

GUIA TÉCNICO

UTILIZAÇÃO DE LIGANTES ASFÁLTICOS EM SERVIÇOS DE PAVIMENTAÇÃO

Jorge Augusto Pereira Ceratti

Liedi Bariani Bernucci

Jorge Barbosa Soares



**ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS
DISTRIBUIDORAS DE ASFALTOS**

UTILIZAÇÃO DE LIGANTES ASFÁLTICOS EM SERVIÇOS DE PAVIMENTAÇÃO

Jorge Augusto Pereira Ceratti

Liedi Bariani Bernucci

Jorge Barbosa Soares

1ª Edição

Rio de Janeiro

2015



ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS
DISTRIBUIDORAS DE ASFALTOS

APOIO

ABEDA – Associação Brasileira das Empresas Distribuidoras de Asfaltos

Copyright © 2015 Jorge Augusto Pereira Ceratti, Liedi Bariani Bernucci e Jorge Barbosa Soares

PROJETO GRÁFICO E DIAGRAMAÇÃO

Trama Criações de Arte

REVISÃO DE TEXTO

Mariflor Rocha

IMPRESSÃO

GRUPO SMART PRINTER

Utilização de ligantes asfálticos em serviços de pavimentação / Jorge

Augusto Pereira Ceratti... [et al.]. – Rio de Janeiro : ABEDA,
2015.

144 f. : il.

Inclui Bibliografias.

Apoio ABEDA

1. Asfalto. 2. Ligante 3. Pavimentação. 4. Revestimento asfáltico.
4. Mistura.

I. Ceratti, Jorge Augusto Pereira. II. Bernucci, Liedi Bariani.

III. Soares, Jorge Barbosa.

GUIA TÉCNICO

UTILIZAÇÃO DE LIGANTES ASFÁLTICOS EM SERVIÇOS DE PAVIMENTAÇÃO

Jorge Augusto Pereira Ceratti

Liedi Bariani Bernucci

Jorge Barbosa Soares



ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS
DISTRIBUIDORAS DE ASFALTOS



JORGE AUGUSTO PEREIRA CERATTI

Engenheiro civil pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (1976). Possui mestrado em Engenharia Civil pela mesma Universidade (1979). Concluiu o doutorado em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Rio de Janeiro em 1991. Atualmente é professor titular da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, professor do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, coordenador do Laboratório de Pavimentação da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, consultor *ad hoc* do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, membro da Comissão de Asfalto do Instituto Brasileiro de Petróleo, Gás e Biocombustíveis e conselheiro *ad hoc* da Revista *Pavimentação* da Associação Brasileira de Pavimentação. Publicou mais de 200 trabalhos, formou alunos de graduação, de mestrado e de doutorado, foi coordenador da Comissão de Asfalto do IBP - Instituto Brasileiro de Petróleo, Gás e Biocombustível em 2010, coordena projetos de pesquisa financiados por órgãos de fomento, agências e por empresas públicas e privadas. Atua como consultor na área de Engenharia Civil, com ênfase em pavimentos.



LIEDI BARIANI BERNUCCI

Graduada em Engenharia Civil pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (1981), possui mestrado em Engenharia Geotécnica pela Universidade de São Paulo (1987), tendo feito pesquisa para seu mestrado no Institut Fuer Grundbau und Bodenmechanik - Eidgenoessische Technische Hochschule Zürich, ETHZ, Suíça, onde permaneceu de 1984 a 1986. Retornou à mesma Instituição suíça para seu doutorado sanduíche com bolsa da Fapesp (1988-1989) e finalizou seu doutorado em Engenharia de Transportes pela Universidade de São Paulo (1995). Realizou sua livre-docência em 2001 e tornou-se em 2006 professora titular da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, da qual é docente desde 1986. Foi chefe do Departamento de Engenharia de Transportes da Escola Politécnica da USP por 7 anos no total, cargo que ocupou até março de 2014. É atualmente vice-diretora da Escola Politécnica (2014-2018). Atua na área de infraestrutura de transportes: vias urbanas, rodovias, aeroportos e ferrovias. Formou alunos de graduação, de mestrado e de doutorado; supervisionou

pós-doutorados; é autora do livro *Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros*, juntamente com Laura M.G. Motta, Jorge A. P. Ceratti e Jorge B. Soares; publicou cerca de 200 trabalhos; foi editora da *Transportes*, de 1999 a 2003; coordena projetos de pesquisa financiados por órgãos de fomento, agências e por empresas públicas e privadas; foi coordenadora da Comissão de Asfalto do IBP - Instituto Brasileiro de Petróleo, Gás e Biocombustível em 2007, coordenou e colaborou com alguns eventos nacionais e internacionais na área de pavimentos. Participa de diversas associações e grupos de trabalhos de normalização e estudos.



JORGE BARBOSA SOARES

Engenheiro civil pela Universidade Federal do Ceará (1991). MSc. (1994) e Ph.D. (1997) em Engenharia Civil pela Texas A&M University. Hoje é professor titular da UFC e diretor de Pesquisa do Centro de Tecnologia da UFC. Foi chefe do Departamento de Engenharia de Transportes da UFC entre 2011 e 2014. Coordena o Laboratório de Mecânica dos Pavimentos da UFC e a Rede Asfalto N/NE, uma iniciativa que envolve 10 universidades em 10 estados. Já atuou como consultor em diversos projetos rodoviários, e coordenou vários projetos de pesquisa e formação de recursos humanos junto à Funcap, Finep, Capes, CNPq e ANP. Presidiu a organização de importantes eventos nacionais e internacionais na área (Anpet, Sinappre, ABPv, Isap, IBP). Coordenou a Comissão de Asfalto do IBP/ABNT em 2013, sendo seu integrante desde 2003. É editor associado da revista *Transportes* da Anpet, entidade da qual foi diretor entre 2008 e 2014, membro do Corpo Editorial do *Road Materials and Pavement Design Journal*, e revisor das principais revistas internacionais da área de pavimentação. Entre os prêmios recebidos estão quatro vezes o Prêmio Petrobras de Tecnologia, IBP, CNT, ABPv, Mário Kabalen Reston. Já formou 33 alunos de pós-graduação (mestrado e doutorado), orientou sete pós-doutorandos, e possui diversas publicações nos principais periódicos e congressos técnico/científicos nacionais e internacionais na área de pavimentação.

APRESENTAÇÃO

Caro leitor,

O asfalto é sinônimo de progresso e representa o desenvolvimento socioeconômico de um país. Encurta distâncias, movimentando a cadeia produtiva nacional, facilita o escoamento da produção do pequeno, médio e grande produtor, seja na pecuária, agricultura, indústria de bens e serviços, entre outros. Além disso, ele democratiza e viabiliza o acesso de qualquer cidadão aos serviços de saúde, educação, lazer e transporte com muito mais dinamismo, conforto e rapidez, promovendo uma melhor qualidade de vida.

E, justamente por entender a importância desse nobre derivado do petróleo e o impacto que ele tem na sociedade como um todo, é que a Abeda – Associação Brasileira das Empresas Distribuidoras de Asfaltos, cumprindo o seu papel social, está entregando à comunidade científica, acadêmica e técnica, o Guia Técnico de Utilização de Ligantes Asfálticos em Serviços de Pavimentação, cujo intuito é nortear os agentes atuantes da área de engenharia rodoviária (técnicos, projetistas, alunos e professores) na aplicação de ligantes asfálticos, apresentando soluções tecnológicas específicas, indicando o uso, o processo de produção e execução em serviços de pavimentação rodoviária no Brasil.

O Guia Técnico está dividido em três grandes etapas: Tipos de Ligantes e Revestimentos Asfálticos; Seleção de Camadas Asfálticas para Obras de Pavimentação; e Construção e Controle Tecnológico. Ele foi preparado criteriosamente por uma equipe de profissionais com larga experiência no ramo, liderada pelo professor doutor da Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Jorge Augusto Pereira Ceratti, pela professora doutora da Universidade de São Paulo – Liedi Bariani Bernucci, e pelo professor doutor da Universidade Federal do Ceará – Jorge Barbosa Soares. Entre tantas outras

publicações, estes autores também são responsáveis pelo livro Pavimentação Asfáltica: Formação Básica para Engenheiros.

Além deste Guia Técnico, que contribuirá fortemente para o acervo bibliográfico da área, você receberá um anexo com encarte contendo as mais variadas especificações dos produtos, cujas tabelas serão atualizadas e disponibilizadas para o mercado, com o apoio da Abeda, sempre que for necessário.

Desejamos que você se debruce sobre este trabalho e faça dele seu manual de consultas técnicas para elaboração de projetos, pesquisas, orçamentos e nas escolhas das mais diversas aplicações práticas de ligantes e misturas asfálticas, apropriados a diferentes volumes de tráfego. Certamente embasarão o trabalho diário daqueles que lidam com a malha rodoviária em seus diversos segmentos.

José Alberto Piñón Gonzalez

Presidente da Abeda

Associação Brasileira das Empresas Distribuidoras de Asfaltos

PREFÁCIO

A ideia do presente livro, pensado como uma espécie de guia prático para o uso de ligantes asfálticos convencionais e modificados em pavimentos, foi de complementar o capítulo de ligantes do livro *Pavimentação Asfáltica – formação básica para Engenheiros* que também conta com a participação dos autores, além de outras publicações existentes no país. No prefácio daquele livro antecipávamos que o mesmo seria uma via que poderia estimular novas vias, da mesma forma que uma estrada possibilita a construção de outras tantas. Entre as possibilidades de novos textos de referência, entendemos que o dimensionamento de pavimentos asfálticos é essencial. Este tema tem progredido sobremaneira no Brasil em tempos recentes, valendo citar o desenvolvimento em curso do novo método de dimensionamento que será lançado nos próximos anos, numa parceria entre Petrobras, universidades e DNIT, e da qual os autores participam. Apesar da necessidade da atualização do método nacional de dimensionamento de modo a possibilitar a consideração de tecnologias modernas, o Brasil já usa há anos asfaltos com aditivos e misturas asfálticas especiais cujos benefícios devem ser levados em consideração num projeto de pavimentos. Observa-se no país, contudo, uma carência de material técnico contendo a experiência local e com instruções sobre a aplicação apropriada das diferentes alternativas de ligantes e misturas asfálticas para soluções tecnológicas específicas. Julgou-se então oportuno o desenvolvimento de um material bibliográfico prático sobre a utilização dos ligantes asfálticos em serviços de pavimentação, considerando aspectos relativos ao tráfego, clima e estrutura do pavimento, visando sempre ao melhor desempenho do revestimento.

Embora este livro possa perfeitamente ser usado como suporte adicional a estudantes e docentes de disciplinas de infraestrutura de transportes, os autores

buscaram atender a uma demanda de engenheiros e técnicos da área de pavimentação no que diz respeito a sugerir a definição daquelas situações mais apropriadas para utilizar a gama de ligantes asfálticos hoje disponíveis e associados a tecnologias de uso já consagrado.

A experiência anterior de cooperação em projetos de pesquisa, orientações de alunos e na produção de um livro didático ajudou os autores em mais esta construção conjunta. Partiu-se de referências existentes e delimitou-se o trabalho, focando-se no uso de ligantes e misturas asfálticas. Competências e distribuição dos assuntos foram devidamente dosadas entre os três autores. Registramos os nossos agradecimentos a alguns colegas por seus valiosos comentários e sugestões: profa. dra. Laura Maria Goretti da Motta (Coppe/UFRJ), eng. Alfredo Monteiro de Castro Neto (Dersa) e profa. dra. Verônica Teixeira Franco Castelo Branco (UFC). Agradecimentos também são devidos aos nossos alunos, colegas de trabalho e colegas da Comissão de Asfaltos do IBP (Instituto Brasileiro de Petróleo, Gás e Biocombustível) com os quais os nossos textos acabam se misturando na busca por contribuir para os melhores caminhos necessários à formação profissional. Como nas vias reais, espera-se que este texto seja complementado à medida que surjam novos desenvolvimentos e que se atualizem as normas técnicas nacionais, estimulando-se o surgimento de outros textos, na contínua melhoria e ampliação do conhecimento da pavimentação.

Agradecemos o inestimável apoio da Abeda – Associação Brasileira dos Distribuidores de Asfaltos, que nos convidou para este novo desafio. Nossos mais cordiais agradecimentos aos técnicos da Abeda, eng. Rafael Marçal Martins de Reis, eng. Luiz Henrique Teixeira e eng. Wander Omena que colaboraram de forma preciosa para que chegássemos ao cabo desta missão.

Desejamos uma boa leitura a todos os interessados e que tenhamos contribuído para a melhoria da pavimentação nacional.

