asphalt Institute, ou calculado pela fórmula empírica:

$$P = 0,035 a + 0,045 b + Kc + F$$

onde:

P = demanda de asfalto total aproximada da mistura reciclada, em porcentagem ponderal da mistura

a = porcentagem de agregado mineral retido na peneira de 2,36 mm ($n^{\circ} 8$)

b = porcentagem de agregado mineral que passa na peneira de 2,36 mm ($n^{\circ} 8$) e retida na peneira de 75 μm ($n^{\circ} 200$)

c = porcentagem de agregado mineral que passa na peneira de 75 μm ($n^{\circ} 200$)

K = 0,15, para 11 a 15 por cento passante na peneira de 75 μm ($n^{\circ} 200$)

0,18, para 6 a 10 por cento passante na peneira de 75 μm ($n^{\circ} 200$)

0,20, para 5 por cento ou menos passante na peneira de 75 μm ($n^{\circ} 200$)

F = 0 a 0,2 por cento Baseia-se na absorção de agregado leve a pesado. Na ausência de outros dados, sugere-se o valor 0,7.

Tabela 12.1 Fórmulas de Proporcionalamento de Materiais de Misturas a Quente Recicladas (Mantida constante a combinação de agregados na mistura)

	Para Teor de Asfalto	
	em peso, da mistura total	em peso, do agregado
% Asfalto Novo, P_{nb}	$P_{nb} = \frac{(100^2 - rP_{sb})P_b}{100(100 - P_{sb})} - \frac{(100 - r)P_{sb}}{100 - P_{sb}}$	$P_b - \frac{(100 - r)P_{sb}}{100}$
% "RAP", P_{sm}	$P_{sm} = \frac{100(100 - r)}{100 - P_{sb}} - \frac{(100 - r)P_b}{100 - P_{sb}}$	$\frac{(100 + P_{sb})(100 - r)}{100}$
% Agreg. Novo e/ou "RAM", P_{na}	$r - \frac{rP_b}{100}$	r
Total	100	$100 + P_b$
% Asfalto Novo, sobre teor do Asfalto Total, R	$\frac{100 P_{nb}}{P_b}$	$\frac{100 P_{nb}}{P_b}$

P_{sm} = Porcentagem, mistura salva ("RAP") na mistura reciclada

P_b = Teor de asfalto na mistura reciclada, %

P_{sb} = Teor de asfalto da mistura salva ("RAP"), %

P_{na} = Asfalto adicional e/ou agente de reciclagem na mistura reciclada, %

P_{nb} = Porcentagem adicional de agregado (novo ou recuperado)

r = Porcentagem de agregado novo e/ou material agregado recuperado sobre o total de agregados na mistura reciclada

R = Porcentagem de novo asfalto e/ou agente de reciclagem sobre o asfalto total no mistura reciclado

O estabelecimento aproximado da demanda de asfalto, permite que se tenha a base para uma série de misturas experimentais para a dosagem da mistura. As misturas experimentais têm, usualmente, variações de teores de asfalto de 0,5 de cada lado da demanda aproximada de asfalto calculada.

Por exemplo, suponha-se que a demanda aproximada de asfalto foi calculada em 6,2 por cento. A série de misturas experimentais deve, então, variar de 5,0 a 7,0 por cento, ou de 5,5 a 7,5 por cento.

3. Porcentagem Estimada do Asfalto Novo na Mistura – A quantidade de asfalto a acrescentar às misturas experimentais da mistura reciclada, expressa em porcentagem ponderal da mistura total, é calculada pela fórmula seguinte:

$$P_{nb} = \frac{(100^2 - rP_{sb})P_b}{100(100 - P_{sb})} - \frac{(100 - r)P_{sb}}{100 - P_{sb}}$$

onde:

P_{nb} = porcentagem do asfalto novo* na mistura reciclada

r = agregado novo (e/ou "RAM") expresso como porcentagem do agregado total na mistura reciclada.

P_b = porcentagem, teor de asfalto do pavimento asfáltico recuperado; demanda de asfalto determinada pelo CKE ou por fórmulas empíricas do item (2) acima.

P_{sb} = porcentagem, teor de asfalto do pavimento asfáltico recuperado

*Mais o agente de reciclagem, se usado.

Por exemplo, supondo que o teor de asfalto, P_{sb} do "RAP" seja 4,7 por cento e $r = 65\%$, tem-se

$$P_{nb} = \frac{(100^2 - 65 \times 4,7) P_b}{100 (100 - 4,7)} - \frac{(100 - 6,5) 4,7}{100 - 4,7} = 1,01 P_b - 1,23$$

Agora, pode-se determinar prontamente as porcentagens do asfalto novo para qualquer teor de asfalto.

Nota: A fórmula acima é para o teor de asfalto expresso em porcentagem ponderal da mistura total. Se os teores de asfalto forem expressos como porcentagem do peso de agregado, a fórmula de cálculo da quantidade de asfalto novo será:

$$P_{nb} = P_b - \frac{(100 - r) P_{sb}}{100}$$

(ver a Tabela 12.1)

4. Selecionar o Grau do Asfalto Novo – Utiliza-se a Figura 12.1 para estabelecer uma viscosidade - alvo da combinação de asfalto. Um alvo comumente selecionado é a viscosidade na metade da gama dos graus de pavimentação normais, seja o asfalto CAP-20 ou 2.000 poises.

A porcentagem do asfalto novo, P_{nb} , sobre o teor de asfalto total, P_b , é expressa pela fórmula seguinte:

$$R = \frac{100 P_{nb}}{P_b}$$

Por exemplo, suponha-se que a mistura descrita no Passo (3) deva ter teor de asfalto estimado de 6,2 por cento. A quantidade de asfalto novo a acrescentar (pelo Passo 3) é:

$$P_{nb} = 1,01 \times 6,2 - 1,23 = 5,0 \%$$

Então:

$$R = \frac{100 (5,0)}{6,2} = 81$$

O grau do asfalto novo (ou agente de reciclagem, ou ambos) determina-se com um gráfico de combinação do log-log viscosidade contra o teor de asfalto novo, como nas Figura 12.1. Seleciona-se uma viscosidade-alvo para a combinação do asfalto recuperado e o asfalto novo (ou o agente de reciclagem, ou ambos). A viscosidade-alvo é, usualmente, a da metade da gama dos graus de asfalto que se usa normalmente, dependendo do tipo de construção, condições climáticas, volume e natureza do tráfego.

Marcar a viscosidade do asfalto envelhecido do pavimento asfáltico recuperado – “RAP” na escala vertical da esquerda, o Ponto A, como se mostra na Figura 12.1. Traçar uma linha vertical que represente a porcentagem do asfalto novo, R, acima calculada, e determinar sua interseção com a linha horizontal que representa a viscosidade-alvo, Ponto B. A seguir, traçar uma linha reta do ponto A, pelo ponto B, prolongando-a até interceptar a escala da direita, Ponto C. Este ponto é a viscosidade a 60°C do asfalto novo (ou o agente de reciclagem, ou ambos) necessário para combinar com o asfalto no pavimento asfáltico recuperado, a fim de obter a viscosidade-alvo na combinação. Selecionar o grau do asfalto novo que tenha uma gama de viscosidades que inclua ou que fique próxima da viscosidade no Ponto C.

Quando se selecionar o grau do asfalto a adicionar, deve-se escolher um que não seja inferior de mais de um grau daquele que se usaria normalmente. Como exceção está o caso em que a experiência de engenharia indicar que se pode aceitar um grau ainda menor.

5. Dosagem da Mistura Experimental – Estas dosagens são então realizadas com a aparelhagem Marshall ou a de Hveem. As fórmulas mostradas na Tabela 12.1 são usadas no proporcionamento dos ingredientes: asfalto novo, P_{nb} , pavimento asfáltico recuperado (“RAP”), P_{sm} , e o agregado novo ou o recuperado (“RAM”), ou ambos, P_{ns} .

Deve-se ter em mente que se forem utilizadas duas fontes diferentes de agregados, tais como o agregado novo e o “RAM”, há que se determinar as porcentagens de cada uma destas fontes, sendo o total igual a P_{ns} . Por exemplo, a combinação de agregado consiste em

45% “RAM”
 20% Agregado novo
 35% Agregado do “RAP”
 $r = 65$

Se P_{ns} , numa tentativa teórica de mistura, deve ser 61,4 por cento, então, a porcentagem de “RAM” (na mistura total) será $61,4 \times (45/65) = 42,5$ por cento e a de agregado novo será $61,4 \times (20/65) = 18,9$. O total é 61,4 por cento.

6. Escolher a Fórmula de Mistura na Obra – Procurar os critérios de misturas padronizadas no Capítulo 4.

Exemplo de Dosagem nº 1

Tem-se um pavimento asfáltico recuperado de teor de asfalto de 5,4 por cento em peso da mistura total. A viscosidade do asfalto extraído do pavimento asfáltico recuperado é de 46.000 poise a 60°C. O grau do cimento asfáltico usado normalmente é CAP-20, e a viscosidade-alvo à temperatura de 60°C é de

2.000 poise. As graduações do pavimento asfáltico recuperado ("RAP") material agregado recuperado ("RAM") e agregado novo são:

Tamanho da Peneira	Porcentagem que passa		
	Agreg. do RAP	RAM	Agreg. Novo
25,0 mm (1 pol)	100	100	100
19,0 mm (3/4 pol)	98	92	100
9,5 mm (3/8 pol)	85	45	100
4,75 mm (nº 4)	65	19	94
2,36 mm (nº 8)	52	5	85
300 µm (nº 50)	22	1	26
75µm (nº 200)	8	0	6

Escolheu-se cerca de 30 por cento de "RAP" porque se usaria uma misturadora de tambor para a reciclagem, e o teor de umidade do "RAP" seria 5 por cento, o que corresponde à gama prática de sustentação das operações de mistura.

Passo 1 – Agregados Combinados na Mistura Reciclada

Peneira	30% Agreg. RAP	+	50% Agreg. RAM	20% Agreg. Novo	=	Agreg. Comb.
	% PASS.		% PASS.	% PASS.		% PASS.
25,00 mm (1 pol)	(100 x 0,3 = 30,0)	+	(100 x 0,5 = 50,0)	(100 x 0,2 = 20,0)	=	100,0
19,0 mm (3/4 pol)	(98 x 0,3 = 29,4)	+	(92 x 0,5 = 46,0)	(100 x 0,2 = 20,0)	=	95,4
9,5 mm (3/8 pol)	(85 x 0,3 = 25,5)	+	(45 x 0,5 = 22,5)	(100 x 0,2 = 20,0)	=	68,0
4,7 mm (nº 4)	(65 x 0,3 = 19,5)	+	(19,0 x 0,5 = 9,5)	(94 x 0,2 = 18,8)	=	47,8
2,36 mm (nº 8)	(52 x 0,3 = 15,6)	+	(5 x 0,5 = 2,5)	(85 x 0,2 = 17,0)	=	35,1
300 µm (nº 50)	(22 x 0,3 = 6,6)	+	(1 x 0,5 = 0,5)	(26 x 0,2 = 5,2)	=	12,3
75 µm (nº 200)	(8 x 0,3 = 2,4)	+	(0 x 0,5 = 0)	(6 x 0,2 = 1,2)	=	3,6

Então: $r = 50 + 20 = 70$

Especificação de Execução ASTM D 3515, (Tabela – 1) ¾ pol (19 mm) Tamanho Nominal

Tamanho da Peneira	Tam. Máx., % pass.	Agreg. Combin, % pass.
25,0 mm (1 pol)	100	100,0
19,0 mm (3/4 pol)	90 - 100	95,4
9,5 mm (3/8 pol)	56 - 80	68,0
4,75 mm (nº 4)	35 - 65	47,8
2,36 mm (nº 8)	23 - 49	35,1
300 µm (nº 50)	5 - 19	12,3
75 µm (nº 200)	2 - 8	3,6

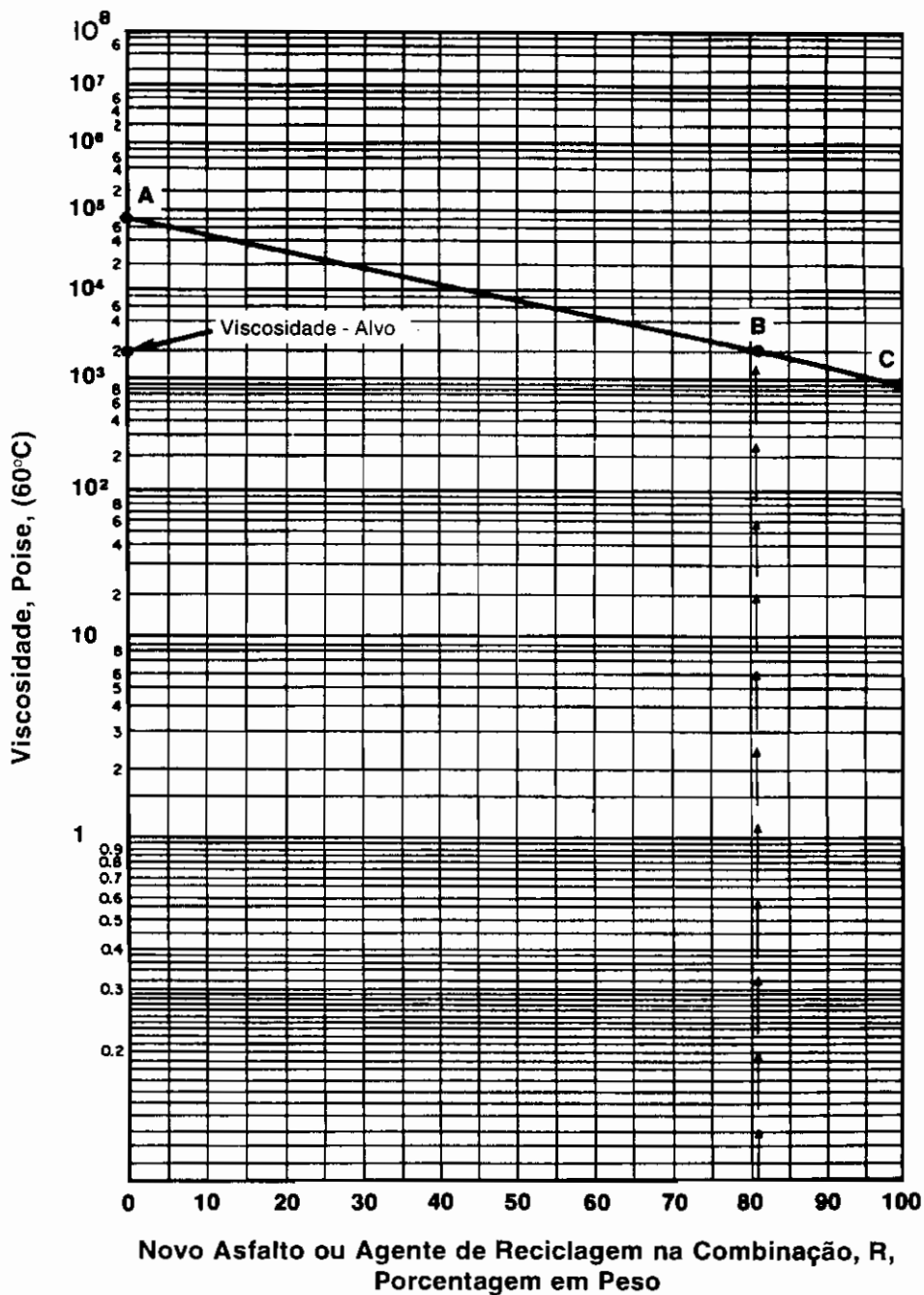


Figura 12.1 Gráfico de Combinação da Viscosidade do Asfalto

Passo 2 – Demanda de Asfalto Aproximada dos Agregados Combinados

$$\begin{aligned}
 P &= 0,035 a + 0,045 b + Kc + F \\
 &= 0,035 \times 64,9 + 0,045 \times 31,5 + 0,20 \times 3,6 + 0,4 \\
 &= 5,2\%
 \end{aligned}$$

Passo 3 – Porcentagem Estimada de Asfalto Novo na Mistura

$$\begin{aligned}
 P_{nb} &= \frac{(100^2 - r P_{sb}) P_b}{100 (100 - P_{sb})} - \frac{(100 - r) P_{sb}}{100 - P_{sb}} \\
 &= \frac{(100^2 - 5,4 \times 70) P_b}{100 (100 - 5,4)} - \frac{(100 - 70) 5,4}{100 - 5,4} \\
 &= 1,02 P_b - 1,71
 \end{aligned}$$

No caso de uma demanda aproximada de asfalto de 5,2 por cento (Passo 2);

$$P_{nb} = 1,02 (5,2) - 1,71 = 3,6\%$$

A porcentagem de asfalto novo, P_{nb} , sobre o asfalto total, P_b , será, portanto, de:

$$R = \frac{100 (3,6)}{5,2} = 69\%$$

Passo 4 – Grau Selecionado do Asfalto Novo

Na Figura 12.2 o ponto A é a viscosidade do asfalto envelhecido, de 46.000 poise ($4,6 \times 10^4$). O ponto B corresponde a uma viscosidade-alvo de 2.000 poise (2×10^3) e $R = 69$. A linha traçada do ponto A, passando pelo ponto B, até o ponto C indica que a necessidade do asfalto novo é de $7,0 \times 10^2$ poise (700).

Visto que o CAP-20 é o grau usual de cimento asfáltico usado nas condições de construção, clima e tráfego da área, faz-se a escolha desse ligante para o serviço. Quando se combinar o CAP-10 ao asfalto envelhecido do “RAP” deverá resultar um CAP-20 dentro de certas tolerâncias.

Passo 5 – Dosagem Experimental da Mistura

Com uma combinação de agregados de 50 por cento “RAM”, 20 por cento de agregado novo e 30 por cento de agregado “RAP”, preparam-se misturas experimentais de vários teores de asfalto (em incrementos de 0,5 por cento), conforme os procedimentos padronizados de dosagem Marshall e Hveem.

As fórmulas da Tabela 12.1 podem ser usadas para determinar as porcentagens de cada ingrediente nas misturas experimentais. Visto que a fórmula de P_{nb} foi calculada no Passo 3, as fórmulas de porcionamento de P_{sm} e P_{ms} são:

$$P_{sm} = \frac{100(100-r)}{100 - P_{sb}} - \frac{(100-r)P_b}{100 - P_{sb}}$$

$$= \frac{100(100-70)}{100 - 5.4} - \frac{(100-70)P_b}{100 - 5.4}$$

$$= 37.71 - 0.32 P_b$$

$$P_{ns} = r - \frac{r P_b}{100}$$

$$= 70 - \frac{70 P_b}{100} = 70 - 0.70 P_b$$

Teor de Asfalto, P_b	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5
$P_{nb} = 1,02 P_b - 1,71$	2,9	3,4	3,9	4,4	4,9
$P_{sm} = 31,71 - 0,32 P_b$	30,3	30,1	29,9	29,8	29,6
$P_{ns} = 70 - 0,70 P_b$	66,8	66,5	66,2	65,8	65,5
Total	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
* % "RAM" = $P_{ns} (50/70)$	47,8	47,5	47,3	47,0	46,8
* % Agreg. Novo = $P_{ns} (20/70)$	19,1	19,0	18,9	18,8	18,7

* As porcentagens de agregado novo "RAM" numa combinação são os valores de P_{ns} calculados, Contudo, há que se usar 50 por cento de "RAM" e 20 por cento de agregado novo na combinação de agregados. O valor de "RAM" será, então, de $P_{ns} \times 50/70$ e o de agregado novo de $P_{ns} \times 20/70$.

Ao se prepararem misturas experimentais no laboratório, sugere-se o "RAP" seja aquecido à temperatura de mistura e mantido nesta temperatura. O agregado e o "RAM" são aquecidos normalmente a 20°C acima da temperatura de mistura. Depois de pesados o agregado e o "RAP", deve-se começar a mistura seca para uma combinação completa dos materiais antes de acrescentar o asfalto novo. A permanência do "RAP" a temperatura alta deve ser restrita ao mínimo possível. No mais, é seguir os procedimentos normais de dosagem.

Passo 6 – Escolha da Fórmula de Mistura na Obra

O teor ótimo de asfalto novo e a dosagem da mistura são determinados de acordo com os critérios de dosagem de misturas estabelecidas de Marshall e de Hveen (tal como usado com materiais virgens).

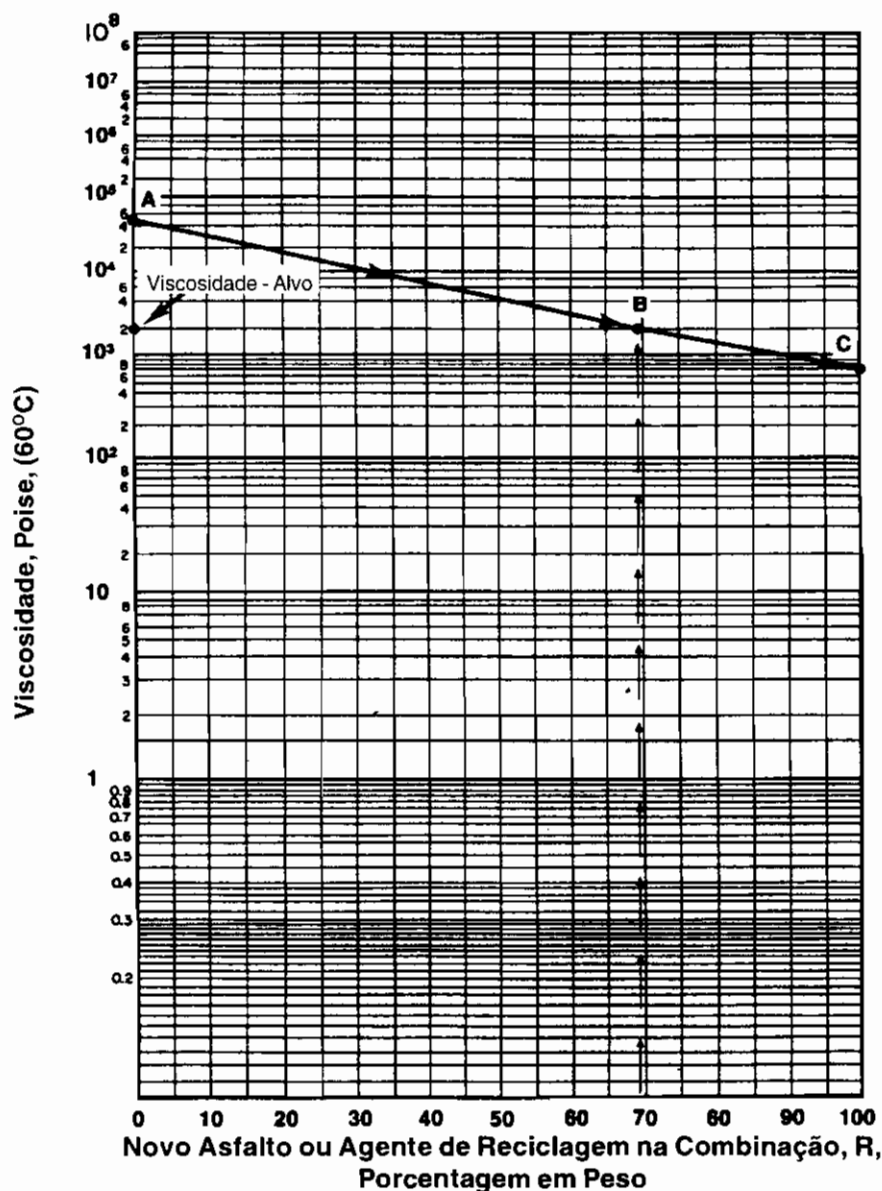


Figura 12.2 Gráfico de Combinação da Viscosidade do Asfalto (Exemplo de Dosagem nº 1)

Exemplo de Dosagem nº 2

Tem-se um pavimento asfáltico recuperado de teor de asfalto de 6,0 por cento e viscosidade de 100.000 poise. As granulometrias do "RAP", "RAM" e agregado novo são as mesmas do Exemplo 1.

Passos 1 e 2 – Os mesmos do Exemplo 1.**Passos 3 – Porcentagem Estimada de Agregado Novo na Mistura**

$$\begin{aligned}
 P_{nb} &= \frac{(100^2 - r P_{sb})P_b}{100 (100 - P_{sb})} - \frac{(100 - r)P_{sb}}{100 - P_{sb}} \\
 &= \frac{(100^2 - 70 \times 6,0)P_b}{100 (100 - P_{sb})} - \frac{(100 - 70)6,0}{100 - 6,0} \\
 &= 1,02 P_b - 1,91
 \end{aligned}$$

Para uma demanda de asfalto aproximada da 5,2 (Passo 2) por cento;

$$P_{nb} = 1,02 (5,2) - 1,91 = 3,4 \text{ por cento}$$

Passo 4 – Selecionar o Grau do Asfalto Novo

Na Figura 12.3 o ponto A é a viscosidade do asfalto envelhecido, de 100.000 poise ($1,0 \times 10^5$). O ponto B é localizado usando-se os valores de 2.000 poise (2×10^3) para a viscosidade-alvo e $R=57$, ($100 P_{nb}/P_b = 100 \times 3,4/6,0$) do asfalto novo. Traça-se uma linha por estes dois pontos, a qual intercepta o eixo da direita em $1,8 \times 10^2$ (180 poise), ponto C.

Trata-se de uma pista de tráfego pesado para cujo projeto o engenheiro leva em conta o tráfego canalizado e utiliza o CAP-20 na dosagem. A Figura 12.3 permite que se determine o quanto de agente de reciclagem se deve combinar com o CAP-20 para se obter a viscosidade aparente de 180 poise.

Seja o asfalto CAP-20 novo e marque-se o valor 2.000 poise ($2,0 \times 10^3$) no eixo da esquerda, ponto D. A viscosidade do agente de reciclagem é 1 poise. Este será o ponto E, no eixo da direita. Ligue-se os pontos D e E por uma linha reta. Determina-se, então, qual a porcentagem R, do agente de reciclagem será necessária para se ter a viscosidade de 180 poise da mistura. Este é o ponto F na linha de D a E. A porcentagem R indicada no eixo horizontal é de 22 por cento. Isto quer dizer que um tanque de CAP-20 contendo 22 por cento de agente de reciclagem deve ter uma viscosidade de aproximadamente 180 poise. Quando se adicionar esta combinação à mistura, sendo o teor de asfalto total de cerca de 5,2 por cento, a viscosidade do asfalto total na mistura reciclada deverá ser de 2.000 poise – dentro de limites aceitáveis.

Passo 5 – Dosagem Experimental da Mistura

Com uma combinação de agregados de 50 por cento de “RAM”, 20 por cento de agregado novo e 30 por cento de agregado de “RAP”, preparam-se misturas experimentais a diferentes teores de asfalto (variando-se em incrementos de 0,5 por cento de cada lado da demanda de asfalto estimada) de acordo com os procedimentos de dosagem de misturas padronizadas de Marshall e Hveem.

As fórmulas da Tabela 12.1 podem ser usadas para o cálculo da porcentagem de cada ingrediente nas misturas experimentais. Visto que a fórmula de P_{nb} foi calculada no Passo 3, as fórmulas de proporcionalamento de P_{sm} e P_{ns} são:

$$P_{nb} = \frac{100(100-r)}{100 - P_{sb}} - \frac{(100-r)P_b}{100 - P_{sb}}$$

$$= \frac{100(100-70)}{100-6} - \frac{(100-70)P_b}{100-6}$$

$$= 31,91 - 0,32 P_b$$

$$P_{ns} = r - \frac{rP_b}{100}$$

$$P_{nb} = 70 - \frac{70P_b}{100} = 70 - 0,70 P_b$$

Teor de Asfalto, P_b	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5
$P_{nb} = 1,02 P_b - 1,91$	2,2	2,7	3,2	3,7	4,2
$P_{sm} = 31,91 - 0,32 P_b$	30,6	30,5	30,5	30,1	30,0
$P_{ns} = 70 - 0,70 P_b$	67,2	66,8	66,5	66,2	65,8
Total	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
* % "RAM" = $P_{ns} (50/70)$	48,0	47,7	47,5	47,3	47,0
* % Agreg. Novo = $P_{ns} (20/70)$	19,2	19,0	19,0	18,9	18,8

* As porcentagens de agregado novo "RAM" numa combinação são os valores de P_{ns} calculados, Contudo, há que se usar 50 por cento de "RAM" e 20 por cento de agregado novo na combinação de agregados. O valor de "RAM" será, então, de P_{ns} x 50/70 e o de agregado novo de P_{ns} x 20/70.

Ao se prepararem misturas experimentais no laboratório, sugere-se o "RAP" seja aquecido e mantido na temperatura de mistura. Aquece-se, normalmente, o agregado à temperatura de mistura mais 20°C. Depois de pesados o agregado e o "RAP", deve iniciar-se a mistura seca para que se combinem completamente os materiais antes de adicionar o asfalto novo. A permanência do "RAP" a temperatura alta deve ser restrita ao mínimo. No mais, é seguir os procedimentos normais de dosagem.

Passo 6 – Escolha da Fórmula de Mistura na Obra

O teor ótimo de asfalto novo e a dosagem da mistura são determinadas de acordo com os critérios de dosagem de misturas, estabelecidos, de Marshall e de Hveem (tal como usado com materiais virgens).

