



PAVIMENTAÇÃO ASFÁLTICA

• Formação Básica para Engenheiros •

Liedi Bariani Bernucci

Laura Maria Goretti da Motta

Jorge Augusto Pereira Ceratti

Jorge Barbosa Soares

Currículo resumido dos professores do PROASFALTO:



Laura Maria Goretti da Motta

Engenheira Civil (1976), pela Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF), Mestre em Engenharia Civil (1979), pela Coordenação dos Programas de Pós-graduação em Engenharia (COPPE) da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) e Doutora pela COPPE/UFRJ, 1991. Professora Adjunta do Programa de Engenharia Civil da COPPE/UFRJ desde 1984. Coordena desde 1994 o Setor de Pavimentos do Laboratório de Geotecnia da COPPE. É membro da Comissão de Asfaltos do Instituto Brasileiro do Petróleo e Gás. Possui diversos trabalhos publicados no Brasil e exterior. Já orientou mais de 50 mestres e doutores. Já atuou em mais de 40 projetos de cooperação com empresas e órgãos do setor de pavimentação.



Liedi Bariani Bernucci

Engenheira Civil pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (1981), especialização no Instituto de Geotécnica da Escola Politécnica Federal de Zurique na Suíça (1984 e 1985), Mestre em Engenharia de Solos pelo Departamento de Estruturas e Geotécnica da EPUSP (1987), estágio de Doutorado pelo Instituto de Geotécnica da Escola Politécnica Federal de Zurique, na Suíça (1987 e 1988), Doutora em Engenharia de Transportes pelo Departamento de Engenharia de Transportes da EPUSP (1995), Livre-Docente em Engenharia de Transportes pela EPUSP (2001). Professora Titular no Departamento de Engenharia de Transportes da EPUSP, Coordenadora do Laboratório de Tecnologia de Pavimentação da EPUSP e Chefe do Departamento de Engenharia de Transportes da EPUSP, atua como docente em graduação e pós-graduação, como coordenadora de diversos projetos de pesquisa e extensão. É membro da Comissão de Asfaltos do Instituto Brasileiro do Petróleo e Gás. É consultora em pavimentação, possui diversas publicações e já formou diversos mestres e doutores em Transportes.



Jorge Barbosa Soares

Engenheiro Civil pela Universidade Federal do Ceará (1992). Mestre (1994) e Ph.D. (1997) em Engenharia Civil pela Texas A&M University. Coordenador da Pós-Graduação em Engenharia de Transportes da UFC. Coordenador do Laboratório de Mecânica dos Pavimentos da UFC e da REDE ASFALTO N/NE. Professor Associado do Departamento de Engenharia de Transportes da UFC, atua como docente em graduação e pós-graduação e na coordenação de projetos de pesquisa e capacitação junto a agências de fomento, empresas e órgãos do setor de pavimentação. É membro da Comissão de Asfaltos do Instituto Brasileiro do Petróleo e Gás. Atua também como consultor e possui diversas publicações nos principais periódicos e congressos técnico/científicos nacionais e internacionais na área de pavimentação.



Jorge Augusto Pereira Ceratti

Engenheiro Civil pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), 1976, Mestre em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), 1979. Doutor em Engenharia Civil pela Coordenação dos Programas de Pós-Graduação em Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro (COPPE/UFRJ), 1991. Professor Associado no Departamento de Engenharia Civil da UFRGS, onde atua como docente em graduação e pós-graduação, tendo formado, desde 1981, diversos mestres e doutores em Engenharia Civil. Coordenador do Laboratório de Pavimentação da UFRGS. É membro da Comissão de Asfaltos do Instituto Brasileiro do Petróleo e Gás. Atua como consultor em pavimentação, desenvolvendo projetos de cooperação com empresas e órgãos do setor de pavimentação. Possui diversas publicações nos principais periódicos e congressos técnico/científicos, nacionais e internacionais, na área de pavimentação.

Pavimentação asfáltica

Formação básica para engenheiros

Liedi Bariani Bernucci
Laura Maria Goretti da Motta
Jorge Augusto Pereira Ceratti
Jorge Barbosa Soares

Rio de Janeiro
2008

4ª. Reimpressão – ABEDA
2010



ASFALTOS



PATROCINADORES

Petrobras – Petróleo Brasileiro S. A.

Abeda – Associação Brasileira das Empresas Distribuidoras de Asfaltos

Copyright © 2007 Liedi Bariani Bernucci, Laura Maria Goretti da Motta,
Jorge Augusto Pereira Ceratti e Jorge Barbosa Soares

COORDENAÇÃO DE PRODUÇÃO

Trama Criações de Arte

PROJETO GRÁFICO E DIAGRAMAÇÃO

Anita Slade

Sonia Goulart

DESENHOS

Rogério Corrêa Alves

REVISÃO DE TEXTO

Maríflor Rocha

CAPA

Clube de Idéias

IMPRESSÃO

Gráfica Imprinta

Ficha catalográfica elaborada pela Petrobras / Biblioteca dos Serviços Compartilhados

P338 Pavimentação asfáltica : formação básica para engenheiros / Liedi Bariani Bernucci... [et al.]. – Rio de Janeiro : PETROBRAS: ABEDA, 2006.
504 f. : il.

Inclui Bibliografias.
Patrocínio PETROBRAS

1. Asfalto. 2. Pavimentação. 3. Revestimento asfáltico. 4. Mistura.
I. Bernucci, Liedi Bariani. II. Motta, Laura Maria Goretti da. III. Ceratti, Jorge Augusto Pereira. IV. Soares, Jorge Barbosa.

CDD 625.85

APRESENTAÇÃO

Tendo em vista a necessidade premente de melhoria da qualidade das rodovias brasileiras e a importância da ampliação da infra-estrutura de transportes, a Petróleo Brasileiro S.A. e a Associação Brasileira das Empresas Distribuidoras de Asfaltos – Abeda vêm investindo no desenvolvimento de novos produtos asfálticos e de modernas técnicas de pavimentação. Para efetivamente aplicar estes novos materiais e a recente tecnologia, é preciso promover a capacitação de recursos humanos.

Assim, essas empresas, unidas em um empreendimento inovador, conceberam uma ação para contribuir na formação de engenheiros civis na área de pavimentação: o Proasfalto – Programa Asfalto na Universidade. Este projeto arrojado foi criado para disponibilizar material didático para aulas de graduação de pavimentação visando oferecer sólidos conceitos teóricos e uma visão prática da tecnologia asfáltica.

Para a elaboração do projeto didático, foram convidados quatro professores de renomadas instituições de ensino superior do Brasil. Iniciou-se então o projeto que, após excelente trabalho dos professores Liedi Bariani Bernucci, da Universidade de São Paulo, Laura Maria Goretti da Motta, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Jorge Augusto Pereira Ceratti, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, e Jorge Barbosa Soares, da Universidade Federal do Ceará, resultou no lançamento deste importante documento.

O livro *Pavimentação Asfáltica* descreve os materiais usados em pavimentação e suas propriedades, além de apresentar as técnicas de execução, de avaliação e de restauração de pavimentação. A forma clara e didática como o livro apresenta o tema o transforma em uma excelente referência sobre pavimentação e permite que ele atenda às necessidades tanto dos iniciantes no assunto quanto dos que já atuam na área.

A Universidade Petrobras, co-editora do livro *Pavimentação Asfáltica*, sente-se honrada em participar deste projeto e cumprimenta os autores pela importante iniciativa de estabelecer uma bibliografia de consulta permanente sobre o tema.

Petróleo Brasileiro S.A. – Petrobras

Abeda – Associação Brasileira das Empresas Distribuidoras de Asfaltos

SUMÁRIO

PREFÁCIO	7
1 Introdução	9
1.1 PAVIMENTO DO PONTO DE VISTA ESTRUTURAL E FUNCIONAL	9
1.2 UM BREVE HISTÓRICO DA PAVIMENTAÇÃO	11
1.3 SITUAÇÃO ATUAL DA PAVIMENTAÇÃO NO BRASIL	20
1.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS	22
BIBLIOGRAFIA CITADA E CONSULTADA	24
2 Ligantes asfálticos	25
2.1 INTRODUÇÃO	25
2.2 ASFALTO	26
2.3 ESPECIFICAÇÕES BRASILEIRAS	58
2.4 ASFALTO MODIFICADO POR POLÍMERO	59
2.5 EMULSÃO ASFÁLTICA	81
2.6 ASFALTO DILUÍDO	96
2.7 ASFALTO-ESPUMA	97
2.8 AGENTES REJUVENESCEDORES	99
2.9 O PROGRAMA SHRP	100
BIBLIOGRAFIA CITADA E CONSULTADA	110
3 Agregados	115
3.1 INTRODUÇÃO	115
3.2 CLASSIFICAÇÃO DOS AGREGADOS	116
3.3 PRODUÇÃO DE AGREGADOS BRITADOS	124
3.4 CARACTERÍSTICAS TECNOLÓGICAS IMPORTANTES DOS AGREGADOS PARA PAVIMENTAÇÃO ASFÁLTICA	129
3.5 CARACTERIZAÇÃO DE AGREGADOS SEGUNDO O SHRP	150
BIBLIOGRAFIA CITADA E CONSULTADA	154

4	Tipos de revestimentos asfálticos	157
4.1	INTRODUÇÃO	157
4.2	MISTURAS USINADAS	158
4.3	MISTURAS <i>IN SITU</i> EM USINAS MÓVEIS	185
4.4	MISTURAS ASFÁLTICAS RECICLADAS	188
4.5	TRATAMENTOS SUPERFICIAIS	191
	BIBLIOGRAFIA CITADA E CONSULTADA	200
5	Dosagem de diferentes tipos de revestimento	205
5.1	INTRODUÇÃO	205
5.2	DEFINIÇÕES DE MASSAS ESPECÍFICAS PARA MISTURAS ASFÁLTICAS	207
5.3	MISTURAS ASFÁLTICAS A QUENTE	217
5.4	DOSAGEM DE MISTURAS A FRIO	253
5.5	MISTURAS RECICLADAS A QUENTE	256
5.6	TRATAMENTO SUPERFICIAL	263
5.7	MICRORREVESTIMENTO E LAMA ASFÁLTICA	269
	BIBLIOGRAFIA CITADA E CONSULTADA	281
6	Propriedades mecânicas das misturas asfálticas	287
6.1	INTRODUÇÃO	287
6.2	ENSAIOS CONVENCIONAIS	288
6.3	ENSAIOS DE MÓDULO	290
6.4	ENSAIOS DE RUPTURA	308
6.5	ENSAIOS DE DEFORMAÇÃO PERMANENTE	316
6.6	ENSAIOS COMPLEMENTARES	327
	BIBLIOGRAFIA CITADA E CONSULTADA	332
7	Materiais e estruturas de pavimentos asfálticos	337
7.1	INTRODUÇÃO	337
7.2	PROPRIEDADES DOS MATERIAIS DE BASE, SUB-BASE E REFORÇO DO SUBLEITO	339
7.3	MATERIAIS DE BASE, SUB-BASE E REFORÇO DO SUBLEITO	352
7.4	ALGUMAS ESTRUTURAS TÍPICAS DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS	365
	BIBLIOGRAFIA CITADA E CONSULTADA	369
8	Técnicas executivas de revestimentos asfálticos	373
8.1	INTRODUÇÃO	373
8.2	USINAS ASFÁLTICAS	373

8.3	TRANSPORTE E LANÇAMENTO DE MISTURAS ASFÁLTICAS	384
8.4	COMPACTAÇÃO	389
8.5	EXECUÇÃO DE TRATAMENTOS SUPERFICIAIS POR PENETRAÇÃO	393
8.6	EXECUÇÃO DE LAMAS E MICRORREVESTIMENTOS ASFÁLTICOS	397
8.7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	401
	BIBLIOGRAFIA CITADA E CONSULTADA	402
9	Diagnóstico de defeitos, avaliação funcional e de aderência	403
9.1	INTRODUÇÃO	403
9.2	SERVENTIA	405
9.3	IRREGULARIDADE LONGITUDINAL	407
9.4	DEFEITOS DE SUPERFÍCIE	413
9.5	AVALIAÇÃO OBJETIVA DE SUPERFÍCIE PELA DETERMINAÇÃO DO IGG	424
9.6	AVALIAÇÃO DE ADERÊNCIA EM PISTAS MOLHADAS	429
9.7	AVALIAÇÃO DE RUÍDO PROVOCADO PELO TRÁFEGO	435
	BIBLIOGRAFIA CITADA E CONSULTADA	438
10	Avaliação estrutural de pavimentos asfálticos	441
10.1	INTRODUÇÃO	441
10.2	MÉTODOS DE AVALIAÇÃO ESTRUTURAL	443
10.3	EQUIPAMENTOS DE AVALIAÇÃO ESTRUTURAL NÃO-DESTRUTIVA	445
10.4	NOÇÕES DE RETROANÁLISE	453
10.5	SIMULADORES DE TRÁFEGO	457
10.6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	460
	BIBLIOGRAFIA CITADA E CONSULTADA	461
11	Técnicas de restauração asfáltica	463
11.1	INTRODUÇÃO	463
11.2	TÉCNICAS DE RESTAURAÇÃO DE PAVIMENTOS COM PROBLEMAS FUNCIONAIS	466
11.3	TÉCNICAS DE RESTAURAÇÃO DE PAVIMENTOS COM PROBLEMAS ESTRUTURAIIS	468
11.4	CONSIDERAÇÕES SOBRE O TRINCAMENTO POR REFLEXÃO	469
	BIBLIOGRAFIA CITADA E CONSULTADA	475
	ÍNDICE DE FIGURAS	477
	ÍNDICE DE TABELAS	486
	ÍNDICE REMISSIVO DE TERMOS	490
	ÍNDICE REMISSIVO DAS BIBLIOGRAFIAS	496

PREFÁCIO

Este livro tem por objetivo principal contribuir para a formação do aluno na área de pavimentação asfáltica, dos cursos de Engenharia Civil de universidades e faculdades do país. O projeto deste livro integra o Programa Asfalto na Universidade, concebido em conjunto com a Petrobras e a Abeda, nossos parceiros e patrocinadores, para apoiar o ensino de graduação, disponibilizando material bibliográfico adicional aos estudantes e aos docentes de disciplinas de infra-estrutura de transportes. Os autores acreditam que seu conteúdo possa ser também útil a engenheiros e a técnicos da área de pavimentação e, no aspecto de organização do conhecimento, a pós-graduandos.

A elaboração deste livro em muito assemelha-se à construção de uma estrada, e os autores o vêem como mais uma via na incessante busca de novos horizontes. Estradas preexistentes influenciam o traçado de novas rodovias, assim como a preexistência de diversos materiais bibliográficos contribuiu para o projeto deste livro. Os autores procuraram ao máximo trafegar por diversas referências, devidamente reconhecidas no texto, e estão cientes de que muitos outros caminhos precisam ser percorridos para uma viagem mais plena.

Como em qualquer projeto de engenharia, decisões foram tomadas com vistas à delimitação do trabalho. Foram enfocados tópicos julgados menos disponíveis na literatura técnica brasileira sobre materiais de pavimentação – principalmente no que se refere aos ligantes asfálticos e aos tipos e propriedades das misturas asfálticas –, técnicas executivas e de avaliação de desempenho, bem como as diretrizes para a restauração asfáltica de pavimentos. Esses assuntos foram considerados pelos autores de grande valia para a construção do conhecimento sobre pavimentação na academia. Os autores reconhecem a limitação do escopo deste livro e recomendam fortemente que os estudantes busquem bibliografia complementar que enriqueça seus conhecimentos, enveredando também pelos caminhos do projeto de dimensionamento das estruturas de pavimentos e de restaurações, da mecânica dos pavimentos, da geotecnia, do projeto de tráfego e de drenagem, das técnicas de controle tecnológico, da gerência de pavimentos etc. Todas essas áreas do saber afins à pavimentação dão embasamentos aos conceitos necessários para termos pavimentos rodoviários, aeroportuários e urbanos mais econômicos, com melhor desempenho e mais duráveis para cada situação.

Como toda obra de pavimentação, não faltou neste caso a consultoria e o controle de qualidade, exercidos com competência e elegância pelos colegas aqui reconhecidos por seus valiosos comentários e sugestões: Dra. Leni Figueiredo Mathias Leite

e Eng. Luis Alberto do Nascimento (Centro de Pesquisa da Petrobras), Eng. Ilonir Antonio Tonial (Petrobras Distribuidora), Eng. Armando Morilha Júnior (Abeda), Prof. Dr. Glauco Túlio Pessa Fabbri (Escola de Engenharia de São Carlos/Universidade de São Paulo), Prof. Sérgio Armando de Sá e Benevides (Universidade Federal do Ceará), Prof. Álvaro Vieira (Instituto Militar de Engenharia) e Eng. Alfredo Monteiro de Castro Neto (Desenvolvimento Rodoviário S.A.).

A experiência de escrever este livro a oito mãos foi deveras enriquecedora, construindo-o em camadas, com materiais convencionais e alternativos, cuidadosamente analisados, compatibilizando-se sempre as espessuras das camadas e a qualidade dos materiais. No livro, competências e disponibilidades de tempo foram devidamente dosadas entre os quatro autores. Um elemento presente foi o uso de textos anteriormente escritos pelos quatro autores em co-autoria com seus respectivos alunos e colegas de trabalho, sendo estes devidamente referenciados.

Por fim, tal qual uma estrada, por melhor que tenha sido o projeto e a execução, esta obra está sujeita a falhas, e o olhar atento dos pares ajudará a realizar a manutenção no momento apropriado. O avanço do conhecimento na fascinante área de pavimentação segue em alta velocidade e, portanto, alguns trechos da obra talvez mereçam restauração num futuro não distante. Novos trechos devem surgir. Aos autores e aos leitores cabe permanecer viajando nas mais diversas estradas, em busca de paisagens que ampliem o horizonte do conhecimento. Aqui, espera-se ter pavimentado mais uma via para servir de suporte a uma melhor compreensão da engenharia rodoviária. Que esta via estimule novas vias, da mesma forma que uma estrada possibilita a construção de outras tantas.

Os autores

NOTA IMPORTANTE: Os quatro autores participaram na seleção do conteúdo, na organização e na redação de todos os onze capítulos, e consideram suas respectivas contribuições ao livro equilibradas. A ordem relativa à co-autoria levou em consideração tão somente a coordenação da produção do livro.

3.1 INTRODUÇÃO

Este capítulo trata dos agregados utilizados em revestimentos asfálticos de pavimentos. Todos os revestimentos asfálticos constituem-se de associações de ligantes asfálticos, de agregados e, em alguns casos, de produtos complementares. Essas associações, quando executadas e aplicadas apropriadamente, devem originar estruturas duráveis em sua vida de serviço. Para que isso ocorra, deve-se conhecer e selecionar as propriedades que os agregados devem conter. São apresentados os conceitos básicos sobre agregados para que o engenheiro possa fazer uma escolha apropriada.

De acordo com a norma ABNT NBR 9935/2005, que determina a terminologia dos agregados, o termo agregado é definido como *material sem forma ou volume definido, geralmente inerte, de dimensões e propriedades adequadas para produção de argamassas e de concreto.*

Woods (1960) define agregado como sendo uma mistura de pedregulho, areia, pedra britada, escória ou outros materiais minerais usada em combinação com um ligante para formar um concreto, uma argamassa etc.

Para conhecer o desempenho potencial dos agregados, é importante considerar como são formados e o que aconteceu com eles desde então. Antes de serem utilizados em um revestimento asfáltico, é importante lembrar que eles já existem há milhões de anos (tempo geológico). Uma vez associados com ligantes asfálticos, como parte de uma estrutura de pavimento, seu desempenho deve ser considerado em termos de tempo em engenharia, que em obras de pavimentação é medido em anos ou décadas.

Os ensaios de laboratório e a experiência prática devem indicar como uma rocha que existe há milhões de anos irá se comportar durante sua vida de projeto em um pavimento. Esse é o objetivo dos ensaios de desempenho.

O agregado escolhido para uma determinada utilização deve apresentar propriedades de modo a suportar tensões impostas na superfície do pavimento e também em seu interior. O desempenho das partículas de agregado é dependente da maneira como são produzidas, mantidas unidas e das condições sob as quais vão atuar. A escolha é feita em laboratório onde uma série de ensaios é utilizada para a predição do seu comportamento posterior quando em serviço.

Agregado é um termo genérico para areias, pedregulhos e rochas minerais em seu estado natural ou britadas em seu estado processado. Há ainda de se considerar também os agregados artificiais como discutido mais adiante.

3.2 CLASSIFICAÇÃO DOS AGREGADOS

O nível de desempenho em serviço de um determinado agregado depende também das propriedades geológicas da rocha de origem. São importantes, portanto, informações sobre o tipo de rocha, sua composição mineralógica, sua composição química, sua granulagem, seu grau de alteração, sua tendência à degradação, abrasão ou fratura sob tráfego e o potencial de adesão do ligante asfáltico em sua superfície.

A variedade de agregados passíveis de utilização em revestimentos asfálticos é muito grande. Contudo, cada utilização em particular requer agregados com características específicas e isso inviabiliza muitas fontes potenciais.

Os agregados utilizados em pavimentação podem ser classificados em três grandes grupos, segundo sua (i) natureza, (ii) tamanho e (iii) distribuição dos grãos.

3.2.1 Quanto à natureza

Quanto à natureza, os agregados são classificados em: natural, artificial e reciclado.

Natural – Inclui todas as fontes de ocorrência natural e são obtidos por processos convencionais de desmonte, escavação e dragagem em depósitos continentais, marinhos, estuários e rios. São exemplos os pedregulhos, as britas, os seixos, as areias etc. Ou seja, os agregados naturais podem ser empregados em pavimentação na forma e tamanho como se encontram na natureza, ou podem ainda passar por processamentos como a britagem.

Os agregados provenientes de rochas naturais pertencem a um de quatro tipos principais, que são ígneos, sedimentares, metamórficos ou areias e pedregulhos:

- rochas ígneas são aquelas que se solidificaram de um estado líquido e apresentam composição química, granulagem, textura e modos de ocorrência muito variáveis. Alguns tipos são resultantes de esfriamento lento de grandes massas no interior da crosta terrestre, resultando, por exemplo, em granitos e dioritos de granulagem grossa. Outros tipos são extrusivos, provenientes de fluxos de lava para a superfície da Terra, resultando em rochas de granulagem fina, como os basaltos;
- rochas sedimentares são tipicamente formadas pelo intemperismo e erosão de rochas preexistentes, e seu resultado transportado pela ação da água, vento ou gelo. São caracterizadas por camadas estratificadas, originadas pelos processos de deposição. Elas podem ser formadas também por precipitação química de minerais dissolvidos em água, como é o caso do calcário;
- rochas metamórficas ocorrem como resultado de alteração por aquecimento, pressão ou atividade química de rochas ígneas ou sedimentares existentes e compõem um grupo bastante complexo de rochas;
- areias e pedregulhos são agregados naturais, provenientes das rochas de que são originários e dos processos de transporte sofridos antes da deposição.

Os agregados naturais são compostos por diferentes minerais, com composições variáveis. Mesmo com agregados de mineralogia uniforme, as suas propriedades podem ser alteradas pela oxidação, hidratação, lixiviação ou intemperismo. Entretanto, a mineralogia não pode produzir sozinha uma base para prever o comportamento de um agregado em serviço. Exames petrográficos são úteis, e o desempenho de agregados similares em obras existentes, sob condições ambientais e de carregamento semelhantes ajuda na avaliação dos agregados.

O quartzo e o feldspato são minerais duros e resistentes ao polimento e são normalmente encontrados em rochas ígneas, tais como granito e granito-gnaiss. Por outro lado a calcita e a dolomita que ocorrem no calcário são exemplos de minerais macios. O calcário tem uma alta porcentagem de materiais macios que tendem ao polimento mais rapidamente do que a maioria dos outros tipos de agregados.

A instrução de ensaio do DNER-IE 006/94 pode fornecer uma indicação da presença de minerais que podem dar às rochas uma tendência maior ou menor ao polimento quando usadas como agregados para fins rodoviários. Essa instrução de ensaio apresenta uma metodologia de análise petrográfica, tanto microscópica como macroscópica, de materiais rochosos empregados em rodovias.

A descrição microscópica deve ser feita através da análise em lâmina delgada que deverá indicar características como granulação, textura e estrutura, composição mineralógica, modos de ocorrência e minerais secundários. Também deve indicar o estado e o estágio de alteração dos minerais primários, os diferentes tipos de microfissuras e suas densidades, presença de vazios ou poros, natureza dos materiais, sílica na forma amorfa ou criptocristalina, vidros vulcânicos ricos em sílica, alumina livre, zeólitas, sulfetos e minerais argílicos do tipo expansivo.

A descrição macroscópica compreende a indicação de características gerais tais como cor, granulação, mineralogia, classificação genética sumária, textura, estrutura, alteração, coerência e grau de ocorrência.

A análise petrográfica pode ser uma análise visual das partículas individuais dos agregados usando um microscópio óptico, às vezes complementado por difração de raios X, análise térmica diferencial, microscopia eletrônica ou análises químicas. Pode ser usada para medir a quantidade relativa dos tipos de rochas e minerais, os atributos físicos e químicos (tais como forma da partícula, textura superficial, dureza, características de porosidade e atividade química), e a presença de contaminantes nocivos. Análises petrográficas mais detalhadas, como a de lâmina delgada, devem ser mais utilizadas na prática da pavimentação, uma vez que a quantidade de informações obtida é elevada e de grande importância.

Na Tabela 3.1 são apresentados os principais tipos de rochas utilizados como agregados.

TABELA 3.1 TIPOS DE ROCHAS COMUMENTE USADOS COMO FONTE DE AGREGADOS PARA PAVIMENTAÇÃO NO PAÍS

Denominação Petrológica	Descrição
Andesito	Variedade de diorito vulcânico, de granulação fina
Basalto	Rocha básica de granulação fina, usualmente vulcânica
Conglomerado	Rocha constituída de blocos arredondados ligados por cimento natural
Diorito	Rocha plutônica intermediária, constituída de plagioclásio com hornblenda, augita ou biotita
Gabro	Rocha plutônica básica de granulação grossa, constituída de plagioclásio cálcico e piroxênio, algumas vezes com olivina
Gnaisse	Rocha riscada, produzida por condição metamórfica intensa
Granito	Rocha plutônica ácida, constituída principalmente de feldspatos alcalinos e quartzo
Calcário	Rocha sedimentar, constituída principalmente de carbonato de cálcio
Quartzito	Rocha metamórfica ou sedimentar constituída quase que totalmente por grãos de quartzo
Riolito	Rocha ácida, de granulação fina, usualmente vulcânica
Sienito	Rocha plutônica intermediária, constituída de feldspatos alcalinos com plagioclásios, hornblenda, biotita ou augita
Traquito	Variedade de sienito de granulação fina, usualmente vulcânico

As rochas ígneas são também classificadas segundo a quantidade de sílica presente, conforme a Tabela 3.2. O sentido dos termos ácido e básico não corresponde ao utilizado na química, mas está relacionado à carga elétrica superficial das partículas do agregado.