Os autores

SUMÁRIO

3	CONSTRUÇÃO E CONTROLE TECNOLÓGICO	75
3.1	DOSAGEM DE MISTURAS ASFÁLTICAS	75
3.1.1	MISTURAS ASFÁLTICAS RECICLADAS	82
3.1.2	MICRORREVESTIMENTO ASFÁLTICO A FRIO	84
3.1.3	DOSAGEM DE REVESTIMENTOS POR PENETRAÇÃO	85
3.1.4	RESUMO DE ENSAIOS INDICADOS PARA MISTURAS ASFÁLTICAS E TRATAMENTOS ASFÁLTICOS	85
3.2	PRODUÇÃO E EXECUÇÃO	88
3.2.1	TIPOS DE USINAS ASFÁLTICAS	88
3.2.2	CONSIDERAÇÕES ADICIONAIS SOBRE A PRODUÇÃO DE MISTURAS ASFÁLTICAS	100
3.2.3	FATORES QUE INFLUEM NA EXECUÇÃO	107
3.3	CONTROLE TECNOLÓGICO	126
3.3.1	MISTURAS ASFÁLTICAS A QUENTE	126
3.3.2	MICRORREVESTIMENTO ASFÁLTICO A FRIO	134
	BIBLIOGRAFIA CONSULTADA	139

3

CONSTRUÇÃO E CONTROLE TECNOLÓGICO

3.1

DOSAGEM DE MISTURAS ASFÁLTICAS

A proporção relativa dos materiais empregados determina as propriedades físicas e, em certo grau, as propriedades mecânicas da mistura asfáltica e como será o seu desempenho como camada do pavimento. Para analisar estas proporções em misturas asfálticas densas dois métodos de dosagem de misturas asfálticas são mais utilizados: o método Marshall tradicionalmente utilizado desde a década de 1960 e o procedimento Superpave introduzido no país no final da década de 1990.

O projeto de uma mistura asfáltica consiste inicialmente em determinar a porcentagem dos diversos agregados minerais utilizados e a porcentagem de ligante asfáltico. Essas determinações devem satisfazer requisitos mínimos volumétricos e de estabilidade e durabilidade da mistura asfáltica, determinados pelas especificações. Para o projeto de uma mistura asfáltica pelo método Marshall, deve-se definir os seguintes elementos básicos: tipo (ver Capítulo 1) e destino (ver Capítulo 2) da mistura asfáltica a ser projetada; granulometria, densidade real e aparente dos agregados disponíveis; faixa granulométrica de projeto e a energia de compactação utilizada para a moldagem dos corpos de prova, em função do tráfego previsto.

No procedimento Superpave as premissas básicas são semelhantes aquelas utilizadas no procedimento Marshall, com pequenas diferenças tais como a fixação do Vv e a forma de representação da granulometria dos agregados disponíveis.

A maior distinção entre os dois procedimentos está na forma de aplicação da energia e, nos seus níveis: na dosagem Marshall, a compactação é feita por impacto (golpes), na dosagem Superpave é realizada por amassamento (giros) por meio de um equipamento denominado Compactador Giratório Superpave (CGS). A metodologia Superpave incluiu o conceito de pontos de controle que é a forma de representação das faixas do Marshall. (Figura 3.1). Teoricamente, pareceria razoável que a melhor graduação para os agregados nas misturas asfálticas fosse aquela que fornecesse a graduação mais densa (próxima da linha de densidade máxima). A graduação com maior densidade conduz a estabilidade devido ao maior contato entre as partículas e reduzidos vazios no agregado mineral. Porém, é necessária a existência de um espaço de vazios que permita um volume suficiente de ligante asfáltico a ser incorporado. Isto garante durabilidade e ainda permite algum Vv com ar na mistura para evitar exsudação e deformações permanentes por cisalhamento durante o processo de pós-compactação e a própria vida útil da estrutura.

Se o VAM não atende às especificações consideradas, este pode ser ajustado a partir de mudança da origem ou da granulometria dos agregados utilizados. Devem ser consideradas as seguintes alternativas para a mudança deste parâmetro:

- Mudança na graduação. O deslocamento da curva granulométrica na direção da linha de densidade máxima geralmente reduz o VAM; seu deslocamento afastando-se da linha de densidade máxima geralmente aumenta o VAM.
- Mudança na fração passante na peneira de 0,075mm. O aumento na fração passante na peneira de 0,075mm normalmente reduz o VAM. A redução desta fração normalmente tende a aumentar o VAM.
- Mudança da textura superficial e ou da forma das partículas da fração de agregado miúdo. Quanto maior for a fração de partículas de agregados com textura superficial rugosa, maior será também o VAM.

As várias graduações de agregados conferem diferentes características às misturas asfálticas e cada uma pode servir a diferentes propósitos. Adicionalmente ao tipo de graduação, o tamanho máximo do agregado é crítico nas misturas asfálticas, pois este parâmetro influi em propriedades importantes e governa a espessura que a massa asfáltica pode ser lançada na pista. Tipicamente a espessura acabada deve ser pelo menos de 2,0 a 2,5 vezes o tamanho máximo dos agregados (100% da porcentagem que passa em peso) para as misturas bem graduadas do tipo concreto asfáltico, e pelo menos de 3 a 4 vezes o tamanho máximo nominal dos agregados (refere-se a um tamanho maior do que o primeiro tamanho de peneira que retém mais de 10% em massa ou corresponde aproximadamente ao diâmetro de peneira onde passam de 90 a 95% em massa de agregados) para misturas asfálticas descontínuas (SMA e *gap-graded*, por exemplo) ou abertas (CPA, por exemplo).

Na composição de frações de agregados para a obtenção de uma determinada granulometria, normalmente são consideradas as frações de agregado graúdo, pedrisco e pó de pedra, além da fração fíler, quando utilizada. Recomenda-se, tanto nos procedimentos de dosagem quanto na produção da mistura asfáltica em usina, que a fração pó de pedra seja dividida em duas, utilizando-se o limite de 2,0mm (peneira nº 10) e seja assim considerada.

Essa recomendação decorre do fato de que a porção mais fina das duas assim obtidas é a que concentra grande parte da umidade presente no agregado e é também aquela que causa a maioria dos problemas e desgastes que ocorrem nos sistemas de filtros e de retorno de finos das usinas asfálticas. Além disto, essa subdivisão considerada na fase de dosagem propicia uma melhor definição de granulometria da mistura de agregados, facilitando o proporcionamento adequado de finos na mistura. Devem ser consideradas as frações de 19,0mm ou de 12,5mm até 9,5mm, de 9,5mm até 4,75mm, de 4,75mm até 2,0mm e menor do que 2,0mm.

No procedimento Superpave, para especificar a granulometria dos agregados, são utilizados pontos de controle no gráfico de granulometria, que são dependentes do tamanho nominal máximo dos agregados. Para que a graduação atenda aos critérios Superpave, a curva granulométrica deve passar entre os pontos de controle, conforme exemplo apresentado na Figura 3.1.

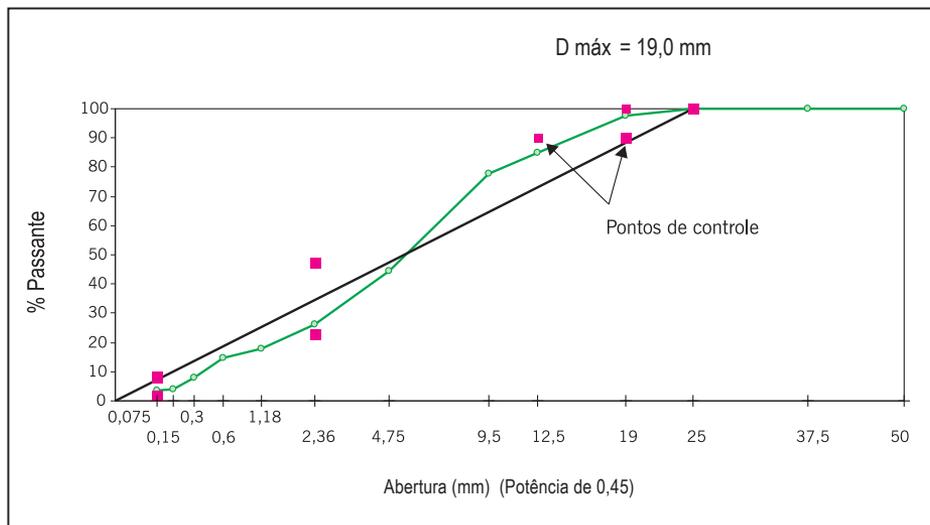


Figura 3.1 Exemplo da representação da granulometria segundo a especificação Superpave para um tamanho máximo nominal de 19mm (Fonte: Bernucci *et al.*, 2006)

A Tabela 3.1 apresenta os pontos de controle em função do tamanho das peneiras (mm) em função do tamanho nominal máximo.

Tabela 3.1: Pontos de controle de acordo com o tamanho nominal máximo do agregado (Fonte: Asphalt Institute MS-4, 2007)

Peneiras Abertura mm	Tamanho nominal máximo									
	37,5mm		25,0mm		19,0mm		12,5mm		9,5mm	
	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx
50	100	–	–	–	–	–	–	–	–	–
37,5	90	100	100	–	–	–	–	--	–	–
25	–	90	90	100	100	–	–	–	–	–
19	–	–	–	90	90	100	100	–	–	–
12,5	–	–	–	–	–	90	90	100	100	–
9,5	–	–	–	–	–	–	–	90	90	100
4,75	–	–	–	–	–	–	–	–	–	90
2,36	15	41	19	45	23	49	28	58	32	67
0,075	0	6	1	7	2	8	2	10	2	10

Quando a dosagem é realizada por meio do método Marshall, a moldagem dos corpos de prova deve ser realizada utilizando-se 75 golpes para misturas asfálticas bem graduadas densas ou 50 golpes por face, para misturas asfálticas do tipo SMA, CPA, entre outras. Se a dosagem for desenvolvida utilizando-se o CGS, normalmente os corpos de prova são moldados com 100 giros se a perda por abrasão Los Angeles do agregado for de no máximo 30%. Para perdas acima de 30% devem ser utilizados 75 giros.

O teor de fibras a serem utilizadas, para misturas asfálticas do tipo SMA e algumas CPA, é definido por meio de ensaio de escorrimento.

A mistura asfáltica do tipo CPA deve ser dosada pelo método Marshall, prevalecendo o Vv requerido. Os agregados devem ser 100% britados e resistentes (abrasão Los Angeles \leq 30%) para não serem quebrados durante a compactação, pois eles estão em contato uns com os outros e a tensão nesse contato é muito elevada durante o processo de densificação. Para ter um contato efetivo dos agregados, estes devem ser cúbicos com o índice de forma \geq 0,5. A absorção de água para cada fração deve ser de no máximo 2% e quanto à sanidade, estes devem apresentar perda \leq 12%.

As misturas asfálticas do tipo CPA mantêm uma grande porcentagem de vazios com ar não preenchidos graças às pequenas quantidades de fíler, de agregado miúdo e de ligante asfáltico. Essas misturas asfálticas a quente apresentam normalmente entre 18% e 25% de vazios com ar. Um teste fundamental a ser realizado é o desgaste por abrasão Cântabro para misturas asfálticas do tipo CPA, recomendado originalmente pelos espanhóis para esse tipo de mistura aberta drenante. Para a realização desse ensaio deve ser utilizada a norma ABNT NBR 15140:2014.

Na dosagem de misturas asfálticas descontínuas e semidescontínuas para camadas delgadas é considerada a experiência francesa nesse tipo de mistura asfáltica. As misturas asfálticas francesas não atendem a uma “receita de composição”. São definidas e caracterizadas pelo tipo, posição dentro da estrutura (camada intermediária ou de rolamento), espessura média, graduação (ou tamanho nominal máximo dos agregados) e classe de desempenho exigido para o produto acabado. A “dissociação de funções” das camadas do pavimento também levou à seleção de agregados, totalmente britados, com características relacionadas ao desempenho (tamanho, graduação, dureza, angularidade, forma, limpeza, resistência à abrasão, ao polimento, entre outras).

No método de dosagem de misturas asfálticas francesas as seguintes características são avaliadas e comparadas aos valores especificados conforme a classe de desempenho da mistura asfáltica:

- 1 determinação do Vv através da PCG;
- 2 sensibilidade à ação deletéria da água através do ensaio Duriez;
- 3 resistência à deformação permanente através do simulador de tráfego de laboratório LCPC;
- 4 determinação da rigidez ou da resiliência da mistura asfáltica através do ensaio de módulo dinâmico;
- 5 resistência ao trincamento através de ensaio mecânico de fadiga.

A Tabela 3.2 relaciona níveis de dosagem, equipamentos de laboratório e requisitos técnicos requeridos para as misturas asfálticas francesas. O nível de dosagem depende do volume de tráfego e da importância da obra, de forma a limitar os riscos de danos.