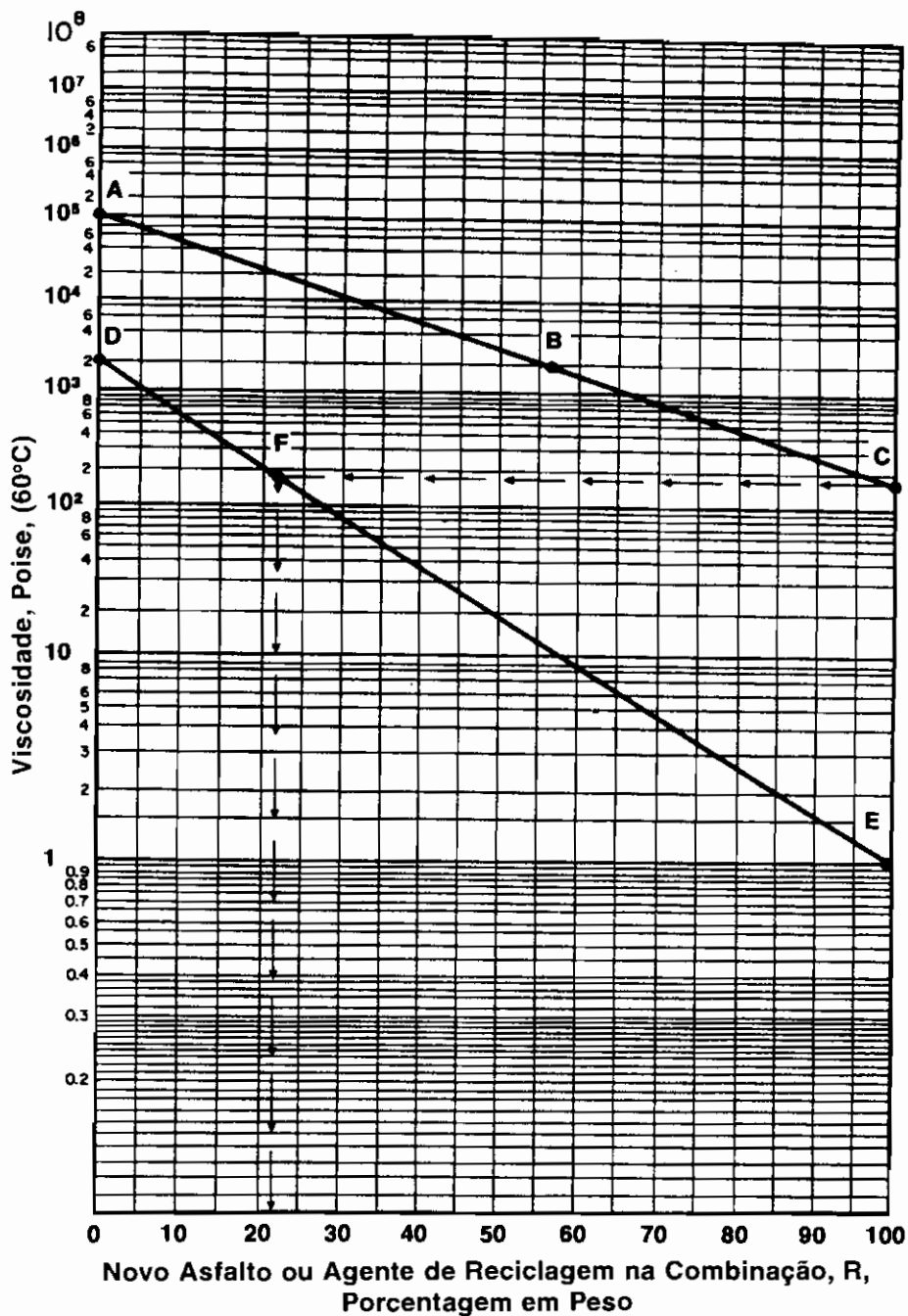


Figura 12.3 Gráfico de Combinação da Viscosidade do Asfalto
(Exemplo de Dosagem nº 2)

12.3 Materiais Recuperados

Remoção do Pavimento

Os métodos comumente mais usados na remoção de pavimentos são o arrancamento e britagem (ou esmagamento), e a fresagem ou aplanamento, a frio, do pavimento antigo. Independentemente do método usado, é essencial que o pavimento asfáltico recuperado seja mantido separado do material de agregado não tratado recuperado. Quaisquer materiais intermisturados no processo de remoção não devem ser empilhados com o pavimento asfáltico recuperado ou a estes adicionados.

(a) Pavimento Asfáltico Recuperado – Na operação de arrancamento e britagem (ou esmagamento) utilizam-se escarificadores, rolos de grade e rippers, para quebrar o pavimento asfáltico. Os pedaços são carregados e transportados para uma central de britagem e peneiração (Figura 12.4). Alternativamente, o pavimento quebrado é pulverizado na pista por um moinho de martelos ou por passagens adicionais do rolo de grade ou do rolo com travas em V. Neste caso torna-se mais difícil classificar por tamanho o material e a separação do pavimento asfáltico recuperado do material de agregado recuperado.

As máquinas especializadas de fresagem a frio e de aplanamento podem recuperar pavimentos asfálticos a profundidades controladas. No processo, reduz-se o pavimento ao tamanho máximo de partículas que se deseja. O tamanho das partículas depende da profundidade do corte e a velocidade de avanço do equipamento de fresagem a frio, bem como de detalhes dos dentes de corte (Ver as Figuras 12.5 e 12.6).

(b) Agregado Mineral Recuperado – Depois de remover as camadas tratadas pelo asfalto, qualquer material de agregado a mais, que se deva incorporar na mistura a quente reciclada, pode ser escarificado e retirado por carregadores, niveladores e outros equipamentos usuais. Este material deve ser guardado numa pilha separada, distinta do material do pavimento asfáltico recuperado.

Concluída a remoção do material do pavimento, deve-se corrigir toda deficiência de drenagem. Isto feito, corta-se a sub-base ou o subleito, nivela-se, e realiza-se a compactação obedecendo ao greide, seção transversal e perfil.

Redução do Material do Pavimento

O grau de processamento necessário dos materiais de pavimentos recuperados após sua remoção, depende em grande parte do método de remoção, das características do equipamento de mistura e dos requisitos da dosagem da mistura. Os pavimentos asfálticos recuperados e os materiais de agregados recuperados devem ser processados separadamente. O pavimento asfáltico removido por escarificação tem que ser britado e peneirado. Há materiais de pavimentos recuperados que podem exigir britagem para reduzir o tamanho máximo das partículas até limites aceitáveis, em geral, menos do que 50 mm. Máquinas especiais como a da Figura 12.4 foram projetadas com o propósito específico de britar os pavimentos asfálticos recuperados. Não se deve retirar quaisquer finos do pavimento asfáltico recuperado,

visto conterem grande parte do asfalto envelhecido a ser reciclado. Também é importante notar que o britador empregado deve tornar o menor possível a produção de material fino ou de novas faces fraturadas. Estas modificações poderiam resultar em acréscimos dos custos das misturas, problemas potenciais do processamento e até de escolha de um agregado diferente para se obter o VAM – volume de ar no agregado mineral – adequado.



Figura 12.4 Britador de Pavimento Asfáltico Recuperado
(Cortesia de Barber - Greene Company)

Empilhamento

A altura dos montes de material de pavimentos asfálticos recuperado deve-se limitar a 3 metros no máximo. Esta restrição é para evitar que os pedaços de material britado grudem uns nos outros devido ao peso morto e temperaturas elevadas do ar. Pelo mesmo motivo não se deve permitir que carregadores, bulldôzers e caminhões permaneçam nos montes. O material do pavimento asfáltico recuperado deve ser protegido contra o tempo para que se mantenha o mais seco possível. A melhor maneira de tornar o menor possível tanto o empilhamento como a umidade em excesso é a coordenação das operações de britagem e mistura a quente de modo a não haver necessidade de grandes empilhamentos de pavimentos asfálticos britados. Entretanto, se o pavimento asfáltico recuperado tender a colar os pedaços ou reassentar após um período de estocagem prolongada, a presença de espetos de aço soldados na frente da caçamba de carregamento ajudará a desagregar o material de pavimento asfáltico recuperado - "RAP" - quando carregado na caçamba.

Também, a natureza fina do material "RAP" processado tende a reter umidade, o que requer maior atenção na proteção contra a chuva e a neve. Dependendo



Figura 12.5 Fresagem a Frio (Cortesia de Caterpillar Tractor Co.)



Figura 12.6 Fresagem a Frio (Cortesia de Barber - Greene Company)

da umidade anual na região, pode ser justificável, economicamente, uma cobertura protetora do material "RAP" britado quer seja a fonte de material fresado a frio ou de material britado. A análise de custo determinará o procedimento de proteção mais eficiente.

O agregado não tratado de base e sub-base recuperado deve ser empilhado do mesmo modo que o agregado novo.

12.4 Métodos das Instalações de Produção

Opções de Produção

Quando o material do pavimento asfáltico recuperado faz parte da mistura reciclada, são necessárias algumas mudanças na instalação normal de mistura. Desenvolveram-se alguns procedimentos. Estes têm o objetivo de aquecer e secar o pavimento asfáltico recuperado sem expo-lo diretamente às elevadas temperaturas da chama e dos gases de combustão no secador. Sem estas modificações, as misturas recicladas não podem ser produzidas economicamente e, ao mesmo tempo, concordar com a regulamentação que governa a emissão de chaminés de exaustão. Igualmente importante é proteger o asfalto de enrijecimento adicional no pavimento asfáltico recuperado.

Tanto as instalações de batelada como as de misturador de tambor sofreram modificações para que produzissem, com sucesso, misturas recicladas a quente. Também, os fabricantes de equipamentos têm produzido usinas destinadas, especialmente, à reciclagem. Devido à variedade de procedimentos envolvidos, cada uma das instalações de misturas asfálticas a quente será discutida separadamente.

Instalações de Batelada

A única técnica que se mostra bem sucedida na reciclagem com usinas de bateladas foi a do método de transferência de calor. Resumidamente, vem, a seguir, explicada.

O material de agregado recuperado, ou o agregado novo, ou ambos, são proporcionados nos silos alimentadores frio. São os mesmos aquecidos em seguida num secador de agregados comum. Deste são levados em correia transportadora para os silos de estocagem quente na forma usual. (Nas instalações de misturas a quente providas de coletores de poeira de sacos, as temperaturas de exaustão extremamente elevadas podem danificar os sacos de pano. A temperaturas do gás na exaustão acima de 232°C, o perigo de deterioração dos sacos é extremo).

Quando não há aquecimento ou secagem, leva-se o material do pavimento asfáltico recuperado diretamente do empilhamento ao silo de alimentação frio. É necessário que se tenha um silo frio separado com paredes muito íngremes (próximo da vertical). O material recuperado é então levado por correia transportadora até uma tremonha de pesagem (Ver a Figura 12.7). (Pesa-se o mesmo como um quinto material numa usina normal de quatro silos). Na tremonha junta-se ao agregado não-tratado superaquecido. Dá-se a transferência de calor à medida que os materiais proporcionados são misturados no misturador.

O equilíbrio de temperatura completo na mistura reciclada a quente atinge-se, usualmente, algum tempo após a mistura deixar a malaxadora; os silos de estocagem constituem uma ajuda nesse sentido.

Este método de transferência de calor em usina de mistura por batelada reduz ao mínimo a chance de poluição do ar, elimina o problema de obstrução de peneiras e evita o acúmulo de material de pavimento asfáltico recuperado na transportadora de pedras quentes. Contudo, gera-se, às vezes, uma nuvem de vapor à medida

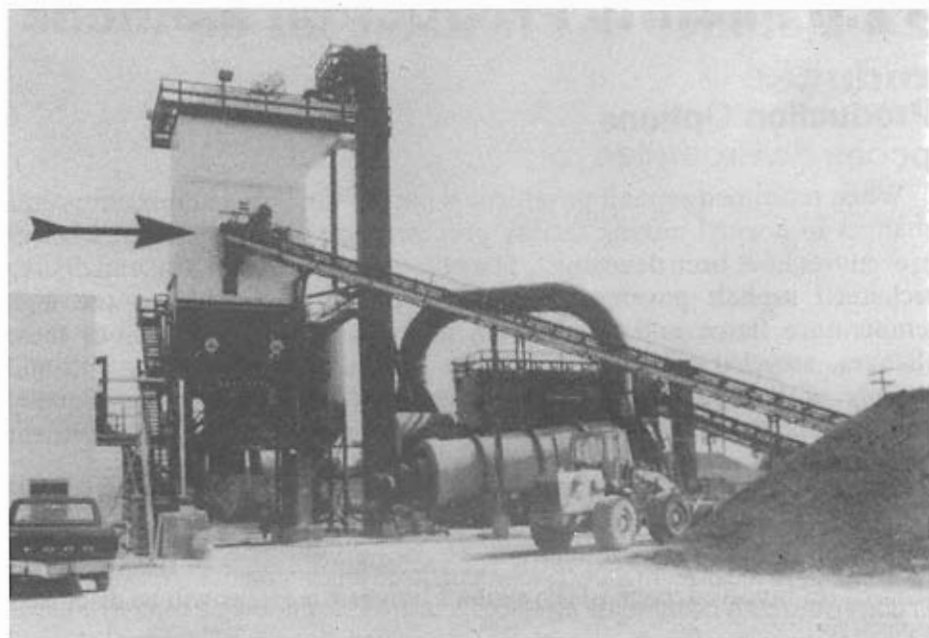


Figura 12.7 Reciclando numa Instalação de Batelada, a seta indica a Entrada na Tremonha de Peso (Cortesia de Barber - Greene Company)

que a umidade é retirada do material de pavimento asfáltico recuperado; quando isto ocorre, um respiradouro da malaxadora pode ser um benefício.

A quantidade de material de pavimento asfáltico recuperado que se pode usar na mistura reciclada depende de: (1) teor de umidade e temperatura do empilhamento do material recuperado, (2) temperatura necessária da mistura reciclada e (3) temperatura do agregado superaquecido. Se estas condições forem as corretas, isto é, o teor de umidade do pavimento asfáltico recuperado estiver no mínimo, ou próximo, e se a temperatura do mesmo se aproximar da temperatura do ar à volta, pode-se ter até 40 por cento da mistura constituída de pavimento asfáltico recuperado. Entretanto, um valor mais comum é de 20 a 30% em operações normais.

Instalações de Misturador de Tambor

Na operação normal de uma usina misturadora de tambor os agregados são aquecidos, secos e misturados ao asfalto no tambor misturador. Nas primeiras tentativas de reciclagem de misturas a quente nestas instalações obtinham-se, geralmente, misturas satisfatórias, porém as usinas não eram capazes de satisfazer as exigências de mínima poluição do ar. A exposição do material de pavimento asfáltico recuperado à chama do queimador e aos gases de combustão extremamente quentes causavam fumaça azul em excesso. Ocorria freqüentemente um acúmulo de finos de agregado e asfalto nas aletas metálicas e

e nas placas terminais, o que também contribuía para o problema da fumaça.

Realizaram-se, recentemente, muitos melhoramentos nas usinas de misturador de tambor visando acomodar as variações dos materiais, bem como melhorar a eficiência térmica. Vários fabricantes produzem misturadores de tambor que utilizam a abordagem da alimentação repartida. Esta é a técnica mais comumente usada nos Estados Unidos. Nestas instalações de mistura, o agregado não-tratado entra no tambor pelo extremo onde se situa queimador. O agregado é seco e superaquecido.

O agregado junta-se ao material do pavimento asfáltico recuperado num ponto bastante afastado a jusante do queimador de modo que é escudado da chama e dos gases extremamente quentes. O material do pavimento asfáltico recuperado entra no tambor próximo ao centro através de aberturas na couraça por calhas que canalizam o escoamento do material para o tambor. O cimento asfáltico novo ou o agente de reciclagem, ou ambos, e fíler mineral, se necessário, são adicionados. A mistura tem lugar na metade inferior do tambor (Figuras 12.8, 12.9 e 12.10).

Pelo menos um dos fabricantes desenvolveu uma instalação que não expõe o asfalto ao vapor no tambor. Designada de revestidor de mistura em tambor, esta usina utiliza um misturador – revestidor de eixo simples na descarga do tambor. O agregado não-tratado e o material de pavimento asfáltico recuperado são pré-misturados no tambor e descarregados por gravidade no revestidor, onde o asfalto novo é injetado. (Figura 12.11).

Os misturadores de tambor de contrafluxo também são adequados para a reciclagem. Os pormenores e ilustrações deste tipo de operação estão apresentados no Capítulo 5.

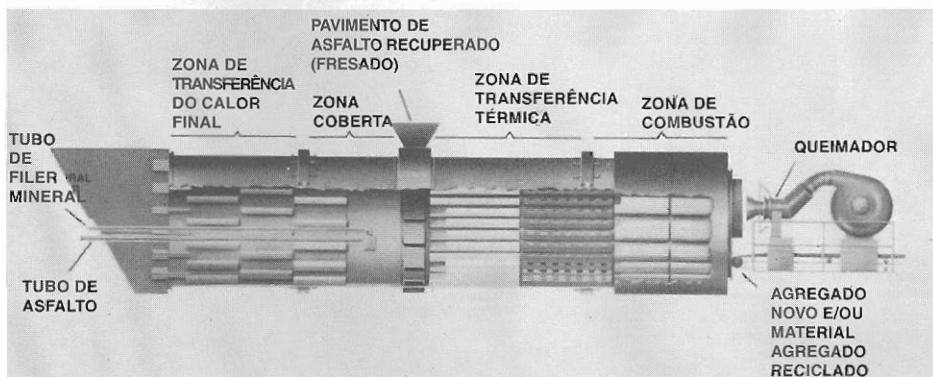
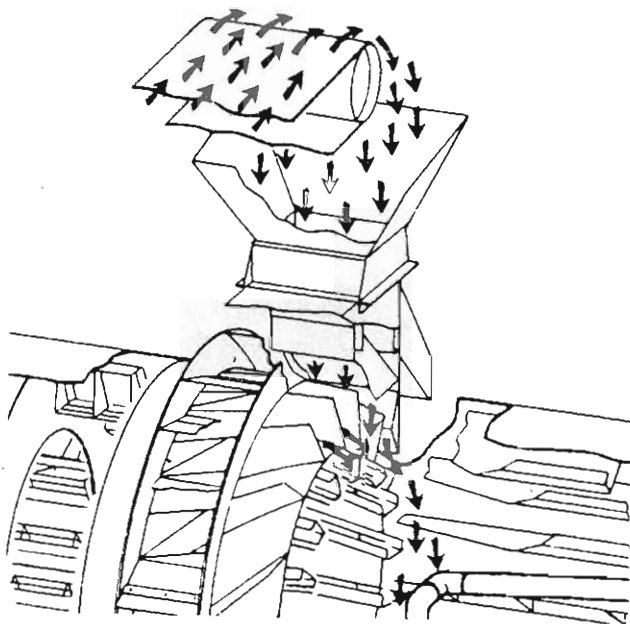


Figura 12.8 Misturador de Tambor (Cortesia de Barber - Greene Company)



FLUXO DE FRESADO

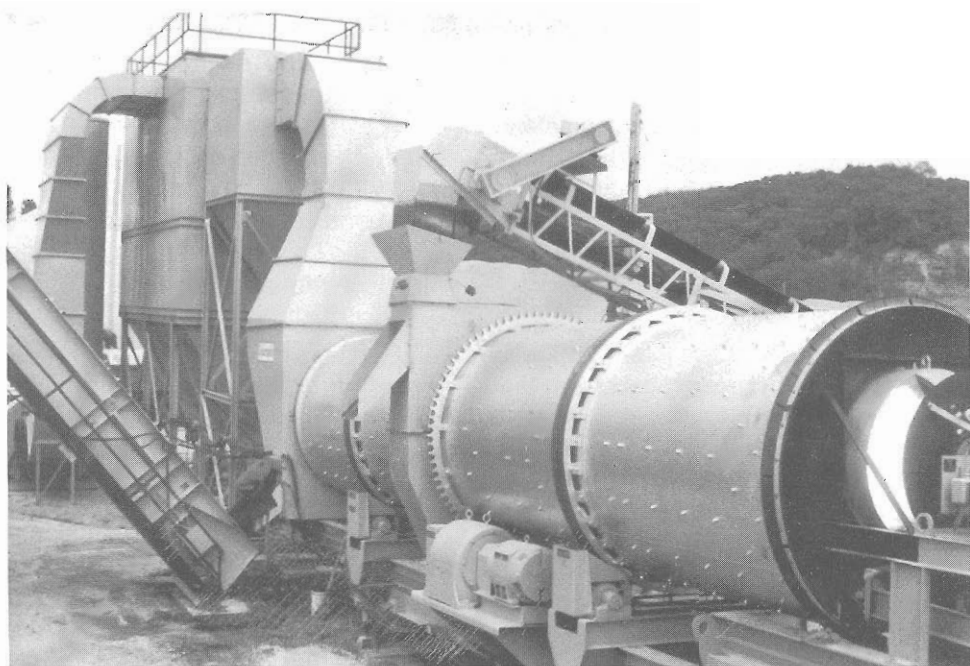


Figura 12.9. **Molador de Tambor** (Cedarapids - Cortesia de Iowa Manufacturing Co.)

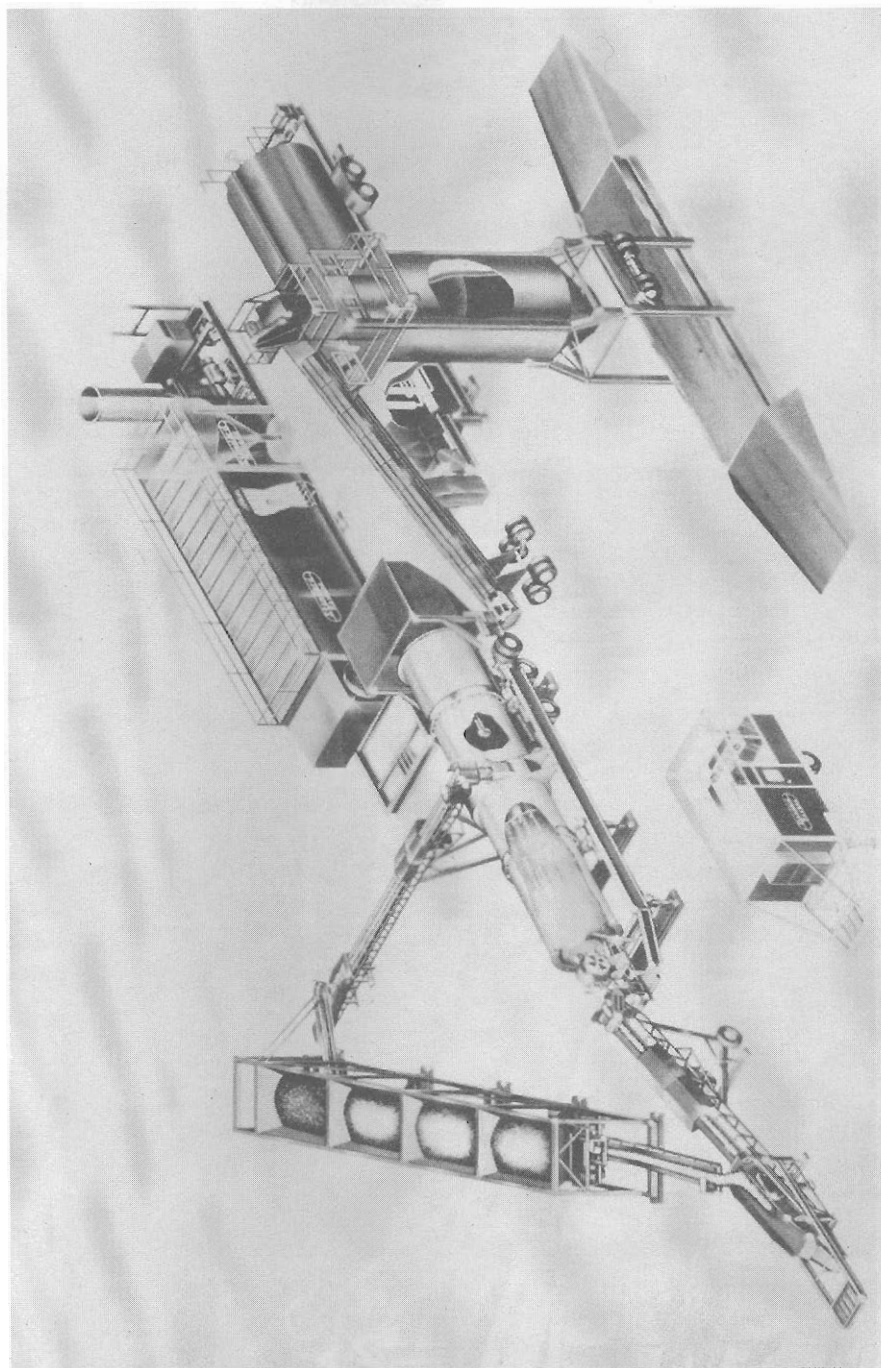


Figura 12.10 Layout de Instalação de Misturador de Tambor

(Cortesia de Standard Havens)

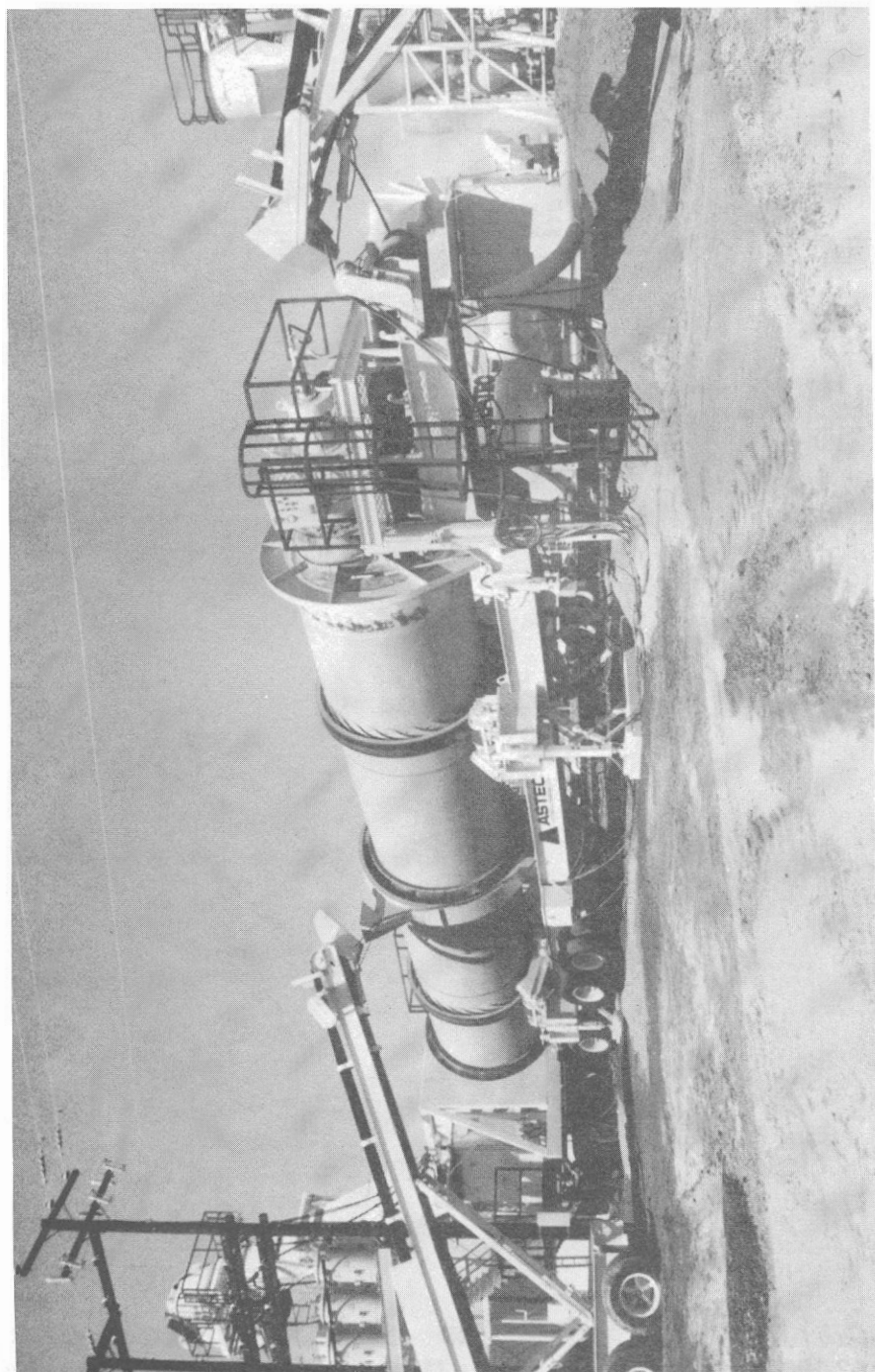


Figura 12.11 Misturador de Tambor (Cortesía de ASTEC Industries, Inc.)

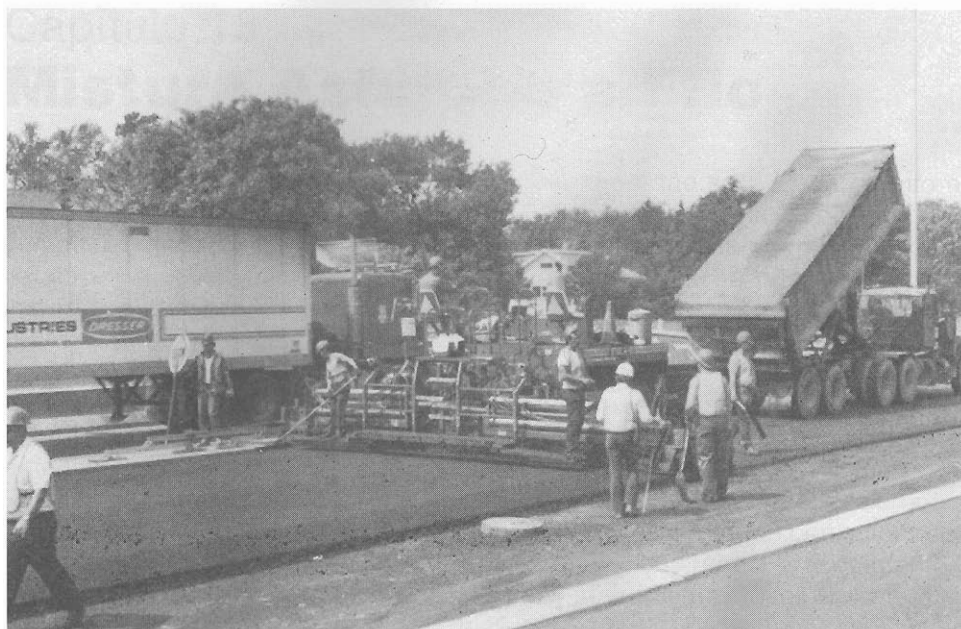


Figura 12.12 Espalhamento de Mistura Asfáltica a Quente Reciclada
(Cortesia de Barber - Greene Company)

Espalhadores e Compactação

Os equipamentos e procedimentos usuais aplicam-se ao espalhamento e compactação das misturas a quente recicladas (Figura 12.12). As temperaturas de espalhamento situam-se entre 104 e 138°C. Outros pormenores destas operações estão contidos nos Capítulos 6 e 7.

Capítulo 13

Mistura Asfáltica a Frio

A preparação de misturas asfálticas a frio não é tão sofisticada quanto a das misturas a quente descritas no Capítulo 5. Em geral, a colocação e a compactação não exigem equipamentos tão sofisticados quanto os de misturas asfálticas a quente. Entretanto, este tipo de pavimentação não é de menor importância, já que uma grande porcentagem das pistas pavimentos do país (EUA) têm bases de mistura asfáltica a frio e até revestimentos deste tipo.

É menor o controle exigido na preparação da mistura a frio quando se utiliza um distribuidor e uma motoniveladora na operação. Porém, as possibilidades de um controle tão grande quanto o usado nas misturas asfálticas a quente, estão presentes na operação de mistura em usina (pré-misturado). Contudo, muitas usinas de pré-misturados a frio não têm ou não usam todos os recursos para manter o controle de uniformidade bem ajustado. Sempre que houver materiais adequados à disposição, estes procedimentos de mistura em usina são empregados para atender à produção elevada e custo baixo.