Os minerais nas partículas de agregados apresentam seus átomos dispostos em uma rede cristalina, onde os átomos da superfície exercem atração sobre átomos de gases, líquidos ou sólidos que com ela tenham contato, promovendo a adsorção química. Essa adsorção é o principal fator na adesividade entre o agregado e os ligantes asfálticos.

A maioria dos agregados silicosos tais como arenito, quartzo e cascalho torna-se negativamente carregada na presença de água, enquanto materiais calcários conduzem carga positiva na presença de água.

Muitos agregados contêm ambas as cargas porque são compostos de minerais tais como sílica com carga negativa e também cálcio, magnésio, alumínio ou ferro com carga positiva. Agregados típicos que apresentam essa condição incluem basaltos e calcários silicosos. A dolomita é um exemplo de caso extremo de agregado eletropositivo e o quartzito um exemplo de agregado eletronegativo.

Os agregados de rochas classificadas como ácidas costumam apresentar problemas de adesividade, enquanto os de rochas classificadas como básicas costumam apresentar melhor adesividade ao ligante asfáltico.

TABELA 3.2 CLASSIFICAÇÃO DE ROCHAS QUANTO AO TEOR DE SÍLICA PRESENTE (METSO MINERALS, 2005)

Classificação	% Sílica	Quartzo	Exemplo
Ácida	> 65	Presente	Granito, riolito, quartzito
Neutra	52 a 65	Pouco ou inexistente	Sienito, diorito
Básica	45 a 52	Raríssimo	Basalto, gabro
Ultrabásica	< 45	Inexistente, feldspato escasso	Piroxenito

Em algumas regiões do país onde existe falta de material rochoso, um dos principais materiais alternativos utilizados na construção rodoviária são as concreções lateríticas, obtidas por peneiramento e, às vezes, complementadas por lavagem.

Conforme Guimarães e Motta (2000), denomina-se no meio rodoviário brasileiro de laterita a um solo concrecionado enriquecido com óxidos hidratados de ferro ou alumínio, tendo a caulinita como argilo-mineral predominante, com coloração vermelha, amarela, marrom ou alaranjada. Nogami e Villibor (1995) citam que as lateritas contêm também freqüentemente a magnetita, a ilmenita, a hematita e, sobretudo, o quartzo; e ainda alertam para um dos problemas da laterita que é a grande variação de propriedades, o que dificulta a previsão de comportamento.

Em misturas asfálticas, empregam-se preferencialmente as lateritas lavadas, resultantes do processo de separação dos agregados graúdos desse material, maiores que 4,8mm. O processo de lavagem da laterita é semelhante ao processo de extração de areia dos rios. Em vez de se dragar o fundo do rio, draga-se um tanque onde a laterita bruta é previamente depositada por caminhões basculantes. Após ser depositada, a laterita sofre uma pré-lavagem com mangueiras de pressão e o material é em seguida dragado do fundo do tanque através de tubos, sendo conduzido a um peneirador, onde a granulometria desejada é obtida.

Artificial – São resíduos de processos industriais, tais como a escória de alto-forno e de aciaria, ou fabricados especificamente com o objetivo de alto desempenho, como a argila calcinada (Cabral, 2005) e a argila expandida. O tipo de agregado artificial atualmente mais utilizado em pavimentação são os vários tipos de escórias, subprodutos da indústria do aço. Elas podem apresentar problemas de expansibilidade e heterogeneidade, requerendo tratamento adequado para utilização, porém podem apresentar alta resistência ao atrito.

Reciclado – Nessa categoria estão os provenientes de reuso de materiais diversos. A reciclagem de revestimentos asfálticos existentes vem crescendo significativamente em importância e em alguns países já é a fonte principal de agregados. A possibilidade de utilização de agregados reciclados vem crescendo em interesse por restrições ambientais na

exploração de agregados naturais e pelo desenvolvimento de técnicas de reciclagem que possibilitam a produção de materiais reciclados dentro de determinadas especificações existentes para utilização. Destaca-se também a utilização crescente de resíduo de construção civil em locais com ausência de agregados pétreos ou mesmo em áreas urbanas que possuam pedreiras, como forma de reduzir os problemas ambientais de disposição destes resíduos (Fernandes, 2004).

3.2.2 Quanto ao tamanho

Os agregados são classificados quanto ao tamanho, para uso em misturas asfálticas, em graúdo, miúdo e material de enchimento ou fíler (DNIT 031/2004 – ES):

- *graúdo* – é o material com dimensões maiores do que 2,0mm, ou seja, retido na peneira nº 10. São as britas, cascalhos, seixos etc.;
- *miúdo* – é o material com dimensões maiores que 0,075mm e menores que 2,0mm. É o material que é retido na peneira de nº 200, mas que passa na de abertura nº 10. São as areias, o pó de pedra etc.;
- *material de enchimento (fíler)* – é o material onde pelo menos 65% das partículas é menor que 0,075mm, correspondente à peneira de nº 200, e.g., cal hidratada, cimento Portland etc.

O tamanho máximo do agregado em misturas asfálticas para revestimentos pode afetar essas misturas de várias formas. Pode tornar instáveis misturas asfálticas com agregados de tamanho máximo excessivamente pequeno e prejudicar a trabalhabilidade e/ou provocar segregação em misturas asfálticas com agregados de tamanho máximo excessivamente grande. A norma ASTM C 125 define o tamanho máximo do agregado em uma de duas formas:

- *tamanho máximo* – é a menor abertura de malha de peneira através da qual passam 100% das partículas da amostra de agregado. Na metodologia SHRP-Superpave o tamanho máximo do agregado é definido como a abertura de malha imediatamente maior do que a correspondente ao tamanho nominal máximo;
- *tamanho nominal máximo* – é a maior abertura de malha de peneira que retém alguma partícula de agregado, mas não mais de 10% em peso. Na metodologia SHRP-Superpave o tamanho nominal máximo é definido como a abertura de malha de peneira imediatamente maior do que a da primeira peneira a reter mais de 10% do material.

O material passante na peneira de nº 200 vem sendo designado como pó (*dust* em inglês) (Motta e Leite, 2000) para distingui-lo da definição do DNIT de fíler. Essa distinção está relacionada à possível incorporação de parcela dos finos no ligante em uma mistura asfáltica. Na metodologia SHRP-Superpave há inclusive limites para a relação pó/teor de ligante, como será visto no Capítulo 5.

Quando a porcentagem de pó aumenta, reduzem-se os vazios do esqueleto mineral e aumenta-se a trabalhabilidade da mistura asfáltica até certo ponto. Acima de um deter-

minado teor, o pó começa a prejudicar a trabalhabilidade bem como a estabilidade do esqueleto mineral, diminuindo os contatos entre as partículas grossas, alterando também a capacidade de compactação da mistura.

Se a maior parte do pó tiver partículas maiores que 0,040mm, elas vão atuar como preenchedoras dos vazios do esqueleto mineral. As partículas menores do que 0,020mm atuarão no ligante asfáltico, incorporando-se a este e compondo um filme de ligante, denominado mástique, que envolverá as partículas maiores de agregado.

3.2.3 Quanto à distribuição dos grãos

A distribuição granulométrica dos agregados é uma de suas principais características e efetivamente influi no comportamento dos revestimentos asfálticos. Em misturas asfálticas a distribuição granulométrica do agregado influencia quase todas as propriedades importantes incluindo rigidez, estabilidade, durabilidade, permeabilidade, trabalhabilidade, resistência à fadiga e à deformação permanente, resistência ao dano por umidade induzida etc. (ver no Capítulo 6).

A distribuição granulométrica dos agregados é determinada usualmente por meio de uma análise por peneiramento. Nessa análise uma amostra seca de agregado é fracionada através de uma série de peneiras com aberturas de malha progressivamente menores, conforme ilustrado na Figura 3.1. Uma vez que a massa da fração de partículas retida em cada peneira é determinada e comparada com a massa total da amostra, a distribuição é expressa como porcentagem em massa em cada tamanho de malha de peneira.

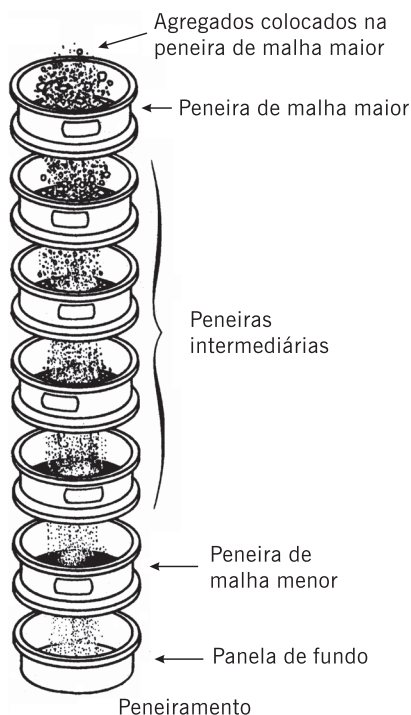


Figura 3.1 Ilustração da análise por peneiramento

De acordo com a norma DNER-ME 035/95 os tamanhos de peneiras a serem usadas na análise granulométrica são os mostrados na Tabela 3.3. Porém, nem todos os tamanhos são necessariamente usados em cada especificação. Ressalta-se que, embora a referida norma não cite a peneira de abertura 12,5mm, esta é muito utilizada nos projetos de misturas asfálticas.

TABELA 3.3 DIMENSÕES NOMINAIS DAS PENEIRAS SEGUNDO O DNER-ME 035/95

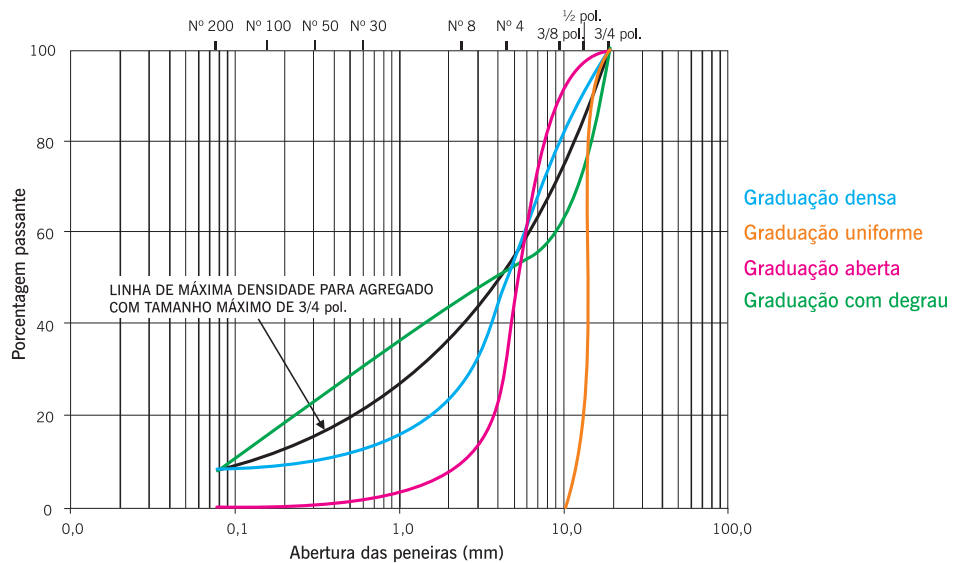
Dão da Peneira		Abertura da Peneira	
Padrão	Número	Milímetros	Polegadas
75,0mm		75,0	3,0
50,0mm		50,0	2,0
37,5mm		37,5	1,5
25,0mm		25,0	1,0
19,0mm		19,0	0,75
9,5mm		9,5	0,375
4,75mm	4	4,75	0,187
2,36mm	8	2,36	0,0937
2,00mm	10	2,00	0,0789
1,18mm	16	1,18	0,0469
600µm	30	0,600	0,0234
425µm	40	0,425	0,0168
300µm	50	0,300	0,0117
150µm	100	0,150	0,0059
75µm	200	0,075	0,0029

A norma DNER-ME 083/98 descreve o procedimento de análise por peneiramento. Os resultados são expressos na forma de tabelas ou gráficos como indicado na Figura 3.2(a). A metodologia SHRP-Superpave utiliza uma outra forma de apresentar a distribuição granulométrica na qual a porcentagem de agregados passante em uma certa malha de peneira está no eixo y e o tamanho da malha elevado a uma potência n (normalmente $n=0,45$) como unidade no eixo x – Figura 3.2(b). Nesse caso, a distribuição granulométrica com densidade máxima aparece como uma linha reta iniciando-se em zero e se desenvolvendo até o tamanho máximo.

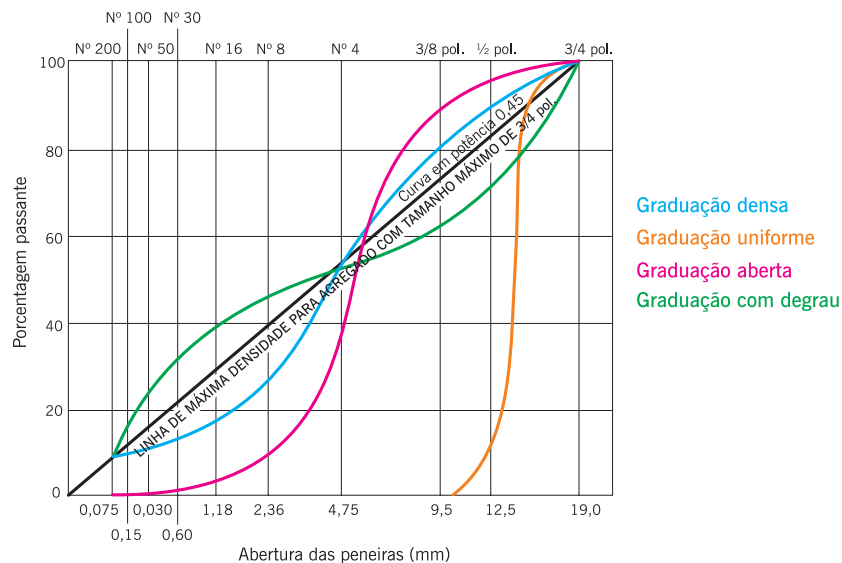
Uma vez que a distribuição granulométrica dos agregados é uma de suas mais importantes características físicas, a subdivisão da graduação em algumas classes auxilia na distinção de tipos de misturas asfálticas, que serão abordadas no Capítulo 4. A seguir são denominadas as mais importantes graduações, ilustradas na Figura 3.2:

- agregado de graduação **densa** ou **bem-graduada** é aquele que apresenta distribuição granulométrica contínua, próxima à de densidade máxima;
- agregado de graduação **aberta** é aquele que apresenta distribuição granulométrica contínua, mas com insuficiência de material fino (menor que 0,075mm) para preencher os vazios entre as partículas maiores, resultando em maior volume de vazios. Nas frações de menor tamanho a curva granulométrica é abatida e próxima de zero;

- agregado de graduação **uniforme** é aquele que apresenta a maioria de suas partículas com tamanhos em uma faixa bastante estreita. A curva granulométrica é bastante íngreme;
- agregado com graduação com degrau ou **descontínua** é aquele que apresenta pequena porcentagem de agregados com tamanhos intermediários, formando um patamar na curva granulométrica correspondente às frações intermediárias. São agregados que devem ser adequadamente trabalhados quando em misturas asfálticas, pois são muito sensíveis à segregação.



(a) Representação convencional de curvas granulométricas



(b) Representação de curvas granulométricas pelo SHRP-Superpave

Figura 3.2 Graduações típicas de agregados

Em função de seu preparo, algumas frações de agregados obtidos por britagem recebem denominações específicas, regionais, na prática da pavimentação, tais como: brita corrida, pedrisco, granilha etc.

3.3 PRODUÇÃO DE AGREGADOS BRITADOS

As características físicas dos agregados como resistência, abrasão e dureza são determinadas pela rocha de origem. Entretanto, o processo de produção nas pedreiras pode afetar significativamente a qualidade dos agregados, pela eliminação das camadas mais fracas da rocha e pelo efeito da britagem na forma da partícula e na graduação do agregado (Marques, 2001).

Normalmente nas pedreiras existe uma camada de solo e de rocha alterada sobrejacentes que devem ser removidas antes que a rocha sã seja encontrada. Essa parte superficial e não-aproveitável na produção de britas é designada como “estéril”.

3.3.1 Operação de britagem

O propósito básico da exploração de uma pedreira é o desmonte da rocha sã por meio de explosivos e, utilizando uma série de britadores e outras unidades, reduzir o material de modo a produzir os agregados utilizáveis na execução de um pavimento. Também é desejável produzir agregado britado que tenha formato cúbico e não achatado ou alongado. Segundo Roberts *et al.* (1996) as unidades de britagem são escolhidas para atender os seguintes objetivos:

- reduzir os tamanhos dos blocos de rocha;
- produzir formas e tamanhos desejados de agregados;
- ter capacidade compatível com as cargas envolvidas para permitir seu manuseio;
- minimizar a ocorrência de entupimentos e colmatação nas unidades durante a operação;
- requerer um mínimo de pessoal;
- satisfazer exigências de britagem sem a necessidade de estágios de britagem adicionais e equipamentos auxiliares;
- minimizar a demanda de energia por tonelada de agregado produzida;
- não haver desgaste excessivo dos componentes metálicos;
- operar economicamente com um mínimo de manutenção; e
- permitir uma vida de serviço longa.

A Figura 3.3 mostra o esquema do processo de operação em uma instalação de britagem que usa um britador de mandíbula como britador primário e um britador de cone como secundário.

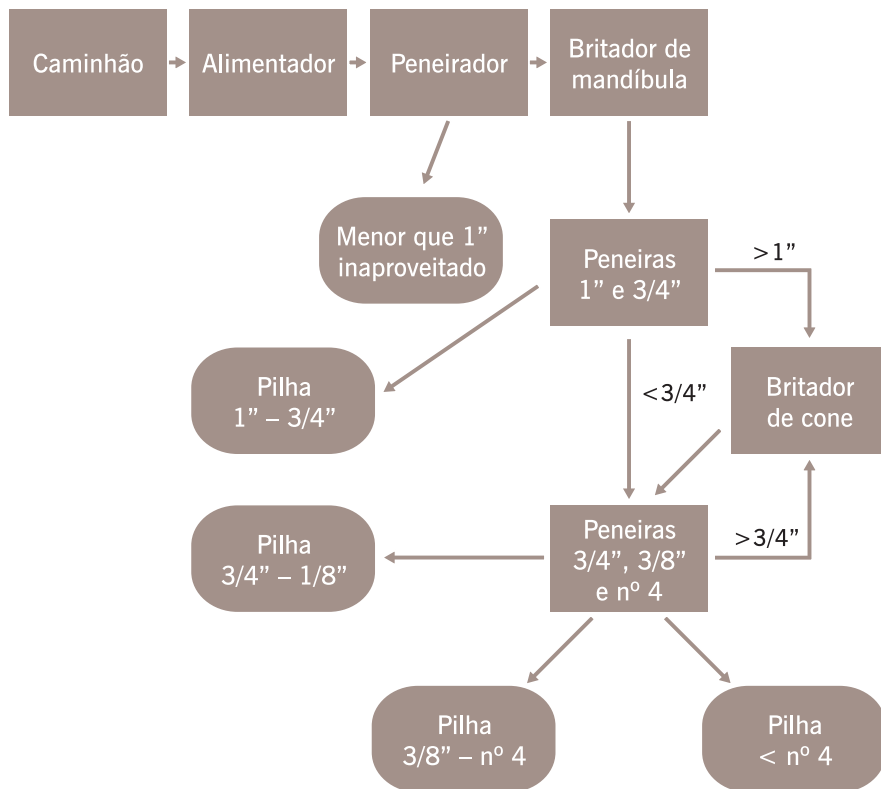


Figura 3.3 Esquema simplificado do processo de britagem (Roberts et al., 1996)

A rocha após seu desmonte é transportada para o britador por um caminhão, conforme mostrado na Figura 3.4. O material mais fraco normalmente se quebra em pequenos pedaços que são removidos antes da britagem. A operação de britagem pode ser descrita de forma simplificada como segue. O britador de mandíbula (primário) quebra a rocha em tamanhos que possam ser trabalhados pelos outros britadores. A Figura 3.5 mostra um exemplo de britador primário. Após a britagem primária, os agregados são selecionados em vários tamanhos por peneiramento. O material maior que 1" (25,4mm) é colocado no britador de cone para britagem adicional. O material menor que 1" e maior que 3/4" (19mm) é estocado. O material menor que 3/4" é levado para um segundo peneirador para separações futuras. O material maior que 3/4" retorna ao britador de cone para nova britagem. O material menor que 3/4" é peneirado e estocado em três pilhas separadas: material entre 3/4" e 3/8" (9,5mm), entre 3/8" e nº 4 (4,8mm), e menor que 4,8mm. A maioria das operações nas instalações de britagem apresenta maior complexidade que a descrita, ou apresenta procedimentos diferentes, porém a operação é sempre feita com britadores e peneiradores. Outras centrais apresentam a capacidade de lavar os agregados em certos pontos da operação (Marques, 2001). A Figura 3.6 mostra uma vista geral de uma instalação de britagem.

Durante a operação de britagem é essencial que as propriedades do produto final sejam homogêneas. Quando a rocha é removida de várias localizações na pedreira, as

propriedades físicas dos agregados podem variar substancialmente. O controle de qualidade durante as operações de britagem deve assegurar que as propriedades físicas dos agregados não variem excessivamente. O ideal é que a quantidade de material que alimenta as operações de britagem seja aproximadamente constante. O aumento da vazão de fluxo de material nos britadores, normalmente resulta em mais transbordamento de agregado mais fino sobre as peneiras. Esse excesso resulta em um estoque de material mais fino.

O britador primário produz uma redução mecânica inicial de 8" (200mm) para 1" (25,4mm). Os britadores secundário e terciário reduzem os agregados até o tamanho desejado.



Figura 3.4 Carregamento de um caminhão na pedreira



(a) Vista superior



(b) Vista lateral

Figura 3.5 Exemplo de britador primário



Figura 3.6 Vista geral de uma instalação de britagem

3.3.2 Tipos de britadores

A redução mecânica envolve quatro diferentes mecanismos: impacto, desgaste por atrito, cisalhamento e compressão.

O impacto se refere à colisão instantânea de um objeto contra outro. A maioria dos britadores usa o impacto como um dos mecanismos para redução de tamanho, conforme visto na Figura 3.7. O impacto pode ser por gravidade ou dinâmico.

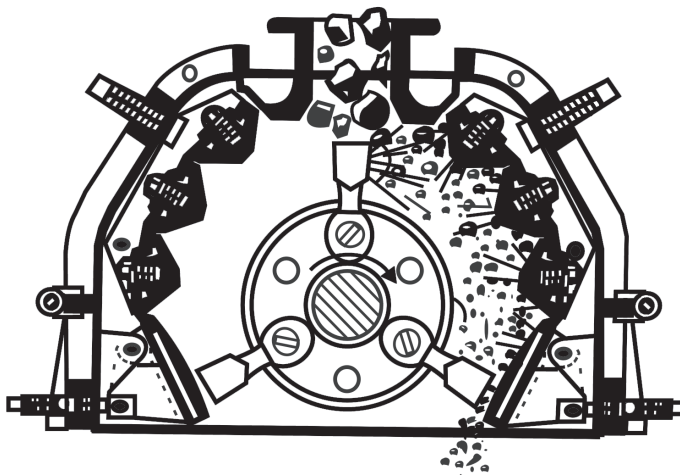


Figura 3.7 Redução mecânica por impacto (Roberts *et al.*, 1996)

No desgaste por atrito ocorre a trituração do material por uma ação de desgaste entre duas superfícies duras, como pode ser visto na Figura 3.8. Os martelos de tritar, os britadores giratórios e os de cones usam esse tipo de método de redução.

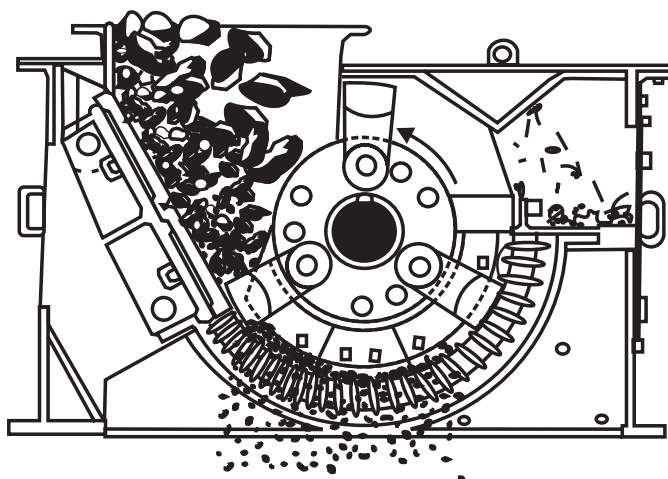


Figura 3.8 Redução mecânica combinando impacto e desgaste por atrito
(Roberts *et al.*, 1996)

O cisalhamento ocorre pela ação de um aparador ou talhador tal como aquele produzido por um simples rolo triturador, de acordo com a Figura 3.9. É normalmente usado em combinação com impacto e compressão.