Tabela 3.2: Níveis de dosagem e ensaios mecânicos para as misturas asfálticas para comporem camadas de revestimento ou de bases pela tecnologia francesa (Fonte: Ferreira, 2006)

Nível	Tipo de dosagem e ensaios mecânicos			Observações
	Dosagem	Verificação da dosagem	Ensaios mecânicos	
1	Ensaio: PCG e ensaio Duriez	Ensaio: PCG e ensaio Duriez		Ensaio mínimo a ser realizado para camadas asfálticas em vias de baixo volume de tráfego
2	Ensaio: PCG e ensaio Duriez	Ensaio: deformação permanente	Ensaio: deformação permanente	Ensaio mínimo a ser realizado para camadas asfálticas em vias de tráfego moderado
3	Ensaio: PCG e ensaio Duriez	Ensaio: deformação permanente	Ensaio: deformação permanente e módulo dinâmico	Ensaio mínimo a ser realizado em camadas asfálticas sujeitas a alto volume de tráfego. Ensaio recomendado para tráfego moderado
4	Ensaio: PCG e ensaio Duriez	Ensaio: deformação permanente	Ensaio: deformação permanente, módulo dinâmico ou complexo, fadiga	Ensaio mínimo a ser realizado em camadas asfálticas sujeitas a tráfego muito pesado. Ensaio recomendado para alto volume de tráfego

A granulometria mais utilizada da mistura asfáltica para camada delgada do tipo BBTM é a 0/6 e a 0/10 (diâmetro mínimo/diâmetro máximo do agregado em mm). A norma francesa XP P 98-137 (Afnor, 2001b) define duas classes de BBTM de acordo com os resultados de ensaio realizado com a utilização de prensa de cisalhamento giratório (PCG). A fração areia da brita 0/2 é da ordem de 20 a 30%, e a taxa média de mistura asfáltica aplicada é da ordem de 40kg/m² a 60kg/m² (misturas asfálticas usinadas delgadas na Europa são controladas pelo valor de massa/área, em vez da espessura da camada acabada).

Para um volume de tráfego superior a 1.000 veículos pesados por dia por sentido, é recomendada a utilização de ligantes asfálticos modificados por polímeros elastoméricos, geralmente do tipo SBS, ou ligante convencional com adição de fibras. O teor mínimo de ligante é estimado aplicando a Equação 3.1, com módulo de riqueza (*k*) igual a 3,5 para a graduação BBTM 0/6 e 3,4 para a graduação BBTM 0/10. O módulo de riqueza é proporcional à espessura do filme de ligante que recobre os agregados, sendo estabelecido para cada tipo de mistura asfáltica visando assegurar a sua durabilidade, e é independente da massa específica efetiva da mistura de agregados.

$$\text{teor de ligante} = k \cdot \alpha \cdot \sqrt[5]{\Sigma} \quad (3.1)$$

Onde:

teor de ligante: expresso em porcentagem em massa (%) em relação à mistura de agregados

k: módulo de riqueza (LCPC, 2005)

α : coeficiente de correção em função da densidade aparente da mistura de agregados, dado por $2,65/G_{se}$

G_{se} densidade efetiva da mistura dos agregados

Σ : superfície específica total calculada utilizando a Equação 3.2 [m²/kg]

$$\Sigma = 0,25G + 2,3S + 12s + 135f \quad (3.2)$$

Onde:

G: porcentagem da mistura de agregados com diâmetro maior do que 6,3mm

S: porcentagem da mistura de agregados com diâmetro entre 6,3 e 0,315mm

s: porcentagem da mistura de agregados com diâmetro entre 0,315 e 0,075mm

f: porcentagem da mistura de agregados com diâmetro menor do que 0,075mm

A Tabela 3.3 apresenta as composições típicas das misturas do tipo BBTM.

Tabela 3.3: Composições típicas de BBTM. (Fonte: Brosseaud, 2005)

Característica		BBTM	
		Classe 1	Classe 2
6/10 ou 4/6	(%)	70-80	79-85
0/2	(%)	20-30	17-22
Total de finos*:	(%)	7-9	4-7
Teor de ligante**:	0/6 (%)	6,0-6,4	5,0-5,5
	0/10 (%)	5,5-6,0	4,5-5,5

* % passante na peneira nº 200.

** Refere-se a um agregado com densidade de 2,650 (deve ser ajustado para agregados de maior densidade, ou seja, o teor de ligante é reduzido).

De acordo com NF XP P 98-137 (AFNOR, 2001), basicamente três características das misturas delgadas são avaliadas para as duas classes de BBTM:

- 1 compacidade ou Vv obtidos com o uso da prensa de compactação e cisalhamento giratório – PCG NF EN 12697-31 (Afnor, 2005);
- 2 sensibilidade à ação da água pelo ensaio Duriez NF P 98-251-1 (Afnor, 2002b). A sensibilidade é representada pela relação r/R , sendo (R) a resistência à compressão simples de um grupo de corpos de prova rompidos em temperatura ambiente de 18°C e 50% de umidade relativa do ar e (r) a resistência à compressão simples de outro grupo de corpos de prova rompidos após a imersão em água a 18°C, ambos durante 7 dias;
- 3 estabilidade mecânica – avaliação da resistência à deformação permanente obtida através do uso do simulador de tráfego de laboratório – LPC após 3.000 ciclos a 60°C, NF EN 12697-22 (Afnor, 2004).

A norma NF XP P 98-137 (Afnor, 2001) apresenta valores máximos permitidos para os resultados de deformação permanente obtidos através do simulador de tráfego francês. Esses valores estão vinculados à manutenção da textura superficial da mistura asfáltica, reduzindo a probabilidade de fechamento da mesma nas regiões mais solicitadas, como as de afundamento de trilhas de rodas. Observa ainda que:

- 1 o Vv *in situ* é de difícil determinação e pouco significativo em função da espessura delgada do revestimento. As misturas de Classe 1 apresentam Vv entre 10% e 20%, e as de Classe 2 são drenantes com Vv entre 18% e 25%;

- 2 a avaliação da macrotextura superficial da mistura asfáltica deve ser realizada *in situ* por meio do ensaio da mancha de areia, segundo a norma NF EN 13036-1 (Afnor, 2002a). Os valores mínimos de HS (altura média de areia) são de 0,8mm para o BBTM 0/6 Classe 1 e, em geral, acima de 1,0mm para o BBTM 0/10 Classe 1. Para as misturas mais porosas pertencentes à Classe 2, a BBTM 0/6 apresenta, em geral, HS de 1,2mm ou superior e a BBTM 0/10 apresenta HS igual ou superior a 2,0mm (equivalente aos valores de HS obtidos para as misturas asfálticas do tipo CPA).

3.1.1 Misturas asfálticas recicladas

O processo de dosagem de misturas asfálticas recicladas a frio com ligantes asfálticos varia de acordo com o tipo de agente estabilizante utilizado, se emulsão asfáltica ou espuma de asfalto. A dosagem é desenvolvida, em ambos os casos, realizando-se:

- determinação da compatibilidade do material recuperado com o agente estabilizante;
- determinação da umidade ótima do material recuperado e do seu teor ótimo de fluidos;
- determinação de teor de projeto de ligante asfáltico da mistura asfáltica;
- confirmação de propriedades mecânicas da mistura asfáltica reciclada.

As propriedades físicas do material fresado, principalmente granulometria e índice de plasticidade, definem a necessidade de incorporação de materiais granulares e seleção do agente estabilizante mais adequado.

Misturas asfálticas recicladas a frio com emulsão asfáltica

No caso de utilização de emulsão asfáltica em misturas asfálticas recicladas a frio, a segunda etapa da dosagem, realizada após a primeira onde é estudada a compatibilidade do material recuperado com o agente estabilizante, compreende a determinação do teor ótimo de fluidos. A compatibilidade da emulsão asfáltica e do material fresado deve ser verificada como parte do processo de dosagem, pela determinação do grau de recobrimento dos agregados.

A terceira etapa da dosagem com emulsão asfáltica é a determinação do teor de projeto de asfalto residual. Para isso são adicionadas diferentes quantidades de emulsão e água a amostras de material fresado, de modo que o teor ótimo de fluidos seja mantido constante.

Os métodos Marshall e outros modificados para misturas a frio são utilizados para moldar corpos de prova de mistura reciclada. O teor de projeto de ligante é definido a partir da estabilidade Marshall ou da resistência à tração por compressão diametral.

Misturas asfálticas recicladas a frio com espuma de asfalto

No caso de espuma de asfalto os requisitos quanto à granulometria são mais restritivos. Em materiais fresados com poucos finos, a espuma de asfalto não apresentará uma boa dispersão, tendendo a formar grumos de material fino embebidos em ligante asfáltico.

A segunda etapa da dosagem consiste na definição das características de espumação do CAP, pela determinação da expansão e da meia-vida desenvolvidas pelo CAP. Isso é realizado em laboratório com a produção de espuma de asfalto em equipamento apropriado. A espuma de asfalto definida para utilização deve ser aquela que apresente expansão e meia-vida otimizadas, não havendo limites absolutos para a definição de características ideais de espuma. Os métodos Marshall e outros modificados para misturas a frio são utilizados para moldar corpos de prova da mistura reciclada.

A terceira etapa da dosagem com espuma de asfalto é a determinação do teor de projeto de ligante. Tanto para a emulsão asfáltica quanto para a espuma de asfalto, o teor de projeto de ligante é definido a partir da estabilidade Marshall ou da resistência à tração por compressão diametral.

Misturas asfálticas recicladas a quente

Para a dosagem de MARQs cita-se o método do Asphalt Institute, que apresenta uma metodologia que segue as recomendações da dosagem Marshall convencional. Contudo, algumas etapas para a análise do ligante asfáltico existente no revestimento fresado foram acrescentadas.

Pode-se citar ainda a dosagem proposta por Castro Neto (2000), que tinha como objetivo realizar a dosagem de MARQs sem a necessidade de recuperação do ligante asfáltico envelhecido. Este autor propôs um método que considera o comportamento da mistura asfáltica reciclada com diferentes valores de teor de ligante asfáltico novo por meio da avaliação dos valores de MR (módulo de resiliência) e de RT (resistência à tração por compressão diametral).

O procedimento proposto por Castro Neto (2000) dispensa a extração e a caracterização do ligante asfáltico presente no material fresado. O passo inicial é a determinação do intervalo de MR e/ou de RT que a mistura asfáltica reciclada deve apresentar de acordo com a experiência do projetista. A partir desses valores adota-se, também com base na experiência, uma porcentagem de material fresado a ser reciclado. Estabelecida essa porcentagem, a composição granulométrica final desejada (agregados do fresado mais agregados novos) e selecionado o ligante asfáltico novo, confeccionam-se corpos de prova com diferentes teores de ligante asfáltico.

Avaliam-se os valores de MR e de RT dos corpos de prova e verifica-se o teor de ligante asfáltico mais adequado à mistura a partir dos valores desejados dos referidos parâmetros mecânicos. Na maioria dos casos, a quantidade de ligante asfáltico novo varia de 0 a 30% da quantidade de ligante asfáltico presente no fresado. É sugerido ainda que os estudos de dosagem sejam iniciados a partir da adição do valor médio de 15% de ligante asfáltico novo.

Faz-se então uma dosagem Marshall completa usando esse percentual de ligante asfáltico para definir o teor de projeto da mistura. Após a definição do teor de projeto de ligante asfáltico, moldam-se CPs com porcentagens de ligante asfáltico novo variando de 0 a 30%

da quantidade de ligante asfáltico do fresado, apenas no teor de projeto. Verifica-se então a variação dos parâmetros mecânicos da mistura (MR e RT) com o teor de ligante asfáltico. Determina-se o percentual de ligante novo em relação à quantidade de ligante do fresado que satisfaça os valores de MR e de RT estimados para o teor de projeto definido anteriormente. Para a definição final do teor de projeto é necessária a determinação do Vv, necessitando, portanto, do valor da massa específica máxima (teórica ou medida) da mistura asfáltica.

3.1.2 Microrrevestimento asfáltico a frio

Os procedimentos de dosagem utilizados para microrrevestimentos asfálticos a frio são empíricos e envolvem análises e ensaios de laboratório complementados por observações em campo relativas às condições da obra, tais como:

Inventário da superfície

- Observar o grau de regularidade superficial, desgaste ou deterioração, deformações, permeabilidade, trincas, fissuras etc., a fim de definir a espessura e as faixa(s) granulométrica(s) do microrrevestimento asfáltico a frio a ser projetado.

Condições climáticas

- Observar a época do ano, a temperatura do pavimento, o risco de precipitação etc.

Tráfego

- Identificar o tipo e a natureza do tráfego a que o microrrevestimento asfáltico a frio será submetido.