A reciclagem e a remodelação de estruturas de pavimentos asfálticos e granulares existentes constitui outra importante alternativa de pavimentação. A reciclagem de misturas a frio é o processo em que o material asfáltico recuperado e os materiais de agregado recuperados, ou ambos, são combinados com asfalto novo no local ou numa instalação central de mistura para produzir pré-misturados a frio como materiais de base.

SEÇÃO 13.1 Pavimentos Asfálticos de Mistura a Frio

- Introdução
- Composição da Mistura
- Tipos de Misturas
- Métodos de Construção

SEÇÃO 13.2 Reciclagem de Misturas a Frio

- Reciclagem a Frio no Local
- Reciclagem a Frio em Instalação Central

BIBLIOGRAFIA

1. *Manual de Mistura Asfáltica a Frio* ("Asphalt Cold-Mix Manual"), MS-14, Asphalt Institute.
2. *Manual de Reciclagem de Mistura Asfáltica a Frio* ("Asphalt Cold-Mix Recycling Manual"), MS-21, Asphalt Institute.

13.1 Pavimentos Asfálticos de Mistura a Frio

Introdução

Descrição

As misturas de pavimento asfáltico colocadas a frio (ou, simplesmente, misturas a frio) são em geral misturas preparadas com emulsão asfáltica ou asfalto diluído. As emulsões asfálticas podem ser aniônicas e catiônicas dos graus MS e SS (RM e RL). Os asfaltos diluídos podem ser dos graus MC e SC (CM e CL).

O agregado mineral pode variar, desde a brita de graduação densa até o solo granular de porcentagem relativamente alta de pó. O agregado na ocasião da mistura pode estar úmido, seco ao ar ou artificialmente aquecido e seco.

As misturas podem ser realizadas seja na pista, ao lado desta, ou numa instalação fixa de mistura. As misturas resultantes são usualmente espalhadas e compactadas a temperatura atmosférica, embora haja exceções. Algumas misturas asfálticas feitas com MC-3000 e SC-3000 (CM 3000 e CL 3000) assemelham-se às misturas asfálticas a quente, porque são misturadas e colocadas a temperaturas acima de 93°C. Também, algumas misturas a emulsão podem ser produzidas aquecidas ou quentes.

Conveniência na Construção de Pavimentos

As misturas asfálticas a frio podem ser usadas em camadas de revestimento, base e sub-base desde que a estrutura do pavimento seja bem projetada. Os revestimentos de misturas colocadas a frio são adequados para tráfego leve ou médio.

Quando em bases e sub-bases, as misturas colocadas a frio podem ser adequadas a todos os tipos de tráfego. Os pavimentos colocados a frio apresentam vantagens especiais em áreas retiradas onde é economicamente difícil realizar os melhoramentos de extensões de estradas. Também usadas em obras importantes, as misturas de colocação a frio reduzem os custos de construção, sem comprometer a resistência ou a qualidade da estrutura do pavimento.

Os pavimentos asfálticos construídos por métodos de misturas a frio podem ser projetados e executados de modo a atender aos requisitos de tráfego corrente. Também podem ter sua espessura aumentada conforme as exigências do tráfego, pelo acréscimo de novas camadas.

Composição da Mistura

Pode-se utilizar um grande número de agregados e combinações de solo-agregado. Em muitos casos o material dos cortes da estrada, escavações e pedreiras próximas podem ter seu uso justificado economicamente, com ou sem britagem. Frequentemente, todo o material granular corrido abaixo de certo tamanho máximo de uma instalação de britagem de rocha pode ser usado.

Os materiais locais adequados também incluem solos granulares tendo até 20 por cento passante na peneira de 75 μm (n° 200), bem como areias e cascalhos

limpos. Os materiais granulares que são, na maior parte, finos e têm uma porcentagem relativamente elevada de pó mineral, podem causar problemas de mistura, aeração e compactação.

Os agregados bem graduados são sempre preferíveis para qualquer camada da estrutura do pavimento asfáltico, embora vários agregados de má graduação ou de granulometria descontínua sejam adequados em camadas de base desde que adequadamente utilizados segundo os procedimentos e métodos de mistura na estrada.

Asfalto

O tipo e o grau de asfalto selecionado para uso na construção depende muito do agregado, método de mistura e condições climáticas. Os asfaltos recomendados para diferentes tipos de misturas colocadas a frio estão na Tabela 13.1.

As misturas preparadas numa instalação de mistura fixa admitem, geralmente, um grau mais viscoso de asfalto do que o usado nas misturas na estrada. Em condição de tempo fresco é preciso usar um grau de viscosidade mais baixo e permitem-se asfaltos de cura ou de ruptura mais rápidas do que nas condições de mistura de tempo mais quente ou muito quente.

As misturas preparadas com emulsão asfáltica não exigem agregados tão secos quanto as preparadas com asfaltos diluídos. Isto reduz a quantidade de manipulação e a extensão de secagem ao ar antes de misturar os agregados com o asfalto.

As misturas asfálticas espalhadas a frio que são preparadas para a manutenção, sendo empilhadas por certo tempo, são usualmente preparadas com um dos graus de menor viscosidade dos asfaltos diluídos MC e SC (CM e CL).

Proporcionamento dos Materiais

A quantidade de asfalto nas misturas de pavimentação colocadas a frio pode ser determinada por um dos seguintes procedimentos de laboratório:

1. Métodos de Ensaio de Resistência à Deformação e Coesão de Misturas Betuminosas por meio do Aparelho de Hveem, ASTM D 1560; e
2. Método do Equivalente Centrífugo de Querosene ("CKE") descrito no Capítulo 4.

Quando não se dispõe de equipamento de laboratório, deve-se usar fórmulas que dêem o valor aproximado do teor de asfalto para a mistura inicial.

Para se estimar o teor de emulsão asfáltica aproximado nas misturas de graduação densa, pode-se usar a seguinte fórmula empírica:

$$P = (0,05 A + 0,1 B + 0,5C) \times (0,7) \quad (1)$$

onde:

P = porcentagem de emulsão asfáltica total por peso de agregado seco,

A = porcentagem de agregado retido na peneira de 2,36 mm (nº 8)

B = porcentagem de agregado passante na peneira de 2,36 mm (nº 8) e retido na de 75 µm (nº 200) e

C = porcentagem de agregado passante na peneira de 75 µm (nº 200).

(Todas as porcentagens acima devem ser escritas em números inteiros).

Tabela 13.1 Guia para a Utilização do Asfalto em Mistura a Frio

Tipo de Construção	Emulsões Asfálticas											Asfaltos Diluídos									
	Aniônicas								Catiônicas			Cura Média			Cura Lenta						
	MS-1	MS-2	MS-2h	HFMS-1	HFMS-2	HFMS-2h	HFMS-2s	SS-1	SS-1H	CMS-2	CMS-2h	CSS-1	CSS-1h	70	250	600	3000	250	600	3000	
Mistura Usinada a Frio																					
Base e Revestimento de Pavimento																					
Agregado de Graduação Aberta	X	X	X	X	X	X				X	X					X					
Agregado Bem-Gradado																					
Remendos, Uso Imediato							X	X	X			X	X		X	X	X	X	X	X	X
Remendos Empilhamento								X	X			X	X		X	X			X		
Areia Solo Arenoso															X	X		X	X		
Mistura no Local (M. na Estrada)																					
Base e Revestimento de Pavimento																					
Agregado de Graduação Aberta	X	X	X	X	X	X				X	X					X	X		X	X	X
Agregado Bem-Gradado																					
Remendos, Uso Imediato							X	X	X			X	X		X	X	X		X	X	
Remendos Empilhamento							X	X	X			X	X		X	X					X
Areia Solo Arenoso							X	X	X			X	X		X	X		X	X		

Exemplo:

Dados o agregado e o método de construção seguintes, determinar a quantidade necessária de emulsão asfáltica:

Método de construção: mistura a lâmina;

Agregado: cascalho relativamente não-absorvente, de granulometria mostrada abaixo;

Asfalto: SS-1(CL 1)

Tamanho da Peneira	19,0 mm (3/4 pol)	9,5 mm (3/8 pol)	4,75 mm (nº 4)	2,36 mm (nº 8)	600 µm (nº 30)	300 µm (nº 50)	150µm (nº 100)	75 µm (nº 200)
Porcentagem Passante	100	75	59	40	20	14	10	5

Solução:

$$P = [0,05 (100-40) + 0,1 (40-5) + 0,5(5)] \times (0,7) = 6,3$$

(considerar 6 por cento de emulsão asfáltica em peso de agregado seco)

Quando se usam os asfaltos diluídos MC ou SC, pode-se estimar o teor de asfalto por meio da equação:

$$P = 0,02a + 0,07b + 0,15 c + 0,20 d \quad (2)$$

onde:

- P = porcentagem de asfalto em peso de agregado seco,
- a = porcentagem de agregado retido na peneira de 300 μm (nº 50),
- b = porcentagem de agregado passante na peneira de 300 μm (nº 50) e retido na de 150 μm (nº 100),
- c = porcentagem de agregado passante na peneira de 150 μm (nº 100) e retida na de 75 μm (nº 200), e
- d = porcentagem de agregado passante na peneira de 75 μm (nº 200).

Pode ser necessário asfalto adicional no caso de agregados absorventes tais como escória, calcário, etc.

Exemplo:

Dados o agregado e o método de construção seguintes, determinar a quantidade necessária de asfalto diluído:

Método de construção: mistura a lâmina;

Agregado: cascalho relativamente não-absorvente, cuja granulometria é mostrada abaixo, e Asfalto: MC-250 (CM 250)

Tamanho da Peneira	19,0 mm (3/4 pol)	9,5 mm (3/8 pol)	4,75 mm (nº 4)	2,36 mm (nº 8)	600 μm (nº 30)	300 μm (nº 50)	150 μm (nº 100)	75 μm (nº 200)
Porcentagem Passante	100	75	59	36	20	16	12	8

Solução:

$P = 0,02 (100-16) + 0,07 (16-12) + 0,15 (12-8) + 0,20 (8) = 4,2$
(considerar 4 por cento de asfalto diluído em peso de agregado seco)

Tipos de Misturas

Misturas de Graduação Aberta

Tem sido usada uma grande variedade de granulometrias de agregados nas misturas a frio de graduação aberta. A maior parte do trabalho de pesquisa e desenvolvimento destas misturas nos últimos anos concentrou-se nos estados do noroeste (dos E.U.A.), onde foram utilizadas com sucesso em bases e revestimentos de muitos quilômetros de rodovias federais, estaduais e municipais e estradas de transporte madeireiro pesado. As exigências de graduação e qualidade dos agregados existentes variam um pouco, porém a maioria fica próximo do que prescreve a Tabela 13.2. Algumas tentativas foram feitas no sentido de usar agregados tendo até 20 por cento passantes na peneira de 2,36 mm (nº 8) e 5 por cento na de 75 μm (nº 200), usando-se a emulsão asfáltica CMS-2s¹. Seu desempenho em camadas de base e revestimento de alta qualidade tem variado.

¹Alguns contratantes especificam um grau adicional de emulsão catiônica para mistura, designada CMS-2s. Esta é usada em misturas com areia e areias siltosas; ela contém mais solvente do que os graus padronizados CMS.

Tabela 13.2 Agregados para Misturas a Emulsão de Graduação Aberta

Tamanho da Peneira	Base		Revestimento	
	Graúda	Média		Fina
38,1 mm (1 ½ pol.)	100			
25,0 mm (1 pol.)	95 - 100	100		
19,0 mm (¾ pol.)		90 - 100		
12,5 mm (½ pol.)	25 - 60			100
9,5 mm (3/8 pol.)		20 - 55		85 - 100
4,75 mm (nº 4)	0 - 10	0 - 10		
2,36 mm (nº 8)	0 - 5	0 - 5		
1,18 mm (nº 16)				0 - 5
75 µm (nº 200)	0 - 2	0 - 2		0 - 2
Perda por Abrasão Los Angeles @ 500 revol. (ASTM C 131)	40 max	40 max		40 max
Percentual de Faces Britadas	65 min	65 min		65 min

Graus de emulsões asfálticas MS-2, MS-2h, HFMS-2, HFMS-2h, HFMS-2s, CMS-2 E CMS-2h

Misturas de Graduação Densa

As misturas de agregado densamente graduado têm sua granulometria variando do tamanho máximo até incluir o material passante na peneira de 75 µm (nº 200). Abrangem uma grande variedade de tipos de agregados e granulometrias e podem, igualmente, ser usados numa ampla gama de tipos de bases e revestimentos, dependendo da qualidade do agregado e do equipamento. Economias apreciáveis podem ser feitas quando os agregados não processados, disponíveis localmente, são utilizados em estradas de tráfego leve e em bases de pavimentos para tráfego pesado.

Deve-se ensaiar amostras de todos os agregados que se pretende usar nas misturas. As graduações recomendadas de agregados e os requisitos de qualidade das misturas densamente graduadas são apresentadas na Tabela 13.3. Para as misturas densamente graduadas, as emulsões asfálticas e os asfaltos diluídos recomendados estão na Tabela 13.1.

Misturas de Areia

Salvo quanto à graduação do agregado, aplicam-se à produção de misturas usinadas de areia-emulsão os mesmos princípios básicos das misturas usinadas de agregado grosso densamente graduado a emulsão. As misturas de areia podem ser usadas na construção de bases e revestimentos.

A adição de 1 a 2 por cento de cimento portland irá ajudar no desenvolvimento mais rápido da resistência inicial. A mistura intensa é essencial para a distribuição uniforme de cimento por toda a mistura.

A ampla variedade de agregados finos por todo o país (E.U.A.) tem proporcionado resultados satisfatórios. A combinação de dois ou mais agregados pode tornar-se necessária para produzir as características de mistura que se deseja. As granulometrias da Tabela 13.4 têm sido usadas com sucesso.

Tabela 13.3 Agregados para Misturas Asfálticas Densamente Graduadas e Emulsão

Tamanho da Peneira Padrão dos EUA / Alternativa	Agregados processados para Misturas Asfálticas de graduação densa				
	-	100	100	100	100
50 mm (2 pol)	-	100	-	-	-
37.5 mm (1 1/2 pol)	100	90-100	100	-	-
25.0 mm (1 pol)	80-100	-	90-100	100	-
19.0 mm (3/4 pol)	-	60-80	-	90-100	100
12.5 mm (1/2 pol)	-	-	60-80	-	90-100
9.5 mm (3/8 pol)	-	-	-	60-80	-
4.75 mm (No. 4)	25-85	20-55	25-60	35-65	45-70
2.36 mm (No. 8)	-	10-40	15-45	20-50	25-55
1.18 mm (No. 16)	-	-	-	-	-
600 µm (No. 30)	-	-	-	-	-
300 µm (No. 50)	-	2-16	3-18	3-20	5-20
150 µm (No. 100)	-	-	-	-	-
75 µm (No. 200)	3-15	0-5	1-7	2-8	2-10
Equivalente de Areia, Porcentagem	30 min.	35 min.	35 min.	35 min.	35 min.
Perda de Abrasão Los Angeles @ 500 Revoluções	-	40 max.	40 max.	40 max.	40 max.
Porcentagem de Faces Britadas Emulsão Asfáltica	-	65 min.	65 min.	65 min.	65 min.
	Ver ASTM, D2397 / AASHTO M-140, M - 28 e Especificações de Asfaltos para Pavimentação e Industriais, SS-22, Asphalt Institute				

O teor de emulsão asfáltica varia normalmente na gama de 6 a 10 por cento. Os tipos SS-1, SS-1h, CSS-1, CSS-1h e HFMS-2s podem ser usados com uma quantidade de água de mistura determinada em laboratório, que se adiciona à areia.

Tabela 13.4 Agregados para Misturas a Emulsão de Graduação Aberta

Tamanho da Peneira	Porcentagem Total Passante		
	Mal Graduado	Bem Graduado	Areias Siltosas
12,5 mm (½ pol.)	100	100	100
4,75 mm (nº 4)	75 - 100	75 - 100	75 - 100
300 µm (nº50)	-----	15 - 30	-----
150 µm (nº 100)	-----	-----	15 - 65
75 µm (nº 200)	0 - 12	5 - 12	12 - 20
Equivalente de Areia, por cento	30 min.	30 min.	30 min.
Índice de Plasticidade	NP	NP	NP

Métodos de Construção

Preparação do Leito

A pista na qual se coloca o material misturado deve ser conformada e compactada. Deve-se varrer a superfície com uma vassoura mecânica para remover a terra e outros materiais estranhos. Dependendo das condições ou dos tipos de base e subleito, pode ser necessária uma pintura de imprimação de MC-30 ou MC-70. Uma vez aplicada a imprimação esta deve ser deixada a curar e, após 24 horas, qualquer excesso de asfalto remanescente é secado com areia.

Leiras

Em vários tipos de mistura na estrada há que se colocar os agregados em leiras. Usam-se gabaritos de leiras para assegurar a colocação do volume correto correspondente à espessura de pavimento que se deseja.

Usualmente, há pouco material solto na superfície da estrada, além de não ser bastante uniforme para seu emprego em mistura na estrada. Neste caso o material é raspado pela lâmina da motoniveladora para os acostamentos. Quando for possível usar o material do próprio leito, passa-se a lâmina da motoniveladora formando uma leira que é medida. Pode-se ter que adicionar agregado para melhorar a graduação ou completar o volume necessário.

Quando dois ou mais materiais são combinados na área que vai ser revestida, cada um deles vai para sua própria leira dimensionada. Estas leiras são, então, completamente misturadas antes de receberem o asfalto.

Antes de aplicar a quantidade correta de asfalto, é necessário determinar a quantidade de agregado na leira. As medições a fazer numa leira dimensionada e uniforme mostram-se na Figura 13.1. As quantidades são, então, determinadas pelas fórmulas seguintes:

$$V = \frac{(A + B) C}{2} \quad (3)$$

onde

V = volume da leira, em metros quadrados vezes metro linear; e
A, B, C = dimensões da leira (Figura 13.1), metros

$$W_t = W_1 \cdot V \quad (4)$$

onde

W_t = quantidade de agregado, kg por metro linear de leira; e
 W_1 = "peso" solto do agregado seco, kg por metro cúbico

Por exemplo: uma leira de agregado seco, de 0,5 m de altura, 0,5 m de largura no topo e 1,0 m de largura na base tem um peso seco de material solto de 1500 kg por metro cúbico. Substituindo nas Equações 3 e 4:

$$\begin{array}{l} \text{Unidade Métrica} \\ V = \frac{(0,5 + 1,0) 0,5}{2} \end{array}$$

$$V = 0,375 \text{ m}^2 \text{ por metro linear}$$

$$W_t = 1500 (0,375)$$

$$W_t = 562,5 \text{ kg por metro linear}$$

$$\begin{array}{l} \text{Unidades Costumeiras EUA} \\ V = \frac{(1,64 + 3,28) 1,64}{2} \end{array}$$

$$V = 4,03 \text{ pé}^2 \text{ por pé linear}$$

$$W_t = 93,6 (4,03)$$

$$W_t = 377 \text{ lb por pé linear}$$

Adição de Asfalto

Aplica-se o asfalto com um distribuidor sob pressão à frente do processo de mistura ou, no caso de misturadores móveis, durante o processo de mistura. Em qualquer caso, é necessário o controle acurado da taxa de aplicação e da viscosidade para a mistura adequada. Determina-se a taxa de aplicação do asfalto ao longo da leira por:

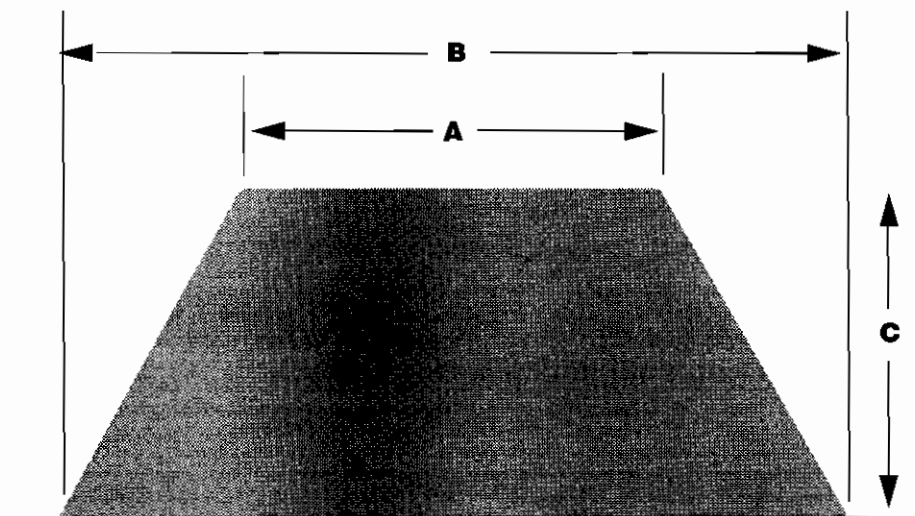


Figura 13.1 Medições para Determinação de Qualidade de Material da Leira

onde

$$A = \frac{W_f P}{100 G} \quad (5)$$

A = taxa de aplicação do asfalto, litro por metro linear

W_f = quantidade de agregado, kg por metro linear

P = teor de asfalto, porcentagem em peso de agregado seco

G = "peso" de asfalto, aproximadamente 1 kg/litro

Exemplo:

Agregado: pesando 562,5 kg por metro linear

Asfalto: MC-250, teor de asfalto, 4 por cento em peso de agregado seco

Unidades Métricas

$$A = \frac{562,5 (4)}{100 (1)}$$

A = 22,5 litros por metro linear

É essencial que se tenha a viscosidade apropriada do asfalto para que este seja bastante fluido de modo a escoar-se facilmente pelos bicos espargidores e revestir adequadamente as partículas de agregado. Os asfaltos diluídos, embora fluidos por natureza, precisam de algum aquecimento para que adquiram a viscosidade adequada ao espalhamento, que é de 20 a 120 centistokes. Porém, a menos que a mistura tenha início imediatamente, há o rápido acréscimo de viscosidade acima do valor recomendado para a mistura, que é de 150 a 300 centistokes. Os voláteis presentes nos asfaltos diluídos mantêm-nos bastante fluidos para a realização satisfatória da mistura na estrada, desde que executada prontamente. Mesmo assim, a temperatura do agregado deve ser de, pelo menos, 10°C na sombra no momento da mistura.

As temperaturas de mistura e espargimento de emulsões asfálticas e asfaltos diluídos estão dados na Tabela 13.5.

Tabela 13.5 Temperaturas Típicas do Asfalto na Construção com Misturas a Frio ^{1&2}.

Tipo e Grau	Temperatura do Asfalto enquanto sua vazão no processo de mistura da usina é medida	Temperatura do Asfalto quando aplicado na leira antes da mistura
Emulsão Asfáltica		
Aniônica		
MS-1, MS-2, MS-2h		
HFMS-1, HFMS-2, HFMS-2h, HFMS-2s		
SS-1, SS-1h	10-70°C	20-70°C
Catiônica		
CMS-2, CMS-2h		
CSS-1, CSS-1h	10-70°C	20-70°C
Asfaltos Diluídos		
Asfaltos CM, CL		
250	55-80°C	40°C
800	75-100°C	55°C
3000	80-115°C	-----

¹ As temperaturas foram incluídas nesta tabela apenas como um guia

² A temperatura máxima do asfalto diluído deve ficar abaixo da temperatura que causa a névoa

Métodos de Preparação das Misturas

Existem quatro técnicas de preparação das misturas de pavimentação para o espalhamento a frio:

1. Mistura a lâmina
2. Mistura rotativa
3. Mistura em usina móvel, e
4. Instalações fixas de mistura

À exceção da última, são técnicas de mistura no local. A vantagem principal deste tipo de construção é que se utiliza agregado já existente no local ou de fontes próximas. O agregado e o asfalto podem ser misturados no local com equipamento mínimo.

Os sistemas de mistura no local constituem técnicas de baixo custo na produção de misturas a frio. Entretanto, não é, em geral, possível obter 100% de recobrimento dos agregados pelo asfalto. Obtem-se o recobrimento suficiente para produzir

uma mistura fortemente ligada. O procedimento de mistura deve ser tal que cause a menor quantidade possível de partículas de agregado não recobertas.

As instalações de misturas fixas permitem o melhor controle de proporcionamento e misturação. Em alguns casos, como nos de misturas a emulsões asfálticas, não se torna necessário o aquecimento e a secagem do agregado antes de mistura.

Mistura a Lâmina

A mistura a lâmina faz-se, usualmente, com a motoniveladora (Figura 13.2) ou algum sistema de arraste de lâminas que misture o asfalto ao agregado. Primeiramente, seca-se o agregado ao ar remexendo-o de um lado para outro transversalmente à pista com a motoniveladora de modo a expô-lo ao sol e ao ar. Depois de reduzir o teor de umidade a 3 por cento ou menos, a leira é achatada ou espalhada uniformemente sobre cerca de metade da pista.



Figura 13.2 Mistura a Lâmina

Aplica-se, a seguir, o asfalto de um distribuidor de asfalto em duas a três passadas de espargimento, em geral. Imediatamente após cada aplicação, o asfalto e o agregado são misturados parcialmente, deixando a menor quantidade possível de asfalto na superfície e evitando a formação de poças de asfalto.

O material parcialmente misturado, depois de receber a quantidade total pré-estabelecida de asfalto, é reconstituído em leira. É, então, remexido com a lâmina de um lado a outro da pista, transversalmente à mesma, até que as partículas de agregado sejam recobertas e a mistura tenha uma aparência uniforme.

Durante a mistura deve-se prestar atenção à posição da lâmina. Deve ser tal que se obtenha uma ação de rolagem completa do material quando se trabalha a leira. Durante a mistura também se deve cuidar para não incorporar

material estranho à leira e, ao mesmo tempo, não afogar qualquer material de fora da leira. Completada a mistura e a aeração, manipula-se a leira para um lado da área a ser revestida e que se prepara para o espalhamento.

Mistura Rotativa

O misturador do tipo rotativo consiste numa câmara de mistura móvel montada numa máquina autopropulsora. A câmara é aberta no fundo e sua largura varia de 1,8 a 3,0 metros.

No interior da câmara ficam um ou mais tambores rotativos transversais tendo presos dentes de corte de carboneto. Este equipamento é de especial utilidade no caso de reciclagem a frio de mistura no local quando se incorpora à mistura o material de antigos revestimentos de misturas a quente ou a frio.

As lâminas ou os dentes de corte têm duas finalidades: o corte no local do material até uma espessura especificada e a mistura com asfalto. À medida que a máquina move-se para a frente, ela decepa o material recém-misturado até um nível pré-determinado. O asfalto pode ser introduzido de duas maneiras. Em alguns misturadores ele sai de uma barra espargidora que se estende por toda a largura da câmara de mistura, sendo a quantidade aspergida controlada pela velocidade de avanço da unidade (Figura 13.3). No segundo método um distribuidor de asfalto esparge o asfalto no agregado à frente do misturador móvel. Os materiais são arrastados para dentro da câmara de mistura à medida que a câmara move-se para a frente.



Figura 13.3 Misturador Rotativo, Tipo Pulvemisturador

Mistura em Usina Móvel

As usinas móveis são usinas malaxadoras autopropulsionadas que misturam os agregados com asfalto, aplicado a taxa controlada, à medida que se movem ao longo da estrada. Um dos tipos de usina móvel possui uma tremonha receptora de agregado, tanque de depósito de asfalto, misturador do tipo malaxagem e sapata acabadora flutuante. Tanto o material reciclado como o virgem, ou a combinação de ambos, podem alimentar, (por caminhão ou carregadora para pequenas alturas - da leira) a usina para a mistura com asfalto. A mistura feita é descarregada pela parte de trás, podendo-se ajustar a espessura para qualquer profundidade desejada (Figuras 13.4 e 13.5).

As usinas móveis devem ser capazes de combinar e misturar completamente o asfalto e agregados, com a dispersão uniforme do asfalto e o recobrimento adequado das partículas de agregado.

A taxa de aplicação de asfalto da usina que pega o material da leira deve ser exatamente compatível com a largura e a espessura da camada, e com a velocidade de avanço da misturadora. No caso de não se poder incorporar o asfalto todo numa passagem, deve-se repartir a leira em duas ou mais leiras, adicionando-se o asfalto a cada uma das leiras para a mistura. Conforme o tipo de usina móvel e os componentes da mistura, pode ser necessária a mistura adicional do material reciclado pela motoniveladora. Com isto assegura-se que todo o material enleirado seja incorporado na mistura e faz-se, também, a aeração da mistura. O número de passagens com a motoniveladora varia com as condições de trabalho.

A mistura em usinas móveis oferece a vantagem de permitir o controle mais acurado da operação de mistura do que na mistura a lâmina. As proporções de asfalto e agregado na mistura e a uniformidade que se pode obter na combinação são de grande importância.

A máquina misturadora move-se ao longo da leira, enquanto junta o asfalto e mistura-o à leira no seu movimento avante. A taxa de fluxo por minuto para a qual se ajusta a bomba de asfalto pode ser determinada por:

$$E = AS \quad (6)$$

onde

E = taxa de descarga do asfalto, litros por minuto

A = quantidade de asfalto, litros por metro linear, e

S = velocidade de deslocamento avante, metros por minuto

Por exemplo: uma leira de agregado deve receber 20 litros de asfalto MC-250 por metro linear incorporado por uma usina móvel.

Para a velocidade de avanço de 5 metros por minuto, determina-se a taxa de bombeamento do asfalto pela equação (6):

Unidades Métricas

$E = 20 (5) = 100$ litros por minuto

Se a leira for larga demais para a usina móvel, pode a mesma ser repartida em duas ou mais leiras e o asfalto adicionado e misturado a cada uma delas separadamente. A mistura adicional da leira é frequentemente necessária e se realiza com a motoniveladora. Isto também permite mais aeração da mistura.



Figura 13.4 Usina Móvel do Tipo Tremonha

Instalações Fixas de Mistura

As misturas a emulsão asfáltica e asfalto diluído em usinas fixas de mistura apresentam algumas vantagens em relação à mistura na estrada. As condições do tempo deixam de ser um fator determinante das operações de mistura nessas instalações. Os agregados podem ser aquecidos e secos pouco antes da mistura. A mistura faz-se em poucos minutos, enquanto que na estrada a manipulação das leiras pode levar horas.