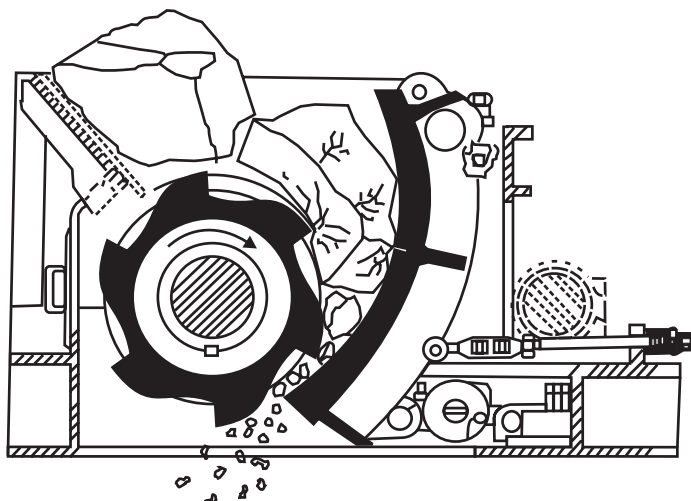


Figura 3.9 Redução mecânica combinando impacto, cisalhamento e compressão
(Roberts *et al.*, 1996)

A compressão refere-se à redução mecânica por forças compressivas entre duas superfícies. Britadores de mandíbula usando compressão são os mais efetivos sistemas para reduzir o tamanho de partículas maiores de rochas muito duras e abrasivas (Figura 3.10). O tipo de rocha a ser processada tem uma influência significativa na escolha do equipamento de britagem a ser usado.

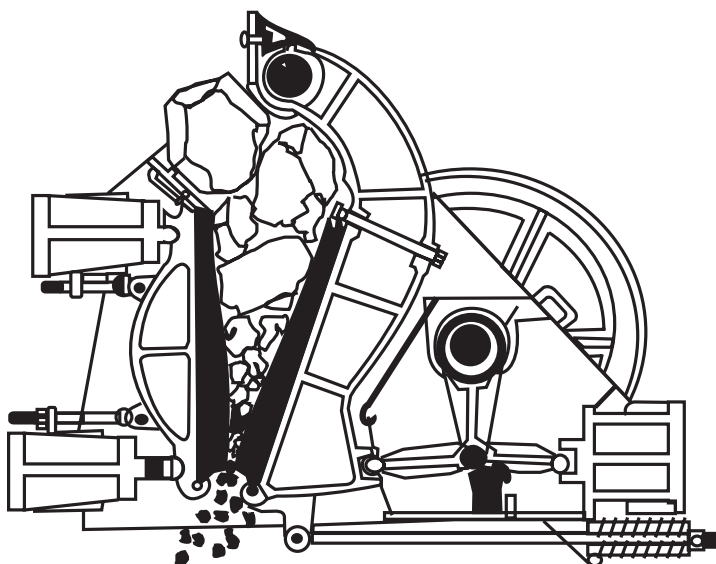


Figura 3.10 Redução mecânica por compressão e impacto em um britador de mandíbula que brita sem atrito (Roberts *et al.*, 1996)

3.4 CARACTERÍSTICAS TECNOLÓGICAS IMPORTANTES DOS AGREGADOS PARA PAVIMENTAÇÃO ASFÁLTICA

Os revestimentos asfálticos modernos constituem um material composto formado por agregados de vários tamanhos e proporções mantidos unidos por um ligante asfáltico. Seu nível de desempenho será tanto melhor quanto maior for o entendimento de como seus constituintes reagem juntos sob as condições prevalentes em um pavimento. Existe uma elaborada série de fatores que atuam conjuntamente para produzir uma estrutura com desempenho adequado.

A seleção de agregados para utilização em revestimentos asfálticos depende de sua disponibilidade, custo e qualidade, bem como do tipo de aplicação. Segundo Roberts *et al.* (1996) são as propriedades físicas dos agregados que determinam principalmente a adequação para o uso em misturas asfálticas e em menor extensão as propriedades químicas. São propriedades físicas e mecânicas básicas: a resistência, a porosidade e a densidade. Propriedades físico-químicas tais como umidade, adesividade e, em consequência, descolamento da película de asfalto são função da composição e da estrutura dos minerais no agregado, entre outros fatores. As propriedades químicas dos agregados têm pequeno efeito no seu desempenho, exceto quando afetam a adesividade do ligante asfáltico ao agregado e a compatibilidade com aditivos antidescolamento que podem ser incorporados ao ligante asfáltico.

Uma compreensão da mineralogia e identificação de minerais pode produzir informações sobre propriedades físicas e químicas potenciais de um agregado para um determi-

nado uso, e pode ajudar a evitar o uso de um agregado que tenha constituintes minerais nocivos. A aceitação dos agregados é definida pela análise de determinadas características, devendo-se proceder previamente à coleta de amostras de forma adequada.

Amostras de agregados são normalmente tomadas em pilhas de estocagem, correias transportadoras, silos quentes (Capítulo 8) ou às vezes de caminhões carregados. Os técnicos responsáveis pela amostragem devem evitar a coleta de material que esteja segregado, quando obtido de pilhas de estocagem, caminhões ou silos. O melhor local para obter uma amostra é de uma correia transportadora. A largura total de fluxo na correia deve ser amostrada, uma vez que o agregado também segrega na correia (Marques, 2001).

Uma amostra representativa é formada pela combinação de um número de amostras aleatórias obtidas em um período de tempo (um dia para amostras em correias) ou tomando amostras de várias locações em pilhas de estocagem e combinando essas amostras. As amostras devem ser tomadas atentando-se para o efeito da segregação nas pilhas de estocagem. O agregado no fundo das pilhas é usualmente mais graúdo. O método mais utilizado para amostragem em uma pilha é escalar seu lado, entre o fundo e a ponta, remover uma camada superficial e obter uma amostra debaixo dessa superfície (Marques, 2001).

A norma DNER-PRO 120/97 fixa as exigências para amostragem de agregados em campo. É indicado o material necessário para coleta de amostras (pá, enxada, lona, caixa de madeira, vassoura, etiqueta), as quantidades de amostras de agregados graúdos e miúdos para a realização de ensaios de caracterização e mecânicos, assim como os procedimentos de coleta. São abordados os procedimentos de amostragem em silos, em pilhas de estocagem, em material espalhado na pista e em veículos. São descritos também as formas de embalagem e os itens de identificação da amostra (natureza, procedência, qualidade, data, local de coleta, responsável, finalidade etc.).

Depois de tomadas as quantidades requeridas e levadas ao laboratório, cada amostra deve ser reduzida para o tamanho apropriado aos ensaios específicos, podendo-se usar para isso um separador ou proceder a um quarteamento.

A norma ASTM C 702 descreve três métodos para reduzir amostras de agregados a tamanhos apropriados para ensaios aplicando técnicas cujos objetivos são minimizar as variações nas características medidas entre as amostras testadas e a amostra original.

A norma DNER-PRO 199/96 fixa as condições exigíveis na redução de uma amostra de agregado formada no campo para ensaios de laboratório, onde são indicados vários procedimentos para reduzir amostras de agregados.

Um dos procedimentos utiliza um separador mecânico que consiste de um aparelho com várias calhas de igual largura. O número de calhas pode variar de 8 (agregados graúdos) a 20 (agregados miúdos) que descarregam alternativamente em cada lado do separador. A Figura 3.11 mostra um separador mecânico de amostras. Consiste em se colocar a amostra original em uma bandeja e distribuir uniformemente sobre as calhas do separador, de tal forma que quando o material é introduzido nas calhas, uma quan-

tidade aproximadamente igual deve fluir na parte inferior da calha. O material que for caindo em cada um dos receptáculos inferiores deverá ser reintroduzido na parte superior das calhas tantas vezes quantas forem necessárias até reduzir a amostra original ao tamanho especificado pelo método de ensaio em questão. Deve-se reservar o material contido no outro receptáculo para redução de amostras para outros ensaios, quando forem requeridos.



Figura 3.11 Equipamento separador mecânico de amostras

(Foto: Marconi Equip. Ltda.)

Outro procedimento é chamado de quarteamento. Consiste em se misturar a amostra original manualmente com uma pá sobre uma superfície limpa e plana formando uma pilha de formato cônico. Logo em seguida o cone é achatado formando um círculo com espessura constante. Esse círculo é então dividido em quatro quartos iguais. Removem-se dois quartos opostos de material, conforme a Figura 3.12. Os outros dois quartos opostos que sobraram são reunidos e um novo quarteamento é feito da mesma forma como descrito até aqui. Essa operação é repetida até se obter a quantidade necessária requerida pelo ensaio a realizar. Uma alternativa a esse procedimento é utilizar uma lona para depositar o material, quando a superfície do terreno for irregular.

São descritas a seguir as características que são analisadas para aceitação de agregados para misturas asfálticas segundo a maioria das especificações e especialmente as do DNER/DNIT.

3.4.1 Tamanho e graduação

O tamanho máximo do agregado e sua graduação são controlados por especificações que prescrevem a distribuição granulométrica a ser usada para uma determinada aplicação. Por exemplo, a espessura mínima de execução de uma camada de concreto asfáltico determina diretamente o tamanho máximo do agregado usado nessa mistura asfáltica.



(a) Achatamento de cone formando um círculo com espessura constante



(b) Divisão em quatro quartos iguais



(c) Vista dos quatro quartos iguais



(d) Remoção de dois quartos opostos

Figura 3.12 Redução de amostra de agregado por quarteamento manual

(Fotos: Marques, 2001)

A distribuição granulométrica assegura a estabilidade da camada de revestimento asfáltico, por estar relacionada ao entrosamento entre as partículas e o conseqüente atrito entre elas.

3.4.2 Limpeza

Alguns agregados contêm certos materiais que os tornam impróprios para utilização em revestimentos asfálticos, a menos que a quantidade desses materiais seja pequena. São materiais deletérios típicos tais como: vegetação, conchas e grumos de argila presentes sobre a superfície das partículas do agregado graúdo. As especificações de serviço apresentam limites aceitáveis para a presença desses materiais. A limpeza dos agregados pode ser verificada visualmente, mas uma análise granulométrica com lavagem é mais eficiente.

O ensaio de equivalente de areia, descrito na norma DNER-ME 054/97, determina a proporção relativa de materiais do tipo argila ou pó em amostras de agregados miúdos. Nesse ensaio, uma amostra de agregado, com tamanhos de partículas menores do que 4,8mm medida em volume numa cápsula padrão, é colocada em uma proveta contendo

uma solução de cloreto de cálcio-glicerina-formaldeído e mantida em repouso por 20 minutos. Em seguida o conjunto é agitado por 30 segundos e, após completar a proveta com a solução até um nível predeterminado, deixado em repouso por mais 20 minutos, conforme mostrado na Figura 3.13. Após esse período, é determinada a altura de material floculado em suspensão (h_1). Com um bastão padronizado que é introduzido na proveta, é determinada a altura de agregado depositado por sedimentação (h_2).

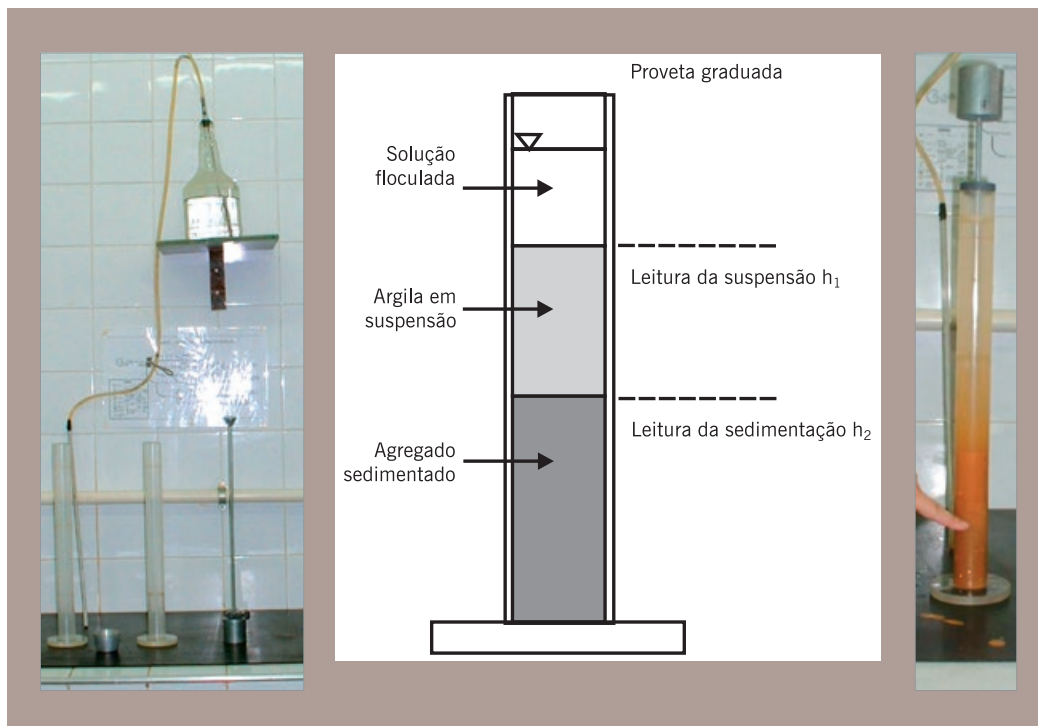


Figura 3.13 Equipamentos para o ensaio de equivalente de areia e esquema da proveta com os materiais depositados para a leitura final

O equivalente de areia (EA) é determinado pela expressão 3.1:

$$EA = \frac{h_2}{h_1} \times 100 \quad (3.1)$$

Por exemplo, para que um agregado possa ser utilizado em concreto asfáltico, o equivalente de areia deve ser de pelo menos 55%.

3.4.3 Resistência à abrasão

Durante o processo de manuseio e execução de revestimentos asfálticos, os agregados estão sujeitos a quebras e abrasão. A abrasão ocorre também durante a ação do tráfego. Eles devem apresentar habilidade para resistir a quebras, degradação e desintegração.

Agregados localizados próximos ou na superfície do pavimento devem apresentar resistência à abrasão maior do que os localizados nas camadas inferiores.

A tenacidade e resistência abrasiva são tratadas por algumas normas brasileiras, mesmo que indiretamente, através das metodologias citadas a seguir. Nesses ensaios, os agregados são submetidos a algum tipo de degradação mecânica e medida a alteração provocada, principalmente na granulometria original, ao final da degradação. Dessa forma as características de tenacidade, resistência abrasiva e até mesmo de dureza dos agregados são presumidamente avaliadas (Marques, 2001). Em virtude das características de procedimentos serem semelhantes nesses ensaios, foram assim agrupados:

- DNER-ME 035/98 Agregados – determinação da abrasão Los Angeles.
- DNER-ME 197/97 Agregados – determinação da resistência ao esmagamento de agregados graúdos.
- DNER-ME 096/98 Agregado graúdo – avaliação da resistência mecânica pelo método dos 10% de finos.
- DNER-ME 397/99 Agregados – determinação do índice de degradação Washington – IDW.
- DNER-ME 398/99 Agregados – determinação do índice de degradação após compactação Proctor IDP.
- DNER-ME 399/99 Agregados – determinação da perda ao choque no aparelho Treton.
- DNER-ME 401/99 Agregados – determinação do índice de degradação de rochas após compactação Marshall, com ligante – IDML e sem ligante – IDM.

O ensaio comumente utilizado para medir a resistência à abrasão é o ensaio de abrasão Los Angeles. Nesse ensaio uma amostra de agregado de cerca de 5.000g (m_i) é submetida a 500 ou 1.000 revoluções no interior do cilindro de um equipamento padronizado (Figura 3.14). Um número variado de esferas de aço, conforme a granulometria da amostra, é adicionado no cilindro, induzindo impactos nas partículas durante as suas revoluções. O resultado é avaliado pela redução de massa dos agregados retidos na peneira de nº 12 (1,7mm) em relação à massa inicial da amostra especificada, conforme a expressão 3.2:

$$LA = \frac{m_i - m_f}{m_i} \times 100 \quad (3.2)$$

Os equipamentos e o procedimento são detalhados nas normas DNER-ME 035/98 para agregados pétreos e DNER-ME 222/94 para agregados sintéticos fabricados com argila. Os limites de aceitação para a abrasão Los Angeles dependem do tipo de aplicação do agregado e das exigências dos órgãos viários. Em revestimentos asfálticos, é desejável uma resistência ao desgaste relativamente alta, indicada por uma baixa abrasão no ensaio de abrasão Los Angeles. As especificações brasileiras que envolvem o uso de

agregados em camadas de base e revestimento de pavimentos, normalmente limitam o valor da abrasão Los Angeles (LA) entre 40 e 55%.

Agregados de algumas regiões do país, como por exemplo a região do município do Rio de Janeiro, apresentam o valor da abrasão Los Angeles muito acima de 55%, em alguns casos, chegando a 65%. Devido à impossibilidade de se encontrar agregados com esse parâmetro atendido nas proximidades da obra, muitas rodovias foram pavimentadas usando-se os agregados da região, embora estivessem em desacordo com a especificação vigente, mas com a autorização do DNER ou órgão regional competente para tal procedimento (Marques, 2001).



Figura 3.14 Equipamento para ensaio de abrasão Los Angeles

Em virtude dessa experiência e de outras em que agregados com abrasão Los Angeles acima do limite superior foram usados e o desempenho ao longo dos anos mostrou-se satisfatório quanto a esse parâmetro, o DNER passou a recomendar a execução de outros ensaios a serem conduzidos nos agregados que apresentassem o valor de abrasão Los Angeles acima do limite superior especificado. A indicação desses ensaios assim como valores limites a serem adotados para os mesmos foram sugeridos em pesquisa do IPR-DNER (IPR, 1998). Esses ensaios são os seguintes: DNER-ME 397/99, DNER-ME 398/99, DNER-ME 399/99, DNER-ME 400/99 e DNER-ME 401/99.

A norma DNER-ME 197/97 avalia o desempenho do material ao desgaste pelo atrito interno simulando no ensaio a compressão imposta pelos rolos compactadores durante a construção ou posteriormente, no próprio pavimento construído, sob ação do tráfego. O agregado, previamente peneirado e seco, é compactado por meio de um soquete, em três camadas com 25 golpes em cada. Em seguida determina-se a massa do corpo-de-prova (M). Ele deve ser submetido a uma carga uniforme de 400kN à razão de 40kN por minuto. Após esse carregamento, o corpo-de-prova é retirado e o material é peneirado na peneira

2,4mm. O material retido nessa peneira é determinado (M_f). A resistência do agregado ao esmagamento (R) é determinada pela expressão 3.3:

$$R = \frac{(M - M_f)}{M} \times 100 \quad (3.3)$$

O procedimento descrito na norma DNER-ME 096/98 é semelhante ao anterior e consiste em se medir a força necessária para que um êmbolo atinja uma determinada penetração no corpo-de-prova, que varia dependendo da natureza da amostra.

A norma DNER-ME 397/99 apresenta um método para determinar o índice de degradação Washington (IDW), em amostra de rocha britada obedecendo a uma faixa granulométrica padronizada entre as peneiras de 12,7mm (1/2") e 2,0mm (nº 10).

O material a ensaiar deve ser britado até passar na peneira de 12,7mm. Em seguida é lavado sobre a peneira de 2,0mm e seco em estufa até constância de massa. Separa-se 500g de material que passe na peneira de 12,7mm e fique retido na peneira de 6,4mm, e 500g de material que passe na peneira de 6,4mm e fique retido na peneira de 2,0mm. A amostra é então colocada em recipiente de plástico, juntamente com 200cm³ de água, tampado hermeticamente e colocado em um peneirador motorizado para promover agitação mecânica com 300 ± 5 oscilações por minuto por 20 minutos. Após a agitação, despeja-se a amostra e água sobre uma peneira de 2,0mm, sobreposta à peneira de 0,075mm (nº 200) e ambas colocadas sobre um funil sobre uma proveta graduada de 500ml. Lavam-se os agregados com água até que a marca de 500ml na proveta seja atingida pela água.

Coloca-se em uma proveta 7ml de uma solução previamente preparada (cloreto de cálcio anidro, glicerina e solução de formaldeído a 40% em volume). Na proveta graduada, faz-se com que o material retido na peneira nº 200 e a água de lavagem fiquem em suspensão, tampando a proveta com a mão e virando-a de cabeça para baixo e para cima, cerca de 10 vezes. Em seguida, despeja-se o líquido na proveta de equivalente de areia até a marca de 15" (381mm) e tampa-se com rolha de borracha.

Agita-se a proveta do equivalente de areia, de forma semelhante ao descrito anteriormente, cerca de 20 vezes em aproximadamente 35 segundos. Após essa agitação, coloca-se a proveta sobre a mesa, retira-se a rolha e aciona-se o cronômetro. Após 20 minutos anota-se a altura da coluna de sedimento (H) em polegadas, com precisão de 0,1" (2,54mm). O índice de degradação Washington é calculado pela expressão 3.4:

$$IDW = \frac{(15 - H)}{15 + 1,75H} \times 100 \quad (3.4)$$

Os valores de IDW podem variar de 0 a 100, correspondendo os maiores valores aos melhores materiais. A expressão coloca os materiais duvidosos aproximadamente no meio da escala, estando os inadequados abaixo e os bons acima desse ponto.

A norma DNER-ME 398/99 apresenta um método de determinação do Índice de Degradação após compactação Proctor (IDP), utilizando agregados naturais provenientes da britagem de rochas obedecendo a uma granulometria padrão, definida pelas peneiras de 25,0mm, 19,0mm, 9,5mm, 4,8mm, 2,0mm, 0,42mm e 0,075mm. A compactação é feita no cilindro Proctor modificado munido de um cilindro espaçador, com cinco camadas e 26 golpes por camada.

As amostras de rocha britada são preparadas de acordo com as frações granulométricas obtidas pelas peneiras anteriormente citadas e em quantidades predefinidas. Devem ser preparadas três amostras para cada ensaio.

Um molde é fixado à base metálica juntamente com um cilindro complementar e o material é compactado nesse conjunto juntamente com um disco espaçador, como fundo falso, em cinco camadas iguais, de forma a se obter uma altura total do corpo-de-prova de cerca de 125mm, após compactação. Em cada camada são aplicados 26 golpes com o soquete padronizado, distribuídos uniformemente sobre a superfície da camada. Em seguida o cilindro complementar é removido. Com uma régua de aço biselada, o excesso de material é rasado na altura exata do molde e determina-se a massa do material compactado.

É calculada então a porcentagem passante em cada peneira do material após a compactação. Em seguida é calculada a média entre as três amostras das porcentagens passantes em cada peneira. Calcula-se também a diferença percentual (D) entre a média dos corpos-de-prova e a granulometria padrão original. O IDP é calculado pela expressão 3.5:

$$IDP = \frac{\sum D}{6} \quad (3.5)$$

A norma DNER-ME 399/99 descreve o método para determinar a perda ao choque em material pétreo britado, pelo emprego do aparelho Treton, em amostra obedecendo a uma faixa granulométrica padronizada.

O aparelho consiste de um cilindro de aço, oco, aberto em ambas as extremidades. O cilindro é colocado sobre uma chapa de base de aço, sobre a qual se assenta um outro cilindro maciço, também de aço, de tal forma que coincidam seus eixos de revolução. O cilindro oco é mantido em posição por pinos de aço fixados à chapa de base. Um martelo cilíndrico deverá cair livremente sobre a amostra a ensaiar, pelo orifício do cilindro, do topo deste. A suspensão do martelo far-se-á por quaisquer meios que garantam sua queda nas condições exigidas. A Figura 3.15 mostra um equipamento utilizado e fases do ensaio.



Figura 3.15 Equipamento utilizado no ensaio Treton

(Fotos: Cabral, 2005)

A amostra para ensaio deve ser constituída de partículas passando na peneira de 19,0mm e retidas na peneira de 16,0mm, escolhidas as partículas de forma cúbica, bem angulares e aproximadamente do mesmo tamanho. A massa da amostra a ensaiar deve ser 50 vezes a massa específica aparente das partículas do agregado, sendo tolerada uma diferença de $\pm 3g$. O número de partículas para cada ensaio deve ser aproximadamente entre 15 e 20.

As partículas que compõem a amostra são colocadas no cilindro oco em contato com a face superior do cilindro maciço. Em seguida, deixa-se cair o martelo 10 vezes sobre o material. Após remover o cilindro maciço, as partículas restantes serão passadas através da peneira de 1,7mm. Pesa-se em seguida o material retido naquela peneira.

A diferença entre a massa original da amostra e a do material retido na peneira de 1,7mm será expressa como porcentagem da massa original da amostra, e anotada como a perda ao choque da amostra ensaiada. A perda ao choque do material ensaiado é a média aritmética dos resultados obtidos em no mínimo três ensaios.

A norma DNER-ME 96/98 descreve uma outra forma de ensaio para avaliar indiretamente a característica de qualidade de um agregado graúdo pela avaliação da resistência mecânica pelo método conhecido como dos 10% de finos. Consiste em se submeter uma porção de agregados passante na peneira de 12,5mm e retida na peneira de 9,5mm, em quantidade suficiente para preencher um cilindro padronizado, a um carregamento estático por meio de uma prensa capaz de aplicar cargas de no mínimo 500kN. Ao final desse carregamento faz-se novo peneiramento do material na peneira de 2,4mm, calculando-se a porcentagem de quebra eventual. Varia-se a carga aplicada até se obter por interpolação aquela que provoca 10% de quebra de grãos. A Figura 3.16 mostra uma foto do conjunto de cilindro e êmbolo utilizado nesse ensaio e a prensa.



Figura 3.16 Conjunto de cilindro e êmbolo utilizado no ensaio de 10% de finos e prensa

(Fotos: Miceli, 2006)

A norma DNER-ME 401/99 estabelece o método pelo qual se determina o ID_{ML} e ID_M – índice de degradação após compactação Marshall, com ligante e sem ligante, para agregados naturais rochosos, obedecendo a uma granulometria padrão, definida pelas peneiras de 25,0mm, 19,0mm, 9,5mm, 4,8mm, 2,0mm, 0,42mm e 0,075mm. A compactação é feita usando-se o soquete e o molde de compactação do ensaio Marshall (ver Capítulo 5).

Os agregados são secos em estufa até constância de massa. Frações desses agregados são pesadas de acordo com quantidades preestabelecidas conforme cada faixa granulométrica, perfazendo um total de $1.200g \pm 60g$. São utilizados três corpos-de-prova para cada ensaio.

Os agregados são aquecidos à temperatura de $28^{\circ}C$ acima da temperatura de aquecimento do ligante (ver Capítulo 5). Acrescentam-se 5% em peso de ligante aos agregados, misturando energicamente até o envolvimento completo dos mesmos. Coloca-se no molde Marshall a mistura de uma só vez. Aplica-se com soquete 50 golpes em cada face do corpo-de-prova.