As seguintes etapas fazem parte do projeto de dosagem do microrrevestimento asfáltico a frio, conforme Ceratti e Reis (2011):

- seleção e caracterização dos materiais;
- seleção da faixa granulométrica de projeto;
- determinação da graduação individual e da composição dos agregados;
- avaliação da consistência da mistura asfáltica;
- determinação do tempo de mistura;
- determinação do teor de aditivo regulador de ruptura, se previsto no projeto;
- determinação da coesão úmida (MCT);
- determinação da adesividade (WST);
- determinação da perda por abrasão úmida (WTAT);
- determinação do excesso de asfalto e adesão de areia (LWT);
- determinação do teor de ligante asfáltico residual de projeto.

3.1.3 Dosagem de revestimentos por penetração

Existe um grande número de métodos (com grande dose de empirismo) para a realização da dosagem dos materiais para os TS (TSS, TSD e TST), em geral considerando-se parâmetros relacionados ao tamanho do agregado: diâmetro médio; tamanho máximo efetivo (abertura da malha da peneira na qual passa 90% dos agregados); diâmetro “médio ponderado”.

O método mais usado no país é o método direto chamado ensaio de placa ou bandeja, que consiste em espalhar o agregado (de cada uma das camadas) sobre uma placa plana de área conhecida (50cm x 50cm) de modo a cobrir a área da placa, obtendo-se um mosaico uniforme de agregado sem superposição e sem falhas. Pode ser utilizada nesse processo uma caixa dosadora (80cm x 25cm x 4cm). Espalha-se o agregado sobre o fundo da caixa, em posição horizontal, de modo a formar um mosaico igual ao que se deseja construir na pista. Coloca-se então a caixa na posição vertical e lê-se a taxa de agregado, em l/m², na graduação indicada na tampa transparente da caixa. A mesma caixa também pode ser usada no controle do espalhamento do agregado na pista.

Para a obtenção do teor de ligante asfáltico residual o método mais utilizado é do Instituto do Asfalto. A determinação deste citado teor é realizada através de equações matemáticas em função da média da menor dimensão dos agregados de cada camada (MDM), seu teor de vazios (20%), teor de ligante asfáltico nesses vazios (50% a 70%) e a sua taxa de aplicação no substrato.

3.1.4 Resumo de ensaios indicados para misturas asfálticas e tratamentos asfálticos

As técnicas de dosagem diferem a depender do tipo de revestimento ou da base asfáltica concebida pelo projetista. É importante salientar que, em todo processo de dosagem, além da caracterização de ligantes asfálticos, os agregados devem ser selecionados seguindo critérios rigorosos pois estes participam em quantidade acima de 90% em massa nas misturas asfálticas, formando um esqueleto sólido responsável por uma parcela importante nas propriedades do conjunto. Nesse aspecto, recomenda-se que ensaios de adesividade ligante-agregado sejam sempre executados para que os materiais trabalhem em conjunto.

Para misturas asfálticas usinadas, e mesmo para as recicladas, recomenda-se que ensaios de dano por umidade induzida sejam sempre realizados, de modo a estudar a necessidade de adição de melhoradores de adesividade quando for o caso. Aconselha-se, da mesma forma, que, em misturas asfálticas usinadas ou recicladas, sejam determinadas a resistência à tração por compressão diametral por ser um ensaio de simples execução e que pode ser empregado como parâmetro de controle tecnológico.

Para que o projeto da mistura asfáltica corresponda à indicação do projetista de estruturas de pavimentos, este deve seguir uma concepção que atenda a todos os requisitos necessários, de tal forma que a dosagem dessa mistura asfáltica e suas propriedades correspondam àquilo concebido pelo projetista estrutural. Ou seja, o projeto de dosagem das misturas asfálticas e o projeto estrutural são indissociáveis.

As misturas asfálticas usinadas são utilizadas em camadas que influem diretamente no comportamento das estruturas de pavimentos dada sua rigidez e por serem as camadas que recebem diretamente parte expressiva das solicitações de carga dos veículos e de clima, trabalhando em geral à flexão. Para se calcular a participação das camadas asfálticas no conjunto, deve-se determinar a rigidez da mesma por ensaio de módulo de resiliência, ou de módulo dinâmico. Portanto, não basta apenas a realização da dosagem. Por trabalharem à flexão, estes são materiais que devem ser dimensionados para a fadiga, resultante da aplicação de tensões de tração repetidas que, apesar de serem em magnitude inferior à resistência à ruptura por tração, acumulam danos a cada solicitação e levam a camada à fadiga por repetição de carga. A fadiga leva a camada a apresentar trincamento, indesejável tanto por reduzir a rigidez da camada, como por permitir a entrada de água na estrutura de pavimento. O trincamento leva também a um certo desconforto ao rolamento. Recomenda-se a execução de ensaios de fadiga para aplicações que levem a numerosas repetições de carga.

As camadas asfálticas devem também ser concebidas para suportar os deslocamentos permanentes devido às solicitações. O acúmulo desses deslocamentos permanentes não devem levar a afundamentos plásticos ou trilhas de roda significativos, que interfiram no comportamento do conjunto ou que causem irregularidade superficial gerando desconforto ao rolamento ou perda de dirigibilidade, ou ainda aquaplanagem por acúmulo de água nas depressões. Portanto, além da dosagem, deve-se avaliar ou determinar a propensão à deformação permanente das misturas asfálticas.

Os revestimentos asfálticos podem também trabalhar predominantemente à compressão se forem relativamente delgados e assentes (e totalmente aderidos) sobre camadas de base de alto módulo (camadas cimentadas, camadas asfálticas de elevado módulo etc.). Nesses casos, além da dosagem, devem ser avaliadas sua propensão à deformação permanente ou ainda alteração de textura superficial por estarem em contato direto com os pneus dos veículos.

Os tratamentos superficiais devem seguir rigorosamente o projeto de dosagem, mas por serem soluções delgadas (de pequena espessura), as propriedades mecânicas desse tipo de mistura não são determinantes e não alteram o comportamento da estrutura como um todo. Esses tratamentos trabalham predominantemente à compressão.

Na Tabela 3.4 apresenta-se um resumo de procedimentos ou ensaios laboratoriais indicados para serem realizados em misturas asfálticas e tratamentos superficiais.

Tabela 3.4: Ensaios laboratoriais para misturas asfálticas e tratamentos superficiais para pavimentos novos ou reabilitação

Ensaios laboratoriais	Tráfego			
	B Baixo	M Moderado	A Alto	MP Muito pesado
Tratamentos superficiais e microrrevestimentos asfálticos a frio				
Caracterização de ligantes (ver Anexo, Tabelas A8 e A9)	Obrigatório	Obrigatório	Obrigatório	Obrigatório
Caracterização de agregados	Obrigatório	Obrigatório	Obrigatório	Obrigatório
Dosagem	Obrigatório	Obrigatório	Obrigatório	Obrigatório
Misturas asfálticas usinadas delgadas para camada de desgaste* (inferiores a 3cm)				
Caracterização de ligantes (ver Anexo, Tabelas A2 e A3)	Obrigatório	Obrigatório	Obrigatório	Obrigatório
Caracterização de agregados	Obrigatório	Obrigatório	Obrigatório	Obrigatório
Dosagem (determinação do teor de projeto de ligante asfáltico – Marshall ou Superpave)	Obrigatório	Obrigatório	Obrigatório	Obrigatório
Resistência à tração por compressão diametral ⁽¹⁾	Obrigatório	Obrigatório	Obrigatório	Obrigatório
Dano por umidade induzida	Obrigatório	Obrigatório	Obrigatório	Obrigatório
Ensaios laboratoriais para misturas asfálticas usinadas e recicladas a quente ou mornas				
Caracterização de ligantes asfálticos (ver Anexo, Tabelas A1 a A5)	Obrigatório	Obrigatório	Obrigatório	Obrigatório
Caracterização de agregados	Obrigatório	Obrigatório	Obrigatório	Obrigatório
Dosagem (determinação do teor de projeto de ligante asfáltico – Marshall ou Superpave)	Obrigatório	Obrigatório	Obrigatório	Obrigatório
Resistência à tração por compressão diametral	Obrigatório	Obrigatório	Obrigatório	Obrigatório
Dano por umidade induzida	Obrigatório	Obrigatório	Obrigatório	Obrigatório
Deformação permanente: ensaios de compressão axial com carga estática (<i>creep</i>) ou repetida com corpos de prova Marshall, ensaios de compressão axial com carga repetida (<i>flow number</i>) com corpos de prova produzidos no equipamento PCG, ou afundamentos com simuladores de tráfego de laboratório ⁽²⁾		Recomendado	Recomendado	Altamente recomendado
Rigidez: módulo de resiliência; módulo dinâmico ou módulo complexo ⁽³⁾		Recomendado	Recomendado	Altamente recomendado
Fadiga: tração por compressão diametral, ou por flexão em viga de quatro pontos, ou flexão alternada (trapezoidal), ou por tração direta ⁽⁴⁾		Recomendado	Recomendado	Altamente recomendado

Obrigatório: ensaio laboratorial obrigatório e mínimo para projeto de misturas asfálticas.

Recomendado: ensaio importante de ser executado para um melhor conhecimento do comportamento mecânico das misturas asfálticas e para o dimensionamento estrutural.

Altamente recomendado: ensaio essencial de ser executado para um melhor conhecimento do comportamento mecânico das misturas asfálticas e para dimensionamento estrutural e previsão de desempenho.

(1) Parâmetro para controle de compactação.

(2) Caso a resistência à deformação permanente não atenda ao requisito de projeto, deve-se alterar o projeto de dosagem. Somente após verificação de pequena propensão à deformação permanente, dá-se continuidade aos ensaios mecânicos de rigidez e de fadiga.

(3) Propriedade essencial para dimensionamento estrutural de pavimentos.

(4) Propriedade essencial para modelar o desempenho das camadas asfálticas e para comparação entre soluções.

3.2.1 Tipos de usinas asfálticas

Uma usina de asfalto é um conjunto de equipamentos mecânicos e eletrônicos interconectados de forma a permitir a produção adequada das misturas asfálticas. Estas variam em capacidade de produção e com relação aos princípios de proporcionamento dos componentes, podendo ser estacionárias ou móveis.

É imprescindível que se faça o controle adequado durante todo o processo de produção, visto que a correta proporção entre os agregados e destes em relação ao ligante asfáltico é vital para a qualidade do produto final. Erros ao reproduzir a dosagem implicam descaracterização de todas as propriedades volumétricas e mecânicas previstas no projeto de determinada mistura asfáltica.

Existem dois tipos básicos de usina de asfalto que são:

- 1 a usina de produção por batelada ou gravimétrica, conforme mostrada na Figura 3.2 (a) e (b) e princípio geral exposto na Figura 3.3, que produz quantidades unitárias de misturas asfálticas, e
- 2 a usina de produção contínua, conforme a Figura 3.4, cuja produção é contínua, como a própria designação classifica.

Os dois tipos de usinas têm condições de produzir as misturas asfálticas correntes. Normalmente, as misturas asfálticas, mesmo com características particulares, não exigem sua produção em um tipo específico de usina.

Conforme DNIT, Instrução de serviço/DG nº 10, de 2 de setembro de 2013, a recomendação preferencial é para usinas descontínuas (gravimétricas) devido ao fato de que nesse tipo de equipamento o controle da graduação dos materiais da mistura é mais eficiente. No caso de emprego de usinas contínuas a mistura agregado-ligante deverá ser efetuada em ambiente externo ao tambor de secagem, com misturador externo tipo *pugmil* ou rotativo. Ambas as usinas de asfalto podem ser estacionárias ou móveis.

Durante a operação da usina de asfalto, os seguintes pré-requisitos devem ser atendidos:

- emissão de poluentes para a atmosfera máximo de 50mgN/m³ e teste realizado com 17% de O₂, com emissão máxima de 20mgN/m³;
- retorno mínimo de 99,9% dos finos do filtro de mangas para o misturador;
- para produção de misturas asfálticas com ligantes asfálticos modificados (>150°C) (*Gap-graded*, CPA, SMA etc.), a usina deve possuir filtro de mangas de Nomex® ou ter *dampers* de ar frio para controle da temperatura dos gases de exaustão.

As operações envolvidas na produção de misturas asfálticas a quente são as seguintes:

- estocagem e manuseio dos materiais componentes das misturas asfálticas na área da usina;
- proporcionamento e alimentação do agregado frio no secador;
- secagem e aquecimento eficiente do agregado a temperatura apropriada;
- controle e coleta de pó no secador;
- proporcionamento, alimentação e mistura do ligante asfáltico com os agregados aquecidos;
- estocagem, distribuição, pesagem e manuseio das misturas asfálticas produzidas.