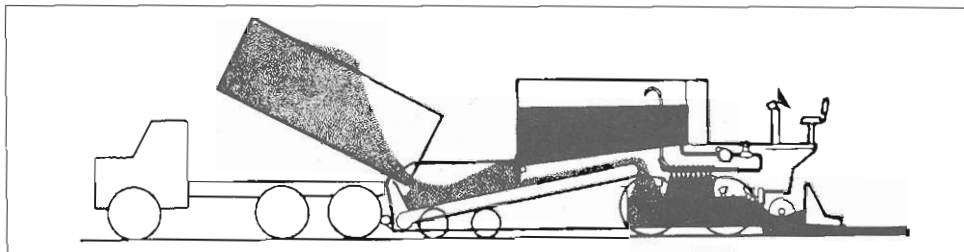


Figura 13.5 Misturador Rotativo, Tipo Pulverizador
(Cortesia Midland Machinery Co., Inc.)

A instalação fixa de mistura permite bom controle tanto das proporções dos materiais na mistura como do tempo de mistura. Assegura-se, praticamente, a uniformidade da mistura. Sendo os agregados aquecidos antes da mistura, pode-se usar um asfalto mais viscoso. Muitas vezes, consegue-se aeração suficiente nas operações de mistura – despejo e espalhamento da mistura na pista – o que permite compactar imediatamente com equipamento de rolagem.

Freqüentemente, estas vantagens, na verdade, tornam os métodos de mistura em instalação fixa mais econômicos na produção e colocação de misturas na pista do que os métodos e procedimentos de mistura na estrada.

Os arranjos das instalações de misturas a frio podem variar conforme a qualidade e o tipo de mistura que se está produzindo. Deve, no mínimo, consistir em: misturador, tanques de armazenagem de asfalto, bomba de asfalto com medição de vazão, tubulações e equipamento de barra espargidora, barra espargidora para fornecimento de água e aditivos, controles de ajuste e monitoração dos vários componentes, correia transportadora de alimentação de agregados e, naturalmente, uma fonte de energia. Pode incluir, ainda, um ou mais silos de agregados, alimentadores de agregados proporcionados, peneira de escalpo, dispositivo sensor da carga de agregado, e silo de extravasamento ou silo de estocagem. As malaxadoras de batelada podem ser usadas. Este tipo de produção de mistura, entretanto, é ideal para misturadores contínuos, usados quase que com exclusividade.

A produção de misturas a frio de alta qualidade para pavimentos de tráfego pesado exige um arranjo da instalação que seja bem controlado para assegurar bons resultados. Além da combinação de agregados, asfalto e, algumas vezes, água, que devem ser cuidadosamente monitorados e controlados, o misturador tempo, até hora e meia, o que torna difícil utilizar o ensaio para dizer se houve mistura suficiente ou não.

As misturas enleiradas por usina móvel ou por mistura a lâmina são espalhadas e

deve ser de um tipo que permita variações do tempo de misturação de 5 a 30 segundos. As tremonhas de extravasamento e os silos de estocagem são muito convenientes visto que reduzem as paralisações da instalação e melhoram a uniformidade da mistura. Mostra-se na Figura 13.6 uma instalação de mistura a frio típica.

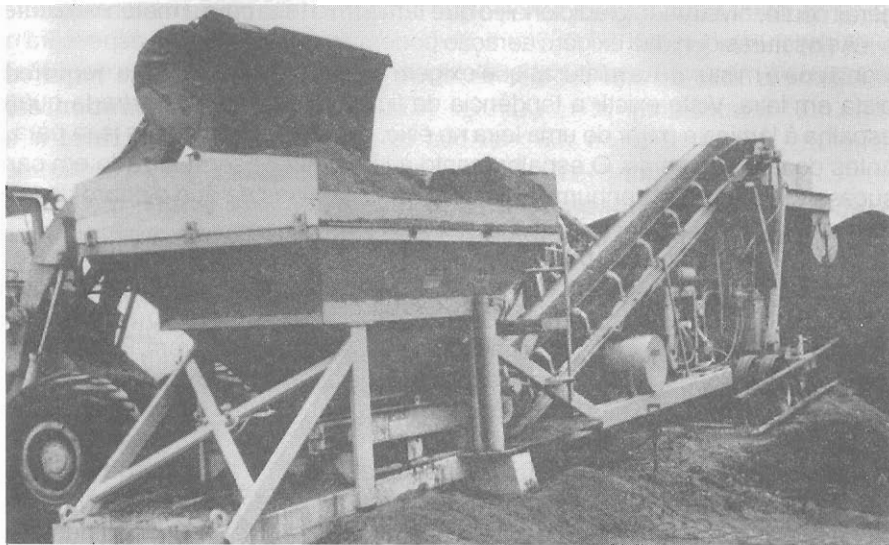


Figura 13.6 Usina Móvel, Esboço

Aeração, Espalhamento e Compactação

A aeração das misturas de agregados de graduação aberta não costuma ser crítica. Contudo, à medida que aumenta a quantidade de agregado fino e que a mistura torna-se densamente graduada, faz-se necessária a aeração ampla. Atinge-se a aeração necessária nos asfaltos diluídos quando os voláteis são reduzidos a cerca de 50 por cento do valor no asfalto original e o teor de umidade não é superior a 2 por cento em peso da mistura total. Nas misturas a emulsão asfáltica o teor de umidade deve ser reduzido a 2 a 5 por cento em peso da mistura total, no máximo. No caso de misturas com areias e solos arenosos que se usam em camadas de base e que são revestidas antes de 30 dias, os voláteis da mistura devem ser reduzidos de, pelo menos, dois terços.

O ponto de aeração adequada é, freqüentemente, encontrado como resultado da experiência e avaliação. A experiência com uma determinada mistura que se está preparando e os testes de rolagem, têm um valor prático na determinação da presença de umidade ou de voláteis, quando não se dispõe, de imediato, dos dados de ensaios. O *Método Padrão de Ensaio de Umidade ou Destilados Voláteis em Misturas Betuminosas* ("Standard Method of Test for Moisture or Volatile Distillates in Bituminous Mixtures") - AASHTO T 110 - também pode ser usado. Neste ensaio utiliza-se um alambique metálico (semelhante ao usado na destilação de emulsão asfáltica), um condensador e um sifão de vidro. Adiciona-se um solvente leve a uma amostra da mistura não compactada que está no alambique e, a seguir, ela é aquecida. A destilação pode continuar por tempo longo como 1½ h que faz o teste totalmente satisfatório para determinar se a misturação suficiente foi obtida

misturas que foram preparadas em usina móvel do tipo tremonha ou por mistura a lâmina são espalhadas e moldadas de acordo com a seção transversal que se deseja por meio de passagens sucessivas de uma motoniveladora. As misturas preparadas com misturadores rotativos de eixo transversal, embora assentes na pista, exigem, geralmente, nivelamento adicional, o que também é feito com a motoniveladora.

As misturas que não exigem aeração podem ser espalhadas na espessura exigida logo após a mistura. As misturas que exigem aeração são geralmente depositadas na pista em leira. Visto existir a tendência de ficar um calombo na estrada quando se espalha à lâmina a partir de uma leira no eixo, é preferível deslocar a leira para o lado antes do espalhamento. O espalhamento à lâmina deve ser realizado em camadas sucessivas, sem que nenhuma delas seja mais delgada do que o dobro do tamanho máximo de partícula.

A construção não deve prosseguir quando chove, nem começar quando a chuva é esperada. Também, a base de emulsão asfáltica não pode ser colocada quando a temperatura ambiente é inferior a 10°C. As misturas a emulsão asfáltica ganham estabilidade quando os fluidos (principalmente, a água) evaporam. É importante não retardar este processo. Portanto, a espessura da camada solta deve ser limitada pela taxa de perda de fluido das misturas. São fatores que afetam a evaporação, o tipo de emulsão asfáltica, o teor de umidade da mistura, a granulometria e a temperatura do agregado, a velocidade do vento, a temperatura ambiente e a umidade atmosférica.

Embora em cada obra haja combinação própria destes fatores, a experiência tem mostrado que sob as melhores condições, as misturas de graduação densa devem ser colocadas em camadas de espessuras compactadas não superiores a 75 mm. As misturas de graduação aberta podem ser colocadas em espessuras de até 150 mm. Quando várias camadas soltas são necessárias, deve-se permitir algum tempo de cura entre a colocação das camadas sucessivas. A duração do tempo de cura varia com a taxa de evaporação. Contudo, uma segunda camada pode ser, normalmente, colocada após cinco dias sob boas condições de cura.

Uma pausa até o rolamento inicial pode ser preciso, especialmente com as misturas densamente graduadas. A rolagem sela o pavimento ao reduzir os vazios da mistura. Se executada prematuramente, há o atraso da evaporação da água da mistura e se prolonga muito o tempo necessário para que a mistura atinja a densidade estabelecida. Também é preciso que a mistura possa desenvolver coesão suficiente para suportar os rolos. Entretanto, se a demora for excessiva, a compactação torna-se difícil. Em alguns casos, a ligação asfalto-agregado em desenvolvimento pode ser quebrada irreversivelmente; portanto, a escolha do momento é importante. Os rolos podem ser escolhidos conforme indicado na Tabela 13.6.

Visto que os pneus da motoniveladora compactam a mistura recém-espalhada, as suas trilhas aparecerão como afundamentos na camada acabada caso não haja compactação adequada entre as camadas fofas sucessivamente espalhadas. Portanto, o rolo deverá seguir diretamente atrás da motoniveladora a fim de eliminar os afundamentos de trilhas de roda.

Caso a mistura asfáltica apresente afundamento de trilha de roda ou escorregamento da massa exagerados durante a compactação, deve-se interromper a rolagem. Não se deve tentar compactar antes que haja uma redução de teor de umidade, seja de modo natural ou com a ajuda da aeração mecânica.

Depois que uma camada tiver sido completamente compactada e curada, pode-se colocar sobre a mesma outra camada fofa. Repete-se a operação tantas vezes quantas forem necessárias até a estrada ficar no greide e seção transversal desejados. Para se obter uma superfície de rolamento suave, a motoniveladora deve aparar e nivelar após o término da compactação da camada pelos rolos.

Após modelar a cobertura de acordo com a seção transversal, procede-se à sua compactação com rolos compressores de aço até eliminar as marcas da rolagem.

Tabela 13.6 Tipos de Rolos Adequados à Compactação de Bases de Misturas Asfálticas a Frio

Tipo de Base de Mistura Asfáltica a Frio	Estágio de Compactação		
	Rolagem de quebra inicial	Rolagem Intermediária	Rolagem de Acabamento
De graduação Densa	Rodas Pneumáticas de Aço Vibratoria	Rodas Pneumáticas de Aço Vibratoria	Rodas de Aço
De graduação Aberta	Rodas de Aço*	Rodas Pneumáticas de Aço Vibratoria**	Rodas de Aço

* A rolagem de quebra inicial de bases asfálticas a emulsão de graduação aberta é facilitada freqüentemente pela adição de pequena quantidade de detergente à água do sistema de borrião a fim de evitar a captação.

**No caso de se ter que executar a rolagem intermediária de uma base asfáltica a emulsão, de graduação aberta, com rolo pneumático, ou no caso de o tráfego ter que passar sobre uma mistura recém-colocada, deve-se aplicar pedra de fechamento, 2,2 a 3,3 Kg/m² de agregado adequado. Pedriscos de britagem ou areia de concreto estão entre os materiais adequados.

13.2 Reciclagem de Mistura a Frio

Reciclagem a Frio no Local

Generalidades

A reciclagem pelos procedimentos de construção no local envolve os passos seguintes:

- Drenagem
- Escarificação / Arrancamento
- Redução do Tamanho
- Espalhamento
- Compactação
- Camada de revestimento ou de tratamento superficial asfáltico

A escarificação/arrancamento, redução de tamanho, e mistura e espalhamento podem ser realizados separadamente ou em várias combinações, dependendo do equipamento usado.

O equipamento de reciclagem no local é, essencialmente, o fabricado para a costumeira construção no local. Visto não ser possível incluir todas as variedades de equipamentos disponíveis, esta seção cobre apenas parte dos equipamentos que são, tipicamente, utilizados no processo de reciclagem.

Drenagem

No projeto original de uma estrada, a drenagem é uma consideração da maior importância. Também é importante nos trabalhos de reabilitação, como a reciclagem.

A existência de grandes áreas pavimentadas e de empreendimentos imobiliários próximos às estradas pode causar um deflúvio superficial que sobrecarrega os drenos da estrada. A saturação resultante do subleito pode causar falhas do pavimento. Portanto, deve-se empreender uma avaliação cuidadosa da drenagem como parte do projeto do melhoramento.

O projeto e construção da drenagem subsuperficial estão discutidos no Capítulo 10.

Dosagem da Mistura

Na reciclagem de mistura a frio, o objetivo principal da dosagem da mistura é obter uma mistura comparável à que se produz quando todos os materiais são novos. Contudo, não existem métodos de dosagem de mistura para a reciclagem a frio que tenham aceitação universal. Em geral, os ensaios de laboratório, as fórmulas empíricas e a experiência anterior em projetos idênticos, são utilizados para estabelecer o teor inicial de asfalto, com a intenção de ajustá-lo, se necessário, uma vez iniciada a construção.

Seguem-se os passos para o procedimento de dosagem da mistura. Encontram-se pormenores deste procedimento na publicação *Reciclagem de Misturas Asfálticas a Frio* ("Asphalt Cold-Mix Recycling"), MS-21, Asphalt Institute.

Com as informações obtidas da avaliação dos materiais, pode-se formular a dosagem da mistura a frio reciclada. A Figura 13.7 é um fluxograma que estabelece as etapas deste procedimento de dosagem provisório.

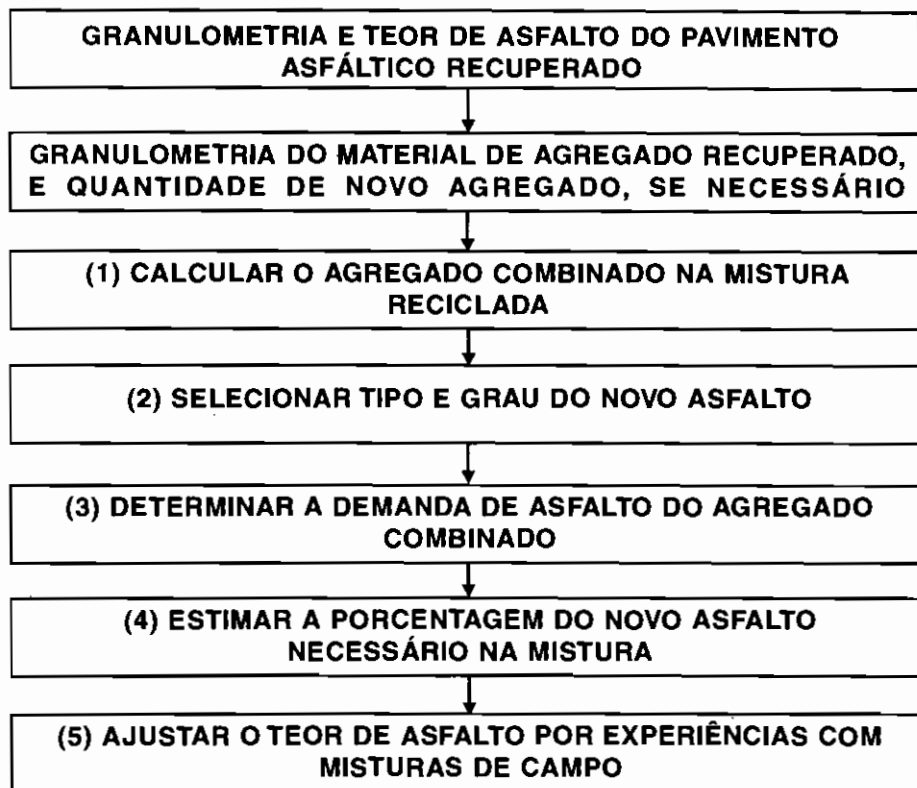


FIGURA 13.7 Fluxograma do Procedimento de Dosagem da Mistura a Frio

Escarificação / Arrancamento e Redução de Tamanho

O primeiro passo na reciclagem no local é a quebra do revestimento da estrada e, também, da base, se for o caso, até a profundidade indicada no projeto estrutural (Ver Capítulo 11). São dois os métodos distintos que se empregam: a escarificação ou arrancamento seguido de redução de tamanho e a fresagem a frio.

Escarificação / Arrancamento - Faz-se:

(a) (Em revestimentos asfálticos delgados inferiores a 50 mm) - Motoniveladoras com escarificadores de montagem frontal.

(b) (Em revestimentos de 50-100 mm de espessura) - Motoniveladoras de 125-250 HP equipadas com arrancadores/escarificadores de montagem traseira. A eficiência do arrancamento [até 150 mm] pode ser melhorada com pneus radiais e lastro.

(c) Em revestimentos mais espessos, acima de 100 mm, exige-se, usualmente, tratores do tipo lagartas tendo arrancadores próprios ou rebocados.

Redução de Tamanho - Pode-se usar métodos alternativos:

(a) O mais simples é o compactador de corte e britagem preso a uma motoniveladora arrancadora e escarificadora, por montagem traseira, e que combina as operações de escarificação e redução de tamanho. Este acessório não apenas faz a britagem de revestimentos delgados, mas pode, também, combinar e ajudar na mistura do material recuperado com o da base existente (ver Figura 13.8).

(b) Com motoniveladoras escarificadoras de montagem dianteira é preciso, primeiramente, enleirar o material. A redução do tamanho realiza-se com o misturador rotativo ou pulverizador, rebocado ou autopropulsionado (martelo-pilão móvel, também chamado de quebrador ou preparador de impacto) (ver Figura 13.9).

(c) Um outro tipo de misturador rotativo que tem sido utilizado para quebrar o pavimento asfáltico é o estabilizador de passagem única, multiaxial autopropulsionado. Este tipo de máquina tem sido empregado como uma ferramenta completa de remoção, britagem e mistura. A camada superficial asfaltada deve ser suficientemente delgada para permitir a britagem e mistura de numa só passagem da unidade (ver Figura 13.10).

(d) No caso de pavimentos asfálticos arrancados por trator tipo lagarta, o rolo de grade rebocado, o pé-de-carneiro ou similares, têm como quebrar os pedaços grandes para outros métodos de pulverização (ver Figura 13.11).

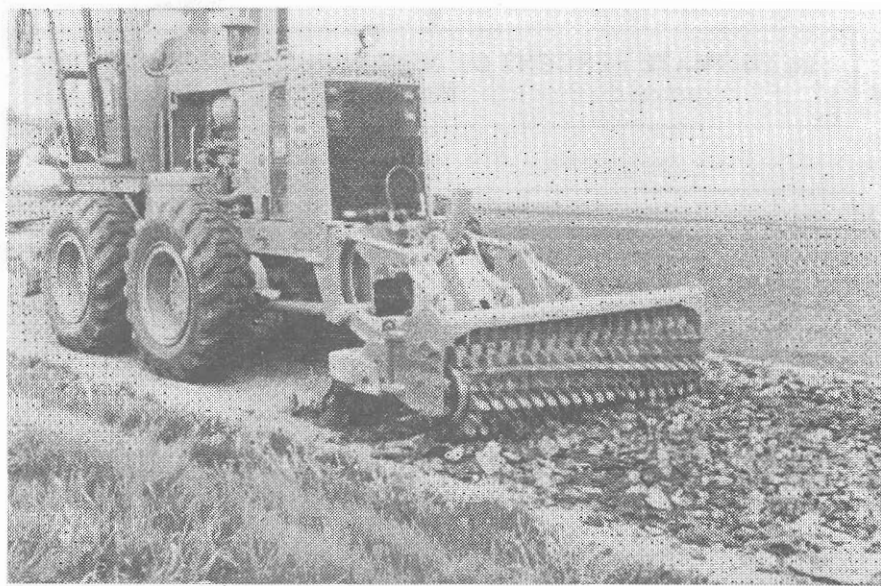


Figura 13.8 Compactador Cortador - Britador Ateco Preso a uma Motoniveladora (Cortesia de Caterpillar Tractor Company)

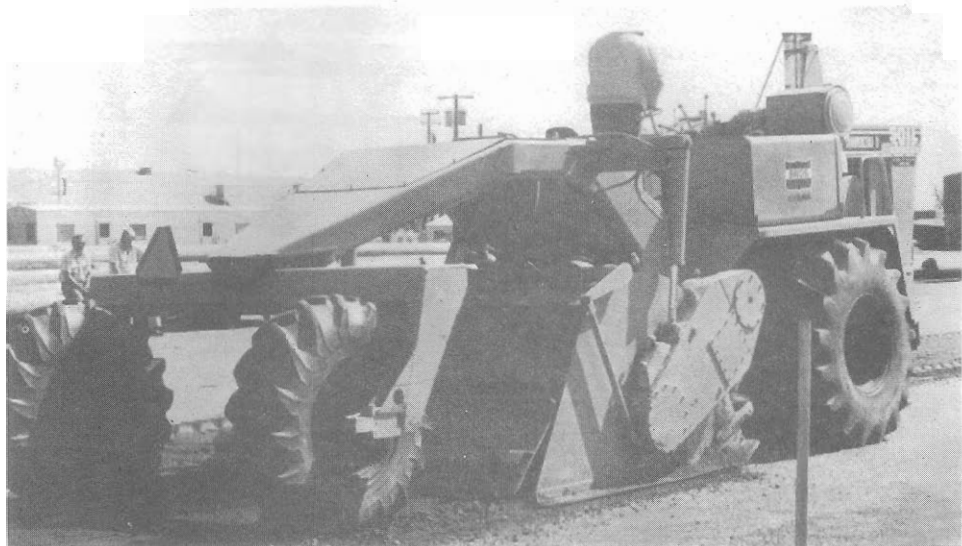


Figura 13.9 Máquinas Bros de Redução de Tamanho para Recuperação de Pavimentos (Foto Cortesia de American Hoist & Derrick Company, Bros Road Machine Division).



Figura 13.10 Pulvemisturadora Rexnord (Foto Cortesia da Rexnord Inc.)



Figura 13.11 Rolo de Grade Hyster Modelo D (Cortesia de Hyster Company)

Fresagem a Frio - Como alternativa do equipamento de arrancamento e britagem, a máquina de fresagem a frio pode ser usada para reduzir diretamente o pavimento asfáltico ao tamanho de partícula desejado (Figura 13.12). A profundidade de corte, velocidade de avanço da máquina, velocidade de rotação do mandril que prende os dentes cortantes, qualidade do material, condições da superfície do pavimento, temperatura ambiente e teor de asfalto são determinantes do tamanho das partículas produzidas.

O equipamento de fresagem a frio tem sido usado extensamente na remoção e redução do tamanho dos pavimentos. Atualmente, os equipamentos de fresagem a frio são capazes, na maioria, de cortar até a profundidade de 175 mm numa passagem única.

Mistura

A mistura uniforme combina a emulsão asfáltica e o cimento asfáltico quente com o revestimento asfáltico em pedaços, bases granulares antigas e agregado novo, se este for usado. Quando se adiciona o agregado novo aos materiais no local, deve-se usar uma caixa espalhadora ou moldador de leira afim de assegurar que a quantidade desejada seja uniformemente espalhada. Além disso, se a mistura a frio for feita na estrada, é necessário ter leiras acuradamente dimensionadas a fim de assegurar a espessura requerida do pavimento e o teor de asfalto apropriado.

Dependendo do equipamento disponível, do tipo de asfalto usado e do grau de uniformidade desejado, como foi discutido na Seção 13.1, pode-se utilizar a mistura a lâmina, mistura rotativa e usina móvel.

O espalhamento e a compactação são, também, semelhantes ao que se discutiu na seção anterior.

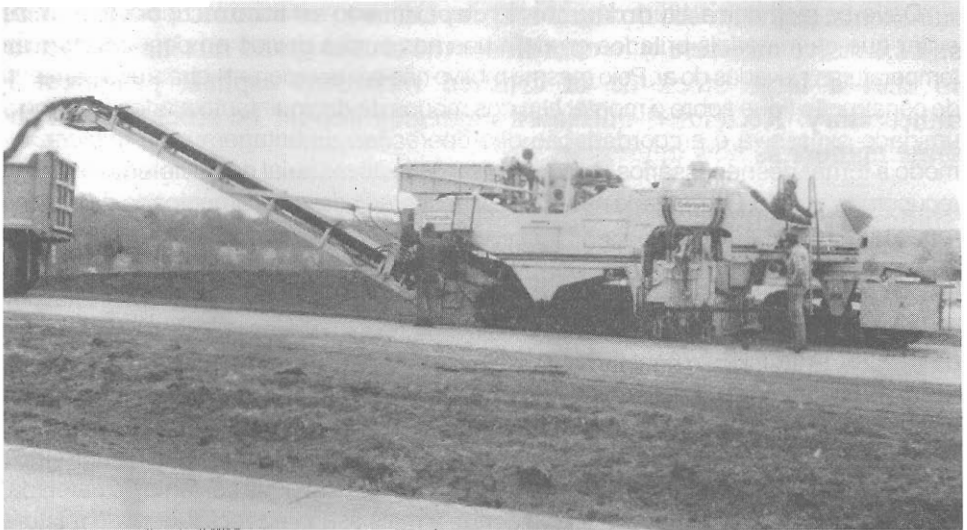


Figura 13.12 Aplanadora a Frio Cedarapids

(Foto Cortesia, Iowa Manufacturing Company, Cedar Rapids, Iowa)

Reciclagem a Frio em Instalação Central

Generalidades

A mistura em instalação central é usada nas obras de reciclagem de misturas asfálticas a frio, quando exigido alto rendimento da produção e controle apertado da dosagem da mistura. Parte do equipamento de reciclagem no local também é usado em ligação com o equipamento de instalação central.

Materiais Recuperados

Os materiais recuperados para a reciclagem em instalação central de mistura a frio são obtidos por arrancamento e britagem ou fresagem a frio de pavimentos antigos. Na operação de arrancamento e britagem, utilizam-se escarificadores e arrancadores para partir o pavimento asfáltico. A seguir ele é carregado e transportado para uma central de britagem e peneiramento, onde os pedaços do pavimento quebrado são reduzidos a tamanhos aceitáveis.

Foram desenvolvidas máquinas especializadas de fresagem a frio e de aplanamento que podem recuperar os revestimentos asfálticos até profundidades estabelecidas. Neste processo, reduz-se o pavimento ao tamanho máximo de partícula desejado; e, a seguir, transporta-se à instalação central. O material da base de agregado não-tratado a ser processado, também é transportado para a instalação central. Pode ser necessário passar este material por uma peneira de escalpo a fim de remover as partículas de tamanho excessivo. O material grande demais pode causar problemas de colocação (pavimentação) e produzir uma textura superficial não uniforme de aparência nodosa no pavimento. A mistura recuperada, o agregado recuperado e qualquer novo agregado devem ser proporcionados separadamente.

Deve-se restringir a altura dos montes de pavimento asfáltico recuperado a fim de evitar que os materiais britados grudem uns nos outros devido ao peso morto e às temperaturas elevadas do ar. Pelo mesmo motivo não se deve permitir que o equipamento de construção fique sobre o monte. Um dos modos de diminuir tanto a adesão como a umidade excessiva é a coordenação das operações de britagem e de mistura, de modo a tornar desnecessários os grandes montes de material de pavimento asfáltico recuperado britado. O agregado não-tratado recuperado deve ser amontoado do mesmo modo que o agregado novo.

Instalação Fixas

As misturas em instalações centrais realizam-se, normalmente, em locais afastados da estrada. Entretanto, o equipamento consiste, apenas, usualmente, num misturador e algum equipamento auxiliar para alimentação de asfalto, água, pavimento asfáltico recuperado, e agregado, para o misturador. É, portanto, rapidamente transportado e montado. As bombas d'água e de asfalto devem ser interligadas ao fluxo de agregado para que se produza uma mistura uniforme. A instalação fixa pode ser tanto de batelada, de tambor ou do tipo contínuo, a última sendo a mais usada na reciclagem de mistura a frio. (Figura 13.13)

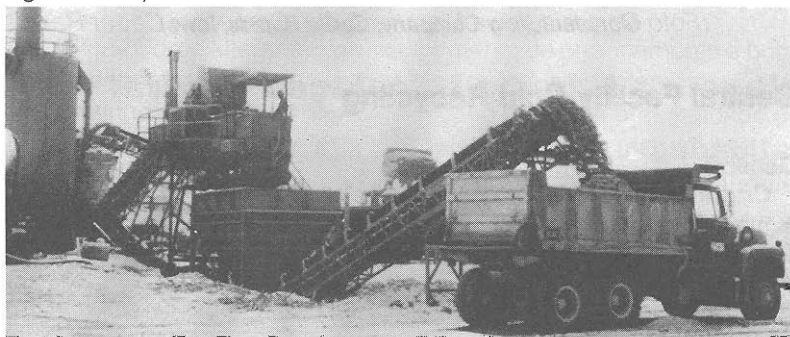


Figura 13.13 Instalação de Reciclagem de Mistura a Frio, Tipo Contínuo
Preparação da Mistura

Nas instalações de batelada, faz-se a mistura, usualmente, numa malaxadora de mandril duplo. Os materiais do pavimento asfáltico reciclado, do agregado recuperado e do novo agregado (se necessário) são proporcionados em peso com os materiais novos e água de mistura que for necessária, antes de irem alimentar a malaxadora. Mistura-se a batelada que é descarregada num caminhão de transporte antes de se produzir a nova batelada.

Nas instalações de mistura contínua os dispositivos de alimentação dos materiais são interligados de modo a manter as proporções corretas. De um modo típico os alimentadores automáticos medem e dirigem o fluxo de materiais relacionando-o à saída do deslocamento positivo da bomba medidora da vazão de asfalto. Visto que o asfalto é adicionado à mistura numa base volumétrica, podem-se fazer correções das diferenças de volume conforme a temperatura. À medida que os materiais proporcionados movem-se através da malaxadora, há a descarga do material misturado e subsequente transporte para o local da obra na estrada.

O tempo de mistura pode variar numa instalação de malaxadora contínua, mudando-se o arranjo das pás, a altura da comporta de saída, e a localização do tubo de entrada do asfalto no tambor.

Deve-se notar que no caso de emulsões asfálticas, independentemente do método de mistura, nem sempre se consegue o recobrimento de 100 por cento das partículas graúdas de agregado, o que, aliás, não é necessário.

Obtém-se recobrimento adicional ao se manipular a mistura no processo de espalhamento e durante a rolagem. Alguns tipos de agregado podem ser de recobrimento difícil, fato este que se deve tornar evidente na fase de dosagem da mistura. Os procedimentos de mistura devem procurar atingir a dispersão uniforme da emulsão asfáltica com o recobrimento completo das frações de agregado fino.

Aeração das Misturas Usinadas

As misturas que necessitam de aeração são, geralmente, depositadas na pista em leiras.