Após a confecção dos corpos-de-prova, é procedida a extração do ligante pelo método DNER-ME 053/94 ou similar. Os agregados resultantes do ensaio de extração são submetidos a um peneiramento nas mesmas peneiras utilizadas para confecção dos corpos-de-prova, sendo que a porcentagem passante é tomada em relação à massa original dos

agregados. Calcula-se a porcentagem passante relativa a cada peneira e a porcentagem passante média das três amostras para cada peneira. Calcula-se também o valor D para cada peneira, correspondendo à diferença entre a média da granulometria após compactação e a granulometria original. O somatório das diferenças ($\sum D$) também é calculado. O índice de degradação ID_{ML} é dado pela expressão 3.6:

$$ID_{ML} = \frac{\sum D}{6} \quad (3.6)$$

O índice de degradação após compactação Marshall sem ligante (ID_M) segue os mesmos procedimentos anteriores, com exceção do aquecimento dos agregados e do uso de ligante. O cálculo do ID_M também é feito da mesma forma que o ID_{ML} .

Na Tabela 3.4 são apresentados os valores limites de aceitação sugeridos pelo IPR (1998).

TABELA 3.4 MÉTODOS DE ENSAIO PARA DETERMINAÇÃO DE CARACTERÍSTICAS MECÂNICAS DE AGREGADOS E VALORES DE ACEITAÇÃO (IPR, 1998)

Métodos de Ensaio	Valores Limites – Tentativa
DNER-ME 35/94 – Agregado – determinação da abrasão Los Angeles	LA ≤ 65%
DNER-ME 399/99 – Agregados – determinação da perda ao choque no aparelho Treton	T ≤ 60%
DNER-ME 96/98 – Agregado graúdo – avaliação da resistência mecânica pelo método dos 10% de finos	10% finos ≥ 60kN
DNER-ME 401/99 – Agregados – determinação do índice de degradação de rochas após compactação Marshall, com ligante – ID_{ML} e sem ligante – ID_M	ID_{ML} com ligante ≤ 5 ID_M sem ligante ≤ 8
DNER-ME 398/99 – Agregados – determinação do índice de degradação após compactação Proctor – IDP	IDP ≤ 6
DNER-ME 397/99 – Agregados – determinação do índice de degradação Washington – IDW	IDW ≥ 30
DNER-ME 197/97 ou NBR 9938 – Agregados – determinação da resistência ao esmagamento de agregados graúdos	E ≥ 60

3.4.4 Textura superficial

A textura superficial dos agregados influi na trabalhabilidade, na adesividade, e na resistência ao atrito e ao cisalhamento das misturas asfálticas para pavimentação. À medida que aumenta a rugosidade do agregado, há uma tendência de perda de trabalhabilidade da mistura asfáltica e de crescimento da resistência ao cisalhamento dessa mistura, bem como do teor de ligante asfáltico de projeto. Não há um método consagrado para medir a textura superficial, embora existam procedimentos de avaliação indireta, conforme será visto mais adiante.

3.4.5 Forma das partículas

A forma das partículas dos agregados influi na trabalhabilidade e resistência ao cisalhamento das misturas asfálticas e muda a energia de compactação necessária para se alcançar certa densidade. Partículas irregulares ou de forma angular tais como pedra britada, cascalhos e algumas areias de brita tendem a apresentar melhor intertravamento entre os grãos compactados, tanto maior quanto mais cúbicas forem as partículas e mais afiladas forem suas arestas.

A forma das partículas é caracterizada pela determinação do índice de forma (f) em ensaio descrito no método DNER-ME 086/94. Esse índice varia de 0,0 a 1,0, sendo o agregado considerado de ótima cubicidade quando $f = 1,0$ e lamelar quando $f = 0,0$. É adotado o limite mínimo de $f = 0,5$ para aceitação de agregados quanto à forma. A Figura 3.17 mostra o equipamento utilizado para a determinação do índice de forma.

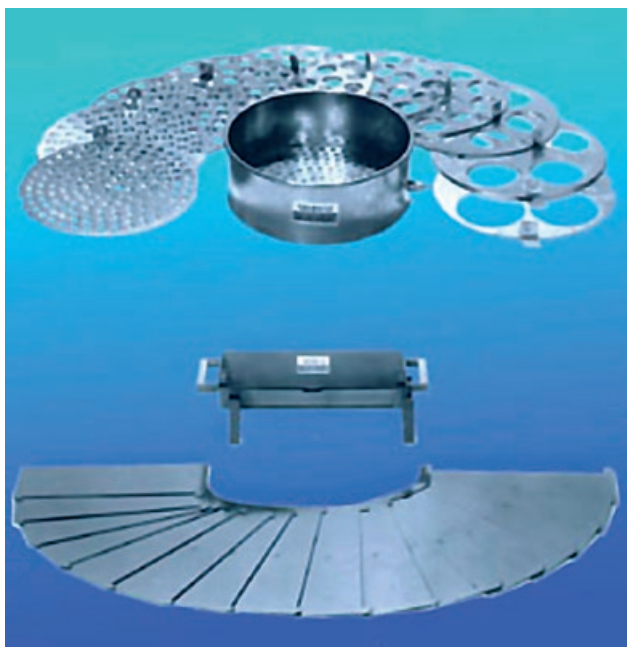


Figura 3.17 Exemplo de equipamento para determinação do índice de forma

A forma das partículas pode ser também caracterizada segundo a norma ABNT NBR 6954/1989, onde são medidas por meio de um paquímetro três dimensões das partículas: comprimento (a), largura (b) e espessura (c). Para a classificação segundo a forma são determinadas e relacionadas entre si as razões b/a e c/b , conforme indica a Tabela 3.5. As partículas são classificadas em cúbica, alongada, lamelar e alongada-lamelar. As fotos da Figura 3.18 ilustram as diferenças entre agregados de forma lamelar e cúbica.

TABELA 3.5 CLASSIFICAÇÃO DA FORMA DAS PARTÍCULAS (ABNT NBR 6954/1989)

Média das Relações b/a e c/b	Classificação da Forma
$b/a > 0,5$ e $c/b > 0,5$	Cúbica
$b/a < 0,5$ e $c/b > 0,5$	Alongada
$b/a > 0,5$ e $c/b < 0,5$	Lamelar
$b/a < 0,5$ e $c/b < 0,5$	Alongada-lamelar



(a) Agregado lamelar



(b) Agregado de boa cubicidade

Figura 3.18 Exemplo de agregados com diferentes formas

3.4.6 Absorção

A porosidade de um agregado é normalmente indicada pela quantidade de água que ele absorve quando imerso. Um agregado poroso irá também absorver ligante asfáltico, consumindo parte do ligante necessário para dar coesão a uma mistura asfáltica. Para compensar esse fato, deve-se incorporar à mistura asfáltica uma quantidade adicional de ligante.

A absorção é a relação entre a massa de água absorvida pelo agregado graúdo após 24 horas de imersão (DNER-ME 081/98) à temperatura ambiente e a massa inicial de material seco, sendo determinada para permitir o cálculo das massas específicas, real e aparente, do agregado.

Agregados naturais ou britados com elevada porosidade normalmente não devem ser utilizados em misturas asfálticas, pois além de consumirem maior quantidade de ligante asfáltico, podem apresentar porosidade variável conforme a amostragem, o que dificulta o estabelecimento do teor de ligante, podendo resultar em excesso ou falta do mesmo. Porém, nem sempre há outro agregado disponível, sendo então necessários alguns cuidados na dosagem. A escória de aciaria, a laterita e alguns tipos de basaltos e agregados sintéticos são exemplos de materiais que podem apresentar alta porosidade.

3.4.7 Adesividade ao ligante asfáltico

O efeito da água em separar ou descolar a película de ligante asfáltico da superfície do agregado pode torná-lo inaceitável para uso em misturas asfálticas. Esse agregado é denominado de hidrófilo. Agregados silicosos, como o quartzito e alguns granitos, são exemplos de agregados que requerem atenção quanto à sua adesividade ao ligante asfáltico. Agregados com alta adesividade em presença de água são denominados de hidrofóbicos e são aceitáveis para utilização em misturas asfálticas.

Os ensaios para determinação das características de adesividade podem ser subdivididos em dois grupos: aqueles que avaliam o comportamento de partículas de agregados recobertas por ligante asfáltico e aqueles que avaliam o desempenho de determinadas propriedades mecânicas de misturas sob a ação da água.

No método DNER-ME 078/94 a mistura asfáltica não-compactada é imersa em água e as partículas cobertas pelo ligante asfáltico são avaliadas visualmente. Na norma ASTM D 1075 a resistência à compressão simples (RC') de amostras de misturas compactadas após imersão em água a 50°C durante 24 horas é comparada com a resistência de amostras idênticas não-imersas (RC). A redução da resistência à compressão simples é uma indicação da qualidade do agregado em relação à adesividade. A relação de perda de resistência pelo efeito da água é dada por RC'/RC . Para que se considere aceitável a mistura quanto à adesividade, essa relação deve ser superior ou igual a 0,75, ou seja, a perda deve ser menor ou igual a 25%.

Outro método de ensaio é o Lottman modificado, descrito na norma AASHTO T 283, onde amostras compactadas cilíndricas regulares de misturas asfálticas com teores de vazios preestabelecidos são parcialmente saturadas com água e submetidas a baixas temperaturas para congelamento durante um período de horas estabelecido em norma, simulando com isso a presença de água na mistura e tensões internas induzidas por cargas do tráfego. As amostras descongeladas e à temperatura de equilíbrio de 25°C são submetidas ao ensaio de resistência à tração por compressão diametral (RT'); outro conjunto similar de amostras compactadas cilíndricas regulares, não submetidas ao processo de saturação e congelamento, são igualmente submetidas ao ensaio de resistência à tração por compressão diametral (RT) à temperatura de 25°C. A relação entre RT'/RT indica a perda de resistência por umidade induzida. Essa relação deve ser maior ou igual a 0,70, ou seja, a perda deve ser inferior ou igual a 30%. Esse ensaio é descrito em maior detalhe no Capítulo 6.

3.4.8 Sanidade

Alguns agregados que inicialmente apresentam boas características de resistência podem sofrer processos de desintegração química quando expostos às condições ambientais no pavimento. Determinados basaltos, por exemplo, são suscetíveis à deterioração química com formação de argilas.

A característica de resistência à desintegração química é quantificada através de ensaio que consiste em atacar o agregado com solução saturada de sulfato de sódio ou de

magnésio, em cinco ciclos de imersão com duração de 16 a 18 horas, à temperatura de 21°C, seguidos de secagem em estufa. A perda de massa resultante desse ataque químico ao agregado deve ser de no máximo 12%. O método DNER-ME 089/94 apresenta o procedimento desse ensaio. A Figura 3.19 mostra os materiais utilizados nesse ensaio e um exemplo do resultado do teste.



Figura 3.19 Exemplo de materiais utilizados no ensaio de sanidade e resultado

3.4.9 Densidade específica/massa específica

Segundo Pinto (2000), as relações entre quantidade de matéria (massa) e volume são denominadas *massas específicas*, e expressas geralmente em t/m^3 , kg/dm^3 ou g/cm^3 e as relações entre pesos e volumes são denominados *pesos específicos* e expressos geralmente em kN/m^3 .

A relação entre os valores numéricos que expressam as duas grandezas é constante. Por exemplo, se um material tem uma massa específica de $1,8t/m^3$, seu peso específico será o produto desse valor pela aceleração da gravidade, que varia conforme a posição no globo terrestre e que é de aproximadamente $9,81m/s^2$ ao nível do mar (em problemas de engenharia prática, adota-se simplificada $10m/s^2$). O peso específico será, portanto, de $18kN/m^3$.

Ou seja, o peso (P) de uma massa de 1kg ao nível do mar onde a aceleração da gravidade é de $9,81m/s^2$ é:

$$P = 1\text{kg} \times 9,81\text{m/s}^2 = 9,81\text{N} \approx 10\text{N} \quad (3.7)$$

Assim tem-se que $1\text{N} = 1\text{kg m/s}^2$.

Então no exemplo citado tem-se:

$$\begin{aligned} 1,8\text{t/m}^3 \times 10\text{m/s}^2 &= 18\text{t/m}^2\text{s}^2 = 18.000\text{kg/m}^2\text{s}^2 \times \text{m/m} = \\ &= 18.000\text{kg m/m}^3\text{s}^2 = 18.000\text{N/m}^3 = 18\text{kN/m}^3 \end{aligned} \quad (3.8)$$

Segundo Pinto (2000), a expressão *densidade*, de uso comum na engenharia, refere-se à massa específica, e *densidade relativa* é a relação entre a densidade do material e a densidade da água a 4°C. Como esta é igual a 1kg/dm^3 , resulta que a densidade relativa tem o mesmo valor numérico que a massa específica (expressa em g/cm^3 , kg/dm^3 ou t/m^3), mas é adimensional. Como a relação entre o peso específico de um material e o peso específico da água a 4°C é igual à relação das massas específicas, é comum se estender o conceito de densidade relativa à relação dos pesos e adotar-se como peso específico a densidade relativa do material multiplicada pelo peso específico da água.

No estudo de agregados, são definidas três designações de massa específica: real, aparente e efetiva, respectivamente correspondentes aos termos em inglês *apparent specific gravity*, *bulk specific gravity* e *effective specific gravity*. Observe-se que as traduções de *apparent* e *bulk* não são literais quando se consideram os parâmetros em questão, correspondendo aos termos *real* e *aparente*, respectivamente em português. Além disso, ressalte-se que *specific gravity* diz respeito a uma grandeza adimensional, enquanto *density* refere-se a uma grandeza com dimensão, portanto, o oposto ao que se usa no Brasil. De qualquer forma, quando se usa o sistema internacional de unidades, massa específica e densidade possuem o mesmo valor numérico, conforme exemplificado anteriormente.

Massa específica real

A massa específica real (G_{sa}), em g/cm^3 , é determinada através da relação entre a massa seca e o volume real (expressão 3.9). O volume real é constituído do volume dos sólidos, desconsiderando o volume de quaisquer poros na superfície, conforme esquema da Figura 3.20.

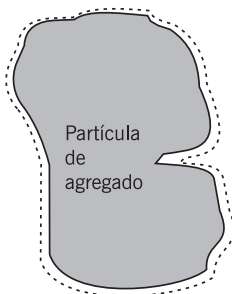


Figura 3.20 Esquema da partícula de agregado na determinação da G_{sa}

$$G_{sa} = \frac{\text{Massa seca}}{\text{Vol. real}} \quad (3.9)$$

Onde:

Vol. real = volume da partícula sólida do agregado (área interna ao tracejado).

Segundo o Asphalt Institute (1989), esse parâmetro considera somente o volume da partícula do agregado. Não inclui o volume de quaisquer poros ou capilares que são preenchidos pela água após embebição de 24 horas.

Massa específica aparente

A massa específica aparente (G_{sb}), em g/cm^3 , é determinada quando se considera o material como um todo (forma aparente), sem descontar os vazios. É determinada dividindo-se a massa seca pelo volume aparente do agregado (expressão 3.10), que inclui o volume de agregado sólido mais o volume dos poros superficiais contendo água. É medida quando o agregado está na condição superfície saturada seca (SSS), de acordo com o esquema da Figura 3.21. Esta condição em laboratório é obtida por remoção cuidadosa manual da água da superfície dos agregados com o uso de um tecido absorvente.

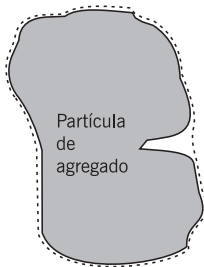


Figura 3.21 Esquema da partícula de agregado na determinação da G_{sb}

$$G_{sb} = \frac{\text{Massa seca}}{\text{Vol. aparente}} \quad (3.10)$$

Onde:

Vol. aparente = volume do sólido + volume do poro permeável à água (área interna ao tracejado).

Massa específica efetiva

A massa específica efetiva (G_{se}), em g/cm^3 , é determinada quando se trabalha com misturas asfálticas cujo teor de ligante asfáltico seja conhecido. É calculada através da relação entre a massa seca da amostra e o volume efetivo do agregado, conforme a expressão 3.11. O volume efetivo é constituído pelo volume do agregado sólido e o volume dos poros permeáveis à água que não foram preenchidos pelo asfalto, como mostra a Figura 3.22. A massa específica efetiva não é comumente medida diretamente, sendo freqüentemente tomada como a média entre a massa real e a aparente. Essa prática só é adequada quando o volume de poros superficiais é baixo, ou seja, para agregados de baixa absorção, ou seja, inferior a 2%.

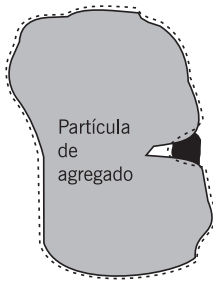


Figura 3.22 Esquema da partícula de agregado na determinação da G_{se}

$$G_{se} = \frac{\text{Massa seca}}{\text{Vol. efetivo}} \quad (3.11)$$

Onde:

Vol. efetivo = vol. do sólido + vol. dos poros permeáveis à água não preenchidos pelo ligante asfáltico (área interna ao tracejado).

O método de ensaio DNER-ME 081/98 especifica a determinação das densidades de agregados graúdos, utilizando o conceito de densidade relativa. A norma ABNT NBR NM 53/2003 define procedimento para a obtenção da massa específica na condição seca (correspondente ao que vem sendo chamado aqui de G_{sa}) e massa específica na condição de superfície saturada seca (correspondente ao que vem sendo chamado aqui de G_{sb}), assim como da absorção (a). O referido procedimento de ensaio é idêntico ao do DNER. São feitas três determinações de massa: massa seca (A), massa na condição superfície saturada seca (B) e massa imersa (C). A expressão 3.12 define, segundo a ABNT NM53/2003 – errata 2006, a massa específica seca (G_{sa}):

$$G_{sa} = \frac{A}{A - C} \times 0,9971 \quad (3.12)$$

A expressão 3.13 define, segundo a ABNT NM 53/2003 – errata 2006, a massa específica da condição de superfície saturada seca (G_{sb}):

$$G_{sb} = \frac{A}{B - C} \times 0,9971 \quad (3.13)$$

A absorção, em porcentagem, é determinada pela seguinte expressão:

$$a = \frac{B - A}{A} \times 100 \quad (3.14)$$

A Figura 3.23 mostra esquematicamente a determinação das massas A, B e C para o cálculo da G_{sa} , G_{sb} e absorção (a).

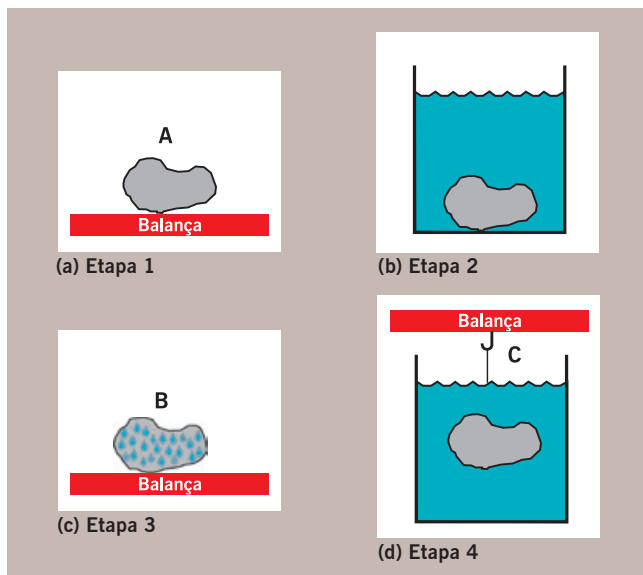


Figura 3.23 Esquema de determinação de massas no método ABNT NM 53/2003 – errata 2006

O método de ensaio DNER-ME 084/95 é adotado para a determinação da densidade de agregados miúdos, com a denominação de densidade real dos grãos (D_r). Esse procedimento é semelhante ao do ensaio para determinação da massa específica aparente seca (G_{sa}) de solos (DNER-ME 093/94) e faz uso de um picnômetro de 50ml. A Figura 3.24 mostra um esquema desse ensaio. A norma ABNT NBR NM 52/2003 também descreve este procedimento.

No caso do agregado miúdo, a condição de superfície saturada seca não é fácil de ser observada visualmente como no agregado graúdo e, portanto, a possível absorção das partículas não é determinada no método DNER. No caso do método ASTM C 127 ou AASHTO T 85 é recomendado o procedimento mostrado na Figura 3.25. A condição de superfície saturada seca é obtida quando um tronco de cone de agregado resultante da moldagem com um molde padronizado mantém-se intacto após ser desmoldado. Assim, é possível calcular também a absorção dos agregados miúdos.

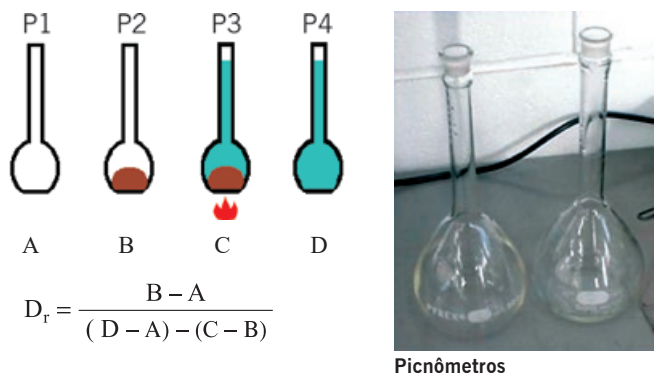


Figura 3.24 Esquema do ensaio de massa específica de agregados miúdos



Figura 3.25 Esquema do ensaio de massa específica de agregados miúdos considerando a absorção pelo método ASTM C 127

(Fotos: Mourão, 2003)

Quando se trabalha com uma mistura de duas ou mais frações (ou dois ou mais agregados), pode-se computar um valor para a massa específica média através de um valor ponderado das várias frações (agregados) que constituem a mistura, pela expressão 3.15:

$$G = \frac{M1 + M2 + \dots + Mn}{\frac{M1}{G1} + \frac{M2}{G2} + \dots + \frac{Mn}{Gn}} = \frac{1}{\frac{\%1}{G1} + \frac{\%2}{G2} + \dots + \frac{\%n}{Gn}} \quad (3.15)$$

Onde:

G = massa específica média;

G1, G2, ..., Gn = massas específicas das frações (agregados) 1, 2, ..., n (aparente ou real);

M1, M2, ..., Mn = massa das frações (agregados) 1, 2, ..., n;

%1, %2, ..., %n = percentagem das massas das frações (agregados) 1, 2, ..., n.

Em relação aos valores de G1, G2, ..., Gn usados na expressão 3.15, quando se destina à dosagem de uma mistura asfáltica, Pinto (1998) recomenda que sejam obtidos pela média entre a massa específica real e a aparente para agregados graúdos e miúdos e pelo valor da massa específica real para o fíler mineral usado. No Capítulo 5 será discutida ainda uma outra maneira de se levar em conta a porosidade dos agregados.

3.5 CARACTERIZAÇÃO DE AGREGADOS SEGUNDO O SHRP

Segundo pesquisadores do SHRP, há um consenso de que as propriedades dos agregados têm influência direta no comportamento dos revestimentos asfálticos quanto a deformações permanentes, e afetam, embora em menor grau, o comportamento relacionado ao trincamento por fadiga e por baixas temperaturas. Esses pesquisadores identificaram duas categorias de propriedades dos agregados que devem ser consideradas: propriedades de consenso e propriedades de origem.

3.5.1 Propriedades de consenso

As propriedades designadas de consenso pelos pesquisadores do SHRP são aquelas consideradas de exigência fundamental para o bom desempenho dos revestimentos asfálticos: angularidade do agregado graúdo; angularidade do agregado miúdo; partículas alongadas e achatadas; e teor de argila.

Os valores especificados dessas propriedades também foram consensuais, ficando a critério de cada estado americano quaisquer exigências adicionais. Os critérios de aceitação são baseados no nível de tráfego, referido ao número equivalente de passagens de eixo padrão (N) determinado pela American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), e pela posição na estrutura do pavimento em que vai ser empregado o agregado. Materiais próximos à superfície e sujeitos a tráfego intenso demandam valores de propriedades de consenso mais restritivos.

Angularidade do agregado graúdo

A angularidade do agregado graúdo garante o atrito entre as partículas que propicia a resistência à deformação permanente. É definida como a porcentagem em peso de agregados maiores do que 4,75mm com uma ou mais faces fraturadas. A Tabela 3.6 apresenta os valores mínimos necessários da angularidade do agregado graúdo em função do nível de tráfego e da posição em que vai ser utilizado na estrutura do pavimento.

TABELA 3.6 CRITÉRIO DE DEFINIÇÃO DA ANGULARIDADE DO AGREGADO GRAÚDO

N ($\times 10^6$) Repetições do eixo padrão	Profundidade a partir da superfície	
	$\leq 100\text{mm}$	$> 100\text{mm}$
$< 0,3$	55 / –	– / –
< 1	65 / –	– / –
< 3	75 / –	50 / –
< 10	85 / 80	60 / –
< 30	95 / 90	80 / 75
< 100	100 / 100	95 / 90
≥ 100	100 / 100	95 / 90

“85 / 80” significa que 85% do agregado graúdo têm uma ou mais faces fraturadas e 80% têm duas ou mais faces fraturadas.

Angularidade do agregado miúdo

A angularidade do agregado miúdo garante o atrito entre as partículas que propicia a resistência à deformação permanente. É definida como a porcentagem de vazios de ar presentes em agregados com tamanhos de partículas menores que 2,36mm, em uma condição de estado solto. Sua determinação é feita segundo o método ASTM C 1252. A Figura 3.26 mostra o equipamento utilizado, onde W é a massa de agregado miúdo que preenche um cilindro de volume conhecido V e G_{sb} é a massa específica real do agregado miúdo. Um estudo desse ensaio para algumas areias do estado de São Paulo foi feito por Gouveia (2002). As areias britadas em geral obedecem bem a essa exigência.