O processo de produção com usinas gravimétricas é de excelente qualidade e muito eficaz, sendo considerado o mais completo, pois se diferencia ao pesar o material (agregado virgem) seco e quente e com a granulometria classificada na própria usina. A granulometria é classificada por meio de peneiras vibratórias, normalmente com quatro *decks*, quatro silos quentes e um de refugo, esse último para os materiais fora da faixa de trabalho. O ligante asfáltico também é pesado na proporção estipulada pelo traço (proporção obtida na dosagem), assim como outros insumos como o fíler (cal hidratada-CH1), fibras de celulose e os finos coletados do sistema de filtragem. Além das misturas asfálticas convencionais é possível utilizar material fresado assim como utilizar CAPs modificados por polímeros ou por borracha moída de pneus e executar misturas asfálticas mornas com o uso de aditivos químicos, asfalto espuma e outros tipos de produtos ou processos.

Uma característica das usinas gravimétricas é a existência de um silo de refugo para o material rejeitado no processo de peneiramento, fazendo com que a quantidade de agregado que entra não seja a mesma quantidade que sai no processo.



Figura 3.2 (a) Vista de uma usina descontínua (gravimétrica) móvel. Fabricante (Fonte: Bomag Marini LA)



Figura 3.2 (b) Vista de uma usina descontínua (gravimétrica)

Esse tipo de usina (gravimétrica) caracteriza-se por permitir que o tempo de mistura seja definido conforme o projeto, ou seja, possibilitando tempo de mistura seca e tempo de mistura úmida. Normalmente o tempo de mistura no misturador do tipo *batch* de duplo eixo é de 25 a 35 segundos de processamento dos agregados, insumos e ligante asfáltico, porém de acordo com os projetos de misturas asfálticas especiais pode-se chegar a 60 segundos ou mais. Neste caso, a produção efetiva do equipamento se reduz de forma proporcional ao tempo de mistura. As usinas descontínuas (gravimétricas) são mais onerosas tanto na sua aquisição inicial, como na sua manutenção, porém cabe analisar o custo *versus* benefício quando da utilização em projetos de massas asfálticas especiais, tais como: misturas asfálticas descontínuas (*gap-graded*, BBTM-BBUM, SMA), CPA etc., utilizando CAP modificado por polímeros ou por borracha moída de pneus.

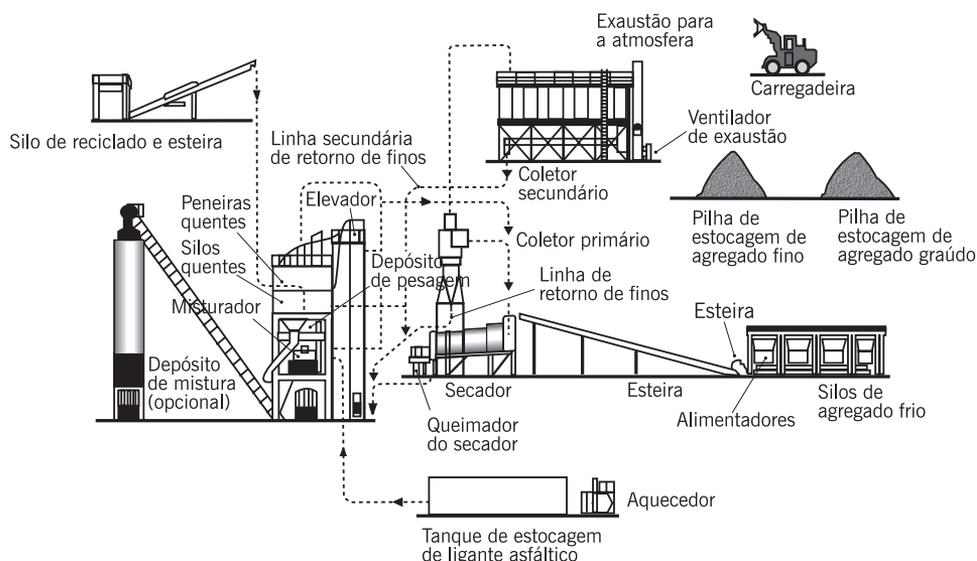


Figura 3.3 Representação esquemática de usina descontinua (gravimétrica)

O processo contínuo é realizado em usinas (Figura 3.4) que processam seus materiais em regime de fluxo uniforme e caracterizam-se por dosar os agregados virgens, na condição: frio, com umidade e com sua classificação granulométrica totalmente dependente do sistema de britagem da pedra. Dessa forma o controle do processo é maior devido à gestão de mais variáveis como a umidade dos agregados e sua composição. A umidade dos agregados deve ser avaliada diariamente e as eventuais variações granulométricas dos agregados devem ser informadas ao sistema de controle das usinas contínuas, para que sejam realizadas as correções devidas durante a usinagem. A soma da quantidade de agregados dosados através dos silos frios, descontada a umidade, servirá para efetuar a dosagem do ligante asfáltico, também processada de forma contínua.

Uma característica desse tipo de usina é a não existência de processo de peneiramento antes do seu sistema de dosagem. Assim, a responsabilidade em garantir a granulometria dos agregados proveniente da britagem é maior, sendo necessário um sistema rigoroso de amostragem granulométrica da pilha de agregados armazenados.

Esse tipo de usina é aceito no mercado com sistemas de mistura externa. Cada fabricante desenvolveu sua tecnologia de forma a garantir a qualidade e a eficiência da mistura asfáltica.

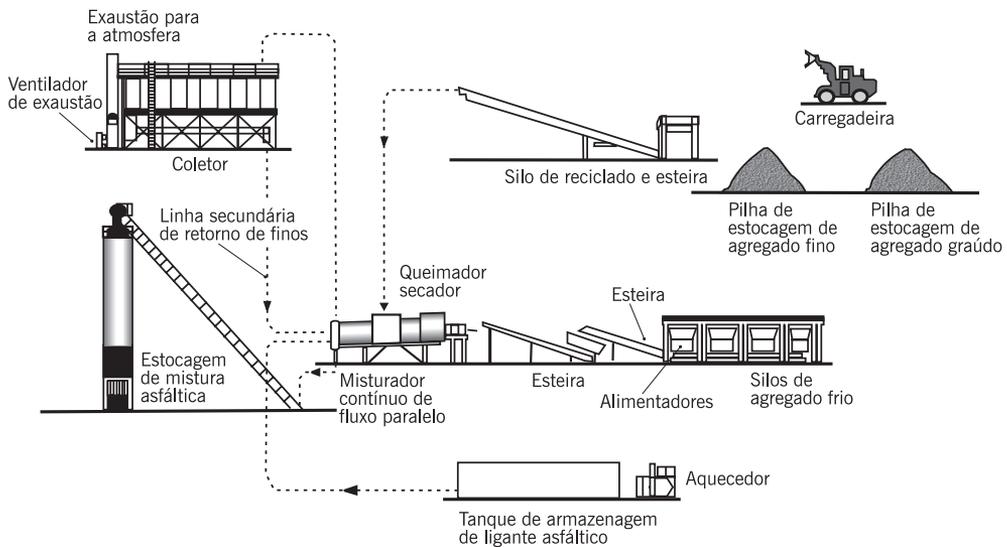


Figura 3.4 Representação esquemática de usina asfáltica contínua

Considerando as configurações de usinas apresentadas nas representações esquemáticas das Figuras 3.3 e 3.4, recomenda-se que sejam observadas as condições a seguir.

1 Silos frios de agregados

Devem ser pelo menos quádruplos, para que possam ser utilizadas pelo menos quatro frações de materiais, com sistema de dosagem independente com pesagem individual se usado em usinas contínuas. A homogeneidade das frações de agregados que alimentam os silos frios é fator preponderante na qualidade das misturas asfálticas produzidas. Os silos devem ter abertura para alimentação de acordo com a largura das pás-carregadeiras mais utilizadas. Recomenda-se que essa largura seja igual ou superior a 3,0 metros.

Em usinas por bateladas devem ser utilizados pelo menos variadores de frequência individuais sincronizados para possibilitar a variação da produção em função da temperatura.

Em usinas contínuas, os silos dosadores devem ter volume adequado à produção da usina. Considerar a seguinte relação: $(\text{produção máxima/volume total}) < 5$. Quanto maior for o volume dos silos, menor deverá ser a velocidade de alimentação de agregados nos silos e menor deverá ser a possibilidade de contaminação de agregados entre silos adjacentes. Exemplo: usina com produção máxima de 100 toneladas/hora deverá ter no mínimo 20m³ de volume dos silos frios.

Recomenda-se que os silos frios trabalhem cobertos, de maneira a reduzir variações de umidade dos agregados.

Em usinas contínuas deve haver pelo menos um vibrador no silo do agregado mais fino para escoamento desse material com umidade. Os agregados devem ser pesados individualmente por meio de célula de carga em sistema contínuo ou descontínuo;

2 Manuseio e armazenagem dos ligantes asfálticos

Os ligantes asfálticos, independente do seu tipo, devem ser armazenados em tanques com dispositivos do tipo agitadores. O emprego de agitadores nos tanques, além da homogeneização promovida, reduz o custo do aquecimento necessário. Não devem ser misturados diferentes ligantes asfálticos nos tanques. Estes devem ser esvaziados previamente para receber ligantes asfálticos diferentes daqueles que continham anteriormente.

Durante o manuseio e o armazenagem dos ligantes asfálticos, os seguintes pré-requisitos devem ser atendidos:

- o tanque de armazenamento e/ou aquecimento de ligantes devem ter termômetros internos, preferencialmente do tipo digital/eletrônico;
- a transferência do ligante asfáltico da carreta do distribuidor para o tanque de armazenagem da usina deve ocorrer por meio de uma bomba de engrenagem;
- as temperaturas de usinagem e de compactação dos ligantes devem ser estabelecidas com base na curva viscosidade *versus* temperatura e nunca ultrapassar 180°C;
- o tanque de armazenagem da usina deve ter sistemas de aquecimento e de isolamento térmico adequadamente dimensionados (preferencialmente serpentinadas com fluido térmico);
- os tanques de armazenagem devem possuir agitadores, com rotação igual ou superior a 100rpm, para homogeneização e uniformidade da temperatura do ligante (principalmente os modificados por polímeros e por borracha);
- a temperatura máxima de armazenamento deverá ser de 180°C; se o ligante for reaquecido recomenda-se sua agitação para homogeneização da temperatura;
- se o período de armazenamento for superior a 5 dias, deve-se reduzir a temperatura do ligante para 100-135°C.

A dosagem do CAP pode ocorrer por bomba, com ou sem medidor de vazão de ligante, desde que esta esteja associada à pesagem dos agregados (desconsiderando a umidade dos agregados). A dosagem também pode ocorrer por pesagem estática, em usinas gravimétricas.

3 Sistema de secagem dos agregados

Para que a adesividade entre agregados e o CAP seja eficiente é fundamental que a umidade dos agregados seja retirada e os mesmos estejam aquecidos para a mistura com o ligante asfáltico. A água contida na superfície e nos poros dos agregados prejudica a produção de misturas asfálticas a quente. Os agregados apresentam maior atração pela água do que pelo ligante asfáltico, rompendo, assim, a ligação adesiva existente entre eles. A umidade dos agregados é o principal limitante para produção de misturas asfálticas.

ticas. Portanto é necessário remover toda a umidade, tanto superficial quanto aquela absorvida. O sistema de secagem dos agregados também pré-homogeniza e descarrega os agregados dentro do misturador. Sua configuração deve possibilitar a coleta de agregados, para a verificação da umidade, antes da injeção do ligante asfáltico. A secagem dos agregados deve ocorrer sempre em sistema contrafluxo por priorizar a secagem dos agregados e não o seu superaquecimento. Quanto maior for o comprimento do secador, maior será o período em que os agregados ficarão trocando calor com a chama do queimador e melhor será a secagem.

4 Queimador

A seleção do queimador que irá operar na usina de asfalto, deve ser de acordo com o tipo de combustível disponível no mercado local entre os adequados para uma boa usinagem, tais como GLP, GN, óleo de xisto e BPF. O controle de temperatura nos queimadores é fundamental, sendo que no caso de emprego de óleos pesados (óleo de xisto, BPF, OAC 1A etc.), os quais apresentam alta viscosidade a temperatura ambiente, deve ser prevista a utilização de retificador de temperatura com o objetivo de aquecer o combustível até atingir viscosidade adequada ao processo de atomização (aproximadamente 90SSU).

5 Misturador

Existem dois tipos de misturadores externos, denominados misturador em ambiente rotativo-circulante, e *pugmill* de dois eixos. A seguir serão abordados esses dois tipos de misturadores.

No misturador rotativo-circulante, o atrito de mistura é efetuado pela força radial entre aletas de mistura em movimento rotativo sobre a superfície estática do corpo do misturador. As aletas de mistura são dispostas de forma paralela ao seu eixo, porém, tanto os eixos radiais como o corpo do misturador são inclinados, para proporcionar o avanço da mistura em processo contínuo.