Tal como no caso das misturas no local, as misturas a frio recicladas em instalação central aumentam de estabilidade à medida que se evapora a água que permitiu a trabalhabilidade da mistura.

Espalhamento e Compactação

Se a umidade de mistura puder ser controlada acuradamente num nível que não exija aeração ou se as condições climáticas e a graduação do agregado permitirem a evaporação da umidade sem necessidade de aeração por manipulação, pode-se usar uma pavimentadora asfáltica autopropulsionada convencional para o espalhamento de mistura asfáltica a frio reciclada.

A colocação satisfatória de mistura a frio com as pavimentadoras convencionais exige a presença de fluidos em quantidade suficiente. As misturas secas tendem a se dilacerarem sob a sapata acabadora ou a barra raspadeira.

Se a mistura estiver por demais seca, deve-se aumentar o teor de água. Quando se utiliza uma pavimentadora rodoviária autopropulsionada, o aquecimento da sapata, na tentativa de eliminar a dilaceração, não é de ajuda. Na realidade torna a mistura menos trabalhável, pois que serve para acelerar o processo de secagem.

Deve-se espalhar a mistura uniformemente na pista, a começar pelo ponto mais distante da usina de mistura. Não se deve permitir o transporte sobre o material recém-colocado, salvo quando necessário para acabar o serviço.

O equipamento de espalhamento tal como os espalhadores Jersey e espalhadores rebocados também são usados na reciclagem com mistura a frio.

O espalhador Jersey é uma tremonha frontal de rodas que se prende ao extremo frontal de um trator de rodas de borracha ou de lagartas. A mistura asfáltica é despejada na tremonha e vai cair diretamente na estrada onde é espalhada e raspada até a espessura desejada. A fim de começar o espalhamento da mistura na profundidade especificada o trator deve ser deslocado sobre blocos ou tábuas de espessura igual à da camada colocada e ainda não compactada de modo que o trator passe diretamente para cima do material recém-colocado.

Os espalhadores do tipo reboque são presos à traseira dos caminhões de transporte. A mistura asfáltica a frio é depositada na tremonha e cai diretamente na superfície que está sendo pavimentada. À medida que o caminhão avança, a mistura é raspada pela barra raspadeira, uma lâmina ou por uma sapata acabadora.

O espalhador deve ser rebocado a velocidade constante qualquer que seja o ajuste da sapata acabadora e do dispositivo raspador. A variação da velocidade de reboque faz variar a espessura. Também, paradas e partidas freqüentes podem propiciar assentamentos da sapata e corcovas na superfície do pavimento.

A compactação de misturas a frio recicladas, produzidas em instalações centrais, é realizada do mesmo modo que o descrito antes neste capítulo para a construção de mistura a frio no local.

Para que se permita o tráfego numa superfície de mistura a frio logo após a compactação, pode ser necessário espalhar uma cobertura leve de areia na superfície a fim de evitar que as misturas adiram aos pneumáticos dos veículos.

Capítulo 14

Usos Especiais do Asfalto e Aditivos

Existem aplicações menos comuns de pavimentações asfálticas como as de instalações esportivas ou de aterro de açudes. O asfalto é um produto cimentante e impermeabilizante versátil, que pode ter várias utilizações, algumas aqui descritas.

O emprego de aditivo no asfalto ou nas misturas asfálticas afim de realçar uma ou mais propriedades merece ser focalizado. Tendo o conhecimento de que os aditivos são amplamente utilizados com outros produtos do petróleo tais como combustíveis de motores e lubrificantes, o Instituto encara de modo receptivo a idéia do melhoramento dos asfaltos com o uso de aditivos para atingir determinadas propriedades de engenharia. Há certas evidências com base em observações de campo que indicam os efeitos benéficos dos aditivos na vida do pavimento. Técnicas especiais de utilização são, muitas vezes, necessárias. Em consequência o Instituto apresenta este material de cunho informativo, porém sem recomendações quanto ao uso e sugere que o retorno do custo seja visto com base em experiência de campo.

SEÇÃO 14.1 Aplicações Miscelâneas do Asfalto

- Revestimento de Tabuleiro de Ponte
- Estacionamentos de Terraços
- Pisos Industriais
- Instalações de Esporte e Recreação
- Estruturas Hidráulicas
- Telhados Asfaltados
- Asfalto nas Vias Permanentes Ferroviárias
- Tratamento de Palha de Cobertura

SEÇÃO 14.2 Modificadores do Asfalto

- Introdução
- Silicones
- Agentes Orgânicos Antidescolantes
- Cal Hidratada

BIBLIOGRAFIA

1. *O Asfalto na Hidráulica* ("Asphalt in Hydraulics"), MS-12, Asphalt Institute.
2. *Pavimentos Asfálticos no Esporte e Recreação* ("Asphalt Pavement for Athletics and Recreation"), IS-147, Asphalt Institute.
3. *O Asfalto nas Vias Permanentes Ferroviárias* ("Asphalt in Railway Roadbeds"), IS-137, Asphalt Institute.
4. *A Construção de Vias de Trânsito sobre Trilhos Usando Misturas Asfálticas a Quente* ("Rail Transit Construction Using Hot-Mix Asphalt"). TB-6, Asphalt Institute.

14.1. Aplicações Miscelâneas do Asfalto

Alguns aspectos da construção asfáltica exigem uma consideração especial tanto dos métodos de construção quanto da composição da mistura asfáltica. O asfalto na qualidade de material de engenharia é versátil e se adequadamente estudado é ideal em muitos tipos de pavimentação e outras aplicações.

Pavimentação de Tabuleiros de Pontes

Generalidades

As superfícies asfálticas são recomendáveis para os tabuleiros de pontes porque não são prejudicadas pelos sais utilizados no degelo, além do que, corretamente construídas, poderão tornar impermeáveis os pisos dos tabuleiros, impedindo que a água e os sais sejam-lhes prejudiciais. As superfícies asfálticas também podem ser altamente resistentes à derrapagem, proporcionando aos pisos de pontes muita segurança.

Misturas Asfálticas

As misturas de concreto asfáltico densamente graduadas são recomendáveis para as camadas de nivelamento e as intermediárias. Nas áreas onde se espera o emprego de produtos químicos no degelo de pavimentos, deve-se escolher um agregado que não reaja com estes produtos químicos. Um agregado de densidade de grãos baixa pode ser interessante para reduzir o peso do pavimento asfáltico na ponte.

Tem-se usado misturas asfálticas nas superfícies de tabuleiros de pontes. Uma das misturas que anuncia propriedades de degelar o faz através do uso de pelotas de cloreto de cálcio encapsuladas na mistura. Estas pelotas partem-se sob a ação do tráfego e formam uma salmoura fraca que inibe a formação do gelo. Outra mistura promete o aumento da resistência pela adição de fibras de poliéster. E ainda outras misturas asfálticas modificadas com borracha ou elastrômetros dizem melhorar a estabilidade e a vida de fadiga. Todas estas modificações estão sendo usadas e avaliadas corretamente em tabuleiros de pontes existentes.

Métodos de Construção

A superfície a ser pavimentada, seja de concreto de cimento portland ou com piso de tabuleiro de aço corrugado, deve ser limpa de todo material solto ou estranho. Para executar esta tarefa podem ser necessárias escovas mecânicas e ferramentas de ar comprimido. A seguir aplica-se na superfície do tabuleiro de c.c.p. uma pintura de ligação de emulsão asfáltica SS-1h ou CSS-1h diluída em igual quantidade de água e aplicada à taxa de 0,2 a 0,9 litro/m².

Os tabuleiros de aço depois da remoção da crosta raspada exigem, usualmente, uma pintura com tinta asfáltica espessa. As superfícies verticais também são pintadas até profundidades superiores à espessura prevista do pavimento que se colocará. A pintura de ligação é esfregada de modo a formar uma película de asfalto contínua sem buracos no recobrimento.

Coloca-se e compacta-se uma camada de nivelamento de concreto asfáltico densamente graduado. Nos tabuleiros de aço, esta camada deve ter uma espessura

compactada estendendo-se cerca de 13 mm acima das corrugações. A rolagem da camada de nivelamento sobre o tabuleiro de aço é feita numa direção paralela às corrugações.

Aplica-se, a seguir, sobre a camada de nivelamento, uma pintura de ligação normal e sobre esta (se for necessário) a camada intermediária colocada e compactada. Segue-se, a isto, uma pintura de ligação e a colocação e compactação da camada de rolamento.

A compactação de todas as camadas faz-se com rolos pneumáticos de 550 kPa de pressão de contato, sendo o rolamento final feito, geralmente, com rolos lisos de aço.

Estacionamentos de Terraços

Generalidades

Os terraços de muitas estruturas modernas servem de áreas de estacionamento. A pavimentação de concreto asfáltica é, em particular, adaptável a áreas de estacionamentos em terraços por razões semelhantes às da pavimentação de tabuleiros de pontes.

A importância da drenagem adequada nunca é demais enfatizar. A fim assegurar o escoamento superficial da água para os ralos a superfície deve ser rampada com declividade de 2 por cento ou 20 mm/m.

Os pavimentos asfálticos transmitem grandes cargas móveis e estáticas à membrana de cobertura. Qualquer movimento lateral da membrana causa o deslocamento do pavimento. Qualquer expansão diferencial sob um pavimento asfáltico com cargas, causa defeitos ou falhas da membrana subjacente. Também, qualquer excesso de asfalto livre na membrana vai ser absorvido pela camada de rolamento fazendo com que amoleça e, possivelmente, exsude.

Quando se coloca um pavimento asfáltico sobre um terraço construído de vigas de concreto protendido, é provável que as trincas de reflexão atravessem a espessura do pavimento nas junções das vigas sucessivas. A fim de reduzir o trincamento de reflexão pode-se colocar algum tipo de membrana absorvente de tensões sobre cada junta. Isto, também, ajuda a garantir uma selagem firme à passagem da água.

São dois os tipos de pavimentação de terraços: (a) Laje e pavimento intercalados por um plano de movimentação, e (b) Laje e pavimento interligados.

Construção Com Plano de Movimentação Livre

A construção de um plano ou fatia de movimentação livre, proporciona um plano definido de movimentação livre da laje estrutural do terraço em relação ao pavimento.

Um eficiente rompedor de ligações como o calcário ou a areia fina é espalhado no terraço de concreto para permitir a movimentação livre do pavimento em relação ao terraço de concreto. Coloca-se no telhado uma cobertura tradicional constituída de quatro a cinco lâminas ou lonas de feltro leve. Contudo, não se aplica o revestimento final com a cobertura de agregado. No seu lugar, aplica-se uma leve pintura de ligação de emulsão asfáltica SS-1h ou CSS-1H, diluída, sobre a camada superior de feltro. Acima deste coloca-se e compacta-se o concreto asfáltico. Recomenda-se a espessura mínima de 50 mm e deve-se usar uma mistura muito densamente graduada, com o diâmetro máximo de agregado de cerca de 9,5 mm.

Ligação do Terraço com o Pavimento

A fim de colar o pavimento ao terraço, após haverem sido seladas as trincas e juntas, faz-se a superposição de 4 a 5 lâminas. Cada camada, com exceção da última, recebe aplicações localizadas de asfalto com um esfregão. Não se faz esta aplicação na extensão de 400 mm de uma junta de laje de concreto de cimento portland. Cobre-se, então, a camada superior com 50-75 mm de um concreto asfáltico denso. Noutro método utiliza-se uma membrana asfáltica que contém filer mineral e fibras para a encorpadura e a resistência. Espalha-se a membrana cuidadosamente para assegurar uma espessura uniforme. Muitas vezes, coloca-se uma tábua protetora de 3 a 6 mm de espessura sobre a membrana. A membrana ou a tábua é recoberta por uma ou duas camadas de concreto asfáltico de teor de asfalto maior do que o normal. A espessura total da mistura não deve exceder 75 mm. O que se almeja é obter uma mistura impermeável que se intemperize bem e tenha uma estabilidade Marshall maior do que 3336 N.

Utilizam-se, freqüentemente, rolos pequenos ou rolos para passeios (calçadas) devido às pequenas áreas de trabalho e às cargas máximas permitidas no prédio. Utilizam-se pequenos compactadores vibratórios operados manualmente, elétricos ou a gasolina, para trabalhar à volta de áreas inacessíveis aos rolos.

Pisos Industriais

Generalidades

Os pisos asfálticos são adaptáveis, em particular, para uso em muitas fábricas e armazéns. Quando acima do nível do terreno, são colocados, geralmente, sobre plataformas de concreto de cimento portland. Ao nível do terreno ou abaixo seu projeto e construção assemelham-se aos das rodovias e parques de estacionamento. Os pisos de asfalto são a prova d'água, altamente resistentes ao desgaste e não formam poeira. Pela escolha de agregado mineral altamente silicoso, podem mostrar-se resistente à ação de ácido diluído.

Pisos de Mastique Asfáltico

No início, preparava-se o mastique asfáltico com a rocha asfáltica britada. Hoje em dia o termo aplica-se à mistura de areia graduada, filer mineral e cimento asfáltico, de modo parecido com a natureza do pavimento de lençol asfáltico. Os pisos de fábricas e armazéns estão sujeitos, freqüentemente, a cargas por unidade de área muito grandes, transmitidas por rodas metálicas estreitas e de pequeno diâmetro. Quando se apresentam estas condições, o lençol asfáltico usual é modificado pelo emprego de um cimento mais duro (CAP-20, AR-8000 e pen 60-70 dmm) e uma proporção maior de filer mineral muito fino. Recomenda-se, comumente, a espessura máxima inferior a 25 mm. Quando não se requer resistência aos ácidos, mas estabilidade e resistência ao choque elevados, para os caminhões carregadores de forquilha, produtos patenteados de emulsões asfálticas especialmente preparadas, cimento portland, areia de reboco e pedra de 9,5 mm são disponíveis.

Pisos de Concreto Asfáltico

O concreto asfáltico densamente graduado que é usado na pavimentação de rodovias e aeroportos, adapta-se muito bem como pavimento de pisos de armazéns e fábricas. O asfalto em si não é atacado pelos ácidos, mas os agregados minerais devem ser resistentes aos ácidos, o que exige cuidados na dosagem e compactação da mistura de modo a obter densidade elevada e impermeabilidade.

Os mesmos princípios básicos devem ser usados no projeto de pisos de concreto asfáltico de armazéns em que misturas de agregados graúdos, tais como os usados nas bases, são previstos com a aplicação de uma camada de revestimento ou selante delgada, de modo a se obter uma cobertura lisa.

Instalações de Esporte e Recreação

Generalidades

Em quase todos os tipos de instalações esportivas e recreativas que se pode imaginar, pode-se usar o asfalto – de pistas de corrida de atletismo até as de corrida de automóveis, (Figura 14.1), de playgrounds a campos de futebol (Figura 14.2). Uma ampla escolha de construções asfálticas para qualquer tempo apresenta-se disponível economicamente para estas finalidades. Quando o projeto e a construção são adequados, os custos de manutenção tornam-se desprezíveis.

Construção

A primeira consideração a fazer é, sem dúvida, a drenagem. Na construção asfáltica a espessura plena, há somente necessidade, em geral, da drenagem superficial. Tanto as misturas espalhadas a quente ou as espalhadas a frio, podem ser usadas na maioria dos casos. Os procedimentos de construção utilizados em rodovias podem ser, geralmente, seguidos na pavimentação de instalações esportivas e recreativas, dando-se atenção especial à obediência do greide adequado.

Muitos produtos patenteados foram desenvolvidos e têm sido aceitos em áreas de recreio e campos de jogos. Alguns destes são de superfícies sintéticas de grama artificial sobre uma base asfáltica. Outros são emulsões asfálticas combinadas com pigmentos e fileres escolhidos para aplicações a rodo de uma camada superficial de concreto asfáltico. Estes materiais produzem uma selagem firme sem que permaneçam materiais soltos. Apresentam superfícies lisas fáceis de limpar e manter.

A construção de pavimentos asfálticos a profundidade plena contribuiu muito para o uso de superfícies sintéticas e grama artificial em campos de jogos esportivos. A base asfáltica garante uma superfície perfeitamente nivelada para a camada de borracha ou acolchoada que se prende à base e fica intercalada entre a camada asfáltica e o tapete de grama artificial.

A fim de obter superfícies perfeitamente niveladas, coloca-se o asfalto, geralmente, em duas camadas pelo menos. A camada superior é, em geral, de concreto asfáltico, areia-asfalto ou lençol asfáltico.



Figura 14.1 Pista de Corrida de Automóveis com Superfície de Concreto Asfáltico

Estruturas Hidráulicas

Generalidades

Ganhou-se muita experiência na aplicação do asfalto a estruturas hidráulicas de vários tipos. Os recobrimentos podem ser escolhidos com base na função pretendida. É o que se mostra no quadro abaixo:

Recobrimento Asfáltico	Função	
	Impermeabilização	Cobertura protetora
Membrana asfáltica aspergida	x	
Mistura asfáltica a quente densamente graduada	x	x
Mistura asfáltica a quente de graduação aberta		x
Recobrimento pré-fabricados	x	x

Recobrimentos de Membrana Asfáltica Aspergida

O recobrimento de membrana asfáltica consiste numa camada contínua de cimento asfáltico aspergido sobre a superfície que se quer impermeabilizar. É, geralmente, coberta por uma camada de solo, pedregulho ou outro material que segura o recobrimento no lugar, de modo a evitar a intemperização (oxidação) do asfalto, e protegê-lo de danos mecânicos. Espalha-se, em geral, o asfalto em duas aplicações a taxa total de cerca de $6,8 \text{ litros/m}^2$ para obter a espessura de camada de cerca de 6 mm.

Foram desenvolvidos asfaltos especiais para este tipo de aplicação. Existem cimentos asfálticos soprados especiais de elevado ponto de amolecimento de



Figura 14.2 Estádio de Los Angeles

79-93°C e, possivelmente, ductilidade até de 3,5 cm, bem pequena.

De início, deve-se esterilizar o subleito para impedir o crescimento de ervas daninhas. A superfície não deve apresentar corcovas, torrões e pedaços de rocha grandes. Faz-se um rolamento leve antes de aplicar o asfalto. As temperaturas de aplicação devem ficar entre 177 e 218°C. O material de cobertura é cuidadosamente colocado de modo a não puncionar a membrana. A espessura da cobertura de proteção, em geral, é, de, pelo menos, 0,3 m de espessura.

Ainda que desenvolvida para recobrimentos de canais, o uso da membrana de asfalto tem sido estendido a todos os tipos de reservatórios (por exemplo, abastecimento de água, lagoas sanitárias, escavações de salmouras, viveiros de peixes e açudes de fazendas).

Recobrimentos de Concreto Asfáltico Densamente Graduados

O concreto asfáltico densamente graduado é especialmente bem adequado à construção de recobrimentos que sejam impermeáveis e resistentes à erosão. As dosagens de mistura para esta finalidade são muito parecidas com as misturas asfálticas densamente graduadas de pavimentos asfálticos, entretanto, com a limitação da compactação de projeto do Método Marshall a 35 golpes. Diferem pelos maiores teores de filler mineral e de asfalto do que nas misturas rodoviárias. As razões para isto são simples. O material provavelmente não atinge, principalmente nos taludes, o grau de compactação que se obtém nas estradas. O asfalto e o filler mineral em quantidades extras ajudam na obtenção de uma mistura sem vazios. O asfalto a mais também aumenta a durabilidade da mistura e proporciona uma cobertura pelicular mais espessa das partículas de agregado. Os cimentos asfálticos mais duros (CAP-20, AR-8000 e pen. 60-70 dmm) são, geralmente, preferíveis para as aplicações hidráulicas.

A alta estabilidade não é necessária. Se uma mistura pode ser colocada e compactada satisfatoriamente a temperatura elevada num talude, sua estabilidade é, usualmente, adequada.

A impermeabilidade dos recobrimentos de concreto asfáltico densamente graduado é assegurada, usualmente, quando os vazios da mistura são de 4 por cento ou menos e o recobrimento é de, pelo menos, 50 mm de espessura. Estas misturas têm, tipicamente, um coeficiente de permeabilidade "k" inferior a 1×10^{-7} cm/s, o que se considera geralmente impermeável à água.

As misturas asfálticas são colocadas nos taludes, usualmente, por máquinas de espalhamento usuais que são suspensas e descidas nos taludes. Os espalhadores e outros equipamentos são presos a cabos e guinchados para cima e para baixo do talude por guindastes e buldôzers situados na crista do talude. Em algumas obras importantes, os equipamentos de acabamento e de rolagem foram modificados para a pavimentação de taludes. As modificações são deixadas por conta da imaginação e engenhosidade do empreiteiro porque não são produzidos equipamentos com este propósito específico.

As misturas asfálticas de pavimentação são usadas na construção de vários tipos de bacias de contenção de água para tratamento e estocagem e outras de tratamento químico. Não podem ser usadas se o tratamento químico envolver um solvente de petróleo, pois que este poderia causar o amolecimento ou dissolução do ligante de cimento asfáltico. As misturas de asfalto e agregado, contudo, são muitíssimos resistentes a ácidos e álcalis, porém deve-se verificar, por segurança, que os agregados não reajam com o material que está sendo acumulado ou tratado. Pelo fato de ser o asfalto um material inerte e não contaminante, é o mesmo ideal para a armazenagem ou o tratamento da água potável, ou ambos. Quando utilizado numa bacia de contenção, deve-se empregar uma mistura sem vazios de finalidade hidráulica. Os pormenores de projeto e construção estão contidos na publicação *Asfalto na Hidráulica*, MS-12, do Asphalt Institute.

Recobrimentos Asfálticos de Graduação Aberta

As misturas asfálticas porosas ou de graduação aberta têm uma quantidade reduzida de areia e são praticamente desprovidas de filer mineral. Em conseqüência, o teor de asfalto também é reduzido. A finalidade deste tipo de recobrimento é o de fornecer uma cobertura resistente à erosão sobre um recobrimento terroso, como o de argila, a qual fornece a impermeabilidade à estrutura. A porosidade da mistura permite a passagem livre da água na direção do colchão terroso sem perigo de pressão hidrostática sob a camada asfáltica. A espessura necessária destes recobrimentos é estabelecida pela necessidade exclusiva de permanecerem intactos sob as forças erosivas da água, com as produzidas pelas ondas. Uma espessura típica é de cerca de 75 mm.

As misturas porosas também podem ser usadas como camada de apoio de recobrimentos impermeáveis. Tal combinação aumenta a resistência do recobrimento da estrutura e, ao mesmo tempo, garante uma camada drenante que evita o aparecimento de sobrepressões hidrostáticas no recobrimento que possam romper ou danificar a camada impermeável.

Recobrimentos Asfálticos Pré-Fabricados

Os painéis asfálticos pré-fabricados têm, usualmente 0,9 a 1,2 m de largura e 3,7 m ou mais de comprimento. As espessuras podem variar de 3 a 13 mm. O painel de 13 mm tem sido o mais comumente usado.

O núcleo costuma ser uma mistura densa de asfalto e filer. As camadas externas são feitas de algum material impregnado de asfalto, rígido, como as fibras de

vidro ou uma das fibras sintéticas ou plásticas. O painel é então moldado sob calor e pressão.

A construção de recobrimentos feitos com material pré-fabricado não exige o emprego de maquinaria pesada de pavimentação. Os materiais pré-fabricados podem ser usados onde a limitação de espaço não permite o emprego de maquinaria. São usados quando se tem que refazer os revestimentos de concreto (construídos como tal) trincados e deteriorados, ou quando um recobrimento deve obedecer a especificações rigorosas de espessura.

Camadas de Drenagem Asfáltica de Graduação Aberta

Por vezes as restrições ambientais proíbem o fluxo superficial de áreas pavimentadas para as instalações de drenagem e os cursos d'água. Esta restrição freqüentemente procura evitar a sobrecarga desses sistemas. Em função disto, foram desenvolvidas camadas de drenagem de mistura asfáltica de graduação aberta. Tais pavimentos porosos permitem que a água drene rapidamente pelo pavimento e desça para a subestrutura. Este tipo de pavimento deve ser usado apenas quando existirem os dispositivos de drenagem subsuperficial. O pavimento é constituído de mistura de agregado de tamanho de partícula predominantemente uniforme e de teor de asfalto relativamente pequeno. Os vazios nestes pavimentos variam de 15 a 25 por cento. A aspiração periódica do pavimento pode ser necessária para remover as partículas de solo e manter a capacidade de drenagem dos pavimentos.

Telhados de Asfalto

Histórico

A telhadura foi provavelmente o primeiro ofício no mundo, pois que o abrigo tem sido sempre uma necessidade material primária do homem. Desde o começo dos tempos, teve o homem que se proteger contra as forças implacáveis da natureza: dos extremos do calor e do frio, da chuva, vento, granizo, neve e gelo.

O asfalto com sua extraordinária combinação de propriedades de impermeabilização, conservação e cimentação, foi uma descoberta de povos da antiguidade. Usavam-no amplamente na construção de seus prédios e estradas, muitos sobrevivendo até hoje, após milhares de anos de exposição às intempéries, em bom estado.

Hoje em dia, reconhece-se que o asfalto é mais do que nunca o principal material de telhados, sendo usado amplamente nas coberturas de todos os tipos de edificações, de casas a fábricas. Os materiais asfálticos de telhados e os seus métodos construtivos são amplamente considerados nas especificações da Sociedade Americana de Ensaio e Materiais (ASTM) e de muitos órgãos governamentais e privados. Além disso, todos os tipos de telhados asfálticos são sancionados pelos órgãos federais e outros.

Os telhados asfálticos podem ser construídos como sistemas simples ou multicamadas com tecidos impregnados ou tabuinhas manufaturadas.

Tipos de Telhados de Asfalto

Os telhados de asfalto são de dois tipos:

(1) Telhado Preparado

a Tabuinhas asfálticas. Este tipo compõe-se de três materiais básicos – asfalto,

feltro e grãos minerais. O feltro é impregnado com asfalto até saturar. Ambos os lados do feltro saturado são então cobertos por uma capa de asfalto mais duro e rijo, no qual se engastam grânulos minerais. Este composto é, então, cortado em tabuinhas ou tiras individuais. As tabuinhas asfálticas são disponíveis em quase todas as cores desde as suaves até as de tonalidades mais fortes. As técnicas de fabricação com aplicação de grânulos melhoraram com o desenvolvimento de novas cores permanentes, de modo que os grânulos podem ser aplicados em muitos padrões ou combinações de cores que se deseja.

b. Telhado asfáltico em rolo – de superfície lisa. Este tipo compõe-se de uma camada simples de feltro de telhado saturado de asfalto, coberto de ambos os lados por um asfalto mais duro.

c. Telhado asfáltico em rolo – com minerais na superfície. Este tipo consiste num rolo de superfície lisa em que encrustaram agregados minerais num único lado ou nos dois.

(2) Telhado asfáltico construído no local. O telhado deste tipo compõe-se de várias camadas de feltro saturado de asfalto que se aplicam, principalmente, em terraços planos de cobertura. Aplica-se asfalto entre as camadas de feltro para que haja adesão. Sobre a camada do topo uma capa encharcada de asfalto é acrescentada e esta é coberta com pedregulhos ou escória.

Os telhados preparados são os produtos que se fabricam e empacotam prontos para aplicação no terraço, usualmente, pregando-os tão somente. As tabuinhas asfálticas e alguns rolos asfálticos estão nesta categoria. Consistem numa base de feltro saturado à qual se adiciona uma cobertura de asfalto e, comumente, um revestimento de grânulos minerais.

Dos tipos relacionados o telhado de tabuinhas tem sido o mais comum. As tabuinhas de asfalto aplicam-se nos telhados inclinados de casas, celeiros e estruturas semelhantes. Satisfazem a exigência de telhados que sejam bonitos, eficientes e resistentes a incêndios, mas de baixo custo na construção de residências.

O telhado construído no local contrasta com o anterior pois é feito nos topos planos ou quase planos de prédios muito grandes – industriais, públicos, e muitos outros. São telhados literalmente pavimentados com asfalto, embora de maneira bem diferente dos pavimentos de estradas.

Na construção de telhados no local apenas os componentes são manufaturados e entregues no canteiro. O telhado propriamente dito é construído diretamente no terraço, numa série de camadas ou lâminas, intercaladas em camadas de asfalto. Aplica-se, ao final, uma cobertura de agregado sobre a última camada. O esfregão do asfalto e o espalhamento de escória ou pedregulho pode ser realizado com o mais simples tipo de equipamento prontamente disponível. Todas as operações podem ser realizadas rapidamente pelo método manual de aplicação, embora em telhados muito grandes as máquinas espalhadoras do feltro, de aplicação do asfalto quente e os espalhadores de agregado possam executar o serviço de modo mais fácil e rápido.

O coração de toda a operação de construção de telhado no local é a caldeira de aquecimento do asfalto a temperatura adequada para aplicação. Para a operação eficiente da caldeira esta deve ser capaz de aquecer o asfalto a temperatura de aplicação de modo rápido sem superaquecimento no início, ou a qualquer momento

da operação. O superaquecimento pode danificar seriamente o asfalto e reduzir consideravelmente a expectativa de vida da telhadura. O superaquecimento também pode tornar a película de asfalto demasiadamente delgada, resultando em adesão fraca entre os feltros e a possível separação futura das lâminas.

Quando adequadamente construído, o telhado asfaltado no local permanece em condições de serviço por muitos anos com pouca ou nenhuma manutenção.

São muitos os telhados em que se pode usar tanto o preparado como o construído no local. Os telhados construídos no local, em geral, se aplicam somente quando a declividade é pequena, e os de tabuinhas de asfalto e outros preparados estão restritos às declividades maiores.

Asfalto nas Vias Permanentes Ferroviárias

As vantagens do emprego do asfalto nas vias permanentes ferroviárias decorrem de suas qualidades notáveis de resistência, resiliência e impermeabilidade; também, do fato de que o pavimento asfáltico pode ser construído rapidamente com equipamento de que se dispõe na construção rodoviária.

As propriedades do asfalto fazem dele o material ideal para os atuais vagões especiais de carga pesada por roda, e para os futuros vagões de passageiros de alta velocidade.

O asfalto apresenta duas opções para as vias permanentes. A primeira é a construção do *Pavimento de Espessura Plena*, em que uma camada de concreto asfáltico é dimensionada cientificamente para receber cargas pesadas e colocada diretamente sobre o subleito. Os trilhos e dormentes são colocadas diretamente na camada de asfalto sem a intercalação de lastro. A segunda opção é dita de construção de *subjacência*. Nesta constroi-se uma camada delgada asfáltica apoiada no subleito e sobre a mesma o lastro que recebe os dormentes.