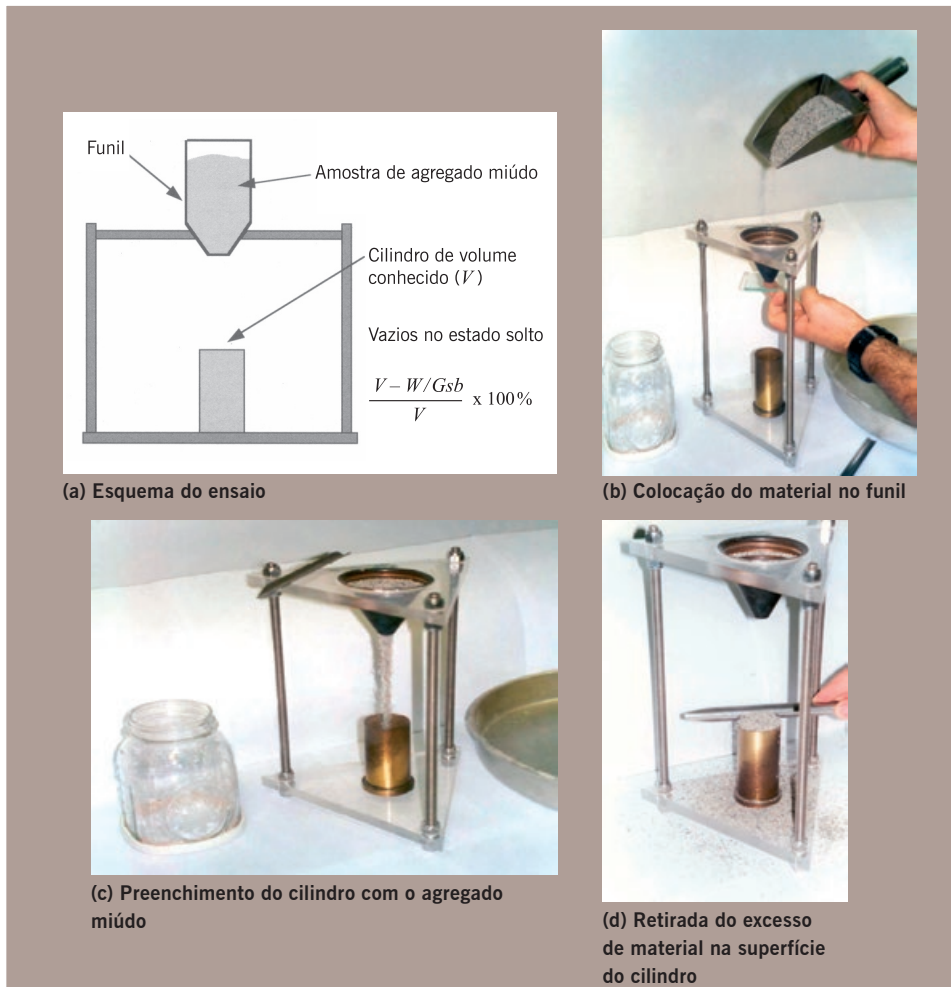


Figura 3.26 Equipamento para determinação da angularidade do agregado miúdo

(Fotos: Marques, 2001)

A Tabela 3.7 apresenta os valores mínimos necessários da angularidade do agregado miúdo em função do nível de tráfego e da posição em que vai ser utilizado na estrutura do pavimento.

TABELA 3.7 CRITÉRIO DE DEFINIÇÃO DA ANGULARIDADE DO AGREGADO MIÚDO – VALORES MÍNIMOS

N ($\times 10^6$) Repetições do eixo padrão	Profundidade a partir da superfície	
	$\leq 100\text{mm}$	$> 100\text{mm}$
$< 0,3$	–	–
< 1	40	–
< 3	40	40
< 10	45	40
< 30	45	40
< 100	45	45
≥ 100	45	45

Valores são porcentagens mínimas requeridas de vazios de ar no agregado miúdo no estado solto

Partículas alongadas e achatadas

Partículas alongadas e achatadas são expressas pela porcentagem em massa de agregado graúdo que tem a razão entre a dimensão máxima e a dimensão mínima maior do que 5, sendo indesejáveis porque têm a tendência de quebrarem durante o processo de construção e sob a ação do tráfego. Essa razão é determinada através do método ASTM D 4791 na fração do agregado graúdo maior do que 4,75mm. A Figura 3.27 mostra o equipamento utilizado.

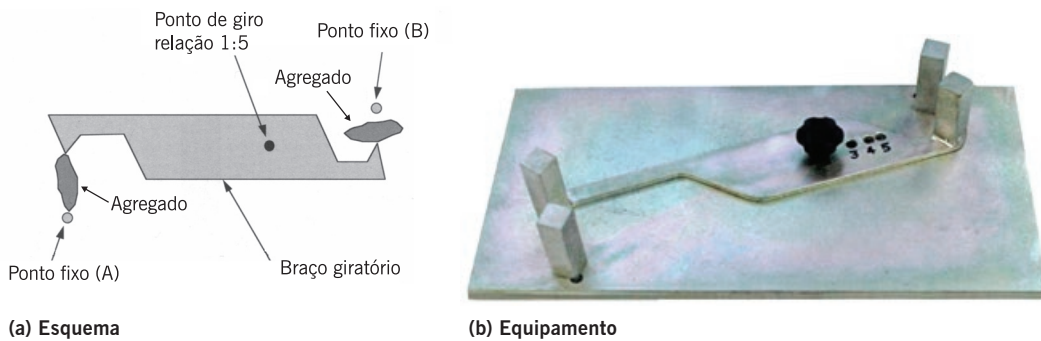


Figura 3.27 Medição de partículas alongadas e achatadas

São medidos dois valores nesse ensaio: a porcentagem de partículas alongadas e a porcentagem de partículas achatadas. A Tabela 3.8 apresenta os valores máximos admissíveis de partículas alongadas e achatadas do agregado graúdo em função do nível de tráfego.

TABELA 3.8 VALORES MÁXIMOS PERCENTUAIS DE PARTÍCULAS ALONGADAS E ACHATADAS

N ($\times 10^6$) Repetições do eixo padrão	Máximo (%)
< 0,3	–
< 1	–
< 3	10
< 10	10
< 30	10
< 100	10
≥ 100	10

Teor de argila

O teor de argila é definido como a porcentagem de material argiloso na fração do agregado menor do que 4,75mm. É determinada pelo ensaio de equivalente de areia. A Tabela 3.9 apresenta os valores mínimos admissíveis de equivalente de areia em função do nível de tráfego.

TABELA 3.9 VALORES MÍNIMOS PERCENTUAIS DE EQUIVALENTE DE AREIA

N ($\times 10^6$) Repetições do eixo padrão	Equivalente de areia, mínimo, %
< 0,3	40
< 1	40
< 3	40
< 10	45
< 30	45
< 100	50
≥ 100	50

3.5.2 Propriedades de origem

São propriedades que dependem da origem do agregado; seus valores limites para aceitação são definidos localmente pelos órgãos ou agências. Essas propriedades são a resistência à abrasão, a sanidade e a presença de materiais deletérios, determinadas conforme os métodos descritos anteriormente.

BIBLIOGRAFIA CITADA E CONSULTADA

- AASHTO – AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS. AASHTO T 283/89: *resistance of compacted bituminous mixture to moisture induced damage*. USA, 1989.
- _____. AASHTO T 85: *standard method of test for specific gravity and absorption of coarse aggregate*. USA, 1991.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6954: *lastro padrão: determinação da forma do material*. Rio de Janeiro, 1989.
- _____. NBR NM 52: *agregado miúdo: determinação de massa específica e massa específica aparente*. Rio de Janeiro, 2003.
- _____. NBR NM 53: *agregado graúdo: determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água*. Rio de Janeiro, 2003.
- _____. NBR 9935: *agregados: terminologia*. Rio de Janeiro, 2005.
- ASTM – AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM C 1252: *standard test methods for uncompacted void content of fine aggregate (as influenced by particle shape, surface texture and grading)*. USA, 1993.
- _____. ASTM C 702: *standard practice for reducing samples of aggregate to testing size*. USA, 1998.
- _____. ASTM D 1075-96: *standard test method for effects of water on compressive strength of compacted bituminous mixtures*. USA, 2000.
- _____. ASTM D 4791-99: *standard test method for flat particles, elongated particles, or flat and elongated particles in coarse aggregate*. USA, 2000.
- _____. ASTM C 127: *standard test method for density, relative density (specific gravity), and absorption of coarse aggregate*. USA, 2004.
- _____. ASTM C 125: *standard terminology relating to concrete and concrete aggregates*. USA, 2005.
- ASPHALT INSTITUTE. *The asphalt handbook*. Manual series n. 4 (MS-4), 1989.
- _____. *Superpave level 1 – mix design*. Superpave Series n. 2 (SP-2), 1995.
- CABRAL, G.L.L. *Metodologia de produção e emprego de agregados de argila calcinada para pavimentação*. 2005. Dissertação (Mestrado) – Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, 2005.
- DNIT – DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES. DNER-IE 006/94: *materiais rochosos usados em rodovias: análise petrográfica*. Rio de Janeiro, 1994.
- _____. DNER-ME 053/94: *misturas betuminosas: percentagem de betume*. Rio de Janeiro, 1994.
- _____. DNER-ME 078/94: *agregado graúdo: adesividade a ligante betuminoso*. Rio de Janeiro, 1994.
- _____. DNER-ME 086/94: *agregado: determinação do índice de forma*. Rio de Janeiro, 1994.
- _____. DNER-ME 089/94: *agregados: avaliação da durabilidade pelo emprego de soluções de sulfato de sódio ou de magnésio*. Rio de Janeiro, 1994.
- _____. DNER-ME 093/94: *solos: determinação da densidade real*. Rio de Janeiro, 1994.
- _____. DNER-ME 222/94: *agregado sintético fabricado com argila: desgaste por abrasão*. Rio de Janeiro, 1994.
- _____. DNER-ME 035/95: *peneiras de malhas quadradas para análise granulométrica de solos*. Rio de Janeiro, 1995.

- _____. DNER-ME 084/95: *agregado miúdo: determinação da densidade real*. Rio de Janeiro, 1995.
- _____. DNER-PRO 199: *redução de amostras de campo de agregados para ensaio de laboratório*. Rio de Janeiro, 1996.
- _____. DNER-ME 054/97: *equivalente de areia*. Rio de Janeiro, 1997.
- _____. DNER-PRO 120/97: *coleta de amostras de agregados*. Rio de Janeiro, 1997.
- _____. DNER-ME 197/97: *agregados: determinação da resistência ao esmagamento de agregados graúdos*. Rio de Janeiro, 1997.
- _____. DNER-ME 367/97: *material de enchimento para misturas betuminosas*. Rio de Janeiro, 1997.
- _____. DNER-ME 035/98: *agregados: determinação da abrasão Los Angeles*. Rio de Janeiro, 1998.
- _____. DNER-ME 081/98: *agregados: determinação da absorção e da densidade de agregado graúdo*. Rio de Janeiro, 1998.
- _____. DNER-ME 083/98: *agregados: análise granulométrica*. Rio de Janeiro, 1998.
- _____. DNER-ME 096/98: *agregado graúdo: avaliação da resistência mecânica pelo método dos 10% de finos*. Rio de Janeiro, 1998.
- _____. DNER-ME 397/99: *agregados: determinação do índice de degradação Washington – IDW*. Rio de Janeiro, 1999.
- _____. DNER-ME 398/99: *agregados: determinação do índice de degradação após compactação Proctor IDP*. Rio de Janeiro, 1999.
- _____. DNER-ME 399/99: *agregados: determinação da perda ao choque no aparelho Tretton*. Rio de Janeiro, 1999.
- _____. DNER-ME 400/99: *agregados: desgaste após fervura de agregado pétreo natural*. Rio de Janeiro, 1999.
- _____. DNER-ME 401/99: *agregados: determinação do índice de degradação de rochas após compactação Marshall, com ligante – IDML e sem ligante – IDM*. Rio de Janeiro, 1999.
- _____. DNIT 031/04-ES: *pavimentos flexíveis: concreto asfáltico*. Rio de Janeiro, 2004.
- _____. *Manual de pavimentação*. 3. ed. Rio de Janeiro: DNIT/Instituto de Pesquisas Rodoviárias, 2005.
- FERNANDES, C.G. *Caracterização mecânica de agregados reciclados de resíduos de construção e demolição dos municípios do Rio de Janeiro e de Belo Horizonte para uso em pavimentação*. 2004. 109 f. Dissertação (Mestrado) – Coordenação dos Programas de Pós-graduação de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004.
- GOUVEIA, L.T. *Avaliação do ensaio de angularidade do agregado fino (FAA) da especificação Superpave*. 2002. 139 f. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2002.
- GUIMARÃES, A.C.R.; MOTTA, L.M.G. Execução de revestimento asfáltico com agregado de laterita lavada no Acre. In: ENCONTRO DE ASFALTO, 13., 2000, Rio de Janeiro. *Anais...* Rio de Janeiro: IBP, 2000. p. 86-95.
- HUNTER, R.N. *Asphalts in road construction*. London: Thomas Telford Publishing, 2000.
- IPR – INSTITUTO DE PESQUISAS RODOVIÁRIAS. *Estudos e pesquisas de rochas de pedreiras para estabelecimento de critérios de qualidade frente às normas e procedimentos existentes e sua aceitação*. Relatório final. ECL – Engenharia, Consultoria e Economia S.A. Rio de Janeiro, 1998.
- MARQUES, G.L.O. *Procedimentos de avaliação e caracterização de agregados minerais usados na pavimentação asfáltica*. Seminário de qualificação ao doutoramento – Coordenação

- dos Programas de Pós-graduação de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2001.
- METSO MINERALS. *Manual de britagem*. 6. ed. São Paulo: Metso Brasil Indústria e Comércio Ltda., 2005.
- MOTTA, L.M.G.; LEITE, L.F.M. Efeito do fíler nas características mecânicas das misturas asfálticas. In: CONGRESSO PANAMERICANO DE ENGENHARIA DE TRÂNSITO E TRANSPORTE, 11., 2000, Gramado. *Anais...* Rio de Janeiro: ANPET, 2000. p. 1.007-17.
- NOGAMI, J.S.; VILLIBOR, D. *Pavimentação de baixo custo com solos lateríticos*. São Paulo: Editora Vilibor, 1995.
- PINTO, C.S. *Curso básico de mecânica dos solos*. São Paulo: Oficina de Textos, 2000.
- PINTO, S. *Materiais pétreos e concreto asfáltico: conceituação e dosagem*. Rio de Janeiro: IME, 1998.
- ROBERTS, F.L.; KANDHAL, P.S.; BROWN, E.R.; LEE, D-Y.; KENNEDY, T.W. *Hot mix asphalt materials, mixture design and construction*. 2. ed. Lanham, Maryland: Napa Research and Education Foundation, 1996.
- SHELL. *The Shell bitumen handbook*. 5. ed. London: Shell Bitumen/Thomas Telford Publishing, 2003.
- WAPA – WASHINGTON ASPHALT PAVEMENT ASSOCIATION. *The WAPA asphalt pavement guide*. Washington, DC, 2004.
- WOODS, K.B. *Highway engineering handbook*. New York: McGraw Hill, 1960.
- SILVA, P.B. *Estudo em laboratório e em campo de misturas asfálticas SMA 0/8S*. 2005. 132 f. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

ÍNDICE DE FIGURAS E TABELAS

1 INTRODUÇÃO

Figura 1.1	Estruturas de pavimentos	10
Figura 1.2	Ilustração do sistema de camadas de um pavimento e tensões solicitantes (Albernaz, 1997)	10
Figura 1.3	Vias romanas	14
Figura 1.4	Estrada do Mar (<i>História das rodovias</i> , 2004)	16
Figura 1.5	Resquícios do Caminho do Ouro ou Estrada Real e pavimentação urbana em Paraty, RJ	17
Figura 1.6	Estrada União e Indústria – foto à época de sua construção (Concer, 1997)	18
Tabela 1.1 Evolução da rede rodoviária federal e estadual (km)		20

ÍNDICE DE FIGURAS E TABELAS

2 LIGANTES ASFÁLTICOS

Figura 2.1 Equipamentos utilizados no método SARA e esquema da análise química do ligante asfáltico (adaptado de Shell, 2003)	29
Figura 2.2 Representação esquemática dos componentes dos asfaltos (apud Shell, 2003)	30
Figura 2.3 Modelo de micelas de Yen (1991)	31
Figura 2.4 Representação esquemática do ligante asfáltico de comportamento Sol e Gel (Shell, 2003)	31
Figura 2.5 Modelo de estrutura do asfalto proposto pelo SHRP (apud Leite, 2003)	32
Figura 2.6(a) Esquemas de refino do petróleo para obtenção do asfalto (Tonial e Bastos, 1995)	35
Figura 2.6(b) Esquemas de refino do petróleo para obtenção do asfalto (Tonial e Bastos, 1995)	35
Figura 2.6(c) Esquemas de refino do petróleo para obtenção do asfalto (Tonial e Bastos, 1995)	36
Figura 2.6(d) Esquemas de refino do petróleo para obtenção do asfalto (Tonial e Bastos, 1995)	37
Figura 2.6(e) Esquemas de refino do petróleo para obtenção do asfalto (Tonial e Bastos, 1995)	38
Figura 2.6(f) Esquemas de refino do petróleo para obtenção do asfalto (Tonial e Bastos, 1995)	39
Figura 2.7 Localização e denominação das refinarias de petróleo brasileiras que produzem asfalto	40
Figura 2.8 Consumo brasileiro de asfalto nos últimos seis anos	41
Figura 2.9 Exemplo de equipamento manual de medida da penetração e esquema do ensaio	42
Figura 2.10 Esquema de escoamento de um fluido newtoniano	43
Figura 2.11 Equipamentos para ensaios de viscosidade absoluta e cinemática	45
Figura 2.12 Exemplo de equipamento Saybolt-Furol de ensaio de viscosidade e esquema do interior do equipamento	46
Figura 2.13 Equipamento Brookfield para medida de viscosidade de asfaltos e esquemas associados ao extensor	47
Figura 2.14 Equipamento automático para medida do ponto de amolecimento do asfalto e esquema do ensaio com equipamento mais simples	48
Figura 2.15 Esquema do ensaio de dutilidade em andamento e equipamento completo	49
Figura 2.16 Equipamentos e arranjo experimental para o ensaio de solubilidade	50
Figura 2.17 Estufa de película fina plana (TFOT) para medidas do efeito do calor e do ar (ECA) em ensaio de envelhecimento de ligante asfáltico simulado em laboratório	51
Figura 2.18 Estufa de filme fino rotativo ou película delgada rotacional (<i>Rolling Thin Film Oven Test</i> – RTFOT)	51
Figura 2.19 Envelhecimento do ligante durante a mistura com o agregado em usina, estocagem, transporte, aplicação no campo e durante vários anos de serviço (Whiteoak, 1980, apud Shell, 2003)	52
Figura 2.20 Modelos de equipamentos para o ensaio e esquema do ensaio de ponto de fulgor pelo vaso aberto de Cleveland	53
Figura 2.21 Etapas do ensaio de massa específica do ligante	54
Figura 2.22 Equipamento de ensaio de ponto de ruptura Fraass	55
Figura 2.23 Exemplo esquemático de gráfico de Heukelom para classificação de ligantes asfálticos (BTDC)	57
Figura 2.24 Representação esquemática da estrutura de um elastômero termoplástico	

ÍNDICE DE FIGURAS E TABELAS

à temperatura ambiente (Shell, 2003)	65
Figura 2.25 Representação esquemática de um elastômero termoplástico EVA	66
Figura 2.26 Equipamento de análise da interação asfalto-polímero e fases do processo de incorporação	68
Figura 2.27 Ensaio de recuperação elástica mostrando em (a) o início do alongamento; (b) ductilidade em amostra de asfalto sem modificação (ao fundo) e modificado por polímero (na frente) e (c) o mesmo ensaio de (b) após ruptura	71
Figura 2.28 Ensaio de separação de fases ou estabilidade ao armazenamento de asfalto-polímero (a) recipientes padrões colocados dentro da estufa e (b) desenho esquemático da amostragem de ligante armazenado dentro do recipiente e ensaio	73
Figura 2.29 Equipamento de ensaio de coesão Vialit e exemplo de resultado (Leite, 2003)	74
Figura 2.30 Equipamento do ensaio de tenacidade, exemplo de resultados obtidos e tela do programa de controle do ensaio	75
Figura 2.31 Esquema de fabricação do asfalto-borracha via úmida pelo processo de mistura estocável (<i>terminal blending</i>)	76
Figura 2.32 Exemplo de consistência do asfalto-borracha no momento da usinagem	77
Figura 2.33 Exemplo de usina móvel de preparação de asfalto-borracha do estado do Arizona, Estados Unidos	78
Figura 2.34 Equipamento para ensaio de recuperação elástica por torção	79
Figura 2.35 Exemplo de equipamento para ensaio de resiliência de ligantes asfálticos	80
Figura 2.36 Processo de fabricação de emulsões asfálticas (LCPC, 1976)	82
Figura 2.37 Exemplos de várias instalações de uma fábrica de emulsão	83
Figura 2.38 Esquema do ensaio de carga de partícula de uma emulsão asfáltica	86
Figura 2.39 Esquema do ensaio de determinação da sedimentação – DNER-ME 06/2000	87
Figura 2.40 Determinação do peneiramento de emulsão asfáltica	88
Figura 2.41 Determinação da desemulsibilidade de emulsões asfálticas	89
Figura 2.42 Exemplos de passos do ensaio de determinação do resíduo por evaporação	90
Figura 2.43 Aspectos do ensaio de determinação do resíduo por destilação de emulsões asfálticas	91
Figura 2.44 Etapas do ensaio de viscosidade Saybolt-Furol com emulsões	91
Figura 2.45 Determinação do pH da emulsão	92
Figura 2.46 Fábricas de emulsões asfálticas (Abeda, 2005)	93
Figura 2.47 Esquema da câmara de expansão do asfalto-espuma e o processo de espumação	98
Figura 2.48 Exemplo de esquema de avaliação da taxa de expansão e da meia-vida de um asfalto-espuma em campo	98
Figura 2.49 Exemplo de reômetro de cisalhamento dinâmico (DSR)	104
Figura 2.50 Representação gráfica do modo de aplicação das tensões ou deformações cisalhantes, dos parâmetros e resultados obtidos com o DSR	105
Figura 2.51 Reômetro de viga BBR e esquema de ensaio	107
Figura 2.52 Exemplo de equipamento para ensaio de vaso de envelhecimento sob pressão – PAV	108
Figura 2.53 Aspectos do desenvolvimento do ensaio de tração direta – DTT	109

ÍNDICE DE FIGURAS E TABELAS

Tabela 2.1 Exemplos de composições químicas de asfaltos por tipo de cru (Leite, 2003)	28
Tabela 2.2 Especificações para Cimento Asfáltico de Petróleo (CAP) Classificação por penetração (Portaria DNC 5 de 18/2/1993) vigente até julho de 2005	60
Tabela 2.3 Especificações para Cimento Asfáltico de Petróleo (CAP) Classificação por viscosidade (Portaria DNC 5 de 18/2/93) vigente até julho de 2005	60
Tabela 2.4 Nova especificação brasileira de cimento asfáltico de petróleo (CAP) (ANP, 2005)	61
Tabela 2.5 Especificação de asfaltos para pavimentação da Comunidade Européia (EN 12591/2000)	62
Tabela 2.6 Benefícios de diferentes tipos de modificadores de asfalto (modificado de Shell, 2003)	65
Tabela 2.7 Especificação técnica para asfalto modificado com polímero (AMP) (DNER – Em 396/99)	69
Tabela 2.8 Especificação de asfalto-polímero (SBS) proposta pela Comissão de Asfalto IBP (2005)	70
Tabela 2.9 Características exigidas do asfalto-borracha via úmida (DER/PR ES – 28/05)	79
Tabela 2.10 Especificação brasileira de emulsões asfálticas catiônicas (Conselho Nacional de Petróleo – CNP, 07/88)	84
Tabela 2.11 Especificação de emulsões asfálticas para lama asfáltica (CNP – 17/73)	85
Tabela 2.12 Especificação brasileira de emulsões modificadas por polímero SBR (proposta do IBP para a ANP em 2006)	94
Tabela 2.13 Especificação brasileira de emulsões modificadas por polímero SBS (proposta do IBP para a ANP em 2006)	95
Tabela 2.14 Especificação brasileira de asfalto diluído, tipo cura rápida (DNC 43/97)	96
Tabela 2.15 Especificação brasileira de asfalto diluído, tipo cura média (DNC 43/97)	97
Tabela 2.16 Especificação brasileira para agentes rejuvenescedores (DNC 733/97)	100
Tabela 2.17 Proposta de especificação brasileira para agentes rejuvenescedores emulsionados feita pelo IBP (IBP, 1999)	101
Tabela 2.18 Parte da especificação SHRP ou Superpave de ligantes asfálticos tipo CAP (ASTM 63+73/1999)	103

ÍNDICE DE FIGURAS E TABELAS

3 AGREGADOS

Figura 3.1 Ilustração da análise por peneiramento	121
Figura 3.2 Graduações típicas de agregados	123
Figura 3.3 Esquema simplificado do processo de britagem (Roberts <i>et al.</i> , 1996)	125
Figura 3.4 Carregamento de um caminhão na pedreira	126
Figura 3.5 Exemplo de britador primário	126
Figura 3.6 Vista geral de uma instalação de britagem	127
Figura 3.7 Redução mecânica por impacto (Roberts <i>et al.</i> , 1996)	127
Figura 3.8 Redução mecânica combinando impacto e desgaste por atrito (Roberts <i>et al.</i> , 1996)	128
Figura 3.9 Redução mecânica combinando impacto, cisalhamento e compressão (Roberts <i>et al.</i> , 1996)	128
Figura 3.10 Redução mecânica por compressão e impacto em um britador de mandíbula que brita sem atrito (Roberts <i>et al.</i> , 1996)	129
Figura 3.11 Equipamento separador mecânico de amostras	131
Figura 3.12 Redução de amostra de agregado por quarteamento manual	132
Figura 3.13 Equipamentos para o ensaio de equivalente de areia e esquema da proveta com os materiais depositados para a leitura final	133
Figura 3.14 Equipamento para ensaio de abrasão Los Angeles	135
Figura 3.15 Equipamento utilizado no ensaio Treton	138
Figura 3.16 Conjunto de cilindro e êmbolo utilizado no ensaio de 10% de finos e prensa	139
Figura 3.17 Exemplo de equipamento para determinação do índice de forma	141
Figura 3.18 Exemplo de agregados com diferentes formas	142
Figura 3.19 Exemplo de materiais utilizados no ensaio de sanidade e resultado	144
Figura 3.20 Esquema da partícula de agregado na determinação da <i>G_{sa}</i>	145
Figura 3.21 Esquema da partícula de agregado na determinação da <i>G_{sb}</i>	146
Figura 3.22 Esquema da partícula de agregado na determinação da <i>G_{se}</i>	147
Figura 3.23 Esquema de determinação de massas no método DNER-ME 081/98	148
Figura 3.24 Esquema do ensaio de massa específica de agregados miúdos	148
Figura 3.25 Esquema do ensaio de massa específica de agregados miúdos considerando a absorção pelo método ASTM C 127	149
Figura 3.26 Equipamento para determinação da angularidade do agregado miúdo	151
Figura 3.27 Medição de partículas alongadas e achatadas	152
Tabela 3.1 Tipos de rochas comumente usados como fonte de agregados para pavimentação no país	118
Tabela 3.2 Classificação de rochas quanto ao teor de sílica presente (Metso Minerals, 2005)	119
Tabela 3.3 Dimensões nominais das peneiras segundo o DNER-ME 035/95	122