Esse tipo de misturador pode ser instalado na sequência do processo de secagem de forma a proporcionar economia energética utilizando a mesma energia mecânica disponibilizada para a secagem, ou isolado deste, com energia específica para o processo de mistura. Na Figura 3.5 é apresentado um misturador desse tipo fabricado no Brasil montado na sequência do processo de secagem. Pode-se verificar, em mais detalhes, como é efetuada a mistura com o ligante asfáltico e o retorno dos finos do filtro de mangas. É possível, com dispositivos adequados, controlar a quantidade do retorno dos finos do filtro de mangas, assim como viabilizar um tempo de mistura seca supondo que seja usada cal hidratada antes da injeção do ligante. Adicionalmente, também é possível dosar a entrada

de material fresado para a reciclagem a quente e também injetar insumos especiais como, por exemplo, fibras de celulose.

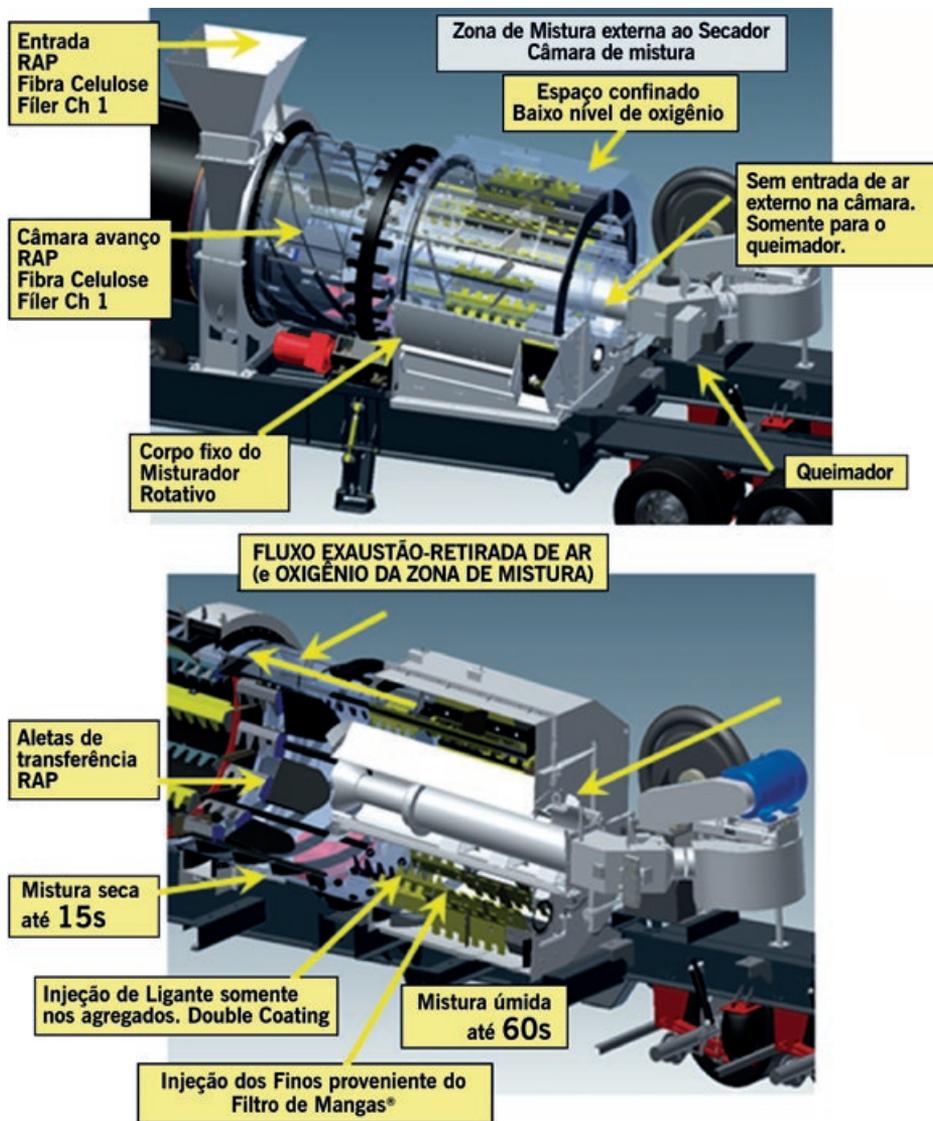


Figura 3.5 Corte em seção transversal do misturador rotativo externo ao secador
(Fonte: Bomag Marini LA)

Nos testes efetuados pelo fabricante desse sistema foi reportado que a temperatura na câmara de mistura na região de injeção do ligante asfáltico é mais baixa do que a temperatura dos agregados, não permitindo a ocorrência de processos que oxidam o ligante asfáltico. No caso de usinagem de massa asfáltica convencional a temperatura do ambiente dentro do misturador permanece cerca de 10% abaixo da temperatura dos agregados. Da mesma forma quando fabricadas misturas asfálticas especiais com ligantes modificados em

que a temperatura dos agregados alcança 175°C, a temperatura na região de injeção do ligante asfáltico tem se situado cerca de 10% abaixo da temperatura dos agregados.

Na Figura 3.6 pode ser observada a posição de um termopar para medição, durante a produção, da temperatura do ambiente na região do misturador antes da injeção do ligante asfáltico. A Figura 3.7 apresenta o processo de mistura tipo Double Coating®.

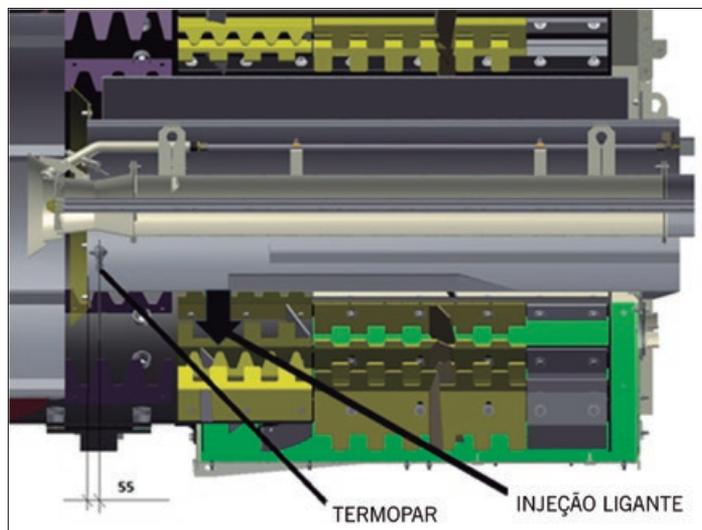


Figura 3.6 Posição do termopar para medição da temperatura misturador-região de injeção do CAP
(Fonte: Bomag Marini LA)

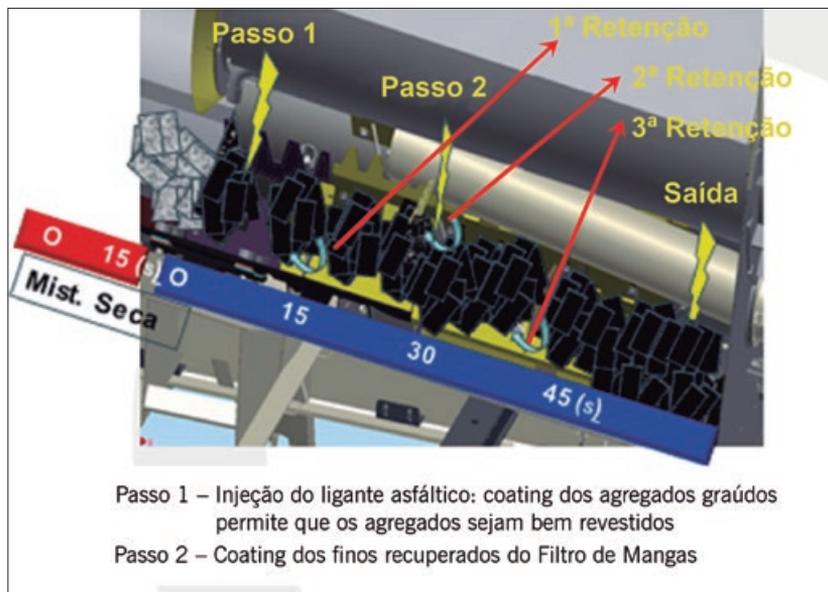


Figura 3.7 Processo de mistura passo 1 e passo 2 – Double Coating®
(Fonte: Bomag Marini LA)

No misturador *pugmill* de dois eixos a ação de mistura é efetuada através de força radial e axial entre as palhetas em movimento rotativo sobre a superfície estática plana do corpo do misturador. As palhetas são dispostas com sua face inclinada e posição em forma de uma rosca transportadora para proporcionar o avanço da mistura em processo contínuo. Há possibilidade de inversão da inclinação das palhetas de mistura para proporcionar maior tempo de permanência no misturador. Esta tecnologia possibilita que a mistura entre os agregados secos e aquecidos ocorra com o cimento asfáltico em ambiente isolado, com temperatura controlada e longe de qualquer fonte de calor. Assim, a temperatura da mistura independe da temperatura dos gases de combustão, produzindo misturas asfálticas com características controladas.

A Figura 3.8 (a), 3.8 (b) e 3.8 (c) apresentam o misturador de dois eixos paralelos, além dos locais onde são efetuadas a injeção do ligante asfáltico e dos finos proveniente do filtro de mangas.

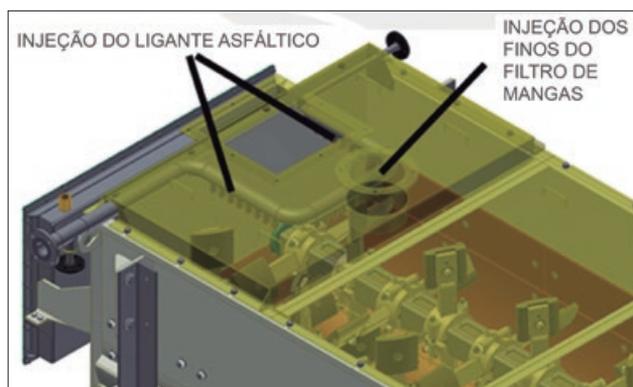


Figura 3.8 (a) Vista do misturador de dois eixos paralelos
(Fonte: Bomag Marini LA)

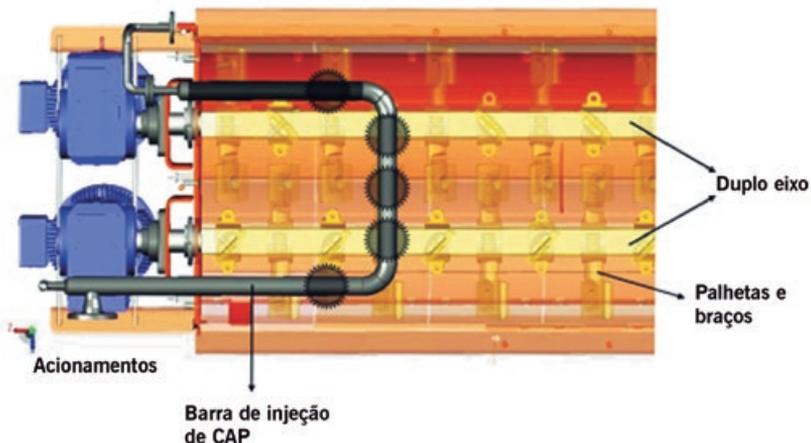


Figura 3.8 (b) Vista do misturador de dois eixos paralelos
(Fonte: Ciber Equipamentos Rodoviários)



Figura 3.8 (c) Vista do misturador de dois eixos paralelos
(Fonte: Ciber Equipamentos Rodoviários)

Os dois tipos de misturadores utilizados nas usinas de asfalto contínuas contrafluxo atendem às exigências técnicas de qualidade e eficiência da massa asfáltica, tanto para as misturas asfálticas convencionais como para as misturas asfálticas especiais. Vale observar que a mistura asfáltica produzida deve ser homogênea e sem sinais de segregação e deve ocorrer em temperatura controlada. A manutenção interna das partes em contato com os agregados é fundamental para evitar desgaste e perda de eficiência. As pás ou aletas dos misturadores devem ser limpas periodicamente.

Além disso, há determinados sistemas que também são fundamentais para a qualidade da mistura asfáltica, tais como:

- sistema de controle da usina para verificação e registros de dosagem dos agregados virgens, de umidade e de temperaturas dos materiais da mistura asfáltica;
- sistema de dosagem do ligante asfáltico com medidor de vazão para maior precisão na dosagem do ligante asfáltico;
- sistema de armazenamento (bombas, tanques, agitadores e tubulações) apropriadas ao tipo de ligante asfáltico utilizado (convencionais ou especiais);
- sistema de dosagem de fíler e dos finos recuperados do filtro de mangas.