A Figura 14.3 mostra uma seção transversal tradicional de lastro e duas opções asfálticas. Tanto as seções de espessura plena como a de subjacência podem ser construídas a custo razoável. Entretanto, o sistema de subjacência é mais facilmente adaptável às práticas do dia a dia da manutenção ferroviária. À medida que se fizerem progresso nas técnicas de manutenção e construção, ambos os métodos deverão se mostrar tanto possíveis como vantajosos.

O subleito sem proteção exige um ciclo de manutenção mais curto do que o protegido pela camada asfáltica. A falta deste tipo de proteção significa, freqüentemente, mais lastro e realinhamento dos trilhos.

As camadas de asfalto, seja de espessura plena ou de subjacência, protegem o subleito da saturação da água e a conseqüente perda de greide e do alinhamento.

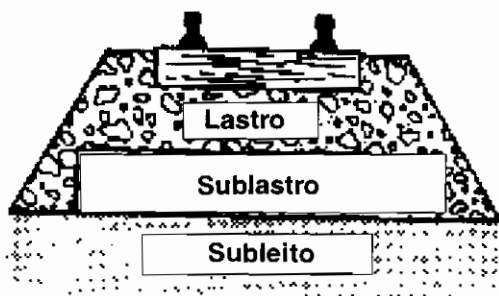
É grande o potencial do asfalto para os tipos de aplicações seguintes:

(1) Construção nova ou reabilitação de linhas de trens de carga ou de passageiros e de pátios.

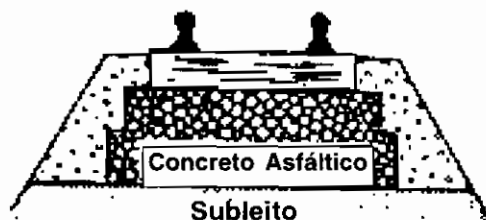
(2) Ampliação das linhas de passagem e linhas duplas.

(3) Aparelhos de desvio, passagens de linha, e passagens de nível (trilhos e estrada)

(4) Melhoria de qualidade e correção de linhas em serviço que apresentam condições de solo fraco e de drenagem deficiente causando bombeamento.



Seção Transversal
Tradicional de
Lastro



Seção Transversal
Asfáltica de Espessura
Plena



Seção Transversal de
Subjacência (Sub-base)
Asfáltica

Figura 14.3 Seções Transversais de Vias Permanentes Ferroviárias Asfálticas

(5) Cabeceiras de transição de pontes e outros trechos rígidos da linha.

Entre as várias vantagens de vias permanentes ferroviárias com asfalto estão as seguintes:

- Forneceu capacidades de suporte de carga aumentadas graças à melhoria do suporte da via permanente.
- Mantém a linha e a superfície dentro das tolerâncias exigidas por muito mais tempo do que no caso de seções tradicionais, o que reduz o tempo e os gastos de manutenção.
- Constitui uma barreira impermeável que evita a ação da água superficial no enfraquecimento do solo do subleito.

- Evita a intrusão do solo do subleito no lastro (bombeamento) e susta a perda de lastro por seu afundamento no subleito. Também reduz a degradação do lastro devido à maior estabilidade.
- Facilita os horários de trens, mais corretos e próximos, pela redução dos atrasos devidos à manutenção da linha férrea.
- Melhora o conforto da viagem para os passageiros e elimina danos ao frete devido à melhor linha e superfície.
- Permite usar agregados produzidos localmente de custo menor.
- Reduz a manutenção da via nos pátios de manobra e, assim, diminuindo o transtorno do tráfego.
- Reduz a espessura das camadas de lastro de agregado processado.

Informações sobre o projeto de vias permanentes ferroviárias asfaltadas, podem ser obtidas na publicação Vias Permanentes Ferroviárias de Misturas Asfálticas a Quente: Construção e Desempenho ("Hot-Mix Asphalt Railroad Trackbed: Construction and Performance"), RR-83-2, Asphalt Institute.

Tratamentos de Palhas de Cobertura

Generalidades

A erosão do solo pela água e o vento pode constituir um problema sério na construção de aterros e áreas planas adjacentes às rodovias. O método mais comum de combater a erosão é a utilização de vegetação para estabilizar estas áreas. Porém, no intervalo de tempo da sementeira até a germinação, as sementes estão sujeitas a serem varridas pelo vento e pela água. Desenvolveram-se vários procedimentos para proteger a plantação até que as sementes germinem e se forme um sistema de raízes. Um dos mais eficientes é a aplicação de emulsão asfáltica, que espalha uma membrana delgada na área semeada ou mantém uma cobertura de palha no local. As duas abordagens têm sido usadas com sucesso. Por diferirem os dois procedimentos serão apresentados separadamente, embora procurem atingir o mesmo resultado.

Cobertura por Aspersão de Emulsão Asfáltica

Neste sistema a emulsão asfáltica é aspergida diretamente na área e forma uma membrana delgada de cobertura. A fina película de asfalto apresenta três efeitos benéficos:

1. A cobertura de asfalto mantém as sementes no local evitando que se percam pelas forças erosivas do vento e da água.
2. Por sua cor escura, o asfalto absorve e mantém a energia térmica solar durante o período de germinação.
3. Membrana asfáltica tende a reter umidade no solo, deste modo promovendo o crescimento mais rápido das plantas.

Quando as plantas jovens emergem do solo, conseguem irromper pela cobertura delgada de asfalto. A membrana acaba por desintegrar-se quando as plantas amadurecem e cobrem a superfície do terreno.

Os graus das emulsões comumente utilizadas neste trabalho são: SS-1, SS-1h, CSS-1 e CSS-1h. A aplicação faz-se, normalmente, à taxa de 0,70 a 1,35 litro/m².

A quantidade exata é determinada pela natureza do solo e a declividade da área que se está tratando. Deve-se ter o cuidado especial de aplicar a quantidade ótima de emulsão asfáltica. Quantidades pequenas demais podem não segurar o solo levado pela erosão do vento e da água. Quantidades excessivas de emulsão podem formar uma membrana espessa que atrasa o crescimento. A área que deve receber a aspersão de emulsão tem que ser razoavelmente lisa para que se aplique uma cobertura uniforme. As depressões na superfície podem formar poças de asfalto e as cristas podem ser revestidas de um lado sem quase nenhum asfalto do outro lado.

Pode-se aplicar a emulsão manualmente com um bico distribuidor ou com uma barra distribuidora deslocada, presa a um caminhão distribuidor de asfalto.

Cobertura Ancorada de Emulsão Asfáltica

As emulsões asfálticas podem ser usadas para ancorar feno ou palha numa área semeada. São dois os métodos que podem ser usados. Num, distribui-se a proteção de palha ou feno sobre a área preparada, à taxa de 3,3 a 4,5 t/ha. A semente, então, é misturada com água e fertilizante líquido e aplicada por um semeador hidráulico. Segue-se a aspersão de 0,45 l/m² de emulsão asfáltica. A emulsão pode ser aplicada de modo contínuo ou em padrões serreados, enxadrezado ou linhas ortogonais. O padrão contínuo é o mais efetivo, principalmente, quando a velocidade do vento é grande. Se a quantidade de cobertura protetora for superior a 3,3 a 4,5 t/ha, deve-se aumentar proporcionalmente a quantidade de emulsão asfáltica.

No segundo método, inicia-se pela aplicação hidráulica da semente e do fertilizante diretamente sobre o solo preparado. Então, a palha e a emulsão asfáltica são ejetadas ao mesmo tempo por meio de um ventilador especial equipado de jatos geminados (ver um trecho pronto, na Figura 14.4). Os dois materiais misturam-se no arremesso. Este método é o preferido pois apresenta duas vantagens:

- A palha protetora e a emulsão asfáltica são aplicadas de uma só vez, o que traz redução dos custos e do tempo necessário.
- Resulta a melhor ligação entre a emulsão e o feno ou palha da cobertura protetora.

Os mesmos tipos de emulsão asfáltica recomendados para a cobertura de palha por aspersão de emulsão asfáltica, podem ser usados neste procedimento.

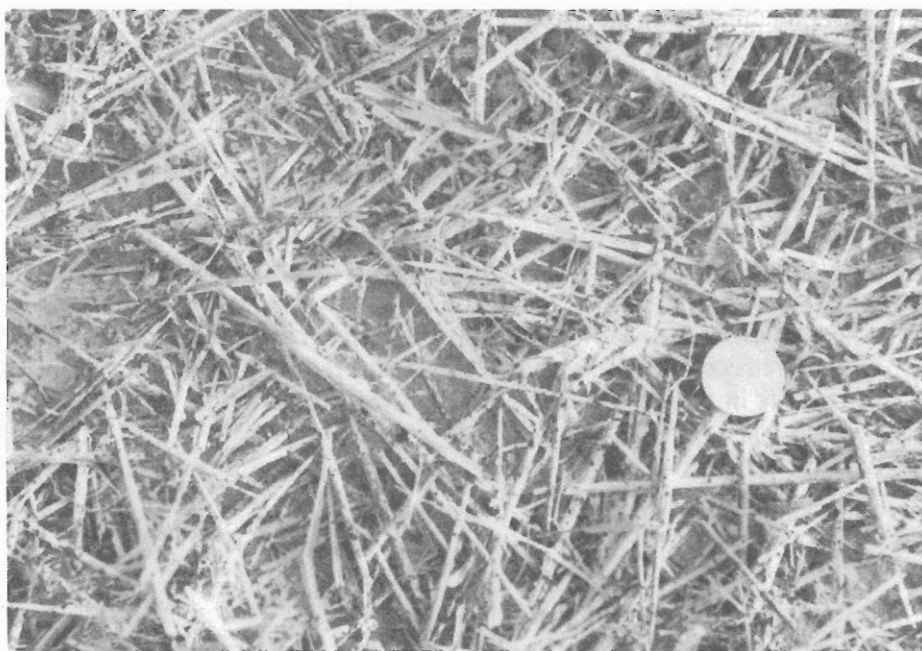


Figura 14.4 Trecho Concluído de Estrada Interestadual com Tratamento de Palha de Cobertura a Emulsão Asfáltica num Canteiro Central (Cortesia do Departamento de Transportes de Ohio)

14.2 Modificadores do Asfalto

Introdução

Os modificadores do asfalto são materiais incorporados à mistura asfáltica de pavimentação em adição aos conteúdos normais de asfalto, agregado e fíler mineral. Os modificadores são geralmente incorporados com a intenção de diminuir o afundamento de trilha de roda dos pavimentos, trincamento de pavimentos, oxidação do asfalto, a ação danosa da água no pavimento.

Os modificadores disponíveis podem agrupar-se, por conveniência, nos tipos principais seguintes:

- Polímeros, incluídos os elastômeros
- Complexos metálicos
- Enxofre elementar
- Fibras
- Cal hidratada e cimento portland
- Silicones
- Fíleres, e
- Agentes antidescolantes orgânicos.

Muitos desses materiais, embora disponíveis comercialmente, não têm sido muito usados na construção e reabilitação rotineiras de estradas. Entretanto, os selantes de trincas de asfalto modificado por polímeros tornam-se cada vez mais aceitos nas operações de manutenção. Como na maioria das inovações de materiais e técnicas rodoviárias, pode ser necessários muito tempo de serviço a fim de provar a utilidade de um modificador do asfalto para atingir o efeito desejado no desempenho dos pavimentos asfálticos.

Em geral, o uso de um modificador do asfalto aumenta o custo inicial de um pavimento asfáltico se comparado ao de um pavimento construído de modo tradicional. Embora os ensaios de laboratório possam indicar os benefícios significativos no uso do modificador, sua adoção nas operações de rotina pode ser desencorajada pela falta de dados que corroborem o desempenho no campo e indiquem que o custo inicial maior seja compensado por uma vida de serviço estendida. Utilizam-se três tipos de modificadores, de modo rotineiro: silicones, agentes orgânicos antidescolamento e cal hidratada; os três serão apresentados com alguns pormenores.

Silicones

Adicionam-se os silicones ao asfalto em certas situações a fim de reduzir ou anular o efeito da umidade ou de outros fatores. Por exemplo, pode-se adicionar silicone ao asfalto quente a fim de evitar a formação de espuma enquanto se encontrar na estocagem quente. O uso de silicones nas misturas asfálticas tem visado a redução do endurecimento do concreto asfáltico na estocagem, evitar o esboroamento e a segregação da mistura ao ser transportada, e o desprendimento da mistura no espalhamento.

A adição dos silicões ao asfalto é em concentrações de 1 a 3 ppm. Para se ter uma mistura rápida do silicone com o asfalto, faz-se, às vezes, a diluição do silicone em óleo diesel. Quando se faz isto, deve-se usar o mínimo de óleo diesel a fim de evitar modificações nas propriedades do asfalto, principalmente, quanto à consistência e a viscosidade.

Os silicões são materiais muito persistentes. Seu efeito pode ser mantido ou transmitido no tanque de um enchimento a outro, a ponto de alguns resultados de ensaios se tornarem pouco confiáveis.

Agentes Orgânicos Antidescolantes

Os agentes orgânicos antidescolantes no asfalto são usados para promover o recobrimento e adesão, com isto aumentando a resistência da película de asfalto ao descolamento da superfície do agregado por ação da água.

Até o presente, não se dispõe de dados de desempenho no campo publicados ou difundidos de outro modo que mostrem de forma conclusiva que os agentes orgânicos antidescolantes sejam economicamente desejáveis ou que aumentem a vida dos pavimentos asfálticos. Há alguma evidência com base em observações de campo que indicam ser sem uso, às vezes, benéfico no primeiro estágio da vida do pavimento. Por quanto tempo duram estes benefícios ou se o agente contribui para uma vida de serviço mais longa do pavimento, isto não está claro por ora.

Os ensaios empíricos de laboratórios e os limites arbitrários das especificações não oferecem base de engenharia que seja conclusiva quanto ao uso de agentes orgânicos antidescolantes. Na maioria dos casos, a correlação destes ensaios e dos limites especificados com o desempenho de campo não é estabelecida. Mesmo quando existe de fato certo grau de correlação, é significativa a imprecisão do desempenho de campo a partir de resultados de laboratório.

Cal Hidratada

A Cal hidratada (e, embora menos, o cimento portland) é empregada como aditivo principalmente para reduzir os danos que a umidade causa nos pavimentos asfálticos. Exige-se, freqüentemente, seu uso com certos agregados silícicos que apresentam adesividade fraca em relação ao asfalto, o que acarreta a ruptura fácil da ligação asfalto – agregado pela água. Contudo, não é necessário o uso rotineiro de cal hidratada, a menos que a experiência de campo e os ensaios de laboratório indiquem que esta adição melhorará a resistência do pavimento aos danos causados pela umidade.

Pode-se adicionar a cal hidratada ao agregado na instalação de mistura a quente como pó seco, ou pode-se fazer o tratamento prévio do agregado com uma lama de cal hidratada e água. A taxa de adição é de, usualmente, um a dois por cento do peso de agregado.

Apêndice A

Tabelas, Miscelânea

Tabela A-1 - Fatores de Conversão
(de unidades Costumeiras Americanas em "Métricas", S.I)

Para Converter	Em	Multiplicar por
acre	metro ² (m ²)	4,046,856
acre	hectômetro ² (hm ²)	0,404686
Atmosfera (técnico = 1 kgf/cm ²)	quilopascal (kPa)	98,06650
barril (42 gal)	decímetro ³ (dm ³) ou litro (l)	158,9873
BTU (Tabela Internacional)	quilojoule (kJ)	1,055056
bushel	decímetro ³ (dm ³)	35,2391
cavalo-vapor (elétrico) ("hp")	quilowatt (kW)	0,7460
dina	micronewton (mN)	10,0000
dina/centímetro ²	pascal (Pa)	0,1000
Fahrenheit (temperatura)	Celsius (°C)	$t_c = (t_f - 32) / 1,8$
galão (líquido U.S.)	decímetro ³ (dm ³) ou litro (l)	3,785412
galão (líquido U.S.)	metro ³ (m ³)	0,003785
galão/jarda ²	decímetro ³ /metro ² (dm ³ /m ²) ou litro/metro ² (l/m ²)	4,527314
galão/minuto	decímetro ³ /segundo (dm ³ /s) ou ou litro/segundo (l/s)	0,06309
jarda	metro (m)	0,91440
jarda ²	metro ² (m ²)	0,8361274
jarda ³	metro ³ (m ³)	0,7645549
libra força (lbf)	newton (N)	4,448222
libra força (lbf)	quilonewton (kN)	0,004448
libra força / pé ²	pascal (Pa)	47,88026
libra força/pol ² ("psi")	quilopascal (kPa)	6,894757
libra força-polegada	newton-metro (N.m)	0,1129848
libra massa	quilograma (kg)	0,4535924
libra massa / pé ²	quilograma/metro ² (kg/m ²)	4,882428
libra massa / pé ³	quilograma/metro ³ (kg/m ³)	16,01846
libra massa / pé ³	megagrama/metro ³ (Mg/m ³)	0,016018
libra massa / pol ³	quilograma/decímetro ³ (kg/dm ³)	27,67990
libra massa/galão (líquido U.S.)	quilograma/metro ³ (kg/m ³)	119,8264
libra massa/galão (líquido U.S.)	quilograma/decímetro ³ (kg/dm ³)	0,119826
libra-força/pol ² ("psi")	quilopascal (kPa)	6,894757
milha (Estatuto U.S.)	quilômetro (km)	1,609344
milha/hora	quilômetro/hora (km/h)	1,609344
milha ²	quilômetro ² (km ²)	2,589988
minuto (ângulo)	radiano (rad)	0,00029089
onça fluido	centímetro ³ (cm ³)	29,57353
onça fluido	litro (l)	0,029574
onça força	newton (N)	0,2780139
onça massa	grama (g)	28,34952
pé	metro (m)	0,30480
pé /segundo ²	metro/segundo ² (m/s ²)	0,30480
pé/min	metro/segundo (m/s)	0,00508
pé ²	metro ² (m ²)	0,092903
pé ³	metro ³ (m ³)	0,028317
pé ³	litro (l)	28,3170
pé-libra força	joule (J)	1,355818
pint (líquido U.S.)	litro (l)	0,4731765
poise (viscosidade absoluta)	pascal-segundo (Pa.s)	0,100000
pol/segundo ²	metro/segundo ² (m/s ²)	0,02540
polegada	milímetro (mm)	25,4000

(Continuação)

Para Converter	Em	Multiplicar
polegada de mercúrio (60° F)	pascal (Pa)	3376,85
polegada/segundo	metro/segundo (m/s)	0,02540
polegada ²	centímetro ² (cm ²)	6,45160
polegada ²	milímetro ² (mm ²)	645,1600
polegada ²	centímetro ² (cm ²)	16,38706
quart (líquido U.S.)	decímetro ³ (dm ³) ou litro (l)	0,9463529
quilograma (kg)	tonelada (métrico)	0,00100
quilolibra kip (1000 lb)	quilonewton (kN)	4,448222
quilolibra/polegada ²	megapascal (MPa)	6,894757
tonelada (curta, 2.000lb)	quilograma (kg)	907,1847
tonelada (longa, 2240 lb)	quilograma (kg)	1.016,0461
tonelada (métrica)	quilograma (kg)	1.000,0000
tonelada massa /jarda ³	quilograma/metro ³ (kg/m ³)	1.186,5527

Tabela A-2. Área da Superfície da Estrada em Metros Quadrados para Várias Larguras de Estradas

Largura da Estrada	Por Metro Linear	Por 50 m	Por Quilometro
2 m	2 m ²	100 m ²	2.000 m ²
2,5	2,5	125	2.500
3	3	150	3.000
3,5	3,5	175	3.500
4	4	200	4.000
4,5	4,5	225	4.500
5	5	250	5.000
5,5	5,5	275	5.500
6	6	300	6.000
6,5	6,5	325	6.500
7	7	350	7.000
7,5	7,5	375	7.500
8	8	400	8.000
8,5	8,5	425	8.500
9	9	450	9.000
9,5	9,5	475	9.500
10	10	500	10.000
10,5	10,5	525	10.500
11	11	550	11.000
11,5	11,5	575	11.500
12	12	600	12.000
15	15	750	15.000
20	20	1.000	20.000
25	25	1.250	25.000

Tabela A-3 - Área da Superfície da Estrada em Jardas Quadradas para Várias Larguras de Estradas

Largura da Estrada	Por Pé Linear	Por 100 pés	Por Milha
6 pé	0,67	66,67	3.520
7	0,78	77,78	4.107
8	0,89	88,89	4.693
9	1,00	100,00	5.280
10	1,11	111,11	5.867
11	1,22	122,22	6.453
12	1,33	133,33	7.040
13	1,44	144,44	7.627
14	1,56	155,56	8.213
15	1,67	166,67	8.800
16	1,78	177,78	9.387
17	1,89	188,89	9.973
18	2,00	200,00	10.560
20	2,22	222,22	11.733
22	2,44	244,44	12.907
24	2,67	266,67	14.080
25	2,78	277,78	14.667
26	2,89	288,89	15.253
28	3,11	311,11	16.427
30	3,33	333,33	17.600
32	3,56	355,56	18.773
34	3,78	377,78	19.947
36	4,00	400,00	21.120
38	4,22	422,22	22.293
40	4,44	444,44	23.467
50	5,56	555,56	29.333
60	6,67	666,67	35.200
70	7,78	777,78	41.067
75	8,33	833,33	44.000
80	8,89	888,89	46.933

Tabela A-4 - Relações de Massa e Volume de Vários Tipos de Pavimentos Asfálticos Compactados

	Kg/dm ³	Kg/m ³	Kg / m ² / cm de profundidade
	Gama	Gama	Gama
<p>Nota: Devido a considerável variação da densidade relativa, granulometria e outras características dos agregados minerais, a massa por unidade de volume do pavimento asfáltico compactado varia bastante. O valor exato da massa por unidade de volume deve ser determinada no laboratório com amostras retiradas do pavimento ou preparadas no laboratório com os mesmos materiais que são usados no campo</p>	1,60	1.600	16
	1,70	1.700	17
	1,80	1.800	18
	1,90	1.900	19
	2,00	2.000	20
	2,10	2.100	21
	2,20	2.200	22
	2,30	2.300	23
	2,40	2.400	24
	2,50	2.500	25
	2,60	2.600	26
	Gama	Gama	Usado Frequentemente em Avaliação Preliminar
• Macadame de penetração	1,75 - 2,15	1 750 - 2 150	17,5 - 21,5
• Graduação Aberta	1,85 - 2,25	1 850 - 2 250	18,5 - 22,5
• Graduação Grossa	2,10 - 2,40	2 100 - 2 400	21,0 - 24,0
• Graduação Fina	2,15 - 2,50	2 150 - 2 500	21,5 - 25,0
* Lençol de Pedra	2,10 - 2,40	2 100 - 2 400	21,0 - 24,0
• Lençol de Areia	2,10 - 2,40	2 100 - 2 400	21,0 - 24,0
• Lençol Fino	1,90 - 2,25	1 900 - 2 250	19,0 - 22,5
• Macadame Misturado no Local	1,90 - 2,25	1 900 - 2 250	19,0 - 22,5
• Graduação Densa, Misturada no Local	1,75 - 2,15	1 750 - 2 150	17,5 - 21,5
• Areia - Asfalto, Misturada no Local	1,75 - 2,15	1 750 - 2 150	17,5 - 21,5
	1,60 - 2,00	1 600 - 2 000	16,0 - 20,0

Tabela A-5 - Relações de Massa e Volume de Vários Tipos de Pavimentos Asfálticos Compactados

Nota:	lb/pé ³	lb/jd ³	lb / jd ² / pol de profundidade	Usado Frequentemente em Avaliação Preliminar	
	Gama	Gama	Gama		
Devido a considerável variação da densidade relativa, granulometria e outras características dos agregados minerais, a massa por unidade de volume do pavimento asfáltico compactado varia bastante. O valor exato da massa por unidade de volume deve ser determinada no laboratório com amostras retiradas do pavimento ou preparadas no laboratório com os mesmos materiais que são usados no campo	100	2700		75	
	105	2835		79	
	110	2970		82	
	115	3105		86	
	120	3240		90	
	125	3375		94	
	130	3510		97	
	135	3645		101	
	140	3780		105	
	145	3915		109	
	150	4050		112	
	155	4185		116	
	160	4320		120	
		Gama	Gama	Gama	
		110-135	2970-3645	82-101	95
	<ul style="list-style-type: none"> • Macadame de penetração • Graduação Aberta 	115-140	3105-3780	86-105	100
	<ul style="list-style-type: none"> • Graduação Grossa • Graduação Fina 	130-150	3510-4050	97-112	105
	<ul style="list-style-type: none"> • Lençol de Pedra • Lençol de Areia 	135-155	3645-4185	101-116	110
	<ul style="list-style-type: none"> • Lençol Fino • Macadame Misturado no Local 	130-150	3510-4050	97-112	105
<ul style="list-style-type: none"> • Graduação Densa, Misturada no Local • Areia - Asfalto, Misturada no Local 	130-150	3510-4050	97-112	105	
	120-140	3240-3780	90-105	100	
	120-140	3240-3780	90-105	100	
	110-135	2970-3645	82-101	95	
	110-135	2970-3645	82-101	95	
	100-125	2700-3375	75-94	85	

Tabela A-6 - Quilogramas por Metro Quadrado de Material Necessário para Várias Profundidades e Massas de Materiais em Quilogramas por Metro Cúbico

kg / m ³	Profundidade - Centímetros											
	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24
1 100	22	44	66	88	110	132	154	176	198	220	242	264
1 200	24	48	72	96	120	144	168	192	216	240	264	288
1 300	26	52	78	104	130	156	182	208	234	260	286	312
1 400	28	56	84	112	140	168	196	224	252	280	308	336
1 500	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	360
2 000	40	80	120	160	200	240	280	320	360	400	440	480
2 500	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600
3 000	60	120	180	240	300	360	420	480	540	600	660	720

Nota: Fórmula Usada para: $q = \frac{DW}{100}$

Onde:

q = Quantidade de Material em kg / m²

D = Profundidade em cm

W = Massa do material em kg/m³

Tabela A-7. Libras por Jarda Quadrada de Maetrial Necessário para Várias Profundidades e Pesos de Materiais em Libras por Jarda Cúbica

lb / jd ³	Profundidade - Polegadas											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2,000	55,5	111,1	166,6	222,2	277,7	333,2	388,8	444,3	499,9	555,4	610,9	666,5
2,500	69,4	138,9	208,3	277,7	347,1	416,6	486,0	555,4	624,8	694,3	763,7	833,1
3,000	83,3	166,6	250,0	333,2	416,6	500,0	583,2	666,5	749,8	833,1	916,4	999,7
3,500	97,2	194,4	291,6	388,8	486,0	583,2	680,4	777,6	874,8	972,0	1069,1	1166,3
4,000	111,1	222,2	333,2	444,3	555,4	666,5	777,6	888,6	999,7	1110,8	1221,9	1333,0
4,500	125,0	249,9	374,9	499,9	624,8	749,8	874,8	999,7	1124,7	1249,7	1374,6	1499,6
5,000	138,9	277,7	416,6	555,4	694,3	833,1	972,0	1110,8	1249,7	1388,5	1527,4	1666,2

Nota: Fórmula Usada para: $q = \frac{D}{36} W$

Onde:

q = Quantidade de Material em lb / jd²

D = Profundidade em polegadas

W = Massa do material em lb/jd³

Tabela A-8 - Toneladas de Material Necessário Por 50 Metros Lineares para Várias Larguras e Quilogramas por Metro Quadrado

kg / m ²	Largura - Metros											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
5	0,25	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	2,25	2,50	3,75	5,00
10	0,50	1,00	1,50	2,00	2,50	3,00	3,50	4,00	4,50	5,00	7,50	10,00
20	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	7,00	8,00	9,00	10,00	15,00	20,00
30	1,50	3,00	4,50	6,00	7,50	9,00	10,50	12,00	13,50	15,00	22,50	30,00
40	2,00	4,00	6,00	8,00	10,00	12,00	14,00	16,00	18,00	20,00	30,00	40,00
50	2,50	5,00	7,50	10,00	12,50	15,00	17,50	20,00	22,50	25,00	37,50	50,00
60	3,00	6,00	9,00	12,00	15,00	18,00	21,00	24,00	27,00	30,00	45,00	60,00
70	3,50	7,00	10,50	14,00	17,50	21,00	24,50	28,00	31,50	35,00	52,50	70,00
80	4,00	8,00	12,00	16,00	20,00	24,00	28,00	32,00	36,00	40,00	60,00	80,00
90	4,50	9,00	13,50	18,00	22,50	27,00	31,50	36,00	40,50	45,00	67,50	90,00
100	5,00	10,00	15,00	20,00	25,00	30,00	35,00	40,00	45,00	50,00	75,00	100,00
200	10,00	20,00	30,00	40,00	50,00	60,00	70,00	80,00	90,00	100,00	150,00	200,00
300	15,00	30,00	45,00	60,00	75,00	90,00	105,00	120,00	135,00	150,00	225,00	300,00
400	20,00	40,00	60,00	80,00	100,00	120,00	140,00	160,00	180,00	200,00	300,00	400,00
500	25,00	50,00	75,00	100,00	125,00	150,00	175,00	200,00	225,00	250,00	375,00	500,00

Nota: Fórmula Usada para: $M = \frac{RWL}{1000} = 0,001 \text{ RWL}$

Onde:

M = Massa de Material em toneladas por 50 metros

R = Taxa de aplicação, kg / m²

W = Largura de aplicação, metros

L = Comprimento do trecho, 50 metros

Tabela A-9 - Toneladas (U.S.) de Material Necessário Por 100 Pés Lineares para Várias Larguras e Libras por Jarda Quadrada

lb / jd ²	Largura - Pés														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	20	30	40	50	60
10	0,06	0,11	0,17	0,22	0,28	0,33	0,39	0,44	0,50	0,56	1,11	1,67	2,22	2,78	3,33
20	0,11	0,22	0,33	0,44	0,56	0,67	0,78	0,89	1,00	1,11	2,22	3,33	4,44	5,56	6,67
30	0,17	0,33	0,50	0,67	0,83	1,00	1,17	1,33	1,50	1,67	3,33	5,00	6,67	8,33	10,00
40	0,22	0,44	0,67	0,89	1,11	1,33	1,56	1,78	2,00	2,22	4,44	6,67	8,89	11,11	13,33
50	0,28	0,56	0,83	1,11	1,39	1,67	1,94	2,22	2,50	2,78	5,56	8,33	11,11	13,89	16,67
60	0,33	0,67	1,00	1,33	1,67	2,00	2,33	2,67	3,00	3,33	6,67	10,00	13,33	16,67	20,00
70	0,39	0,78	1,17	1,56	1,94	2,33	2,72	3,11	3,50	3,89	7,78	11,67	15,56	19,44	23,33
80	0,44	0,89	1,33	1,78	2,22	2,67	3,11	3,56	4,00	4,44	8,89	13,33	17,78	22,22	26,67
90	0,50	1,00	1,50	2,00	2,50	3,00	3,50	4,00	4,50	5,00	10,00	15,00	20,00	25,00	30,00
100	0,56	1,11	1,67	2,22	2,78	3,33	3,89	4,44	5,00	5,56	11,11	16,67	22,22	27,78	33,33
200	1,11	2,22	3,33	4,44	5,56	6,67	7,78	8,89	10,00	11,11	22,22	33,33	44,44	55,56	66,67
300	1,67	3,33	5,00	6,67	8,33	10,00	11,67	13,33	15,00	16,67	33,33	50,00	66,67	83,33	100,00
400	2,22	4,44	6,67	8,89	11,11	13,33	15,56	17,78	20,00	22,22	44,44	66,67	88,89	111,11	133,33
500	2,78	5,56	8,33	11,11	13,89	16,67	19,44	22,22	25,00	27,78	55,56	83,33	111,11	138,89	166,67
600	3,33	6,67	10,00	13,33	16,67	20,00	23,33	26,67	30,00	33,33	66,67	100,00	133,33	166,67	200,00
700	3,89	7,78	11,67	15,56	19,44	23,33	27,22	31,11	35,00	38,89	77,78	116,69	155,56	194,44	233,33
800	4,44	8,89	13,33	17,78	22,22	26,67	31,11	35,56	40,00	44,44	88,89	133,33	177,78	222,22	266,67
900	5,00	10,00	15,00	20,00	25,00	30,00	35,00	40,00	45,00	50,00	100,00	150,00	200,00	250,00	300,00
1.000	5,56	11,11	16,67	22,22	27,78	33,33	38,89	44,44	50,00	55,56	111,11	166,67	222,22	277,78	333,33

Nota: Fórmula Usada para: $W = \left[\frac{W}{3} \right] \left(\frac{100}{3} \right) \left(\frac{R}{2000} \right) = 0,005556 RW$

Onde:

w = Peso de material em toneladas (U.S.) por 100 pés

R = Taxa de aplicação, lb / jd²

W = Largura de aplicação, pés

Tabela A-10 - Toneladas de Material Necessário por Quilometro para várias Larguras e Quilogramas por Metro Quadrado

kg / m ²	Largura - Metros											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15	20
5	5.0	10.0	15.0	20.0	25.0	30.0	35.0	40.0	45.0	50.0	75.0	100.0
10	10.0	20.0	30.0	40.0	50.0	60.0	70.0	80.0	90.0	100.0	150.0	200.0
20	20.0	40.0	60.0	80.0	100.0	120.0	140.0	160.0	180.0	200.0	300.0	400.0
30	30.0	60.0	90.0	120.0	150.0	180.0	210.0	240.0	270.0	300.0	450.0	600.0
40	40.0	80.0	120.0	160.0	200.0	240.0	280.0	320.0	360.0	400.0	600.0	800.0
50	50.0	100.0	150.0	200.0	250.0	300.0	350.0	400.0	450.0	500.0	750.0	1 000.0
60	60.0	120.0	180.0	240.0	300.0	360.0	420.0	480.0	540.0	600.0	900.0	1 200.0
70	70.0	140.0	210.0	280.0	350.0	420.0	490.0	560.0	630.0	700.0	1 050.0	1 400.0
80	80.0	160.0	240.0	320.0	400.0	480.0	560.0	640.0	720.0	800.0	1 200.0	1 600.0
90	90.0	180.0	270.0	360.0	450.0	540.0	630.0	720.0	810.0	900.0	1 350.0	1 800.0
100	100.0	200.0	300.0	400.0	500.0	600.0	700.0	800.0	900.0	1 000.0	1 500.0	2 000.0
200	200.0	400.0	600.0	800.0	1 000.0	1 200.0	1 400.0	1 600.0	1 800.0	2 000.0	3 000.0	4 000.0
300	300.0	600.0	900.0	1 200.0	1 500.0	1 800.0	2 100.0	2 400.0	2 700.0	3 000.0	4 500.0	6 000.0
400	400.0	800.0	1 200.0	1 600.0	2 000.0	2 400.0	2 800.0	3 200.0	3 600.0	4 000.0	6 000.0	8 000.0
500	500.0	1 000.0	1 500.0	2 000.0	2 500.0	3 000.0	3 500.0	4 000.0	4 500.0	5 000.0	7 500.0	10 000.0

Nota: Fórmula Usada para: $M = RWL$

Onde:

M = Massa de Material em toneladas por quilômetro

R = Taxa de aplicação, kg / m²

W = Largura de aplicação, metros

L = Comprimento do trecho, 1 quilômetro

Tabela A- 11 - Toneladas (U.S.) de Material necessária por Milha para várias Larguras e Libras por Jarda Quadrada.

lb /jd ²	Largura - Pés														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	20	30	40	50	60
10	2.9	5.9	8.8	11.7	14.7	17.6	20.5	23.5	26.4	29.3	58.7	88.0	117.3	146.7	176.0
20	5.9	11.7	17.6	23.5	29.3	35.2	41.1	46.9	52.8	58.7	117.3	176.0	234.7	293.3	352.0
30	8.8	17.6	26.4	35.2	44.0	52.8	61.6	70.4	79.2	88.0	176.0	264.0	352.0	440.0	527.9
40	11.7	23.5	35.2	46.9	58.7	70.4	82.1	93.9	105.6	117.3	234.7	352.0	469.3	586.7	704.0
50	14.7	29.3	44.0	58.7	73.3	88.0	102.7	117.3	132.0	146.7	293.3	440.0	586.7	733.3	880.0
60	17.6	35.2	52.8	70.4	88.0	105.6	123.2	140.8	158.4	176.0	352.0	528.0	704.0	880.0	1,056.0
70	20.5	41.1	61.6	82.1	102.7	123.2	143.7	164.3	184.8	205.3	410.7	616.0	821.3	1,026.7	1,232.0
80	23.5	46.9	70.4	93.9	117.3	140.8	164.3	187.7	211.2	234.7	469.3	704.0	938.7	1,173.3	1,408.0
90	26.4	52.8	79.2	105.6	132.0	158.4	184.8	211.2	237.6	264.0	528.0	792.0	1,056.0	1,320.0	1,584.0
100	29.3	58.7	88.0	117.3	146.7	176.0	205.3	234.7	264.0	293.3	586.7	880.0	1,173.3	1,466.7	1,760.0
200	58.7	117.3	176.0	234.7	293.3	352.0	410.7	469.3	528.0	586.7	1,173.3	1,760.0	2,346.7	2,933.3	3,520.0
300	88.0	176.0	264.0	352.0	440.0	528.0	616.0	704.0	792.0	880.0	1,760.0	2,640.0	3,520.0	4,400.0	5,280.0
400	117.3	234.7	352.0	469.3	586.7	704.0	821.3	938.7	1,056.0	1,173.3	2,346.7	3,520.0	4,693.3	5,866.7	7,040.0
500	146.7	293.3	440.0	586.7	733.3	880.0	1,026.7	1,173.3	1,320.0	1,466.7	2,933.3	4,400.0	5,866.7	7,333.3	8,800.0
600	176.0	352.0	528.0	704.0	880.0	1,056.0	1,232.0	1,408.0	1,584.0	1,760.0	3,520.0	5,280.0	7,040.0	8,800.0	10,560.0
700	205.3	410.7	616.0	821.3	1,026.7	1,232.0	1,437.3	1,642.7	1,848.0	2,053.3	4,106.7	6,160.0	8,213.3	10,266.7	12,320.0
800	234.7	469.3	704.0	938.7	1,173.3	1,408.0	1,642.7	1,877.3	2,112.0	2,346.7	4,693.3	7,040.0	9,386.7	11,733.3	14,080.0
900	264.0	528.0	792.0	1,056.0	1,320.0	1,584.0	1,848.0	2,112.0	2,376.0	2,640.0	5,280.0	7,920.0	10,560.0	13,200.0	15,840.0
1,000	293.3	586.7	880.0	1,173.3	1,466.7	1,760.0	2,053.3	2,346.7	2,640.0	2,933.3	5,866.7	8,800.0	11,733.3	14,666.7	17,600.0

Nota: Fórmula Usada para: $W = \left[\frac{W}{3} \right] \left(\frac{5280}{3} \right) \left(\frac{R}{2000} \right) = 0.2933 RW$

Onde:

w = Peso de material em toneladas (U.S.) por milha

R = Taxa de aplicação, lb / jd²

W = Largura de aplicação, pés

Tabela A-12 - Metros Lineares Cobertos por Uma Tonelada de Material para Várias Larguras e Quilogramas por Metros Quadrado

kg/m ²	Largura - Metros											
	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	6.5	7	7.5
5	100.0	80.0	66.7	57.1	50.0	44.4	40.0	36.4	33.3	30.8	28.6	26.7
10	50.0	40.0	33.3	28.6	25.0	22.2	20.0	18.2	16.7	15.4	14.3	13.3
15	33.3	26.7	22.2	19.0	16.7	14.8	13.3	12.1	11.1	10.3	9.5	8.9
20	25.0	20.0	16.7	14.3	12.5	11.1	10.0	9.1	8.3	7.7	7.1	6.7
25	20.0	16.0	13.3	11.4	10.0	8.9	8.0	7.3	6.7	6.2	5.7	5.3
30	16.7	13.3	11.1	9.5	8.3	7.4	6.7	6.1	5.6	5.1	4.8	4.4
35	14.3	11.4	9.5	8.2	7.1	6.3	5.7	5.2	4.8	4.4	4.1	3.8
40	12.5	10.0	8.3	7.1	6.3	5.6	5.0	4.5	4.2	3.8	3.6	3.3
45	11.1	8.9	7.4	6.3	5.6	4.9	4.4	4.0	3.7	3.4	3.2	3.0
50	10.0	8.0	6.7	5.7	5.0	4.4	4.0	3.6	3.3	3.1	2.9	2.7
60	8.3	6.7	5.6	4.8	4.2	3.7	3.3	3.0	2.8	2.6	2.4	2.2
70	7.1	5.7	4.8	4.1	3.6	3.2	2.9	2.6	2.4	2.2	2.0	1.9
80	6.3	5.0	4.2	3.6	3.1	2.8	2.5	2.3	2.1	1.9	1.8	1.7
90	5.6	4.4	3.7	3.2	2.8	2.5	2.2	2.0	1.9	1.7	1.6	1.5
100	5.0	4.0	3.3	2.9	2.5	2.2	2.0	1.8	1.7	1.5	1.4	1.3
200	2.5	2.0	1.7	1.4	1.3	1.1	1.0	0.9	0.8	0.8	0.7	0.7
300	1.7	1.3	1.1	1.0	0.8	0.7	0.7	0.6	0.6	0.5	0.5	0.4
400	1.3	1.0	0.8	0.7	0.6	0.6	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4	0.3
500	1.0	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3
600	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2

Nota: Fórmula Usada para: $L = \frac{1000}{RW}$

RW

Onde: L = Metros Lineares coberto por uma tonelada de material

R = Taxa de aplicação, kg / m²

W = Largura de espalhamento, metros

Tabela A-13 - Metros Lineares Cobertos por Uma Tonelada de Material para Várias Larguras e Libras por Jarda Quadrada

lb /jd ²	Largura - Pé										
	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
20	112.5	100.0	90.0	81.8	75.0	69.2	64.3	60.0	56.3	52.9	
25	90.0	80.0	72.0	65.5	60.0	55.4	51.4	48.0	45.0	42.4	
30	75.0	66.7	60.0	54.5	50.0	46.2	42.9	40.0	37.5	35.3	
35	64.3	57.1	51.4	46.8	42.9	39.6	36.7	34.3	32.1	30.3	
40	56.3	50.0	45.0	40.9	37.5	34.6	32.1	30.0	28.1	26.5	
45	50.0	44.4	40.0	36.4	33.3	30.8	28.6	26.7	25.0	23.5	
50	45.0	40.0	36.0	32.7	30.0	27.7	25.7	24.0	22.5	21.2	
60	37.5	33.3	30.0	27.3	25.0	23.1	21.4	20.0	18.8	17.6	
70	32.1	28.6	25.7	23.4	21.4	19.8	18.4	17.1	16.1	15.1	
80	28.1	25.0	22.5	20.5	18.8	17.3	16.1	15.0	14.1	13.2	
90	25.0	22.2	20.0	18.2	16.7	15.4	14.3	13.3	12.5	11.8	
100	22.5	20.0	18.0	16.4	15.0	13.8	12.9	12.0	11.3	10.6	
150	15.0	13.3	12.0	10.9	10.0	9.2	8.6	8.0	7.5	7.1	
200	11.3	10.0	9.0	8.2	7.5	6.9	6.4	6.0	5.6	5.3	
250	9.0	8.0	7.2	6.5	6.0	5.5	5.1	4.8	4.5	4.2	
300	7.5	6.7	6.0	5.5	5.0	4.6	4.3	4.0	3.8	3.5	
400	5.6	5.0	4.5	4.1	3.8	3.5	3.2	3.0	2.8	2.6	
500	4.5	4.0	3.6	3.3	3.0	2.8	2.6	2.4	2.2	2.1	
600	3.7	3.3	3.0	2.7	2.5	2.3	2.1	2.0	1.9	1.8	
700	3.2	2.9	2.6	2.3	2.1	2.0	2.0	1.7	1.6	1.5	
800	2.8	2.5	2.3	2.0	1.9	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3	
900	2.5	2.2	2.0	1.8	1.7	1.5	1.4	1.3	1.2	1.2	
1,000	2.3	2.0	1.8	1.6	1.5	1.4	1.3	1.2	1.1	1.1	
1,100	2.0	1.8	1.6	1.5	1.4	1.3	1.2	1.1	1.0	1.0	

Nota: Fórmula Usada para: $L = \frac{2,000(9)}{RW} = \frac{18000}{RW}$

Onde: L = Metros Lineares coberto por uma tonelada de material

R = Taxa de aplicação, lb / pé²

W = Largura de espalhamento, pé

Tabela A-14 – Metros Cúbicos de Material Necessário para Várias Larguras e Profundidade por 50 Metros Lineares e por Quilômetro

Largura Metros	Profundidade - Centímetros											
	2	4	8	8	10	12	14	16	18	20	22	24
1	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00	7.00	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00
2	2.00	4.00	6.00	8.00	10.00	12.00	14.00	16.00	18.00	20.00	22.00	24.00
3	3.00	6.00	9.00	12.00	15.00	18.00	21.00	24.00	27.00	30.00	33.00	36.00
4	4.00	8.00	12.00	16.00	20.00	24.00	28.00	32.00	36.00	40.00	44.00	48.00
5	5.00	10.00	15.00	20.00	25.00	30.00	35.00	40.00	45.00	50.00	55.00	60.00
6	6.00	12.00	18.00	24.00	30.00	36.00	42.00	48.00	54.00	60.00	66.00	72.00
7	7.00	14.00	21.00	28.00	35.00	42.00	49.00	56.00	63.00	70.00	77.00	84.00
8	8.00	16.00	24.00	32.00	40.00	48.00	56.00	64.00	72.00	80.00	88.00	96.00
9	9.00	18.00	27.00	36.00	45.00	54.00	63.00	72.00	81.00	90.00	99.00	108.00
10	10.00	20.00	30.00	40.00	50.00	60.00	70.00	80.00	90.00	100.00	110.00	120.00
15	15.00	30.00	45.00	60.00	75.00	90.00	105.00	120.00	135.00	150.00	165.00	180.00
20	20.00	40.00	60.00	80.00	100.00	120.00	140.00	160.00	180.00	200.00	220.00	240.00
25	25.00	50.00	75.00	100.00	125.00	150.00	175.00	200.00	225.00	250.00	275.00	300.00
30	30.00	60.00	90.00	120.00	150.00	180.00	210.00	240.00	270.00	300.00	330.00	360.00
Por 50 Metros Lineares												
1	20.00	40.00	60.00	80.00	100.00	120.00	140.00	160.00	180.00	200.00	220.00	240.00
2	40.00	80.00	120.00	160.00	200.00	240.00	280.00	320.00	360.00	400.00	440.00	480.00
3	60.00	120.00	180.00	240.00	300.00	360.00	420.00	480.00	540.00	600.00	660.00	720.00
4	80.00	160.00	240.00	320.00	400.00	480.00	560.00	640.00	720.00	800.00	880.00	960.00
5	100.00	200.00	300.00	400.00	500.00	600.00	700.00	800.00	900.00	1 000.00	1 100.00	1 200.00
6	120.00	240.00	360.00	480.00	600.00	720.00	840.00	960.00	1 080.00	1 200.00	1 320.00	1 440.00
7	140.00	280.00	420.00	560.00	700.00	840.00	980.00	1 120.00	1 260.00	1 400.00	1 540.00	1 680.00
8	160.00	320.00	480.00	640.00	800.00	960.00	1 120.00	1 280.00	1 440.00	1 600.00	1 760.00	1 920.00
9	180.00	360.00	540.00	720.00	900.00	1 080.00	1 260.00	1 440.00	1 620.00	1 800.00	1 980.00	2 160.00
10	200.00	400.00	600.00	800.00	1 000.00	1 200.00	1 400.00	1 600.00	1 800.00	2 000.00	2 200.00	2 400.00
15	300.00	600.00	900.00	1 200.00	1 500.00	1 800.00	2 100.00	2 400.00	2 700.00	3 000.00	3 300.00	3 600.00
20	400.00	800.00	1 200.00	1 600.00	2 000.00	2 400.00	2 800.00	3 200.00	3 600.00	4 000.00	4 400.00	4 800.00
25	500.00	1 000.00	1 500.00	2 000.00	2 500.00	3 000.00	3 500.00	4 000.00	4 500.00	5 000.00	5 500.00	6 000.00
30	600.00	1 200.00	1 800.00	2 400.00	3 000.00	3 600.00	4 200.00	4 800.00	5 400.00	6 000.00	6 600.00	7 200.00
Por quilômetros												
1	20.00	40.00	60.00	80.00	100.00	120.00	140.00	160.00	180.00	200.00	220.00	240.00
2	40.00	80.00	120.00	160.00	200.00	240.00	280.00	320.00	360.00	400.00	440.00	480.00
3	60.00	120.00	180.00	240.00	300.00	360.00	420.00	480.00	540.00	600.00	660.00	720.00
4	80.00	160.00	240.00	320.00	400.00	480.00	560.00	640.00	720.00	800.00	880.00	960.00
5	100.00	200.00	300.00	400.00	500.00	600.00	700.00	800.00	900.00	1 000.00	1 100.00	1 200.00
6	120.00	240.00	360.00	480.00	600.00	720.00	840.00	960.00	1 080.00	1 200.00	1 320.00	1 440.00
7	140.00	280.00	420.00	560.00	700.00	840.00	980.00	1 120.00	1 260.00	1 400.00	1 540.00	1 680.00
8	160.00	320.00	480.00	640.00	800.00	960.00	1 120.00	1 280.00	1 440.00	1 600.00	1 760.00	1 920.00
9	180.00	360.00	540.00	720.00	900.00	1 080.00	1 260.00	1 440.00	1 620.00	1 800.00	1 980.00	2 160.00
10	200.00	400.00	600.00	800.00	1 000.00	1 200.00	1 400.00	1 600.00	1 800.00	2 000.00	2 200.00	2 400.00
15	300.00	600.00	900.00	1 200.00	1 500.00	1 800.00	2 100.00	2 400.00	2 700.00	3 000.00	3 300.00	3 600.00
20	400.00	800.00	1 200.00	1 600.00	2 000.00	2 400.00	2 800.00	3 200.00	3 600.00	4 000.00	4 400.00	4 800.00
25	500.00	1 000.00	1 500.00	2 000.00	2 500.00	3 000.00	3 500.00	4 000.00	4 500.00	5 000.00	5 500.00	6 000.00
30	600.00	1 200.00	1 800.00	2 400.00	3 000.00	3 600.00	4 200.00	4 800.00	5 400.00	6 000.00	6 600.00	7 200.00

Nota: Fórmulas Usadas para: Per 50 metros lineares: $q = \frac{DW}{50} = 0,50 DW$

Por quilômetros: $q = \frac{DW}{100}$
 $q = \frac{DW(1000)}{100} = 10 DW$

Onde: q = Quantidade de material, metros cúbicos
 D = Espessura (profundidade), centímetros
 W = Largura, metros

Tabela A-15 - Jardas Cúbicas de Material Necessário para Várias Larguras e Profundidade por 100 Pés Lineares e por Milha

Largura Pés	Profundidade - Polegadas											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0.31	0.62	0.93	1.23	1.54	1.85	2.16	2.47	2.78	3.09	3.40	3.70
2	0.62	1.23	1.85	2.47	3.09	3.70	4.32	4.94	5.56	6.17	6.79	7.41
3	0.93	1.85	2.78	3.70	4.63	5.56	6.48	7.41	8.33	9.26	10.20	11.10
4	1.23	2.47	3.70	4.94	6.17	7.41	8.64	9.88	11.10	12.30	13.80	14.80
5	1.54	3.09	4.63	6.17	7.72	9.26	10.80	12.30	13.90	15.40	17.00	18.50
6	1.85	3.70	5.56	7.41	9.26	11.10	13.00	14.80	16.70	18.50	20.40	22.20
7	2.16	4.32	6.48	8.64	10.80	13.00	15.10	17.30	19.40	21.60	23.80	25.90
8	2.47	4.94	7.41	9.88	12.30	14.80	17.30	19.80	22.20	24.70	27.20	29.60
9	2.78	5.56	8.33	11.10	13.90	16.70	19.40	22.20	25.00	27.80	30.60	33.00
10	3.09	6.17	9.26	12.30	15.40	18.50	21.60	24.70	27.80	30.90	34.00	37.00
20	6.17	12.30	18.50	24.70	30.90	37.00	43.20	49.40	55.60	61.70	67.90	74.10
30	9.26	18.50	27.80	37.00	46.30	55.60	64.80	74.10	83.30	92.60	102.00	111.00
40	12.30	24.70	37.00	49.40	61.70	74.10	86.40	96.90	111.00	123.00	136.00	148.00
50	15.40	30.90	46.30	61.70	77.20	92.60	108.00	123.00	139.00	154.00	170.00	185.00
60	18.50	37.00	55.60	74.10	92.60	111.00	130.00	148.00	167.00	185.00	204.00	222.00
70	21.60	43.20	64.80	86.40	108.00	130.00	151.00	173.00	194.00	216.00	238.00	259.00
80	24.70	49.40	74.10	98.80	123.00	148.00	173.00	196.00	222.00	247.00	272.00	296.00
90	27.80	55.60	83.30	111.00	139.00	167.00	194.00	222.00	250.00	278.00	306.00	333.00
100	30.90	61.70	92.60	123.00	154.00	185.00	216.00	247.00	278.00	309.00	340.00	370.00
1	16.30	32.60	48.90	65.20	81.50	97.80	114.00	130.00	147.00	163.00	179.00	196.00
2	32.60	65.20	97.80	130.00	163.00	196.00	228.00	261.00	293.00	326.00	359.00	391.00
3	48.90	97.80	147.00	196.00	244.00	293.00	342.00	391.00	440.00	489.00	538.00	587.00
4	65.20	130.00	196.00	261.00	326.00	391.00	456.00	521.00	587.00	652.00	717.00	782.00
5	81.50	163.00	244.00	326.00	407.00	489.00	570.00	652.00	733.00	815.00	896.00	978.00
6	97.80	196.00	293.00	391.00	489.00	587.00	684.00	799.00	913.00	1,027.00	1,141.00	1,255.00
7	114.00	228.00	342.00	456.00	570.00	684.00	799.00	913.00	1,043.00	1,173.00	1,304.00	1,434.00
8	130.00	261.00	391.00	521.00	652.00	782.00	913.00	1,043.00	1,173.00	1,304.00	1,434.00	1,564.00
9	147.00	293.00	440.00	587.00	733.00	880.00	1,027.00	1,173.00	1,320.00	1,467.00	1,613.00	1,760.00
10	163.00	326.00	489.00	652.00	815.00	978.00	1,141.00	1,304.00	1,467.00	1,630.00	1,793.00	1,956.00
20	326.00	652.00	978.00	1,304.00	1,630.00	1,956.00	2,282.00	2,607.00	2,933.00	3,259.00	3,585.00	3,911.00
30	489.00	978.00	1,476.00	1,966.00	2,444.00	2,933.00	3,422.00	3,911.00	4,400.00	4,889.00	5,378.00	5,867.00
40	652.00	1,304.00	1,966.00	2,607.00	3,259.00	3,911.00	4,563.00	5,215.00	5,867.00	6,519.00	7,170.00	7,822.00
50	815.00	1,630.00	2,444.00	3,259.00	4,074.00	4,889.00	5,704.00	6,519.00	7,333.00	8,148.00	8,963.00	9,778.00
60	978.00	1,966.00	2,933.00	3,911.00	4,889.00	5,867.00	6,844.00	7,822.00	8,800.00	9,778.00	10,756.00	11,733.00
70	1,141.00	2,282.00	3,422.00	4,563.00	5,704.00	6,844.00	7,985.00	9,126.00	10,267.00	11,407.00	12,548.00	13,689.00
80	1,304.00	2,607.00	3,911.00	5,215.00	6,519.00	7,822.00	9,126.00	10,430.00	11,733.00	13,037.00	14,341.00	15,644.00
90	1,467.00	2,933.00	4,400.00	5,867.00	7,333.00	8,800.00	10,267.00	11,733.00	13,200.00	14,667.00	16,133.00	17,600.00
100	1,630.00	3,259.00	4,889.00	6,519.00	8,148.00	9,778.00	11,407.00	13,037.00	14,667.00	16,296.00	17,926.00	19,556.00

Nota: Fórmulas Usadas para Cálculos:

$$\text{Por 100 pés lineares: } W = \left[\frac{D}{36} \right] \left(\frac{W}{3} \right) \left(\frac{100}{3} \right) = 0.3086 DW$$

$$\text{Por milhas: } W = \left[\frac{D}{36} \right] \left(\frac{W}{3} \right) \left(\frac{5,280}{3} \right) = 16.2963 DW$$

Onde:

q = Quantidade de material, jardas cúbicas

D = Espessura (profundidade), polegadas

W = Largura, pés

L = Comprimento

Apêndice B

Planos de Amostragem Randômica

B.01 – ESCOLHA DOS PONTOS DE AMOSTRAGEM NOS CAMINHÕES QUE CARREGAM MISTURA ASFÁLTICA (Procedimento nº 1) – Aplicam-se as definições seguintes (ver, também, a Figura B-1):

- *Lote* – uma quantidade de material que se deseja controlar. Pode representar produção de um dia, uma determinada tonelagem, um número determinado decargas transportadas por caminhões, e um determinado período de tempo durante a produção.
- *Amostra* – o segmento de um lote escolhido como representativo do lote total. Pode ser constituído de qualquer número de subamostras.
- *Subamostra* – o segmento de uma amostra, tirada de uma unidade do lote, isto é, de determinada tonelagem, tempo e carga de caminhão.
- *Unidade de Amostra* – a porção de uma subamostra tirada da unidade de um lote e combinada com uma ou outras mais unidades de amostra para constituir uma subamostra.

Neste procedimento são necessários os passos seguintes para escolher os pontos de amostragem:

- (1) Escolher o tamanho do lote – pode ser o tempo (horas), a produção média num dia (toneladas), uma tonelagem escolhida (exemplo: 2.000 toneladas) ou um número estabelecido de cargas de caminhões. (O tamanho do lote da produção de um dia recomenda-se para este fim por ser conveniente e fácil de randomizar).
- (2) Escolher o número de amostras que se deseja por lote. Uma amostra por lote, constituído de *quatro* subamostras, é o mínimo recomendável.
- (3) Escolher o número de pontos em cada carga de caminhão dos quais as unidades de amostragem de misturas asfálticas serão retiradas para se combinarem numa subamostra. Recomendam-se *duas* unidades de amostragem por subamostra.
- (4) Atribuir a cada carga de caminhão da mistura no lote um número, começando por 1 correspondendo à primeira carga de caminhão e numerando-os sucessivamente até o maior número no lote. Determinar os números das cargas de caminhão para a amostragem pelo seguinte procedimento:
 - Colocar pedaços quadrados de cartão de 25 mm de lado numerados (1 a —) num recipiente (por exemplo, uma taça). Misturá-los bem antes de cada retirada.
 - Retirar determinado número de cartões quadrados do recipiente igual ao número de subamostras que se deseja no lote. Os números nos cartões quadrados serão as cargas de caminhões a serem amostradas.
- (5) Escolher para cada subamostra que se deseja o local na carga do caminhão de cada uma das unidades de amostragem. Adotar os passos seguintes:
 - Dividir as camadas do caminhão em quadrantes iguais e numerá-los de 1 a 4 em qualquer ordem que se queira.

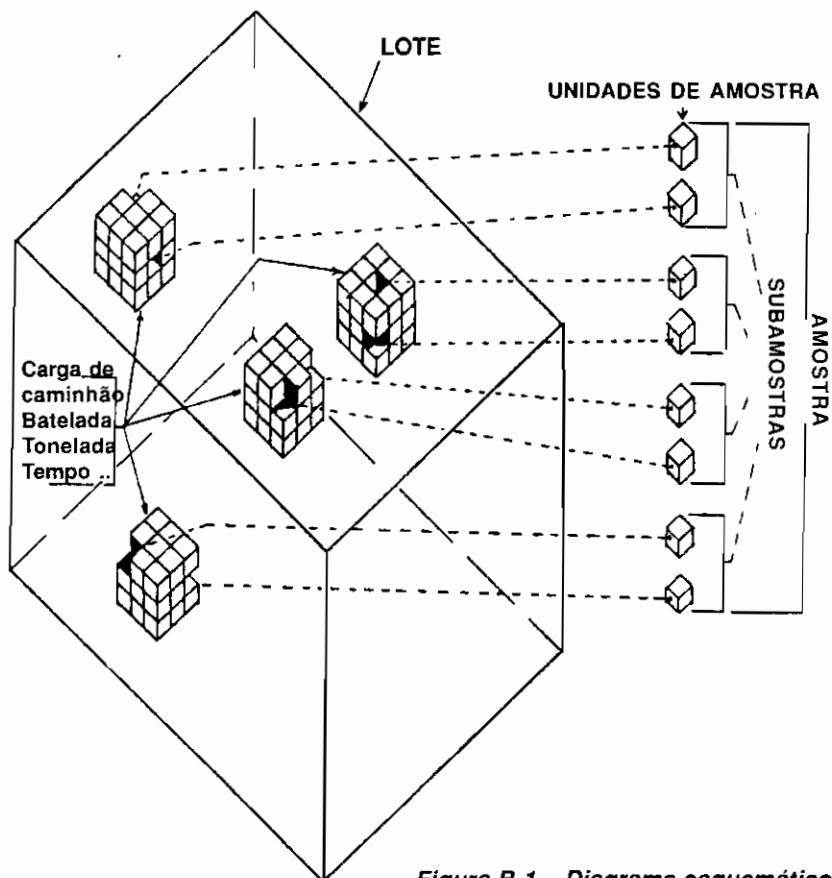


Figura B-1 – Diagrama esquemático ilustrativo de Lote, Amostra, Subamostra e Unidades de Amostra

- Colocar quatro pedaços quadrados de 25 mm de cartão de numeração seguida (1 a 4) num recipiente (seja uma taça). Misturá-los intensamente antes de cada retirada.
- Retirar um determinado número de cartões quadrados igual ao número de unidades de amostra que se deseja. Os números de cada cartão retirados representam os quadrantes de onde se retirarão as unidades de amostra. Recolocar os cartões quadrados e repetir este passo para cada unidade de amostra de cada subamostra a ser retirada.