ÍNDICE DE FIGURAS E TABELAS

Tabela 3.4 Métodos de ensaio para determinação de características mecânicas de agregados e valores de aceitação (IPR, 1998)	140
Tabela 3.5 Classificação da forma das partículas (ABNT NBR 6954/1989)	142
Tabela 3.6 Critério de definição da angularidade do agregado graúdo	150
Tabela 3.7 Critério de definição da angularidade do agregado miúdo – valores mínimos	152
Tabela 3.8 Valores máximos percentuais de partículas alongadas e achatadas	153
Tabela 3.9 Valores mínimos percentuais de equivalente de areia	153

ÍNDICE DE FIGURAS E TABELAS

4 TIPOS DE REVESTIMENTOS ASFÁLTICOS

Figura 4.1 Exemplos de estrutura de pavimento novo com revestimento asfáltico	157
Figura 4.4 Exemplos de curvas granulométricas de diferentes misturas asfálticas a quente	160
Figura 4.2 Exemplos de composições granulométricas dos tipos de misturas a quente	160
Figura 4.3 Exemplo de várias frações de agregados e filer que compõem um concreto asfáltico – mistura densa ou bem-graduada e contínua	160
Figura 4.5 Exemplos de corpos-de-prova de misturas asfálticas a quente	161
Figura 4.6 Corpo-de-prova extraído de pista mostrando a composição do revestimento asfáltico	161
Figura 4.7 Exemplo da representação da granulometria segundo a especificação Superpave para um tamanho nominal máximo de 19mm	163
Figura 4.8 Exemplos de rodovias com camada porosa de atrito sob chuva	166
Figura 4.9 Aspectos da CPA no Aeroporto Santos Dumont – RJ	166
Figura 4.10 Composições granulométricas comparativas entre um SMA e um CA	169
Figura 4.11 Exemplo do aspecto de uma camada de SMA executada em pista	169
Figura 4.12 Características da faixa granulométrica <i>gap-graded</i> e a curva usada no experimento da Rodovia Rio–Teresópolis (Fritzen, 2005)	174
Figura 4.13 Aspecto da superfície do revestimento construído com a mistura indicada na Figura 4.12 (Fritzen, 2005)	174
Figura 4.14 Exemplo de aplicação de lama asfáltica em um trecho de via urbana	186
Figura 4.15 Equipamentos de LWT e WTAT usados na dosagem de microrrevestimento e lama asfáltica	187
Figura 4.16 Etapas do ensaio de coesão de dosagem de microrrevestimento asfáltico	187
Figura 4.17 Etapas do ensaio Schulze-Breuer e Ruck de dosagem de microrrevestimento asfáltico	188
Figura 4.18 Exemplos de aplicação de microrrevestimento asfáltico em rodovia de tráfego pesado como restauração funcional	189
Figura 4.19 Exemplo de aplicação de microrrevestimento asfáltico	189
Figura 4.21 Exemplo de fresadora e de serviço de fresagem em uma rodovia	190
Figura 4.20 Exemplo de um rolo de corte de uma fresadora	190
Figura 4.22 Exemplos de equipamentos do tipo fresadoras-recicladoras <i>in situ</i>	192
Figura 4.23 Esquema de tratamentos superficiais	193
Figura 4.24 Etapas construtivas de um tratamento superficial simples pelo sistema convencional	196
Figura 4.25 Exemplos de equipamentos e etapas construtivas de um tratamento superficial simples pelo sistema do equipamento especial com silos de agregado e ligante no mesmo veículo	197
Figura 4.26 Ensaio de desgaste LWT modificado para antipó (Duque Neto <i>et al.</i> , 2004)	198
Figura 4.27 Ensaio de desgaste WTAT modificado para antipó (Duque Neto <i>et al.</i> , 2004)	199
Figura 4.28 Exemplos de aplicação em campo de tratamento antipó com emulsão à base de óleo de xisto (Castro, 2003)	199

ÍNDICE DE FIGURAS E TABELAS

Tabela 4.1 Faixas granulométricas e requisitos para concreto asfáltico (DNIT 031/2004-ES)	163
Tabela 4.2 Pontos de controle de acordo com o tamanho nominal máximo do agregado (Superpave)	164
Tabela 4.3 Zona de restrição de acordo com o tamanho nominal máximo pela especificação (Superpave)	164
Tabela 4.4 Faixas granulométricas e requisitos de dosagem da camada porosa de atrito (DNER-ES 386/99)	167
Tabela 4.5 Faixas granulométricas e requisitos de SMA pela especificação alemã (ZTV Asphalt – StB 94, 2001)	170
Tabela 4.6 Faixas granulométricas norte-americanas segundo AASHTO MP 8-02	171
Tabela 4.7 Características e propriedades da mistura SMA segundo AASHTO MP 8-02	171
Tabela 4.8 Exemplo de uma faixa <i>gap-graded</i> com asfalto-borracha usada em projetos no país	173
Tabela 4.9 Exemplo de características de uma mistura <i>gap-graded</i> com asfalto-borracha usada no país	173
Tabela 4.10 Características de asfalto-borracha utilizado em projetos de <i>gap-graded</i>	173
Tabela 4.11 Faixas granulométricas e características de dosagem recomendadas pelo DNIT para AAUQ com CAP (DNIT 032/2004 – ES)	175
Tabela 4.12 Faixas granulométricas e características de dosagem recomendadas pelo DNIT para AAUQ com asfalto polímero (DNER-ES 387/99)	175
Tabela 4.13 Características de ligantes duros produzidos na França para emprego em misturas de módulo elevado (EME) (AIPCR, 1999)	177
Tabela 4.14 Revestimentos asfálticos normalizados pela AFNOR (SETRA e LCPC, 1994)	180
Tabela 4.15 Características das misturas asfálticas delgadas ($\leq 50\text{mm}$) para camada de rolamento (Brosseaud, 2002b)	181
Tabela 4.16 Características das misturas asfálticas espessas ($> 50\text{mm}$) para camada de rolamento (Brosseaud, 2002b)	181
Tabela 4.17 Características das misturas asfálticas para camada intermediária ou de ligação (Brosseaud, 2002b)	181
Tabela 4.18 Desempenho mecânico exigido para misturas de módulo elevado EME (NF P 98-140)	182
Tabela 4.19 Desempenho mecânico exigido para misturas de módulo elevado BBME (NF P 98-141)	182
Tabela 4.20 Faixas granulométricas e características de dosagem recomendadas pelo DNIT para pré-misturados a frio (DNER-ES 317/97)	184
Tabela 4.21 Faixas granulométricas e características de mistura recomendadas pelo DNIT para lama asfáltica (DNER-ES 314/97)	186
Tabela 4.22 Exemplo de faixas granulométricas para tratamento superficial duplo DNER-ES 309/97	193

ÍNDICE DE FIGURAS E TABELAS

5 DOSAGEM DE DIFERENTES TIPOS DE REVESTIMENTO

Figura 5.1 Exemplos de corpos-de-prova de diversas formas e compactadores de misturas asfálticas	206
Figura 5.2 Esquema de componentes em uma mistura asfáltica compactada	207
Figura 5.3 Pesagem de corpos-de-prova	208
Figura 5.4 Obtenção da condição de superfície saturada seca em corpo-de-prova de mistura asfáltica compactada	209
Figura 5.5 Ilustração dos volumes considerados na determinação da DMT e da <i>Gmm</i>	210
Figura 5.6 Exemplo de procedimento para determinação da <i>Gmm</i> em laboratório	212
Figura 5.7 Ilustração dos vazios existentes entre os agregados recobertos ou entre os grumos	213
Figura 5.8 Seqüência final do procedimento para determinação da <i>Gmm</i>	213
Figura 5.9 Massas consideradas para o cálculo da <i>Gmm</i>	214
Figura 5.10 Tampa de borracha com orifício preenchido com vidro de diâmetro reduzido	215
Figura 5.11 Ilustração da volumetria em uma mistura asfáltica	217
Figura 5.12 Exemplos de compactadores Marshall	218
Figura 5.13 Exemplos de curvas de viscosidade obtidas em diferentes viscosímetros e faixas de mistura e compactação	219
Figura 5.14 Moldagem de corpos-de-prova tipo Marshall em laboratório	220
Figura 5.15 Exemplo de corpos-de-prova submersos em banho-maria e molde de compressão	223
Figura 5.16 Exemplo de equipamento de ensaio de estabilidade Marshall	223
Figura 5.17 Exemplos de curvas dos parâmetros determinados na dosagem Marshall	224
Figura 5.18 Representação esquemática dos grupos de corpos-de-prova	225
Figura 5.19 Teor de asfalto <i>versus</i> Vv e RBV	226
Figura 5.20 Exemplo de granulometria adequada à especificação Superpave	231
Figura 5.21 Ilustração esquemática e exemplo de compactador giratório Superpave (CGS)	232
Figura 5.22 Fluxograma da dosagem Superpave	233
Figura 5.23 Seqüência do procedimento de compactação Superpave	236
Figura 5.24 Curva de compactação típica obtida do CGS (Motta <i>et al.</i> , 1996)	237
Figura 5.25 Gráfico de compactação dos corpos-de-prova do exemplo	240
Figura 5.26 Curva de compactação da mistura 3 com 4,2% de ligante e Tamanho Máximo Nominal de 19mm	248
Figura 5.27 Representação esquemática dos parâmetros volumétricos de controle do SMA	250
Figura 5.28 Ensaio de escorrimento de ligante asfáltico de mistura SMA	252
Figura 5.29 Fluxograma para determinação da massa específica real média dos agregados	255
Figura 5.30 Viscosidade <i>versus</i> porcentagem de ligante novo	257
Figura 5.31 Temperatura <i>versus</i> porcentagem de ligante novo (Kandhal e Foo, 1997)	260
Figura 5.32 Determinação do teor de fresado a ser incorporado na MARQ	262
Figura 5.33 Exemplos de equipamentos para ensaios em agregados para tratamento superficial	264
Figura 5.34 Caixa dosadora para tratamento superficial (Larsen, 1985)	267

ÍNDICE DE FIGURAS E TABELAS

Figura 5.35 Exemplo de equipamento WTAT	270
Figura 5.36 Exemplo de equipamento LWT	271
Figura 5.37 Exemplo de teste de coesão	272
Figura 5.38 Exemplo de confecção de corpo-de-prova para o ensaio Schulze-Breuer e Ruck	272
Figura 5.39 Exemplo de equipamento para ensaio Schulze-Breuer e Ruck	273
Figura 5.40 Definição do teor ótimo do microrrevestimento	276
Figura 5.41 Definição do teor ótimo da lama asfáltica	280
Tabela 5.1 Exemplo da composição dos agregados (números indicam percentual passante em cada peneira)	218
Tabela 5.2 Ajuste do percentual em massa dos agregados em função do teor de asfalto (por simplificação são mostrados apenas quatro teores)	221
Tabela 5.3 Massa específica real dos constituintes (g/cm^3) e DMT da mistura em função do teor de asfalto	221
Tabela 5.4 Cálculo da massa específica das misturas compactadas (por simplificação são mostrados apenas dois corpos-de prova, quando devem ser usados três para cada teor de asfalto)	222
Tabela 5.5 Exemplos de limites de Vv e RBV para diferentes faixas granulométricas de concreto asfáltico	225
Tabela 5.6 Resultados da dosagem	226
Tabela 5.7 Requisitos de dosagem de concreto asfáltico do DNIT-ES 031/2004)	227
Tabela 5.8 Organização hierárquica do método Superpave	231
Tabela 5.9 Número de giros especificados na norma de dosagem Superpave	237
Tabela 5.10 Critérios volumétricos para escolha do teor de projeto	238
Tabela 5.11 Exemplo de compactação por amassamento (CGS)	238
Tabela 5.12 Dados dos agregados das misturas tentativas 1, 2 e 3	240
Tabela 5.13 Valores de G_{mb} corrigidos e respectivos critérios, dados como % G_{mm}	243
Tabela 5.14 Resumo das informações da compactação das misturas tentativas	244
Tabela 5.15 Resumo das informações das misturas tentativas para Vv = 4% no $N_{projeto}$	246
Tabela 5.16 Resumo das informações da mistura 3	248
Tabela 5.17 Propriedades de projeto da mistura com 4,7% de ligante	249
Tabela 5.18 Definição da fração graúda de agregado (NAPA, 1999)	251
Tabela 5.19 Especificação para misturas SMA utilizando método Marshall (NAPA, 1999)	251
Tabela 5.20 Fatores corretivos da superfície específica do método de Duriez	255
Tabela 5.21 Exemplo de composição granulométrica da mistura reciclada (% passante)	262
Tabela 5.22 Recomendação para agregados de tratamentos superficiais (Larsen, 1985)	265
Tabela 5.23 Graduação dos agregados para TST usados no exemplo	268
Tabela 5.24 Resultados dos demais ensaios	268

ÍNDICE DE FIGURAS E TABELAS

Tabela 5.25 Resultados da dosagem	269
Tabela 5.26 Requisitos para agregados usados em microrrevestimento asfáltico a frio (DNIT 035/2005-ES)	274
Tabela 5.27 Composição dos agregados para microrrevestimento	275
Tabela 5.28 Resultados dos ensaios mecânicos em microrrevestimento	275
Tabela 5.29 Dados de coesão no teor ótimo	276
Tabela 5.30 Cálculo dos índices em função do teor ótimo de emulsão	277
Tabela 5.31 Limites do teor de emulsão para faixas do DER/PR	278
Tabela 5.32 Granulometria do projeto e faixa de trabalho	279
Tabela 5.33 Composição dos agregados para lama asfáltica	279
Tabela 5.34 Resultados dos ensaios mecânicos em lama asfáltica	280
Tabela 5.35 Cálculo dos índices em função do teor ótimo de emulsão	280

ÍNDICE DE FIGURAS E TABELAS

6 PROPRIEDADES MECÂNICAS DAS MISTURAS ASFÁLTICAS

Figura 6.1	Exemplo de equipamento e resultado do ensaio de estabilidade Marshall	289
Figura 6.2	Ilustração do ensaio de compressão diametral e estado de tensões gerado	292
Figura 6.3	Arranjo dos LVDTs para medidas de deslocamentos horizontais e verticais	293
Figura 6.4	Exemplos de equipamento para ensaio de compressão diametral de carga repetida	295
Figura 6.5	Exemplos de arranjos experimentais para a colocação dos medidores de deslocamento ao corpo-de-prova para o ensaio de MR	295
Figura 6.6	Duração dos tempos de carregamento e repouso	296
Figura 6.7	Parcelas dos deslocamentos resilientes e permanentes registrados durante ensaios de módulo de resiliência	297
Figura 6.8	Forma do pulso de carregamento (adaptado de NCHRP-285)	298
Figura 6.9	Subdivisões do pulso de deslocamento	298
Figura 6.10	Regressões das porções de descarregamento do pulso de deslocamento	299
Figura 6.11	Deslocamento resiliente instantâneo	300
Figura 6.12	Deslocamento resiliente total	300
Figura 6.13	Desenho esquemático do comportamento viscoelástico sob carregamento harmônico	304
Figura 6.14	Exemplos de equipamentos usados na determinação do módulo complexo	305
Figura 6.15	Curva mestra de módulo dinâmico	306
Figura 6.16	Serragem da face do corpo-de-prova	307
Figura 6.17	Retirada do núcleo do corpo-de-prova	307
Figura 6.18	Exemplo da realização do ensaio em uma máquina universal	308
Figura 6.19	Esquema do ensaio de compressão diametral	309
Figura 6.20	Exemplo de equipamento para ensaio de RT	310
Figura 6.21	Estágios existentes num processo de fadiga	312
Figura 6.22	Exemplos de equipamentos para ensaios de fadiga	313
Figura 6.23	Vida de fadiga considerando diferentes faixas granulométricas	314
Figura 6.24	Representação das tensões no centro da amostra de um corpo-de-prova cilíndrico	314
Figura 6.25	Deformações permanentes em pavimentos asfálticos	316
Figura 6.26	Exemplos de equipamentos e arranjos experimentais para o ensaio de <i>creep</i>	319
Figura 6.27	Posicionamento dos LVDTs para registro de deslocamento axial no ensaio de <i>creep</i>	319
Figura 6.28	Informações do ensaio de <i>creep</i>	319
Figura 6.29	Função fluência e respectivo ajuste para a série de Prony (Souza e Soares, 2003)	319
Figura 6.30	Carregamento e deformação no ensaio de <i>creep</i> dinâmico	321
Figura 6.31	Conjunto de mesa compactadora e simulador de tráfego LCPC para ensaios de deformação permanente em laboratório	322

ÍNDICE DE FIGURAS E TABELAS

Figura 6.32 Resultados de deformação permanente de misturas asfálticas no ensaio de simulador de tráfego LCPC	323
Figura 6.33 Percentual de afundamento <i>versus</i> teor de asfalto para 30.000 ciclos no simulador de tráfego LCPC (Bernucci <i>et al.</i> , 2002)	324
Figura 6.34 Compactador e simulador APA	325
Figura 6.35 Simulador do Laboratório Nacional de Engenharia Civil – LNEC, Portugal	326
Figura 6.36 Simulador da Universidade da Carolina do Norte	326
Figura 6.37 Exemplo de aparelho de abrasão Los Angeles utilizado para o ensaio Cântabro	328
Figura 6.38 Exemplos de corpos-de-prova submetidos ao ensaio Cântabro indicando a determinação do resultado pela média de três corpos-de-prova	329
Figura 6.39 Passos para o condicionamento e para a determinação da RT	331
Tabela 6.1 Módulos de resiliência e resistência de misturas investigadas no país (25°C)	302
Tabela 6.2 Ensaio de sensibilidade à umidade para corpos-de-prova compactados (Solaimanian <i>et al.</i> , 2004)	329
Tabela 6.3 Resultados de RT, RT _u e RRT para duas misturas asfálticas analisadas (Vasconcelos, 2004)	331

ÍNDICE DE FIGURAS E TABELAS

7 MATERIAIS E ESTRUTURAS DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS

Figura 7.1 Pavimento de concreto de cimento Portland	337
Figura 7.2 Pavimento asfáltico	337
Figura 7.3 Classificação MCT (Nogami e Villibor, 1981)	341
Figura 7.4 Etapas do ensaio ISC	343
Figura 7.5 Esquema e exemplo de equipamento de ensaio triaxial de carga repetida	347
Figura 7.6 Tensões aplicadas e deslocamentos no ensaio de carga repetida	348
Figura 7.7 Modelos clássicos de comportamento resiliente de solos	349
Figura 7.8 Outros comportamentos de solos quanto à resiliência	350
Figura 7.9 Outros ensaios de resistência em materiais cimentados quimicamente	351
Figura 7.10 Materiais granulares empregados em bases, sub-bases ou reforços	353
Figura 7.11 Solos e solo-agregados empregados em bases, sub-bases ou reforços	354
Figura 7.12 Lateritas, saibros e materiais reciclados empregados em bases, sub-bases ou reforços	355
Figura 7.13 Materiais cimentados empregados em bases, sub-bases ou reforços	356
Figura 7.14 Tipos de solo-agregado (Yoder e Witczak, 1975)	359
Figura 7.15 Estruturas típicas de pavimentos asfálticos	366
Figura 7.16 Estruturas típicas de pavimentos asfálticos	367
Figura 7.17 Estruturas típicas de pavimentos asfálticos	368
Tabela 7.1 Emprego recomendado de solos tropicais em obras viárias (modificado de Nogami e Villibor, 1995)	341
Tabela 7.2 Faixas A, B, e C de solos arenosos finos lateríticos para bases e sub-bases de pavimentos (DER-SP, 1991)	361
Tabela 7.3 Valores de propriedades mecânicas e hidráulicas que o solo arenoso fino deve seguir para ser empregado como base de pavimento (DER-SP, 1991)	361

ÍNDICE DE FIGURAS E TABELAS

8 TÉCNICAS EXECUTIVAS DE REVESTIMENTOS ASFÁLTICOS

Figura 8.1 Representação esquemática de uma usina asfáltica por batelada (Asphalt Institute, 1998)	374
Figura 8.2 Representação esquemática de uma usina asfáltica contínua (Asphalt Institute, 1998)	375
Figura 8.3 Exemplo de uma usina asfáltica por batelada ou gravimétrica	375
Figura 8.4 Exemplo de uma usina asfáltica contínua	375
Figura 8.5 Exemplo de estoques e silos cobertos para proteção dos materiais de uma usina gravimétrica	376
Figura 8.6 Exemplo de tanques horizontais para armazenamento com aquecimento de ligantes asfálticos de uma usina gravimétrica	376
Figura 8.7 Exemplo de sistema de silos frios	377
Figura 8.8 Exemplo de controle de alimentação de agregados de um silo frio e correia transportadora de agregados para o secador	378
Figura 8.9 Exemplo de secador e sistema de aquecimento para secagem dos agregados	378
Figura 8.10 Secador de fluxo paralelo (Asphalt Institute, 1998)	379
Figura 8.11 Secador de contra-fluxo (Asphalt Institute, 1998)	379
Figura 8.12 Esquema de coletores primário e secundário (Asphalt Institute, 1998)	380
Figura 8.13 Exemplo de sistema de coletores de pó	380
Figura 8.14 Esquema de unidade de peneiramento de usina asfáltica por batelada (Asphalt Institute, 1998)	381
Figura 8.15 Exemplo de um elevador de agregados aquecidos e silos quentes	382
Figura 8.16 Esquema de produção de uma batelada de mistura asfáltica (Asphalt Institute, 1998)	382
Figura 8.17 Esquema de tambor secador-misturador de fluxo paralelo em usina contínua (Asphalt Institute, 1998)	383
Figura 8.18 Esquema de tambor secador-misturador de contrafluxo de usina contínua (Asphalt Institute, 1998)	383
Figura 8.19 Exemplo de usina estacionária para produção de misturas a frio	385
Figura 8.20 Exemplo de usina de pré-misturado a frio móvel	385
Figura 8.21 Esquema de componentes de uma vibroacabadora de pneus (Asphalt Institute, 1998)	387
Figura 8.22 Esquema do fluxo de mistura asfáltica em uma vibroacabadora de esteiras (Asphalt Institute, 1998)	388
Figura 8.23 Exemplo de um tipo de vibroacabadora	388
Figura 8.24 Exemplos de densímetros para determinação da massa específica <i>in situ</i>	390
Figura 8.25 Exemplos de rolo de pneus e rolo tandem liso	390
Figura 8.26 Exemplo de rolo vibratório	391
Figura 8.27 Exemplo de padrão de rolagem de uma camada de mistura asfáltica	391
Figura 8.28 Definição do padrão de rolagem	392

ÍNDICE DE FIGURAS E TABELAS

Figura 8.29	Esquema de padrão de rolagem em pista com mudança de inclinação transversal no eixo longitudinal	392
Figura 8.30	Esquema de padrão de rolagem em pistas com extremidade desconfiada	392
Figura 8.31	Exemplo das etapas de construção de um tratamento superficial	394
Figura 8.32	Exemplos de equipamento multidistribuidor para execução de tratamentos superficiais por penetração invertida	395
Figura 8.33	Seqüência esquemática de construção de um tratamento superficial	396
Figura 8.34	Exemplo de aplicação de tratamento superficial por penetração invertida	396
Figura 8.35	Exemplo de equipamento para produção e aplicação de lama asfáltica	397
Figura 8.36	Exemplos de aplicação de lama asfáltica	398
Figura 8.37	Exemplos de equipamento e execução de microrrevestimento a frio	399
Figura 8.38	Etapas da execução de <i>cape seal</i>	400
Tabela 8.1	Exemplo de temperaturas de estocagem e usinagem de alguns ligantes asfálticos e do agregado (ilustrativas)	377
Tabela 8.2	Fatores que afetam o tempo de rolagem	393

ÍNDICE DE FIGURAS E TABELAS

9 DIAGNÓSTICO DE DEFEITOS, AVALIAÇÃO FUNCIONAL E DE ADERÊNCIA

Figura 9.1 Variação da serventia com o tráfego ou com o tempo decorrido de utilização da via	405
Figura 9.2 Variação da carga dinâmica de dois eixos legais trafegando em uma via com elevada irregularidade (Fernandes Jr. e Barbosa, 2000)	405
Figura 9.3 Período recomendável para a manutenção dos pavimentos	406
Figura 9.4 Período recomendável para a manutenção dos pavimentos	407
Figura 9.5 Diversas faixas de variação do IRI dependendo do caso e situação (Sayers e Karamihias, 1998)	408
Figura 9.6 Perfilógrafo do Departamento de Transportes de Illinois (Carey, Huckins e Leathers, 1962)	409
Figura 9.7 Perfilômetro da AASHO empregado inicialmente na avaliação de suas pistas experimentais (Carey, Huckins e Leathers, 1962)	409
Figura 9.8 Exemplo de levantamento da irregularidade longitudinal por nível e mira (Queiroz, 1984)	410
Figura 9.9 Exemplo de equipamento <i>dipstick</i> e esquema de funcionamento	410
Figura 9.10 Exemplo de equipamento APL francês	411
Figura 9.11 Exemplo de equipamento munido de barra com ultra-som	411
Figura 9.12 Exemplos de equipamentos medidores de irregularidade de classe II	411
Figura 9.13 Exemplo de equipamento Merlin medidor de irregularidade	412
Figura 9.14 Princípio de funcionamento de equipamento tipo-resposta (Gillespie <i>et al.</i> , 1980)	413
Figura 9.15 Fendas	417
Figura 9.15 Fendas (continuação)	418
Figura 9.16 Afundamentos e escorregamentos	419
Figura 9.17 Escorregamento, corrugação e exsudação	420
Figura 9.18 Desgaste, desagregação, polimento de agregados	421
Figura 9.19 Painelas e remendos	422
Figura 9.20 Outros defeitos	423
Figura 9.21 Treliça metálica para medida dos afundamentos em trilhas de roda	424
Figura 9.22 Exemplo de demarcação de áreas para inventário de defeitos	425
Figura 9.23 Exemplo de planilha empregada para levantamento do estado de superfície pela norma do IGG	426
Figura 9.24 Exemplo de planilha de cálculo do IGG	427
Figura 9.25 Micro e macrotextura na superfície de um revestimento asfáltico	430
Figura 9.26 Operação do pêndulo britânico para a determinação do valor de resistência à derrapagem	431
Figura 9.27 Equipamentos e passos do ensaio de mancha de areia	431
Figura 9.28 Exemplo de mancha de areia em dois tipos de revestimento com macrotexturas distintas	432