6 Filtro de mangas

O filtro de mangas foi desenvolvido para absorver os gases de exaustão sem causar danos ambientais e também possibilitar a recuperação dos finos em suspensão nos gases para reincorporação à mistura asfáltica. Comumente os coletores tipo filtro de mangas são projetados para trabalharem com temperaturas de no máximo 150°C, com mangas de poliéster. Esse tipo de manga constitui o modelo mais econômico e com maior resistência ao ataque de ácidos. Para misturas asfálticas especiais com ligantes modificados por polímeros ou borracha e usinadas em temperaturas superiores a 150°C, recomenda-se a utilização de mangas de Nomex®.

7 Depósito de estocagem de mistura

Importante para a obra, pois evita paradas constantes por falta de caminhões, mas todo depósito é um gerador de segregação. Devem então ser equipados com pré-silo para desaceleração e descarga em bateladas ou ainda, se for o caso, escadas ou chapas defletoras para reduzir a velocidade de descarga e distribuir em diferentes pontos de modo a se obter um produto com uniformidade aceitável. O depósito de estocagem deve ser equipado com sensor de temperatura. A relação entre seu volume e a produção máxima nominal da usina deve maior ou igual a $0,83\text{m}^3$ para cada 100t/h. Essa relação mínima é necessária para que a leitura do termômetro da mistura asfáltica no silo seja confiável.

A qualidade das misturas asfálticas a quente produzidas é no máximo equivalente à qualidade dos materiais que são utilizados na usina para a sua produção. Nos processos de produção de misturas asfálticas a quente nas usinas asfálticas atuais, a graduação e a qualidade dos agregados utilizados é assegurada na pedreira e na usina de britagem de origem, e não na usina de asfalto. Usinas gravimétricas têm condições de realizar apenas pequenos ajustes na graduação do agregado e usinas contínuas não possibilitam qualquer correção. As usinas asfálticas não possuem equipamentos para detectar e corrigir variações na qualidade dos agregados ou na sua graduação.

Os agregados a serem utilizados na produção de misturas asfálticas devem ser estocados e manuseados de forma a evitar contaminações e minimizar degradações e segregação. O local de estocagem deve ser limpo e estável de forma a prevenir a contaminação dos mesmos. Os materiais devem ser armazenados em local com drenagem adequada, geralmente com superfície com pequena inclinação, para a prevenção de acúmulo de umidade. A estocagem em áreas cobertas é a melhor forma de prevenir a precipitação de água sobre os agregados. As áreas de estocagem devem apresentar espaço suficiente para evitar a mistura entre diferentes frações de agregados.

As misturas dos agregados com emulsões asfálticas são realizadas em usinas que podem ser estacionárias ou móveis, com capacidade de produção de 30t/h a 600t/h. Essas usinas são mais simples por não terem necessidade de aquecimento nem do agregado, nem do ligante asfáltico. A Figura 3.9 apresenta um exemplo de uma usina estacionária.



Figura 3.9 Exemplo de usina de solos/pré-misturado a frio
(Fonte: Ciber Equipamentos Rodoviários)

3.2.2 Considerações adicionais sobre a produção de misturas asfálticas

A configuração das usinas asfálticas deve ser definida para atender à obra, considerando os seguintes aspectos: tipo de mistura asfáltica a ser produzida; condições do agregado; produção necessária. Esses aspectos são comentados a seguir para situações particulares.

- 1 Misturas asfálticas densas com CAP modificado com polímero: nesse tipo de mistura asfáltica, a temperatura de usinagem é aumentada para em torno de 170°C a 180°C devido à maior viscosidade do ligante asfáltico. O filtro de mangas deve utilizar mangas de Nomex® que resistem a até 240°C, ou devem possuir *dampers* de ar frio. Caso o ligante asfáltico utilizado seja modificado com polímero SBS em até 8%, a bomba de asfalto deve ser somente recalibrada. Nesse caso, os tanques devem também possuir agitadores mecânicos, sendo que para tanques horizontais no mínimo dois agitadores são necessários e para tanques verticais apenas um agitador centralizado pode ser utilizado.

- 2 Misturas asfálticas descontínuas ou abertas: na produção de misturas asfálticas descontínuas ou abertas são utilizados os mesmos procedimentos de uma mistura asfáltica densa, e os mesmos cuidados em ambos os casos devem ser adotados para que se tenha misturas asfálticas de qualidade adequada. Em misturas asfálticas descontínuas tipo *Gap-Graded*, a quantidade de finos passantes na peneira nº 200 normalmente é baixa, aumentando assim a temperatura dos gases de exaustão. Para evitar danos nos elementos filtrantes da usina, é imprescindível que a usina tenha tecnologia para controlar a temperatura dos gases de exaustão (*dampers* de ar frio). Alternativamente a usina pode apresentar elementos filtrantes (mangas) com material Nomex®, resistente a altas temperaturas. Devido à adição de fibras na mistura asfáltica do tipo SMA, recomenda-se que o tempo de mistura seja aumentado de forma tal que a fibra possa ser suficientemente dispersada na mistura. A adição da fibra deve ser realizada pela entrada de reciclado nas usinas contínuas ou diretamente nas usinas com misturador externo do tipo *pug mill* de duplo eixos (contínuas ou descontínuas). Caso seja usina contínua, esta deve ter dosador variável calibrado e controlado pelo *software* de gerenciamento do fabricante e se for usina gravimétrica deve-se usar balança auxiliar. A fibra pode ser de diversas origens, variando seu tamanho e sua densidade.
- 3 A mistura asfáltica do tipo SMA não deve ser armazenada a temperaturas elevadas por mais de 2 horas. Quando carregada para transporte, atenção especial deve ser dada para minimizar a segregação, por meio de procedimentos tais como lançamento na caçamba dos veículos de transporte em três cargas posicionadas, conforme mostrado na Figura 3.13.
- 4 Misturas asfálticas com CAP modificado por borracha moída de pneus: mesmo tratamento do asfalto modificado com polímero, mas como a viscosidade é muito superior a este, alcançando até 4.000cP, deve ser substituída a bomba de dosagem da usina e suas respectivas tubulações por modelo que atenda à demanda, visto que a capacidade de bombeamento fica restringida. Também deve-se adicionar aos tanques de ligante asfáltico horizontais sistema de bombeamento para auxiliar na agitação, não sendo necessária esta adição nos tanques verticais.
- 5 Misturas asfálticas mornas: em misturas asfálticas mornas, a redução de temperaturas de produção deve ser acompanhada por um equilíbrio entre a secagem adequada dos agregados e a manutenção da temperatura no filtro de mangas que deve ser alta o suficiente para evitar condensação no seu interior. Esse equilíbrio deve ser mantido também em misturas asfálticas com diferentes porcentagens de material reciclado. Outro fator importante é a completa queima do combustível empregado no queimador sob condições de temperaturas de queima mais baixas.

- 6** Um bom desempenho de uma usina asfáltica depende diretamente das condições do pátio de estocagem dos agregados. Condições inadequadas nos pátios podem gerar contaminações indesejadas e aumentos de custo, devido à presença de água na base da pilha de estoque, que é levada para os silos frios da usina. As contaminações mais comuns que ocorrem em um pátio de estocagem de agregados são aquelas que ocorrem pelo contato com argilas expansivas e com a água. Para evitar isso, o pátio deve ser bem drenado e, se possível, pavimentado. Também bastante comum é a mistura de diferentes graduações de agregados, devido a pouca distância entre as pilhas. Isso pode gerar a produção de mistura asfáltica segregada e sem homogeneidade. Pode também ser utilizado o recurso das pilhas ficarem bem distantes uma das outras e a alimentação da usina pode ocorrer por esteiras que transportem os agregados.
- 7** No planejamento da instalação de uma usina, deve-se considerar o fluxo de veículos no seu entorno. O pátio deve ser construído de maneira a minimizar o tráfego de caminhões e veículos nas áreas de operação da usina. Este deve ser construído com inclinações que levem as águas para fora da área industrial. Deve ser executado um sistema de drenagem para retirar rapidamente toda a água que entrar na área.
- 8** Os agregados devem apresentar o menor teor de umidade possível, para serem utilizados. Isso melhora a qualidade da mistura asfáltica e reduz significativamente o custo com combustíveis e aumenta a produtividade da usina. Recomenda-se que a estocagem de agregados seja realizada em áreas cobertas de forma a minimizar a possibilidade de umedecimento desses agregados.
- 9** A separação das pilhas de agregados é importante para evitar a contaminação, o que pode levar à produção de misturas asfálticas em desacordo com o especificado pelo projeto. Quando a praça de estocagem for pequena, é conveniente construir baias para a separação das frações de agregados. As pilhas não devem ser muito altas para evitar a segregação.
- 10** Na alimentação dos silos frios, os agregados devem apresentar homogeneidade tanto na granulometria como na umidade e devem apresentar um aspecto visual uniforme. Mesmo com umidade alta, esta deve estar uniformemente distribuída pois uma umidade variável leva a variações na temperatura da mistura asfáltica produzida.
- 11** Toda a composição granulométrica dosada na usina de asfalto deve ser consumida na mistura asfáltica produzida. Utilizar a usina de asfalto para correção granulométrica não é a forma mais econômica e ecológica de solução.
- 12** Existem procedimentos para controlar, reclassificar ou até rebritar que viabilizam e geram agregados de qualidade para atender à demanda da usina, tais como utilização de peneiras de alta frequência para reclassificar os finos ou equipamentos para rebritar as frações intermediárias de agregados.

- 13** A utilização de procedimento de redosagem na usina é um processo de custo elevado (pois envolve secagem e aquecimento) Porém se necessário, os sistemas disponíveis no mercado nacional podem ser empregados, retirando 100% dos finos procedentes do filtro de mangas para um silo externo onde é dosada a quantidade necessária para atender à composição do projeto. As Figuras 3.10 (a) e 3.10 (b) apresentam o sistema de redosagem de finos.



Figura 3.10 (a) Sistema de redosagem de finos com silo externo
(Fonte: Bomag Marine LA)



Figura 3.10 (b) Sistema de redosagem de finos com silo externo
(Fonte: Ciber Equipamentos Rodoviários)

Aditivos promotores de adesão

Uma solução consagrada utilizada para reduzir ou eliminar danos causados por ação da umidade aos pavimentos e melhorar a afinidade química na interface ligante asfáltico agregado é com o emprego de cal hidratada ou de aditivos líquidos promotores de adesão (comumente conhecidos como Dopes). Comumente são utilizados promotores de adesão na forma líquida devido à simplicidade operacional no transporte, manuseio, dosagem e armazenamento. A composição ativa do aditivo líquido está baseada na síntese de amidoaminas e poliaminas graxas de alto peso molecular. A sua adição é realizada em pequenas quantidades (0,07% a 0,5% em massa em relação ao ligante) diretamente ao ligante asfáltico e estes agem modificando a natureza físico-química do ligante asfáltico. Os aditivos líquidos apresentam benefícios de curto e de longo prazo. Durante a etapa de usinagem da mistura asfáltica, o aditivo promove um melhor envolvimento e adesão dos agregados graúdos e dos finos minerais ao ligante asfáltico, devido à redução da tensão superficial do ligante asfáltico e a formação de ligações químicas entre os materiais. Ao longo da vida útil do pavimento tornam o revestimento asfáltico mais resistente à ação deletéria da água.

Há três ensaios para se verificar a adesividade: NBR 14329 – Adesividade expedita por fervura, NBR 12583, que utiliza a estufa a 40°C, e a NBR 15617 – Dano por umidade induzida.

Os aditivos promotores de adesão devem ser dosados preferencialmente no tanque de serviço da usina, nos teores determinados no ensaio de adesividade. As Figuras 3.11(a) e (b) apresentam imagens de misturas asfálticas com adesividade não satisfatória e satisfatória, respectivamente.



(a) Não satisfatória



(b) Satisfatória

Figura 3.11 Adesividade em misturas asfálticas

(Fonte: Abeda)

No caso de utilização da Cal CH-I (cal calcítica) para a melhoria da adesividade ligante agregado, pode ser utilizado um sistema dosador com silo externo onde a cal pode ser adicionada diretamente aos agregados virgens. As Figuras 3.12 (a) e 3.12 (b) apresentam o sistema dosador de Cal CH-I com silo externo.