B.02 – ESCOLHA DOS PONTOS DE AMOSTRAGEM NO LOCAL DA PAVIMENTAÇÃO (Procedimento nº 2) – A Tabela B-1 contém números randômicos para o procedimento geral de amostragem. A fim de usar esta tabela na escolha de pontos de amostragem e ensaios, são necessários os passos seguintes:

- (1) Para os pontos de amostragem dos pavimentos compactados ou locais de ensaio, utilizar a produção de cada dia como um trecho separado.
- (2) Determinar o número de pontos de amostragem dentro um trecho pela escolha da distância longitudinal *média* máxima que se deseja entre as amostras e dividir o comprimento do trecho pela distância média máxima.
- (3) Escolher uma coluna de números randômicos da Tabela B-1, colocando 28 cartões quadrados de 25 mm, numerados 1 a 28, num recipiente (tal como uma taça), sacudi-los para que se misturam bem, e retirar um cartão.
- (4) Ir à coluna de números randômicos identificada pelo número retirado do recipiente. Na subcoluna A, localizar todos os números iguais ou menores que o número de pontos de amostragem por trecho que se deseja.
- (5) Multiplicar o comprimento total do trecho pelos valores decimais na subcoluna B, que se acham contra os números da subcoluna A. Somar o resultado ao número da estaca do início do trecho para obter a estaca do ponto de amostragem.
- (6) Multiplicar a largura total do pavimento proposto no trecho pelos valores decimais da subcoluna C, que se acham contra os números da subcoluna A, e, então, subtrair metade da largura total do pavimento proposto do resultado a fim de obter a distância lateral (offset) da linha central até o local da amostragem. Um número positivo (+) será a distância para a *direita* da linha central e um número negativo (-) será a distância para a esquerda da linha central. Se estiver envolvida apenas uma faixa do pavimento, a largura total será a largura da faixa.

Tabela B-1 – Números randômicos para procedimento geral de amostragem

Col. nº 1			Col. nº 2			Col. nº 3			Col. nº 4			Col. nº 5			Col. nº 6			Col. nº 7		
A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
15	.033	.576	05	.048	.079	21	013	.220	18	.089	.716	17	.024	.063	30	030	.901	12	.029	.386
21	.101	.300	17	.074	.156	30	036	.853	10	.102	.330	24	.060	.032	21	.096	.198	16	.112	.284
23	.129	.916	18	.102	.191	10	.052	.746	14	.111	.925	26	.074	.639	10	.100	.181	20	.114	.848
30	.158	.434	06	.105	.257	25	.061	.954	28	.127	.840	07	.167	.512	29	.133	.388	03	.131	.656
24	.177	.397	28	.179	.447	29	.062	.507	24	.132	.271	28	.194	.776	24	.138	.062	13	.178	.640
11	.202	.271	26	.187	.844	18	.087	.887	19	.285	.899	03	.219	.166	20	.168	.564	22	.209	.421
16	.204	.012	04	.168	.482	24	.105	.849	01	.326	.037	29	.264	.294	22	.232	.953	18	.221	.311
08	.208	.418	02	.208	.577	07	.139	.159	30	.334	.938	11	.282	.262	14	.259	.217	29	.235	.356
19	.211	.798	03	.214	.402	01	.175	.641	22	.405	.295	14	.379	.994	01	.275	.196	28	.264	.941
29	.233	.070	07	.245	.080	23	.196	.873	06	.421	.282	13	.394	.405	06	.277	.475	11	.287	.199
07	.260	.073	15	.248	.831	26	.240	.981	13	.451	.212	06	.410	.157	02	.296	.497	02	.336	.992
17	.262	.308	29	.261	.087	14	.255	.374	02	.461	.023	15	.438	.700	26	.311	.144	15	.393	.498
25	.271	.180	30	.302	.883	06	.310	.043	06	.487	.539	22	.453	.635	06	.351	.141	19	.437	.655
06	.302	.672	21	.318	.088	11	.316	.653	08	.497	.396	21	.472	.824	17	.370	.811	24	.466	.773
01	.409	.406	11	.376	.936	13	.324	.585	25	.503	.893	05	.488	.118	09	.388	.484	14	.531	.014
13	.507	.693	14	.430	.814	12	.351	.275	15	.594	.603	01	.525	.222	04	.410	.073	09	.562	.678
02	.575	.654	27	.438	.676	20	.371	.535	27	.620	.894	12	.561	.980	25	.471	.530	06	.601	.675
18	.591	.318	08	.467	.205	05	.409	.495	21	.629	.841	08	.652	.508	13	.486	.779	10	.612	.859
20	.610	.821	09	.474	.138	16	.445	.740	17	.691	.583	18	.668	.271	15	.515	.867	26	.673	.112
12	.631	.597	10	.492	.474	03	.494	.929	09	.708	.689	30	.736	.634	23	.567	.798	23	.738	.770
27	.651	.281	13	.499	.892	27	.543	.387	07	.709	.012	02	.763	.203	11	.618	.502	21	.753	.614
04	.661	.953	19	.511	.520	17	.625	.171	11	.714	.049	23	.804	.140	28	.636	.148	30	.758	.851
22	.692	.69	23	.591	.770	02	.699	.073	23	.720	.695	26	.828	.425	27	.650	.741	27	.765	.563
05	.779	.346	20	.604	.730	19	.712	.934	03	.748	.413	10	.843	.627	18	.711	.508	07	.780	.534
09	.787	.173	24	.654	.330	22	.816	.802	20	.781	.603	16	.858	.849	19	.778	.812	04	.818	.187
10	.818	.837	12	.728	.523	04	.838	.166	28	.830	.364	04	.903	.327	07	.804	.675	17	.837	.353
14	.895	.631	16	.753	.344	15	.904	.116	04	.843	.002	09	.912	.382	08	.806	.952	05	.854	.816
26	.912	.376	01	.806	.134	28	.969	.742	12	.884	.582	27	.935	.162	18	.841	.414	01	.867	.133
28	.920	.163	22	.878	.884	09	.974	.046	29	.926	.700	20	.970	.582	12	.918	.114	08	.915	.538
03	.945	.140	25	.939	.162	05	.977	.494	16	.951	.601	19	.975	.327	03	.992	.399	25	.975	.584

Col. nº 8			Col. nº 9			Col. nº 10			Col. nº 11			Col. nº 12			Col. nº 13			Col. nº 14		
A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
09	.042	.071	14	.061	.935	26	.038	.023	27	.074	.779	16	.073	.987	03	.033	.091	26	.035	.175
17	.141	.411	02	.065	.097	30	.066	.371	06	.084	.396	23	.078	.056	07	.047	.391	17	.089	.363
02	.143	.221	03	.094	.228	27	.073	.876	24	.098	.524	17	.096	.076	28	.084	.113	10	.149	.681
05	.162	.899	16	.122	.945	09	.095	.568	10	.133	.919	04	.153	.163	12	.066	.360	28	.238	.075
03	.285	.016	18	.158	.430	05	.160	.741	15	.187	.079	10	.254	.834	26	.076	.552	13	.244	.767
28	.291	.034	25	.193	.469	12	.200	.851	17	.227	.767	06	.284	.628	30	.087	.101	24	.262	.366
08	.369	.557	24	.224	.572	13	.259	.327	20	.236	.571	12	.305	.616	02	.127	.187	08	.264	.651
01	.436	.386	10	.225	.223	21	.264	.681	01	.245	.988	25	.319	.901	06	.144	.068	18	.285	.311
20	.450	.289	09	.233	.838	17	.283	.645	04	.317	.291	01	.320	.212	25	.202	.674	02	.340	.131
18	.455	.789	20	.290	.120	23	.363	.063	29	.350	.911	08	.416	.372	01	.247	.025	29	.353	.478
23	.488	.715	01	.297	.242	20	.364	.366	26	.360	.104	13	.432	.556	23	.253	.323	06	.359	.270
14	.496	.276	11	.337	.760	16	.395	.363	28	.425	.884	02	.489	.827	24	.320	.651	20	.387	.246
15	.503	.342	19	.389	.064	02	.423	.540	22	.487	.526	29	.503	.787	10	.328	.365	14	.392	.694
04	.515	.693	13	.411	.474	08	.432	.736	05	.552	.511	15	.518	.717	27	.338	.412	03	.408	.077
16	.532	.112	20	.447	.893	10	.476	.468	14	.564	.357	28	.524	.998	13	.356	.991	27	.440	.280
22	.557	.357	22	.478	.321	03	.508	.774	11	.572	.306	03	.542	.352	16	.401	.792	22	.461	.830
11	.559	.620	29	.481	.993	01	.601	.417	21	.594	.197	19	.585	.462	17	.423	.117	16	.527	.003
12	.650	.216	27	.562	.403	22	.687	.917	09	.607	.524	05	.695	.111	21	.481	.838	30	.531	.466
21	.672	.320	04	.566	.179	29	.697	.862	19	.650	.572	07	.733	.838	08	.560	.401	25	.678	.360
13	.709	.273	08	.603	.758	11	.701	.605	18	.664	.101	11	.744	.948	19	.564	.190	21	.725	.014
07	.745	.687	15	.632	.927	07	.728	.498	25	.674	.428	18	.793	.748	05	.571	.054	06	.797	.595
30	.780	.285	08	.707	.107	14	.745	.679	02	.697	.674	27	.802	.967	18	.587	.584	15	.601	.927
19	.845	.097	26	.737	.161	24	.619	.444	03	.767	.928	21	.826	.487	15	.604	.145	12	.836	.294
26	.846	.366	17	.846	.130	15	.840	.823	16	.609	.529	24	.835	.832	11	.641	.298	04	.854	.982
29	.861	.307	07	.874	.491	25	.863	.568	30	.838	.294	26	.855	.142	22	.672	.156	11	.884	.928
25	.906	.874	05	.880	.828	08	.878	.215	13	.845	.470	14	.881	.462	20	.674	.887	19	.886	.832
24	.919	.809	23	.931	.659	18	.930	.601	08	.855	.524	20	.874	.625	14	.752	.881	07	.929	.932
10	.952	.555	26	.960	.365	04	.954	.827	07	.867	.718	30	.929	.056	09	.774	.560	09	.932	.206
06	.961	.504	21	.978	.194	28	.963	.004	12	.881	.722	09	.935	.582	29	.921	.752	01	.970	.692
27	.969	.811	12	.982	.183	19	.988	.020	23	.937	.872	22	.947	.797	04	.959	.099	23	.973	.082

Tabela B-1 - Números randômicos para procedimento geral de amostragem (continuação)

Col. nº 15			Col. nº 16			Col. nº 17			Col. nº 18			Col. nº 19			Col. nº 20			Col. nº 21		
A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
15	.023	.979	19	.062	.588	13	.045	.004	25	.027	.290	12	.052	.075	20	.030	.881	01	.010	.946
11	.118	.465	25	.080	.218	18	.086	.878	06	.057	.571	30	.075	.493	12	.034	.291	10	.014	.939
07	.134	.172	09	.131	.295	26	.126	.990	26	.059	.026	28	.120	.341	22	.043	.893	09	.032	.346
01	.139	.230	18	.136	.381	12	.128	.661	7	.105	.176	27	.145	.689	28	.143	.073	06	.093	.180
16	.145	.122	05	.147	.864	30	.146	.337	18	.107	.358	02	.209	.957	03	.150	.937	15	.151	.012
20	.165	.520	12	.158	.365	05	.169	.470	22	.128	.827	26	.272	.818	04	.154	.867	16	.185	.455
06	.185	.481	28	.214	.164	21	.244	.433	23	.156	.440	22	.299	.317	19	.158	.359	07	.227	.277
09	.211	.316	14	.215	.757	23	.270	.849	15	.171	.157	18	.306	.475	29	.304	.615	02	.304	.400
14	.248	.348	13	.224	.846	25	.274	.407	08	.220	.097	20	.311	.653	05	.369	.633	30	.316	.074
25	.249	.890	15	.227	.809	10	.290	.920	20	.252	.066	15	.348	.156	18	.390	.536	18	.328	.799
13	.252	.577	11	.280	.896	01	.323	.495	04	.268	.576	16	.361	.710	17	.403	.392	20	.352	.288
30	.273	.088	01	.331	.925	24	.352	.291	14	.275	.302	01	.411	.607	23	.404	.182	26	.371	.216
18	.277	.689	10	.399	.992	15	.361	.155	11	.297	.589	13	.417	.715	01	.415	.457	19	.448	.754
22	.372	.958	30	.417	.787	29	.374	.882	01	.358	.305	21	.472	.464	07	.437	.696	13	.487	.598
10	.461	.075	08	.439	.921	08	.432	.139	09	.412	.089	04	.478	.885	24	.446	.546	12	.546	.640
28	.519	.536	20	.472	.494	04	.467	.266	16	.429	.834	25	.479	.080	26	.485	.768	24	.550	.038
17	.520	.090	24	.496	.712	22	.508	.880	10	.491	.203	11	.566	.104	15	.511	.313	03	.604	.780
03	.523	.519	04	.516	.396	27	.632	.191	28	.542	.306	10	.576	.659	10	.517	.290	22	.621	.930
26	.573	.502	03	.548	.688	16	.661	.836	12	.563	.091	29	.665	.397	30	.556	.853	21	.629	.154
19	.634	.206	23	.597	.508	19	.675	.629	02	.593	.321	19	.739	.296	25	.561	.837	11	.634	.908
24	.635	.810	21	.681	.114	14	.680	.890	30	.692	.198	14	.749	.759	09	.574	.599	06	.696	.459
21	.679	.841	02	.739	.298	28	.714	.508	19	.705	.445	08	.756	.919	13	.613	.762	23	.710	.078
27	.712	.366	29	.792	.038	06	.719	.441	24	.709	.717	07	.798	.183	11	.698	.783	29	.726	.565
05	.780	.497	22	.829	.324	09	.735	.040	13	.820	.739	23	.834	.647	14	.715	.179	17	.749	.916
23	.861	.106	17	.834	.647	17	.741	.906	05	.848	.866	06	.837	.978	16	.770	.128	04	.802	.196
12	.865	.377	18	.909	.608	11	.747	.205	27	.867	.033	03	.849	.964	08	.815	.385	14	.835	.319
29	.882	.835	06	.914	.420	20	.850	.047	03	.883	.333	24	.851	.109	05	.872	.490	08	.870	.546
08	.902	.020	27	.958	.856	02	.859	.356	17	.900	.443	05	.859	.935	21	.885	.999	28	.871	.539
04	.951	.482	26	.981	.976	07	.870	.612	21	.914	.483	17	.863	.220	02	.958	.177	25	.971	.369
02	.977	.172	07	.983	.624	03	.916	.463	29	.950	.753	09	.863	.147	27	.961	.980	27	.984	.252

Col. nº 22			Col. nº 23			Col. nº 24			Col. nº 25			Col. nº 26			Col. nº 27			Col. nº 28		
A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
12	.051	.052	26	.061	.187	08	.015	.521	02	.039	.005	16	.026	.102	21	.050	.952	29	.042	.039
11	.068	.980	03	.053	.256	16	.068	.994	16	.061	.599	01	.033	.886	17	.085	.403	07	.105	.293
17	.089	.309	29	.100	.159	11	.118	.400	26	.068	.054	04	.068	.686	10	.141	.624	25	.115	.420
01	.091	.371	13	.102	.485	21	.124	.565	11	.073	.813	22	.090	.602	05	.154	.157	09	.126	.612
10	.100	.709	24	.110	.316	18	.153	.158	07	.123	.649	13	.114	.614	06	.164	.841	10	.205	.144
30	.121	.744	18	.114	.300	17	.190	.159	05	.126	.658	20	.136	.576	07	.197	.013	03	.210	.054
02	.166	.056	11	.123	.208	26	.192	.676	14	.161	.189	05	.158	.228	16	.215	.363	23	.234	.533
23	.179	.528	09	.138	.182	01	.237	.030	18	.166	.040	10	.216	.565	08	.222	.520	13	.266	.799
21	.187	.051	06	.194	.115	12	.283	.077	28	.248	.171	02	.223	.610	13	.269	.477	20	.305	.603
22	.205	.543	22	.234	.480	03	.286	.318	06	.255	.117	07	.278	.357	02	.288	.012	05	.372	.223
28	.230	.688	20	.274	.107	10	.317	.734	15	.261	.928	30	.405	.273	25	.333	.633	26	.385	.111
19	.243	.001	21	.331	.292	05	.337	.944	10	.301	.811	06	.421	.807	28	.348	.710	30	.422	.315
27	.267	.990	08	.346	.085	25	.441	.336	24	.383	.025	12	.426	.583	20	.362	.961	17	.453	.783
15	.283	.440	27	.382	.979	27	.469	.786	22	.378	.792	08	.471	.708	14	.511	.989	02	.460	.916
16	.352	.089	07	.387	.866	24	.473	.237	27	.379	.959	18	.473	.738	26	.540	.903	27	.461	.841
03	.377	.648	28	.411	.776	20	.475	.761	19	.420	.557	19	.510	.207	27	.587	.643	14	.483	.095
06	.397	.769	16	.444	.999	06	.557	.001	21	.467	.943	03	.512	.329	12	.603	.745	12	.507	.375
09	.409	.428	04	.515	.993	07	.610	.238	17	.494	.225	15	.640	.329	29	.619	.895	28	.509	.748
14	.465	.406	17	.518	.827	09	.617	.041	09	.620	.081	09	.665	.354	23	.623	.333	21	.583	.804
13	.499	.651	05	.539	.620	13	.641	.648	30	.623	.106	14	.680	.884	22	.624	.076	22	.587	.993
04	.539	.972	02	.623	.271	22	.664	.291	03	.625	.777	26	.703	.622	18	.670	.904	16	.689	.339
18	.560	.747	30	.637	.374	04	.668	.856	08	.651	.780	29	.739	.394	11	.711	.253	06	.727	.296
28	.575	.892	14	.714	.364	19	.717	.232	12	.715	.599	25	.759	.386	01	.790	.392	04	.731	.814
29	.756	.712	15	.730	.107	02	.776	.504	23	.782	.093	24	.803	.602	04	.813	.611	08	.807	.983
20	.760	.920	19	.771	.552	29	.777	.548	20	.810	.371	27	.842	.491	19	.843	.732	15	.833	.757
05	.847	.925	23	.780	.662	14	.823	.223	01	.841	.726	21	.870	.435	03	.844	.511	19	.896	.464
25	.872	.891	10	.924	.888	23	.848	.264	29	.862	.009	28	.906	.367	30	.858	.299	18	.916	.364
24	.874	.135	12	.929	.204	30	.892	.817	25	.891	.873	23	.948	.367	09	.929	.199	01	.948	.610
08	.911	.215	01	.937	.714	28	.943	.190	04	.917	.264	11	.956	.142	24	.931	.263	11	.976	.799
07	.946	.065	25	.974	.398	15	.975	.962	13	.958	.990	17	.993	.989	15	.939	.947	24	.978	.633

GLOSSÁRIO “Termos Técnicos”

A

Acomodamento - Breakdown

Administração Federal de Rodovias - Federal Highway Administration

Administração Provincial do Cabo - Cape Provincial Administration

Administração Rodoviária Federal dos Estados Unidos - U.S. Federal Highway Administration

Aeroportos de Transporte Aéreo - Air Carrier Airports

Afundamento de Trilha - Rutting

Afundamento de Trilha de Roda ou Canelura - Channels Ruts

Agente de Recorte - Cutter Stock

Agentes Antidescolantes - Anti-Strip

Agregado Polido - Polished Aggregate

Aletas - Flights

Alimentação Repartida - Split Feed

Alimentadores de Travessas - Slat Feeder

Alta Flutuação - High-Float

Análise de Misturas Asfálticas com Uso de Computador - Computer-Assisted Asphalt Mixture Analysis - CAMA

Ancinho - Rake

Amassamento - Kneading

Amostras Embebidas - Soaked Samples

Aplicação de Óleo na Estrada - Road Oiling

AR - Aged Residue

Areia Fina - Fine Sand

Areia Grossa - Coarse Sand

Arranjo Físico - Layout

Arrebetamento - Blow-Ups

Asfalto Diluído - Cutback

Asfalto Diluído de Cura Lenta - SC Cutback

Asfalto Diluído ou Dissolvido - Cutback

Asfalto Pesado - Road Oil

Assentamento de Poeira - Dust Laying

Associação Americana de Funcionários Estaduais de Rodovias e Transportes - American Association of State Highway and Transportation

Avaliação de Serventia Atual - Present Serviceability Rating - PSR

B

Bandejas - Pans
Bambolear - To Wobble
Bateladas - Batch Facility
Barras Helicoidais - Augers
Barras de Rega - Spray Bars
Basalto - Traprock
Bem Graduados - Well-Graded
Berços - Beddings
Bicos - Nozzles
Bicos Aspersores - Nozzles
Bombeamento ou Espirro - Pumping`or Blowing
Britagem - Crushing

C

Calços - Shims
Canteiro-de-Obra - Good Housekeeping
Concreto Asfáltico - Asphalt Concrete
Camada Asfáltica de Desgaste - Wearing
Camada Asfáltica de Nivelamento - Asphalt Leveling Course
Camada de Desgaste - Wearing Course
Camada de Ligação - Tack Coats
Caminhos de Acesso - Driveways
Capa de Imprimação - Prime Coat
Capa de Ligação - Tack Coat
Capas de Ligação - Tack Coats
Capa Selante - Seal Coat
Carga Pagável - PayLoad
Carga de Placa - Plate Bearing Value
Carregador de Subida Pequena - Low-Lift Loader
Carregadoras de Toras - Log Handler
Carregadores Basculantes - Dump Body Haulers
Coberturas - Coverages
Coletor de Sacos - Baghouse
Construção Asfáltica de Camadas Espessas - Thick Lift
Combinação do Tráfego - Traffic Mix
Comporta de Corte - Strike-Off Gate
Comporta de Descarga - Tailgate Spreader
Cortador - Strike Off
Corte - Strike Off
Correia Intermediária - Belt Idler
Corrugações ou Costelas - Corrugations, Washboarding
Couro de Jacaré - Alligator Cracks
Cru Reduzido - Topped Crude

D

Deflexão - Deflection
Deflexão Recuperável - Rebound Deflection
Deflexão Recuperável Representativa - Representative Rebound Deflection
Deflexão Residual - Residual Deflection
Deflúvio Superficial - Runoff
Degelo - Deicing Salts
Densidade - Unit Weight
Densidade Relativa - Specific Gravity
Densidade Relativa Aparente - Bulk Specific Gravity
Densidade Relativa Real - Apparent Specific Gravity
Depressões do Greide, Afundamento - Grade Depressions
Desagregação - Ravelling
Descarte - Wasting
Descolamento - Stripping
Desprendimento - Tearing
Desprendimento - Raveling
Desintegração - Desintegration
Dilatância ou Reação à Sacudidela - Shake Test
Distorção - Distortion
Distribuição Transversal - Wander
Distância Radial - OffSet

E

Ecobrimento - lining
Elevadores de Caçambas - Skip Hoists
Empolamento - Upheaval
Equivalente Centrífugo ao Querosene - CKE - Centrifuge Kerosene Equivalent
Erosão Interna - Piping
Escritório de Rodovias Públicas dos Estados Unidos - U.S. Bureau of Public Roads
Escamação - Scaling
Espargimento - Spray
Escorregamento - Shoving
Espalhador de Lâminas - Vane Spreader
Escoamento Superficial - Runoff
Exsudação de Asfalto - Bleeding
Exsude - Bleed
Expansão por Congelamento - Frost Heave
Escoamento Superficial - Flushing
Entrosamento - Interlocking
Exsudação - Bleeding, Flushing
Ensaio RTFOT - Rolling Thin Film Oven Test

Ensaio de Película Rolante em Estufa - RTFO - Rolling Thin Film oven
Ensaio de Película Delgada em Estufa - TFO - Thin Film Oven
Escoamento de Asfalto - Flushing Asphalt
Espessura Plena - Fulldepth

F

Fator de Caminhão - Truck Factor
Falha - Fault
Furgão - Van
Fluxo por Tabuleiros - Apron Flows

G

Guindaste de Rodas de Borracha - Rubber-Tired Hoists
Granulometria Descontinua - Gap-Graded Aggregates
Gamelas - Bowl
 G_{SB} = densidade relativa aparente da combinação - G_{SB} bulk specific gravity of the blend
Graduação Descontinua - Gap Graded

H

Hidroplanagem - Hydroplaning
Hodômetro - Bitumeter Wheel

I

Irregularidades - Roughness
Inchamentos por Congelamento - Frost Heaves
Índice de Grupo - Group Index
Índice de Suporte Califórnia - California Bearing Ratio - CBR
Instabilidade - Instability
Índice de Serventia Atual - Present Serviceability Index
Imprimação - Prime Coat
Inflação durante o Movimento - Inflation-on-the-run

L

Lascado - Spalling
Lama Selante a Emulsão Asfáltica - Emulsion Slurry Seal
Lençol Asfáltico - Sheet Asphalt
Lascado - Spalling
Lama a Emulsão Asfáltica - Emulsion Slurry Seal
Lama Asfáltica - Slurry Seal
Lavagem - Flushing

M

Mal Graduados - Poorly-Graded Medidor ("gauge")
Massa Específica - Unit Weight
Marcas Perfuradas - Pock Marks
Matações - Boulders
Material de Agregado Recuperado - RAM - Reclaimed Aggregate Material
Medidor de Irregularidade - Roughmeter
Método de Tentativas - Trial-and-error
Misturadores de Tambor de Contrafluxo - Counter Flow Drum Mixer
Misturador do Tipo Malaxagem - Pugmill Mixer
Misturador - Pugmill
Mistura em Tambor - Drum Mix
Misturador - Drum Mixer
Mistura no Local - Mixed-in-priming
Mistura Asfáltica a Quente - Hot-mix asphalt, HMA
Mistura na Estrada - Mixed-in-Place, Road-Mix
Mistura em Usina - Plant Mix
Misturas Asfálticas a Quente - HMA - Hot Mix Asphalt
Mistura no Local - Mixed-in-place
Mistura na Estrada - Road Mix
Misturadora de Tambor - Drum Mixer
Motoniveladora - Motor Grader

N

Névoa Selante - Fog Seal
Névoa Selante Asfáltica - Fog Seal
Névoas - Fog

O

Óleos Rodoviários - Road-oils

P

Parafusos Espalhadores - Spreading Screws
Pátios de Manobra - Switching Yards
Pavimento de Lençol Asfáltico - Sheet Asphalt Paving
Pavimento Asfáltico Recuperado ou Frisado - RAP - Reclaimed Asphalt Pavement
Pavimento de Concreto Asfáltico de Profundidade Plena - Full-Depth
Pavimento Asfáltico de Espessura Plena - Full Depth

Pedregulho - Gravel
Pintura de Ligação - Tack Coat
Pista de Rolamento ou Taxiamento - Taxiway
Pistas de Decolagem - Runway
Pistas de Pouso e Decolagem - Runways
Pintura de Ligação - Tack Coat
Pedriscos - Chips
Panelas - Potholes
Pavimentos Asfálticos - Asphalt Pavements
Período de Projeto - Design period
Pintura de Impermeabilização ou Névoa Selante - Fog Seal
Pedriscos - Stone Screenings
Pavimento de Asfalto de Espessura Plena - Full Depth
Pintura de Ligação - Tack Coat
Pano - Sheet
Pavimento Asfáltico Resistente em Profundidade - Deep-Strength
Pintura Asfáltica de Ligação - Tack Coat
Poros com Ar - Air Voids

Q

Quem trabalha - Raker

R

Recobrimentos - Linings
Revestidor de Mistura em Tambor - Drum Mix Coater
Rolo de Grade ou do Rolo com Travas em V - V-cleated Roller
Reforço - Overlay
Remendo - Patching
Rodos - Lutes
Resistência ao Arrasto das Rodas - Tracking
Reforço Asfáltico - Asphalt Overlay
Risco de Derrapagem - Skid Hazard
Rua de Cidade - City Street
Roda Diretriz ou de Leme - Tiller Wheel
Reboque - Trailer
Revestimento - Shoving
Rigidez - Toughness
Rochas Matrizes - Bedrock

S

Subjacência - Underlayment
Silte mais Argila - Combined silt and clay

Sapata Acabadora Flutuante - Floating Screed
Sociedade Americana de Ensaios e Materiais - American Society for
Testing and Materials
Sobras - Carry-over
Sapata Acabadora - Screed
Sangria - Bleeding
Serventia Atual - Present Serviceability
Silo de Excedente - Surge Bin
Sinaleiros - Flagmen
Silo de Extravasamento - Surge Bin
Solo de Fundação - Basement soil” ou “foundation soil
Sobras - Carry-Over
Sobre Dimensionamento - Thickness Design

T

Tabuinhas - Shingles
Tábua Cuneiforme - Wedge Board
Temperatura Ambiente - Room Temperature
Tocos - Blocks
Transformador Diferencial Variável Linear - Linear Variable Differential
Transformer - LVDT
Tráfego de Aeronaves - Aircraft Traffic Mixture
Tremonha - Hopper
Transportador de Travessas - Slat Conveyer
Trinca - Crack
Trinca Longitudinal - Longitudinal Crack
Trincas de Escorregamento - Slippage Cracks
Trincas Transversais - Transverse Cracks
Trilha de Roda - Rutting

U

Unidade de Sapata Acabadora - Screed
Unidade de Recobrimento - Coater Unit
Usina Misturadora de Tambor - Drum-mix Plant
Usinas Móveis - Travel Plants
Usina - Plant
Usinas Intermitentes ou em Bateladas - Batch Plants

V

Valor Exato da Densidade - Specific Gravity
Vaso Aberto de Cleveland - COC - Cleveland Open Cup
Vazios Cheios de Asfalto, VCA - VFA-voids filled with asphalt

SFALTO



BR **PETROBRAS**