ÍNDICE DE FIGURAS E TABELAS

Figura 9.29 Exemplo de equipamento de medida de atrito μ Meter	433
Figura 9.30 Resultados de coeficiente de atrito longitudinal medido em três tipos diferentes de revestimentos asfálticos e a diferentes velocidades (modificado de Brosseaud, 2002)	434
Figura 9.31 Exemplo de arranjos de conjunto de equipamentos para medições de ruído gerado com a contribuição do pavimento (Láo, 2004)	436
Figura 9.32 Exemplo de resultados obtidos em medições de ruído em campo e em laboratório (Láo, 2004)	437
Tabela 9.1 Níveis de serventia (DNIT, 2003c)	404
Tabela 9.2 Conceitos do índice de gravidade global IGG por faixa de valores	428
Tabela 9.3 Classificação da textura de um pavimento	430
Tabela 9.4 Classes de microtextura (ABPv, 1999)	431
Tabela 9.5 Classes de macrotextura (ABPv, 1999)	432

ÍNDICE DE FIGURAS E TABELAS

10 AVALIAÇÃO ESTRUTURAL DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS

Figura 10.1 Representações esquemáticas de curvas de desempenho de um pavimento e etapas de restauração	442
Figura 10.2 Exemplos de extração corpos-de-prova e de poços de sondagem em pavimentos em uso	444
Figura 10.3 Exemplo de equipamentos DCP de avaliação estrutural expedita de subleitos e camadas de solo	444
Figura 10.4 Equipamento de avaliação expedita do módulo elástico do pavimento	444
Figura 10.5 Defeitos estruturais de trincamento e afundamento por repetição de cargas	445
Figura 10.6 Esquema da viga Benkelman (DNER ME 24/94) e exemplo de medida em campo	447
Figura 10.7 Passos do ensaio com a viga Benkelman	448
Figura 10.8 Esquema de leituras com a viga Benkelman para obtenção da deformada	449
Figura 10.9 Esquema de medida e cálculo do raio de curvatura	449
Figura 10.10 Esquema de um defletômetro de impacto	450
Figura 10.11 Exemplos de modelos de FWD	451
Figura 10.12 Exemplo de modelo de centro de calibração de FWD	451
Figura 10.13 Esquema de medidas com o FWD	452
Figura 10.14 Esquema dos dados necessários para se fazer uma retroanálise de pavimento (Nóbrega, 2003)	453
Figura 10.15 Diferentes formas de bacia deflectométrica indicam diferentes capacidades de carga para a mesma deflexão máxima (Nóbrega e Motta, 2003)	455
Figura 10.16 Tela do programa RETRAN2CL (Albernaz, 1997)	457
Figura 10.17 Exemplos de simuladores de tráfego	459
Figura 10.18 Exemplos de simuladores de tráfego tipo HVS – <i>heavy vehicle simulator</i> em outros países	460

Sem tabelas

ÍNDICE DE FIGURAS E TABELAS

11 TÉCNICAS DE RESTAURAÇÃO ASFÁLTICA

Figura 11.1 Exemplo de delimitação dos segmentos homogêneos pelo método das diferenças acumuladas (AASHTO, 1993)	466
Figura 11.2 Exemplo de selagem de trincas	467
Figura 11.3 Posicionamento de geotêxtil em pavimento recapeado	469
Figura 11.4 Exemplo de execução de geotêxtil em restauração de revestimento asfáltico	470
Figura 11.5 Exemplo de execução de geogrelha em restauração de revestimento asfáltico	471
Figura 11.6 Posicionamento da camada intermediária de alívio de tensões	472
Figura 11.7 Posicionamento de camada de interrupção de trincas	473
Figura 11.8 Reciclagem com espuma de asfalto	474
Tabela 11.1 Exemplo de aplicação do procedimento para delimitação em segmentos homogêneos (AASHTO, 1993)	465

ÍNDICE REMISSIVO DE TERMOS

A

AASHTO, 287, 306, 346, 404, 406, 464
abrasão, 116, 124, 133, 153, 187, 269, 273, 395
abrasão Los Angeles, 134, 140, 261, 273, 327, 357
absorção, 142, 149, 167, 216, 271, 435
aderência, 165, 179, 403, 429, 430, 483
adesão, 116, 187, 264, 273, 275, 280
adesividade, 64, 118, 143, 328, 421
afundamento de trilha de roda, 322, 417, 443
afundamentos, 322, 414, 416, 417, 419, 424, 442, 443, 445
agentes rejuvenescedores, 41, 99, 188, 190, 256, 473
agregado, 115, 207
 artificial, 119
 britado, 124
 gráudo, 120, 132, 139, 142, 150, 152
 miúdo, 85, 120, 148, 150, 151
 natural, 99, 116
 propriedades (ver propriedades dos agregados)
 reciclado, 116, 119, 351, 352, 355, 362
alcatrão, 25, 26
amostragem, 73, 130, 142, 387
amostragem de agregados, 130
análise granulométrica, 122, 132
análise petrográfica, 117
análise por peneiramento, 119, 121, 122, 125, 139
angularidade de agregado, 150, 151, 152, 240, 261

ângulo de fase, 104, 260, 290, 303
areia, 116, 119, 120, 141, 151, 164, 174, 341, 354, 356, 363, 430
areia-asfalto, 174, 253, 328
areia-cal-cinza volante, 356
argila, 132, 143, 150, 153, 340, 341, 354, 358, 360, 363
argila calcinada, 119, 134
argila expandida, 119
aromáticos, 27, 30, 37, 51, 64
asfaltenos, 27, 30, 32, 68, 176
asfalto, 25, 27, 30, 34, 41, 58, 100
 asfalto-borracha, 75, 162, 165, 172, 302, 324, 377
 asfaltos diluídos, 81, 96
 asfalto-espuma, 38, 41, 97, 441
 asfalto modificado por polímeros, 59, 63, 67, 69, 92, 162, 174, 377, 472
 asfalto natural, 26
 composição química, 27
 especificação brasileira, 58, 61, 83, 94, 95, 96, 97, 99
 especificação europeia, 62
 especificação SHRP, 32, 100, 102, 103
 produção, 32, 33, 34, 39
 programa SHRP, 100
 propriedades físicas-ensaios, 41
 coesividade Vialit, 72
 densidade relativa, 53
 durabilidade, 49
 dutilidade, 49
 espuma, 53
 estabilidade à estocagem, 72
 fragilidade e tenacidade, 73
 massa específica, 53
 penetração, 42

 ponto de amolecimento, 48
 ponto de fulgor, 52
 ponto de ruptura Fraass, 54
 recuperação elástica, 70
 reômetro de cisalhamento dinâmico, 104
 reômetro de fluência em viga (BBR), 106
 retorno elástico, 70
 separação de fases, 72
 suscetibilidade térmica, 55
 solubilidade, 49
 tração direta (DTT), 108
 vaso de envelhecimento sob pressão (PAV), 108
 viscosidade, 43
avaliação, 403, 441
 de aderência em pistas molhadas, 429
 estrutural, 9, 441, 463
 funcional, 9, 403, 441, 463
 objetiva, 424
 subjativa, 404, 409

B

“bacia de deflexão, bacia de deformação”, 445, 452
basalto, 116, 118, 119, 142, 143
base (camada de pavimento), 176, 183, 194, 337, 339
base asfáltica, 176
BBM, BBME, BBTM, BBUM, 176, 177, 179, 180, 181, 182
betume (ver asfalto), 25, 26, 49
bica corrida, 353, 357
bombeamento de finos, 416, 423
borracha (ver asfalto-borracha), 59, 62, 63, 65, 75
brita graduada simples, 352, 353, 357

brita graduada tratada com cimento, 352, 356, 362
britador, 124, 127
britagem, 124
Brookfield, 47
buraco (panela), 415, 416, 422, 425

C

camada(s)
“de base; de sub-base”, 352
“de dissipação de trincas (de absorção de trincas; anti-reflexão de trincas)”, 468, 469
de módulo elevado, 162, 165, 176
de reforço do subleito, 337, 339
de rolamento (ver revestimento asfáltico), 9, 162, 176, 468, 473
de revestimento intermediárias, 9, 162, 179, 183, 187, 253, 472
intermediárias de alívio de tensões, 472
porosa de atrito (ver revestimento drenante), 159, 161, 165, 253, 328, 434, 468
superficiais de revestimentos delgados, 165, 179, 473
caminhão espargidor, 393, 396
Cannon-Fenske, 44, 45
Cannon-Manning, 44, 45
CAP (cimento asfáltico de petróleo) (ver asfalto)
capa selante, 183, 193, 395
cimento asfáltico de petróleo (ver asfalto)
classificação de agregados, 116, 119, 142
classificação de asfaltos, 41, 43, 60, 100
classificação de defeitos, 415
classificação de solos, 340, 341
classificação de textura, 430, 432
coesão (coesividade), 49, 72, 187, 194, 271, 338, 342, 352
coletores de pó (filtros de manga), 380
compactação, 389

compactador giratório (Superpave), 230, 232
compatibilidade, 66, 67, 72, 129, 271
compressão, 10, 127, 195, 289, 308, 311, 330, 338, 350, 352, 470
compressão uniaxial não-confinada (*creep*), 317
concreto asfáltico, 158, 159, 161, 162, 217, 302, 432, 468
concreto asfáltico de módulo elevado, 162, 165, 176, 302, 311, 352
concreto asfáltico delgado, 177, 178
concreto asfáltico denso, 161, 162
cone de penetração dinâmico (DCP), 345, 443, 444
contrafluxo, 379, 383, 384
corrugação, 415, 416, 420, 425, 427
creep, 106, 317, 318, 319, 320, 321
cura, 96, 254, 351, 363, 364, 397, 399
curva de Fuller, 229
curvas granulométricas (ver granulometria), 123, 261

D

DCP (*dynamic cone penetrometer cone* de penetração dinâmico), 345, 444
defeitos de superfície, 413, 414, 415, 416
deflexão, 346, 443, 445, 446, 448, 454, 463, 464
deformação, 43, 49, 104, 105, 304, 313, 315, 443
deformação permanente (ver afundamento em trilha de roda), 316, 317, 320, 321, 322, 443
degradação, 133, 134, 137, 139
densidade (ver massa específica) específica, 144 específica Rice, 210 máxima medida, 209 máxima teórica, 209 relativa, 53, 145, 147

densímetro com fonte radioativa, 390
densímetro eletromagnético, 390
desagregação (ver desgaste, descolamento, *stripping*), 415, 416, 421, 422
descolamento, 129, 419, 421
desempenho, 101, 373, 401, 403, 441, 442, 457
desgaste, 134, 135, 327, 415, 416, 421, 423
deslocamento, 289, 291, 297, 298, 299, 300, 301, 318, 321, 346, 348, 421, 443, 445, 446
diorito, 118, 119
distribuidor de agregados, 197, 393
dosagem, 157, 205, 217, 227, 229, 253, 256, 258, 259, 266, 269, 274, 277
dosagem ASTM, 217, 235
dosagem de misturas asfálticas recicladas a quente, 256
dosagem Marshall, 206, 217, 224, 227
dosagem Superpave, 229, 233, 259
drenagem superficial, 264, 407
DSC, 33, 58
DSR, 104, 105
DTT, 108, 109
durabilidade, 49
dureza, 124, 134, 178
dureza dos agregados, 134

E

elastômeros, 62, 63
EME, 162, 165, 176, 178, 179, 180, 181, 182
emulsão aniônica, 81, 84, 85
emulsão asfáltica, 81, 82, 83, 84, 92, 93
emulsão catiônica, 81, 82, 84
endurecimento, 34, 49, 52, 108
endurecimento do ligante asfáltico, 34, 51, 52
ensaio
azul-de-metileno, 187, 275, 279
bandeja, 266, 267
Cântabro, 167, 253, 328

carga de partícula, 86
desemulsibilidade, 89
determinação do pH, 92
10% de finos, 134, 139, 140
efeito do calor e do ar, 49
equivalente de areia, 132, 133, 153
espuma, 53
estabilidade à estocagem, 67, 72
flexão, 291, 303
mancha de areia, 430, 431, 432
pêndulo britânico, 430, 431
peneiração, 88
penetração, 42
placa, 266
ponto de amolecimento, 48
ponto de fulgor, 52, 53
ponto de ruptura Fraass, 54, 55
recuperação elástica por torção, 78, 79
resíduo por destilação, 90, 91
resíduo por evaporação, 90
sanidade, 143, 144
Schulze-Breuer and Ruck, 188, 271, 272, 273
sedimentação, 87
separação de fases, 72, 73
solubilidade, 49, 50
tenacidade, 73, 74, 75
tração direta, 108, 109
tração indireta, 308
Tretón, 137, 138
viscosidade, 43, 45, 46, 91
envelhecimento, 49, 50, 51, 52, 108
escória de aciaria, 119, 355
escória de alto-forno, 119
escorregamento, 419, 420
especificação brasileira de asfalto diluído, 96, 97
especificação brasileira de emulsões asfálticas catiônicas, 84
especificação brasileira de emulsões asfálticas modificadas por polímero, 94, 95
especificação de emulsões asfálticas para lama asfáltica, 85
especificações para cimento asfáltico de petróleo, 60

espuma de asfalto, 53, 192, 474
estabilidade, 67, 72, 92, 121, 132, 222, 223, 288
estocagem, 33, 36, 37, 38, 67, 72, 376, 384
estufa de filme fino rotativo, 50, 51
estufa de película fina plana, 50, 51
EVA, 66, 67, 68
expressão de Duriez, 255
exsudação, 415, 416, 420

F

fadiga, 288, 311, 312, 313, 315, 316, 445
feldspato, 117, 119
fendas, 117, 119
fibras, 172, 252
fíler, 120, 160
filtro de mangas, 380
fluência, 106, 222, 318
fluxo paralelo, 379, 383
forma dos agregados, 141, 142, 172
fórmula de Vogt, 254
fragilidade, 73
fresadoras, 189, 192
fresagem, 188, 190, 191, 468
fundação, 337
FWD, 445, 448, 450, 451, 452

G

gabro, 118, 119
GB, 176, 179, 180
gel, 28, 30, 31
geogrelhas, 471
geossintéticos, 469
geotêxteis, 469, 470
gerência, 403, 413, 441
gnaisse, 117, 118, 362
graduação, 122, 123, 131, 159, 161, 169, 172, 183, 229, 264, 323
graduação aberta, 122, 159
graduação com intervalo, 172
graduação densa, 122, 159
graduação descontínua, 159
graduação do agregado, 159
graduação uniforme, 123

gráfico de Heukelom, 56, 57
granito, 117, 118, 119
grau de compactação, 389
grau de desempenho, 101, 259
grumos, 88, 89, 132, 213, 216

H

hidrocarbonetos, 25, 27, 30, 33, 37
hidroplanagem, 429, 433
histórico, 11, 16
Hveem, 50, 291, 346

I

IBP, 70, 80, 99, 291
IFI, 434
IGG, 415, 424, 427, 428, 429
IGI, 427, 428
impacto, 72, 127, 128, 205, 206, 448
imprimação, 97, 414
índice de atrito internacional, 434
índice de degradação após compactação Marshall, 139, 140
índice de degradação após compactação Proctor, 137
índice de degradação Washington, 136
índice de forma, 141, 264
índice de gravidade global, 415, 424, 428
índice de gravidade individual, 427, 428
índice de irregularidade internacional, 407
índice de penetração, 55, 56
índice de suporte Califórnia, 342
índice de susceptibilidade térmica, 41
IRI, 407, 408, 413
irregularidade, 404, 405, 407, 408, 409, 410, 411, 412, 413
irregularidade longitudinal, 407, 410

J

juntas, 76, 469, 472

L

lama asfáltica, 85, 185, 186, 187, 269, 277, 397
laterita, 119, 355, 362
ligantes asfálticos modificados com polímeros, 59, 63, 69, 473
limpeza, 132, 167, 386
Lottman, 143
LWT, 185, 187, 197, 198, 269, 270, 271, 275

M

macadame betuminoso, 194, 195, 352
macadame hidráulico, 352, 353, 357
macadame seco, 353, 357, 358
macromoléculas, 59
macrotextura, 430, 432, 433
maltenos, 27, 30, 68
manutenção, 406, 407, 413, 441
manutenção preventiva, 406, 407, 441
massa específica, 53, 54, 144, 145, 148, 149, 237, 389, 390, 443
massa específica aparente, 146, 207, 208, 209
massa específica efetiva, 146, 211
massa específica máxima medida, 209, 211, 214
massa específica máxima teórica, 209
massa específica real, 145
materiais asfálticos, 10, 352
materiais estabilizados granulometricamente, 358
material de enchimento, 120, 185, 358
matriz pétreo asfáltica, 159, 168
Mecânica dos Pavimentos, 10, 339, 453
megatextura, 430
método Marshall, 205, 217, 227, 228
metodologia MCT, 359, 360, 361
microrrevestimento, 186, 269, 274, 397
microtextura, 430, 431

mistura asfáltica, 26, 157, 205, 373
misturas asfálticas drenantes, 179
módulo complexo, 104, 303, 305, 306
módulo de resiliência, 291, 294, 296, 297, 300, 301, 345, 346, 348, 349
módulo de rigidez, 106
módulo dinâmico, 304, 306
multidistribuidor, 395

O

ondulações transversais, 415
osmometria por pressão de vapor, 28
oxidação, 34, 50

P

panela, 415, 416, 422, 427
parafinas, 33, 58
partículas alongadas e achatadas, 150, 152, 153
PAV, 108
pavimentação, 10, 20, 25, 373, 403
pavimentos asfálticos, 9, 10, 337, 338, 365, 366, 367, 368, 441
pavimentos de concreto de cimento Portland, 9, 338
pavimentos flexíveis, 337, 415
pavimentos rígidos, 337
pedregulhos, 115, 116
pedreira, 124, 126
peneiramento, 88, 121, 122, 125
peneiras, dimensões, 122
penetração, 10, 42, 43, 55, 56, 58, 194, 343, 393, 443
penetrômetro de cone dinâmico, 345
percolação, 159, 165
perda ao choque, 137, 138
perda por umidade induzida, 328
perfilômetro, 408, 409
permeabilidade, 165, 166, 183
petróleo, 25, 33, 96
PG, 101, 102, 103, 259, 260
pH, 86, 92
pintura de ligação, 414, 420, 422

plastômeros, 65, 68
PMF, 183, 184, 253, 255
pó, 65, 76, 120, 132, 195, 198, 380
pó de pedra, 120, 184, 274
polimento, 117, 421, 433
ponto de amolecimento, 33, 48, 55, 100
ponto de amolecimento anel e bola, 48
pré-misturado, 10, 385, 468, 472
processo estocável, 76
processo seco, 76, 78, 80
processo úmido, 76
produção de asfalto, 27, 35, 36, 37, 38
propriedades físicas, 41, 126, 129

Q

QI, 412, 413
quarteamento, 131, 132
quartzito, 118, 119
quartzito, 117, 118, 119
quociente de irregularidade, 412, 413

R

raio de curvatura, 446, 447, 449, 454
RASf, 37, 178
recapeamento, 441, 468, 469, 470, 471, 472
reciclado, 116, 119, 261, 352, 355
reciclagem, 53, 99, 119, 188, 190, 191, 352, 441, 473, 474
reciclagem em usina, 191
reciclagem *in situ*, 191, 192, 474
reconstrução, 22, 406, 441
recuperação elástica, 69, 70, 71, 78, 79, 80, 300, 472
refino do petróleo, 33, 35, 36, 37, 38, 39
reforço, 9, 337, 339, 342, 352, 365, 424, 441, 453, 468
rejeitos, 352
remendo, 416, 422
reologia, 30, 259
reômetro de cisalhamento dinâmico, 103, 104

reômetro de fluência em viga, 103, 106
reperfilagem, 467, 468
resíduo, 34, 75, 87, 89, 90, 91, 120, 178, 355
resíduo de vácuo, 34, 36
resinas, 28, 30
resistência, 67, 133, 143, 150, 165, 176, 251, 302, 308, 327, 342, 351, 431
resistência à abrasão, 133, 134, 153, 264, 269
resistência à deformação permanente, 67, 150, 165, 179
resistência à fadiga, 67, 179
resistência à tração estática, 249, 288, 308
resistência à tração retida, 251
resistência ao atrito, 119, 140
resistência ao trincamento por fadiga, 178, 315
ressonância nuclear magnética, 28, 72
restauração, 176, 185, 188, 406, 407, 413, 441, 442, 463, 466, 467, 468
retorno elástico, 68, 70, 79
retroanálise, 452, 453, 454, 455, 456, 457
revestimento asfáltico drenante, 165
revestimentos asfálticos, 10, 157, 164, 205, 373, 473
revestimentos delgados, 165, 179, 473
RNM, 28, 72
rochas ígneas, 116, 117, 118
rochas metamórficas, 116
rochas sedimentares, 116
rolagem, 206, 390, 391, 392, 393
rolo compactador, 390, 391, 392, 393
rolos compactadores estáticos, 390
rolos compactadores vibratórios, 391
rolos de pneus, 390
RTFOT, 50, 51, 103, 108
ruído, 165, 172, 179, 435, 436, 437
ruptura da emulsão, 87, 92
RV, 36, 103

S

SAMI, 472
SARA, 27, 28, 29
saturados, 27, 28, 30, 32
Saybolt-Furoil, 46, 91, 219
SBR, 66, 92, 94
SBS, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 95
Schellenberg, 252
secador, 377, 378, 379, 380, 383
secador de contrafluxo, 379
secador de fluxo paralelo, 379, 383
segmentos homogêneos, 463, 464, 465, 466
segregação, 120, 123, 130, 172, 386, 393, 423
segurança, 52, 97, 100, 403, 429
selagem de trincas, 466, 467
serventia, 404, 405, 406, 407, 409, 441
SHRP, 32, 100, 102, 120, 123, 150, 229, 230
silos frios, 377, 378
silos quentes, 381, 382
simuladores de laboratório, 317
simuladores de tráfego, 321, 457, 458, 459
sintético, 62, 134
SMA, 161, 168, 169, 170, 171, 172, 249, 250, 251, 252
sol, 30, 31
solo arenoso fino laterítico, 354, 360
solo-agregado, 358, 359
solo-areia, 354, 359
solo-brita descontínuo, 354, 359
solo-cal, 352, 356, 364
solo-cimento, 351, 352, 356, 363, 364
sub-base, 9, 337, 339, 342, 352
Superpave, 100, 103, 229, 232, 233, 236, 259
susceptibilidade térmica, 41, 55, 56

T

tamanho máximo, 120, 131, 230
tamanho nominal máximo, 120, 164

teor de argila, 153
teor de asfalto, 162, 221, 224, 226, 234
teor de parafinas, 33, 58
teor de sílica, 119
termoplásticos, 62, 63, 64
textura superficial, 140, 166, 435
TFOT, 49, 50, 51
tipos de ligantes asfálticos, 40, 41
tipos de modificadores, 65
tipos de rochas, 118
transporte, 11, 12, 14, 18, 20, 384
tratamento superficial duplo, 192, 263, 395
tratamento superficial primário, 193, 195
tratamento superficial simples, 192, 194, 196, 263, 400
tratamento superficial triplo, 192, 263, 395
tratamentos superficiais, 180, 191, 193, 194, 393
triaxial com carregamento repetido, 317, 347, 348
trincamento, 9, 230, 350, 361, 406, 445, 469
trincamento por fadiga, 9, 150, 230, 315
trincas, 311, 354, 356, 415, 417, 418, 425, 467, 469, 472, 473

U

usina asfáltica por batelada, 374, 381, 382
usina contínua, 383
usina de asfalto, 374
usina de produção, 374, 381, 382
usina gravimétrica, 374, 381
usinas asfálticas, 373, 379, 384

V

valor de resistência à derrapagem, 172, 429, 430, 431
valor de serventia atual, 404, 406
vaso de envelhecimento sob pressão, 108
vibroacabadora de esteiras, 388
vibroacabadora de pneus, 387

vibroacabadoras, 387
viga Benkelman, 346, 445, 446,
447, 448, 449
viscosidade absoluta, 44, 45
viscosidade cinemática, 44, 45
viscosidade rotacional, 47
viscosímetro capilar, 44
VPO, 28
VRD, 430, 431

W

WST, 270
WTAT, 187, 197, 199, 269, 270

Z

zona de restrição, 164, 230, 231

ÍNDICE REMISSIVO DAS BIBLIOGRAFIAS

A

- AASHTO (1986), 369
AASHTO (1989) AASHTO T 283/89, 154
AASHTO (1991) AASHTO T85, 154
AASHTO (1993), 438
AASHTO (1997) AASHTO T305, 281
AASHTO (1999) AASHTO T104, 200
AASHTO (1999) AASHTO T209, 281
AASHTO (2000) AASHTO T166, 281
AASHTO (2001) AASHTO D5821, 200
AASHTO (2003) AASHTO T312, 281
AASHTO (2003) AASHTO T319, 281
AASHTO (2005) AASHTO MP8-01, 332
AASHTO PP35, 281
ABEDA (2001), 110
ABINT (2004), 475
ABNT (1989) NBR 6954, 154
ABNT (1991) NBR 12261, 369
ABNT (1991) NBR 12262, 369
ABNT (1991) NBR 12265, 369
ABNT (1992) NBR 12053, 369
ABNT (1993) NBR 12891, 281
ABNT (1994) NBR 13121, 110
ABNT (1998) NBR 6576, 110
ABNT (1998) NBR 9619, 110
ABNT (1999) NBR 14249, 110
ABNT (1999) NBR 14393, 110
ABNT (1999) NBR 6299, 110
ABNT (2000) NBR 14491, 110
ABNT (2000) NBR 14594, 110
ABNT (2000) NBR 6302, 110
ABNT (2000) NBR 6560, 110
ABNT (2000) NBR 6567, 110
ABNT (2000) NBR 6569, 110
ABNT (2000) NBR 6570, 110
ABNT (2001) NBR 14736, 111
ABNT (2001) NBR 14746, 200
ABNT (2001) NBR 5847, 110
ABNT (2001) NBR 6293, 110
ABNT (2001) NBR 6300, 110
ABNT (2003) NBR 6297, 111
ABNT (2003) NBR NM 52, 154
ABNT (2003) NBR NM 53, 154
ABNT (2004) NBR 14896, 111
ABNT (2004) NBR 15087, 281
ABNT (2004) NBR 15115, 369
ABNT (2004) NBR 15140, 281
ABNT (2004) NBR 15166, 111
ABNT (2004) NBR 15184, 111
ABNT (2004) NBR 5765, 111
ABNT (2005) NBR 9935, 154
ABNT (2005) NBR 15235, 111
ABNT (2005) NBR 6568, 111
ABNT NBR 11341, 111
ABNT NBR 11805, 369
ABNT NBR 11806, 369
ABNT NBR 14376, 110
ABNT NBR 14756, 111
ABNT NBR 14757, 200
ABNT NBR 14758, 200
ABNT NBR 14798, 200
ABNT NBR 14841, 200
ABNT NBR 14855, 111
ABNT NBR 14948, 200
ABNT NBR 14949, 200
ABNT NBR 14950, 111
ABNT NBR 6296, 111
ABNT P-MB 326, 110
ABNT P-MB 425/1970, 110
ABNT P-MB 43/1965, 110
ABNT P-MB 581/1971, 110
ABNT P-MB 586/1971, 110
ABNT P-MB 590/1971, 110
ABNT P-MB 609/1971, 110
ABNT P-MB 826/1973, 110
ABNT (2002) NBR 14856, 111
ABPv (1999), 438
Adam, J-P. (1994), 24
AFNOR (1991) AFNOR-NF-P-98-253-1, 332
AFNOR (1991a), 332
AFNOR (1993) AFNOR-NF-P-98-260-1, 332
AIPCR (1999), 200
Albernaz, C.A.V. (1997), 461
Aldigueri, D.R., Silveira, M.A. e Soares, J.B. (2001), 281
Allen, D. H. e Haisler, W. E. (1985), 332
Alvarenga, J.C.A. (2001), 369
Alvarez Neto, L. (1997), 461
Alvarez Neto, L., Bernucci, L.L.B., Nogami, J.S. (1998), 461
Amaral, S.C. (2004), 369
ANP (1993), 281
Antoszczem Jr, J.A. e Massaranduba, J.C.M. (2004), 402
APRG (1997), 281
Aps, M.; Bernucci, L.L.B.; Fabrício, J.M.; Fabrício, J.V.F.; Moura, E. (2004a), 438
Aps, M.; Bernucci, L.L.B.; Fabrício, J.M.; Fabrício, J.V.F. (2004b), 438
Aps, M.; Rodrigues Filho, O.S.; Bernucci, L.L.B.; Quintanilha, J.A. (2003), 438
Asphalt Institute (1989), 154
Asphalt Institute (1995), 154
Asphalt Institute (1998), 402
ASTM (2003b) ASTM E-1960, 438
ASTM (1982) ASTM D4123, 332

- ASTM (1986) ASTM C496, 332
 ASTM (1993) ASTM C 1252, 282
 ASTM (1994) ASTM D5002, 282
 ASTM (1995) ASTM D1856, 282
 ASTM (1997) ASTM D5, 111
 ASTM (1998) ASTM C702, 154
 ASTM (1999) ASTM D4791, 154
 ASTM (2000) ASTM D2041, 282
 ASTM (2000) ASTM D2726, 282
 ASTM (2000) ASTM D 1075-96, 154
 ASTM (2000) ASTM D 4791-99, 282
 ASTM (2000) ASTM D244, 111
 ASTM (2000) ASTM D5840, 111
 ASTM (2000) ASTM D5976, 111
 ASTM (2000) ASTM D6521, 111
 ASTM (2001) ASTM D2042, 111
 ASTM (2001) ASTM D2170, 112
 ASTM (2001) ASTM D2171, 112
 ASTM (2001) ASTM D2172, 282
 ASTM (2001) ASTM D4124, 112
 ASTM (2001) ASTM D5581, 282
 ASTM (2001) ASTM D5801, 112
 ASTM (2001) ASTM D5841, 111
 ASTM (2001) ASTM D6648, 112
 ASTM (2001) ASTM E 965-96, 438
 ASTM (2002) ASTM D 1754/97, 112
 ASTM (2002) ASTM D1188, 282
 ASTM (2002) ASTM D4402, 112
 ASTM (2002) ASTM D6723, 112
 ASTM (2002) ASTM D6816, 112
 ASTM (2003) ASTM D3497-79, 332
 ASTM (2003a) ASTM E 303-93 S, 438
 ASTM (2004) ASTM D2872, 111
 ASTM (2004) ASTM D6084, 112
 ASTM (2004) ASTM D7175, 112
 ASTM (2005) ASTM C 125, 154
 ASTM C127, 154
 ASTM C128, 282
 ASTM D 113, 111
 ASTM D 2007, 111
 ASTM D 270, 111
 ASTM D 36, 111
 ASTM D 5329, 112
 ASTM D 5858, 461
 ASTM D 88, 111
- ASTM D 92, 112
 ASTM D 95, 111
 ASTM D4748-98, 461
 ASTM E102, 112
 ASTM(2002) ASTM D402, 112
- B**
- Balbo, J.T. (1993), 369
 Balbo, J.T. (2000), 332
 Barksdale (1971), 332
 Beligni, M., Villibor, D.F. e Cincere, J.R. (2000), 200
 Bely, L. (2001), 24
 Benevides, S.A.S. (2000), 332
 Benkelman, A.C.; Kingham, R.I. e Fang, H.Y. (1962), 369
 Bernucci, L.L.B. (1995), 369
 Bernucci, L.B.; Leite, L.M. e Moura, E. (2002), 332
 Bertollo, S.A.M. (2003), 112
 Bertollo, S.A.M., Bernucci, L.B., Fernandes, J.L. e Leite, L.M. (2003), 112
 Bittencourt, E.R. (1958), 24
 Bohong, J. (1989), 24
 Bonfim, V. (2000), 200
 Bonnaure, F., Gest, G., Gravois, A. e Uge, P. (1977), 332
 Boscov, M.E.G. (1987), 369
 Bottin Filho, I.A. (1997), 332
 Bottura, E.J. (1998), 438
 Brito, L.A.T (2006), 333
 Brosseau, Y. (2002), 438
 Brosseau, Y. (2002a), 200
 Brosseau, Y. (2002b), 201
 Brosseau, Y., Bogdanski, B., Carre, D., (2003), 201
 Brosseau, Y., Delorme, J-L., Hiernaux, R.(1993), 201
 Buchanan, M.S.; Brown, E.R. (2001), 282
 Bukowski, J.R. (1997), 282
- C**
- Cabral, G.L.L. (2005), 154
 Camacho, J. (2002), 369
 Carey Jr., W.N. e Irick, P.E. (1960), 438
 Carey Jr., W.N.; Huckins, H.C. e Leathers, R.C. (1962), 438
 Carneiro, F.L. (1943), 333
 Carneiro, F.B.L.(1965), 461
 Carpenter, S.H.; K.A. Ghuzlan, e S. Shen (2003) , 333
 Castelo Branco, V.T.F., Aragão, F.T.S. e Soares, J.B. (2004), 282
 Castro Neto, A.M. (1996), 282
 Castro Neto, A.M. (2000), 282
 Castro, C.A.A. (2003), 112
 Centro de Estudios de Carreteras (1986), 333
 Ceratti, J.A.P. (1991), 369
 Chevallier, R. (1976), 24
 Christensen, R.M. (1982), 333
 CNT (2004), 333
 Coelho, W. e Sória, M.H.A. (1992), 282
 COMITEE ON TROPICAL SOILS OF ISSMFE (1985), 369
 Concer (1997), 24
 Cordeiro, W.R. (2006), 201
 Corté, J.-F. (2001), 201
 Costa, C.A. (1986), 201
 Croney, D. (1977), 438
 Cundill, M.A. (1991), 438
- D**
- DAER/RS-EL 108/01, 282
 Dama, M.A. (2003), 112
 Daniel, J.S. e Y.R. Kim (2002), 333
 Daniel, J.S. e Y.R. Kim e Lee, H.J. (1998), 333
 DERBA (1985), 201
 DER-BA ES P 23/00, 201
 DER-PR (1991), 402
 DER-SP (1991), 369
 Dijk, W.V. (1975), 333
 DNC (1993), 112
 DNC 733/1997 (1997), 112
 DNER (1979) DNER PRO-10/79, 461
 DNER (1979) DNER PRO-11/79, 461
 DNER (1985) DNER PRO-159/85, 461

DNER (1994), 112	DNER (1996), 113	DNER (1998), 113, 283
DNER (1994) DNER-ME 138/94, 333	DNER (1996) DNER-ME 193/96, 283	DNER (1998) DNER-ME 035/98, 155
DNER (1994) DNER-IE 006/94, 154	DNER (1996) DNER-PRO 199/96, 155	DNER (1998) DNER-ME 081/98, 155
DNER (1994) DNER-ME 053/94, 154	DNER (1996) DNER-PRO 273/96, 461	DNER (1998) DNER-ME 083/98, 155
DNER (1994) DNER-ME 061/94, 461	DNER (1997), 283, 402	DNER (1998) DNER-ME 096/98, 155
DNER (1994) DNER-ME 063/94, 112	DNER (1997) DNER ME 367/97, 155	DNER (1999) DNER-ES 386/99, 201
DNER (1994) DNER-ME 078/94, 154	DNER (1997) DNER-ES 308/97, 201	DNER (1999) DNER-ES 387/99, 201
DNER (1994) DNER-ME 086/94, 154	DNER (1997) DNER-ES 309/97, 201	DNER (1999) DNER-ES 388/99, 475
DNER (1994) DNER-ME 089/94, 154	DNER (1997) DNER-ES 310/97, 201	DNER (1999) DNER-ES 389/99, 202
DNER (1994) DNER-ME 093/94, 154	DNER (1997) DNER-ES 311/97, 201	DNER (1999) DNER-ES 390/99, 202
DNER (1994) DNER-ME 107/94, 282	DNER (1997) DNER-ES 312/97, 201	DNER (1999) DNER-ME 382/99, 201
DNER (1994) DNER-ME 117/94, 282	DNER (1997) DNER-ES 313/97, 201	DNER (1999) DNER-ME 383/99, 333
DNER (1994) DNER-ME 133/94, 333,	DNER (1997) DNER-ES 314/97, 201	DNER (1999) DNER-ME 397/99, 155
DNER (1994) DNER-ME 222/94, 154	DNER (1997) DNER-ES 317/97, 201	DNER (1999) DNER-ME 398/99, 155
DNER (1994) DNER-ME 24/94, 461	DNER (1997) DNER-ES 318/97, 201	DNER (1999) DNER-ME 399/99, 155
DNER (1994) DNER-PRO 08/94, 438	DNER (1997) DNER-ES 319/97, 201	DNER (1999) DNER-ME 400/99, 155
DNER (1994) DNER-PRO 269/94, 461	DNER (1997) DNER-ES 320/97, 201	DNER (1999) DNER-ME 401/99, 155
DNER (1994a) DNER-PRO 164/94, 438	DNER (1997) DNER-ME 054/97, 155	DNIT (2003) DNIT 005-TER, 439
DNER (1994b) DNER ME 228/94, 370	DNER (1997) DNER-ME 153/97, 283	DNIT (2003) DNIT 006-PRO, 439
DNER (1994b) DNER-PRO 182/94, 438	DNER (1997) DNER-ME 197/97, 155	DNIT (2003c) DNIT 009-PRO, 439
DNER (1994c) DNER ME 256/94, 370	DNER (1997) DNER-PRO 120/97, 155	DNIT (2004) DNIT 031/04-ES, 155
DNER (1994c) DNER-PRO 229/94, 438	DNER (1997c) DNER ES 301/97, 370	DNIT (2005), 155
DNER (1994d) DNER ME 258/94, 370	DNER (1997d) DNER ES 303/97, 370	DNIT (2005) DNIT 034/05-ES, 202
DNER (1995) DNER-EM 035/95, 154	DNER (1997e) DNER ES 304/97, 370	DNIT (2005) DNIT 035/05-ES, 202
DNER (1995) DNER-ME 043/95, 282	DNER (1997f) DNER ES 305/97, 370	DNIT (2006), 370
DNER (1995) DNER-ME 084/95, 155	DNER (1997g) DNER ME 254/97, 370	DNIT(2005) DNIT 032/05-ES, 202
		DNIT(2005) DNIT 033/05-ES, 202

Duque Neto, F.S. (2004), 202
Duque Neto, F.S., Motta, L.M.G. e
Leite, L.F.M. (2004), 202

E

EN 12591 (2000), 113
EN 12593 (2000), 113
EN 12697-5 (2002), 283
Epps, J^a., Sebaaly, P.E., Penaranda, J., Maher, M.R. Mccann, M.B. e Hand, A.J. (2000), 333
Epps, J.A. e C.L. Monismith (1969), 333
Espírito Santo, N.R. e Reis, R.M. (1994), 283

F

Falcão, M.F.B. e Soares, J.B. (2002), 333
Fernandes Jr., J.L. e Barbosa, R.E. (2000), 439
Fernandes, C.G. (2004), 155
Ferry, J.D. (1980), 333
FHWA (1994), 283
FHWA (1995), 283
Finn, F.N., Monismith, C.L. e Makevich, N.J. (1983), 334
Fonseca, O.A. (1995), 334
Fortes, R.M. e Nogami, J.S. (1991), 370
Francken, L.; Eustacchio, E.; Isacsson, U e Partl, M.N. (1997), 283
Francken, L. e Partl, M.N. (1996), 334
Fritzen, M.A (2005), 202

G

GEIPOT (1981), 24, 439
Ghuzlan, K.A. e Carpenter, S.H. (2000), 334
Gillespie, T.D.; Sayers, M.W. e Segel, L. (1980), 439
Girdler, R.B. (1965), 113
Godoy, H. (1997), 370
Godoy, H. ; e Bernucci, L.L.B. (2002), 370

Gonçalves, F.P., Ceratti, J.A.P. (1998), 461
Gontijo, P.R.A. (1984), 402
Goodrich, J.L. (1991), 334
Gouveia, L.T. (2002), 155
Guimarães, A.C.R. e Motta, L.M.G. (2000), 155

H

Haas, R. Hudson, W.R e Zaniewski, J. (1994), 439
Hafez, I.H. e Witczak, M.W. (1995), 283
Hagen, V.W. (1955), 24
Harman, T.; Bukowski, J.R.; Moutier, F.; Huber, G.; McGennis, R. (2002), 283
Hawkes, I. e Mellor, M. (1970), 334
Heide J.P.J. e J.C. Nicholls (2003), 283
Henry, J. (2000), 439
Heukelom, W. (1969), 113
Hill, J.F. (1973), 334
Hinrichsen, J. (2001), 283
História das Rodovias (2004), 24
Hondros, G. (1959), 334
Huang, Y.H. (1993), 334
Huang, Y.H. (2003), 461
Hunter, R.N. (2000), 113
Hveem, F. N (1955), 334
Hveem, F. N.; Zube, E.; Bridges, R.; Forsyth, R. (1963), 113

I

IA (Instituto do Asfalto, versão em português) (2001), 113
IBP (1999), 113
Instituto do Asfalto (1989), 283
IPR (1998), 155
ISSA (2001), 202
ISSA (2005), 202
ISSA (2005a), 202
ISSA TB-100 (1990), 284
ISSA TB-109 (1990), 284
ISSA TB-114 (1990), 284
ISSA TB-145 (1989), 283

J

Jackson, N.M. e Czor, L.J. (2003), 284
Jooste, F.J.; A. Taute; B.M.J.A. Verhaeeghe; A.T. Visser e O.A. Myburgh (2000), 284

K

Kandhal, P.S. e Koehler, W.S. (1985), 284
Kandhal, P.S. e Brown, E.R. (1990), 284
Khandal, P. e Foo, K.Y. (1997), 284
Kim, Y.R. e Y.C. Lee (1995), 334
Kim, Y.R., H.J. Lee e D.N. Little (1997), 334
Kim, Y.R.; D.N. Little e F.C. Benson (1990)", 334
Kleyn, E. G. (1975), 370
Klumb, R.H. (1872), 24

L

Lama, R.D. e Vutukuri, V.S. (1978), 334
Láo, V.L.E.S.T. (2004), 439
Láo, V.L.E.S.T. e Motta, L.M.G. (2004), 439
Larsen, J. (1985), 202
LCPC (1976), 113
LCPC (1989), 402
Lee, H.J. e Kim, Y.R. (1998), 334
Leite, L.F.M (1999), 113
Leite, L.F.M (2003), 113
Leite, L.F.M. & Tonial, I.A. (1994), 113
Leite, L.F.M., Silva, P., Edel, G., Motta, L.M. e Nascimento L. (2003), 113
Lentz, R.W. and Baladi, G.Y. (1980), 370
Liberatori, L.A. (2000), 113
Little, D.N.; R.L. Lytton; D. Williams e R.Y. Kim (1999)", 334
Livneh, M (1989), 371
Loureiro, T.G. (2003), 334
Lovato, R.S. (2004), 371
Love, A.E.H. (1944), 334
Luong, M.P. (1990), 334

M

Macêdo, J.A.G. (1996), 462
Magalhães, S.T. (2004), 202
Magalhães, S.T.; Motta, L.M.G e Leite, L.F.M. (2004), 202
Malliagos, T.G. e Ferreira, C.P. (2006), 24
Mamlouk, S.M. e Sarofim, R.T. (1988), 334
Mano (1991), 113
Mano, E.B. (1985), 113
Margary, I. (1973), 24
Marques, G.Lº. e Motta, L.M.G. (2006), 334
Marques, G.L.O. (2001), 155
Marques, G.L.O. (2004), 284
Mascarenhas Neto, J.D. (1790), 24
McDaniel, R. e Anderson, R.M. (2000), 284
McDaniel, R. e Anderson, R.M. (2001), 284
McGennis, R.B.; Anderson, R.M.; Perdomo, D.; Turner, P. (1996), 284
Medina, J e Motta, L.M.G. (2005), 371
Medina, J. (1997), 24
Medina, J., Motta, L.M., Pinto, S. e Leite, L.M. (1992), 335
Metso Minerals (2005), 156
Meurer Filho, E. (2001), 335
Monismith, C.L.; Seed, H.B.; Mitry, F.G.; Chan, C.K. (1967), 371
Moreira, H.S. e Soares, J.B. (2002), 284
Morilha Junior, A. & Trichês, G. (2003), 113
Morilha Júnior, A.(2004), 113
Motta, L.M.G. (1991), 335
Motta, L.M.G. e Leite, L.F.M. (2000), 156
Motta, L.M.G., Tonial, I., Leite, L. F. et al. (1996), 202
Motta, L.M.G.; Medina, J.; Matos, M.V.M.; Vianna, A.A.D. (1990), 371
Motta, L.M.G. (1998), 284
Motta, R.S. (2005), 371
Moura, E. (2001), 335

Mourão, F.A.L. (2003), 202
Mouthrop, J.S. e Ballou, W.R. (1997), 285

N

NAPA (1982), 285
NAPA (1998), 402
NAPA (1999), 203
Nardi, J.V. (1988), 371
Nascimento, L., Leite, L., Campos, E.F., Marques, G. e Motta, L. (2006), 335
Nascimento, L., Leite, L., Láo, V.L.E.S.T e Jesus, G.F. (2005), 439
NCHRP 9-12 (2000), 285
NCHRP-285 (2204), 335
Nóbrega, E.S. (2003), 462
Nóbrega, E.S. e Motta, L.M.G. (2003), 462
Nóbrega, E.S., Motta, L.M.G., Macedo, J.A.G. (2003), 462
Nogami, J.S. e Villibor, D.F. (1981), 371
Nogami, J.S.; Villibor, D.F. (1995), 156
Núñez, W.P. (1997), 371

O

Oda, S. (2000), 113
Oliveira, C.G.M. (2003), 335

P

Papazian, H.S. (1962), 335
Park, S.W. e Kim, Y.R. (1998), 335
Park, S.W., Kim, Y.R. e Schapery, R.A. (1996), 335
Patriota, M.B (2004), 113
Peralta, X., González, J.M., Torres, J. (2000), 203
Phandnavis, D.G. e C.G. Swaminathan (1997), 335
Pinheiro, J.H.M. (2004), 114
Pinheiro, J.H.M. e Soares, J.B. (2004), 114
Pinto, C.S. (2000), 156
Pinto, I.E. (2002), 114

Pinto, S. (1991), 114
Pinto, S. (1996), 285
Pinto, S. (1998), 114
Pinto, S. (2004), 285
Pinto, S. e Preussler, E. (2002), 462
Pinto, S., Guarçoni, D. e Chequer, C.J. (1998), 114
Pinto, S., Preussler, E, e Farah, H. (1983), 114
Porter, O.J. (1950), 371
Prego, A.S.S. (1999), 114
Prego, A.S.S. (2001), 24
Preussler, E.S. (1983), 371
Pronk, A.C. e Hopman, P.C. (1990), 335

Q

Queiroz, C.A.V. (1984), 439

R

Ramos, C.R., Salathé, J.E. e Martinho, F.G. (1993), 114
Ramos, C.R et al (1995). Curso de ligantes asfálticos. IBP, 114
Ribas, M.C. (2003), 24
Ricci, E.; Vasconcelos, J. F.; Kraemer, J.L. (1983), 371
Roberts, A. (1977), 335
Roberts, F.L., Kandhal, P.S., Brown, E.R., Lee, D-Y. e Kennedy, T.W. (1996), 156
Roberts, F.L.; Mohammad, L.N.; Wang, L.B. (2002), 285
Robinson, R. (1986), 439
Rodrigues, R.M. (1991), 335
Röhm, S.A. (1984), 371
Rowe, G.M. (1993), 335
Ruwer, P., Marcon, G., Morilha J.R.A. e Ceratti, J.A. (2001), 114

S

Santana, H. (1978), 203
Santana, H. (1992), 203
Santana, H. (1993), 335
Santos, C. (2003), 203
Santos, J.D.G. (1998), 371

- Saunier, B.; Dolfus, C. e Geffroy, G. (1936), 24
- Sayers, M.W. e S.M. Karamihas (1998), 439
- Schapery, R.A. (1969), 336
- Schapery, R.A. (1974), 336
- Seed, H.B. and Chan, C.K. (1958), 372
- Seed, H.B.; Chan, C.K.; Lee, C. E. (1962), 372
- Seed, H.B.; Chan, C. K.; Monismith, C.L. (1955), 372
- Seed, H.B.; Mitry, F.G.; Monismith, C.L.; Chan, C.K. (1967), 372
- Serfass, J.P., Bauduin, A., Garnier J.F. (1992), 203
- SETRA e LCPC (1994), 203
- SETRA e LCPC (1998), 203
- SETRA (1997), 203
- Shell (2003), 114
- SHRP (1991), 114
- SHRP (1994a), 285
- SHRP (1994b), 285
- SILVA, P.D.E.A. (2001), 462
- Silva, P.B. (2005), 114
- Silveira, M.A. (1999), 285
- Soares, J.B. (2003) Notas de Aula UFC. Fortaleza – CE, 114
- Soares, J.B., Leite, L.M. Motta, L.M. e Branco, J.V.C. (1999), 285
- Soares, J.B., Motta, L.M. e Soares, R.F. (2000), 285
- Soares, J.B., Motta, L.M., Nóbrega, L.M., Leite, L.M., Paiva, J^{aa}. e Nobre Jr, E.F. (1998), 285
- Solamianian, M., Harvey, J., Tahmoressi, M. e Tandon, V. (2004), 336
- Souza, F.V. (2005), 336
- Souza, F.V. e J. B. Soares (2003a), 336
- Souza, M.L. (1966), 372
- Souza, M.L. (1979), 372
- Souza, M.L. (1980), 372
- Souza, M.L.; Magalhães, J.P.; Silva, R.B.; Schlosser, R. (1977), 372
- Souza, R.O. (2002), 439
- Specht, L.P. (2004), 114
- Suzuki, C.Y. (1992), 372
- T**
- Taira, C. e Fabbri, G.T.P. (2001), 336
- Tayebali, A.A.; J.A. Deacon; J.S. Coplantz e C.L. Monismith (1993), 336
- Thuler, R.B. (2005), 203
- Timoshenko, S.P. e Goodier, J.N. (1951), 336
- Tonial, I.A. (2001), 114
- Tonial, I.A. e Bastos, A.C.R. (1995), 114
- Trichês, G. e Cardoso, A.B. (1999), 372
- Trichês, G.; Cardoso, A. B. (2001), 462
- Trichês, G.; Fontes, L.P.T.L.; Dal Pai, C.M. (2004), 462
- Tuchumantel Jr., O. (1990), 285
- V**
- Valkering, C.P., Lancon, D.J.L., Hilster, E.D. e Stoker, D.A. (1990), 336
- Vaniscotte, J.C. e Duff, M. (1978a), 285
- Vaniscotte, J.C. e Duff, M. (1978b), 285
- Vasconcelos, K.L. (2004), 285
- Vasconcelos, K.L., Soares, J.B. e Leite, L.M. (2003), 286
- Vertamatti, E. (1988), 372
- Viana, A.D. (2004), 336
- Villela e Marcon, (2001), 462
- Villibor, D.F. (1981), 372
- Von Quintus, H.L., J.A. Scherocman, C.S. Hughes e T.W. Kennedy (1991), 336
- W**
- Wang, J.N.; Kennedy, T.W. e McGennis, R.B. (2000), 286
- WAPA (2004), 156
- White, T.D. (1985), 286
- Whiteoak (1980), 286
- Whiteoak, D. (1990), 114
- Wild, O. (1992), 24
- Witczak, M.W. e Root, R.E. (1974), 336
- Woods, K.B. (1960), 156
- World Bank (1985), 439
- World Bank (2000), 439
- Y**
- Yen T. F (1991), 114
- Yildirim, Y.; Solaimanian, M.; McGennis, R.B. e Kennedy, T.W. (2000), 286
- Yoder, E. J. e Witczak, M.W. (1975), 336
- Zhang, W.; A. Drescher e D.E. Newcomb (1997), 336
- ZTV Asphalt (2001), 203

realização



PETROBRAS

ASFALTOS



ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS
DISTRIBUIDORAS DE ASFALTOS