Figura 3.12 (a) Sistema dosador de cal CH-I com silo externo



Figura 3.12 (b) Sistema dosador de cal CH-I com silo externo
(Fonte: Ciber Equipamentos Rodoviários)

Algumas recomendações quando observadas podem minimizar danos devido à ação da água nos revestimentos asfálticos, tais como:

- revestimentos asfálticos de graduação contínua ou descontínua, com baixo teor de vazios, são menos suscetíveis à ação da água;
- assegurar que o sistema de drenagem e a compactação de todas as camadas sejam realizados de forma eficaz;
- usar somente agregados limpos e secos na usinagem. Agregados com pó, argila ou umidade em sua superfície devem ser evitados a fim de manter aderido o filme de ligante asfáltico em sua superfície;
- não usar agregados recém-britados que apresentam má adesão ao ligante asfáltico. A perda de adesão entre o ligante e os agregados é maior com agregados recém-britados em relação aos agregados estocados por uma ou duas semanas;
- não usar agregados altamente hidrofílicos. Por meio do ensaio para a avaliação da suscetibilidade à ação da água (ABNT NBR 15617), selecionar o melhor tipo de agregado para evitar danos por ação da umidade;
- quando o uso de agregados hidrofílicos for inevitável, adicionar promotores de adesão (cal hidratada ou aditivos líquidos termoestáveis) na quantidade determinada pelo projeto de dosagem de mistura asfáltica ou por meio do ensaio para a avaliação da suscetibilidade à ação da água (ABNT NBR 15617);
- se a cal hidratada for utilizada, ativá-la previamente com água antes da incorporação aos agregados. Se o aditivo líquido for utilizado, verificar sua resistência em altas temperaturas por meio do ensaio (ABNT NBR 15617) a partir de amostras das misturas asfálticas usinadas ou de misturas asfálticas preparadas em laboratório com ligantes asfálticos aditivados e submetidos previamente ao efeito do calor e do ar em estufa de filme rotativo (RTFOT);
- quanto maior for a viscosidade do ligante asfáltico, maior será a espessura da película de ligante asfáltico e a resistência do revestimento aos danos causados pela ação da água;
- incluir no controle tecnológico da obra a verificação periódica da resistência das misturas asfálticas usinadas com relação à ação da água (ABNT NBR 15617).

Práticas adequadas de produção de misturas asfálticas a quente, tais como redução de umidade nos pátios de estocagem dos agregados e reciclados, preaquecimento dos fluidos combustíveis, ajustes dos queimadores, eliminação de vazamentos de ar nos sistemas flexíveis e escolha e operação apropriada dos filtros de manga também dizem respeito à produção de misturas asfálticas mornas.

A produtividade das usinas asfálticas esta relacionada à exigência e ao cronograma da obra, devendo-se atentar aos materiais empregados, à umidade dos agregados e à altitude de instalação, fatores decisivos na produção.

3.2.3 Fatores que influem na execução

O sucesso na execução de camadas de revestimento asfáltico depende principalmente da boa comunicação entre a equipe de pavimentação, o pessoal da usina de asfalto e os responsáveis e os contratantes da execução. A qualidade de execução está relacionada a vários aspectos do processo, desde o transporte e lançamento da mistura asfáltica até sua compactação final.

Transporte e lançamento de misturas asfálticas

As misturas asfálticas são levadas ao local de execução do pavimento por meio de caminhões transportadores geralmente com balsa traseira. O procedimento de carga dos caminhões transportadores na usina é importante no sentido de evitar a segregação da mistura asfáltica durante o transporte. A Figura 3.13 mostra o procedimento correto de carga da mistura asfáltica, que deve ser realizado em três pontos na caçamba e sendo o primeiro ponto próximo da dianteira do caminhão, o segundo próximo da traseira e o terceiro no meio. O número necessário de caminhões é determinado por alguns fatores tais como: a velocidade de produção da mistura asfáltica na usina; a distância de transporte; o tipo de tráfego no percurso e o tempo estimado para descarregamento. O número de caminhões necessários para manter constante o lançamento da mistura asfáltica na pista pode ser estimado considerando-se o tempo de ida e de volta dividido pelo tempo de carregamento de cada caminhão mais um.



Figura 3.13 Procedimento correto de carga de caminhões na usina e descarga de caminhão com três pilhas de mistura asfáltica dentro da vibroacabadora

O lançamento de uma mistura asfáltica e o início de um serviço de compactação de uma camada de revestimento asfáltico, deve ser precedido por um planejamento onde são considerados detalhes importantes no processo, como por exemplo:

- continuidade e sequência de operações;
- número de vibroacabadoras necessárias para a execução do serviço;
- número e tipos de rolos compactadores necessários;

- número de caminhões transportadores necessários;
- a cadeia de comando para dar e receber instruções;
- razões para possível rejeição de mistura asfáltica;
- condições climáticas e de temperatura;
- controle de tráfego.

Além da consideração desses detalhes, devem ser realizadas todas as preparações e as inspeções necessárias para garantir seu sucesso. Normalmente os seguintes itens devem ser verificados:

- superfície da base ou do revestimento existente apropriadamente preparada (imprimação ou pintura de ligação executadas);
- plano de execução do serviço;
- sincronia apropriada de produção da mistura asfáltica, lançamento e compactação;
- equipamentos em boas condições e calibrados;
- meios para pesagem da mistura asfáltica;
- planejamento de amostragem e ensaios de controle.

A mistura asfáltica deve ser lançada em camada uniforme, de espessura e seção transversal definidas, pronta para a compactação. O lançamento é realizado por vibroacabadoras que sejam capazes de executar camadas de menos de 25,0mm até aproximadamente 300,0mm de espessura, em larguras ajustáveis de acordo com o serviço. As velocidades de deslocamento são reguláveis e podem atingir até 20,0m/min.

As vibroacabadoras são compostas por duas unidades: a tratora e a de nivelamento. A unidade tratora compreende o motor, as transmissões e os controles, o silo de carga com laterais basculantes, as barras alimentadoras, as roscas distribuidoras e o posto de condução. A unidade tratora é apoiada sobre um par de esteiras ou sobre pneus. Esta unidade tem como funções o deslocamento da vibroacabadora e o recebimento, a condução e o lançamento uniforme da carga de mistura asfáltica à frente da unidade de nivelamento.

A unidade de nivelamento é formada por uma mesa flutuante e vibratória ligada à unidade tratora por braços de nivelamento fixados através de articulações próximas à parte central do equipamento. Suas funções são nivelar e pré-compactar a mistura asfáltica sobre a superfície em que foi lançada, de acordo com especificações de geometria previamente definidas. As Figuras 3.14 e 3.15 apresentam tipos de vibroacabadoras e seus componentes e a Figura 3.16 mostra um exemplo de vibroacabadora.

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

AASHTO – AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS. AASHTO interim guide for the structural design of flexible pavements. AASHTO Committee on Design, Washington, D.C., 1961.

ABEDA – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS DISTRIBUIDORAS DE ASFALTOS. Manual básico de emulsões asfálticas. 2. ed. Rio de Janeiro: Abeda, 2010.

_____. Temperatura de manuseio e trabalhos com ligantes asfálticos a quente. Informativo Técnico nº 3. 2011.

_____. Diretrizes para execução e controle de qualidade de misturas asfálticas a quente. Informativo Técnico nº 5. 2013.

_____. Diretrizes para execução e controle de qualidade de microrrevestimento asfáltico a frio. Informativo Técnico nº 6. 2013.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – NBR 7208 – Materiais betuminosos para emprego em pavimentação. Rio de Janeiro, 1990.

AI – ASPHALT INSTITUTE. Alternatives in pavement maintenance, rehabilitation and reconstruction. Asphalt Institute. Information Series nº 178 (IS-178). 2005.

_____. Mixture classification of hot-mix asphalt. Asphalt Institute. Information Series nº 187 (IS-187).

- AIREY, G.D. Rheological properties of styrene butadiene styrene polymer modified road bitumens. Fuel, v. 82, p. 1709-1719, 2003.
- ANP – AGÊNCIA NACIONAL DE PETRÓLEO, GÁS E BIOCOMBUSTÍVEIS. Disponível em: http://nxt.anp.gov.br/nxt/gateway.dll/leg/resolucoes_anp/2005/janeiro/ranp%20%20-%202005.xml. Acesso em: 2 out. 2013.
- APA. Pavement type selection. The Asphalt Pavement Alliance. IM-45. 2010.
- APS, M. Classificação da aderência pneu-pavimento pelo índice combinado IFI – International Friction Index para revestimentos asfálticos. Tese de doutorado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transpores da Escola Politécnica da USP. São Paulo, 2006.
- ASPHALT INSTITUTE. Asphalt Institute ES-2. Vibratory compaction of asphalt paving mixtures. 2. ed.
- _____. Asphalt Institute ES-9. Factors affecting compaction.
- _____. Asphalt Institute IS-201. Grade controls guidelines for smooth HMA pavements.
- _____. Asphalt Institute MS-22. Construction of hot mix asphalt pavements. 2. ed.
- _____. Asphalt Institute MS-4. The asphalt handbook. 7. ed. 2007.
- _____. The asphalt handbook. Manual series, n. 4 (MS-4), College Park, 1956. p. 46-8. Mix design methods for asphalt concrete and other hot-mix types. Manual series n. 2, 1995.
- ARRA – ASPHALT RECYCLING AND RECLAIMING ASSOCIATION. Manual básico de reciclagem de materiais de pavimentação. Asphalt Recycling and Reclaiming Association. Tradução. FRESAR Tecnologia de Pavimentos Ltda., 2001.
- ASTM – AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM E1845-09. Standard practice for calculating pavement macrotexture mean profile depth. American Society of Testing and Materials. Estados Unidos, 2009.
- _____. ASTM E1960-07. Standard practice for calculating international friction index of a pavement surface. American Society of Testing and Materials. Estados Unidos, 2011.
- _____. ASTM E274/E274M-11. Standard test method for skid resistance of paved surfaces using a full-scale tire. American Society of Testing and Materials. Estados Unidos, 2011.
- _____. ASTM E2793-10. Standard guide for the evaluation, calibration, and correlation of E274 friction measurement systems and equipment. American Society of Testing and Materials. Estados Unidos, 2010.

- . ASTM E2883-13. Standard guide for the evaluation, and calibration, continuous friction measurement equipment (CFME). American Society of Testing and Materials. Estados Unidos, 2013.
- . ASTM E303 – 93. Standard test method for measuring surface frictional properties using the British pendulum tester. American Society of Testing and Materials. Estados Unidos, 2013.
- . ASTM E965-96. Standard test method for measuring pavement macrotexture depth using a volumetric technique. American Society of Testing and Materials. Estados Unidos, 2006.
- BENNERT, T.; MAHER, A. Field and laboratory evaluation of a reflective crack interlayer in New Jersey. Transportation Research Record, Journal of the Transportation Research Board, n. 2084, p. 114-123, 2008.
- BENNERT, T.; WORDEN, M.; TURO, M. Field and laboratory forensic analysis of reflective cracking on Massachusetts Interstate 495. Transportation Research Record, Journal of the Transportation Research Board, n. 2126, p. 27-38, 2009.
- BERNUCCI, L.B.; MOTTA, L.M.G.; CERATTI, J.A.P.; SOARES, J.B. Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros. Rio de Janeiro: Petrobras/Asfaltos; Associação Brasileira das Empresas Distribuidoras de Asfalto, 2006.
- BLANKENSHIP, P.; IKER, N.; DRHOHLAV, J. Interlayer and design considerations to retard reflective cracking. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, n. 1896, TRB, National Research Council, Washington, D.C., p. 177-186, 2004.
- BROSSEAUD, Y. Reciclagem de misturas asfálticas: evolução após 20 anos e a situação atual na França. In: 3. SALÃO DE INOVAÇÃO ABCR – 7. CONGRESSO BRASILEIRO DE RODOVIAS E CONCESSÕES, Foz do Iguaçu – PR, 2011.
- CALLAI, S.C. Estudo do ruído causado pelo tráfego de veículos em rodovias com diferentes tipos de revestimentos de pavimentos. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes da Escola Politécnica da USP. São Paulo, 2011.
- CASTRO NETO, A.M. Proposta de projeto de dosagem de concreto betuminoso reciclado a quente. Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica / USP – Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia de Transportes, São Paulo – SP, 2000.
- CASTRO, P.B. Avaliação de agregados da Região Metropolitana de Fortaleza para aplicação em microrrevestimento asfáltico a frio. Monografia. Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2011.

- CEMPRE – COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA RECICLAGEM – Brasil, 2014. Disponível em: http://www.cempre.org.br/ciclosoft_2012.php. Acessado em: 14 fev. 2014.
- CERATTI, J.A.P.; REIS, R.M.M. Manual de dosagem de concreto asfáltico. Instituto Pavimentar. Petrobras, Abeda e Aneor, 2011.
- _____. Manual de microrevestimento asfáltico a frio. Instituto Pavimentar. Petrobras, Abeda e Aneor, 2011.
- CHAVES, J.M.C.; CASTRO, F.; MOREIRA, M.; ALBA, V.; MARCANDALI, A. Operação de usinas de asfalto com qualidade. Paulista Infraestrutura Ltda., 2010.
- CONAMA – CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE nº 307 – Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. 2002.
- CORTÉ, J.F. Use of modified bituminous binders, special bitumens and bitumens additives in pavement applications – Permanent International Association of Road Congresses103 (PIARC). Technical Committee on Flexible Roads – Italy, 1998.
- DEINFRA-SC-ES-P-11/14. Tratamento Superficial - Minuta.
- DER-ES-P 20/00. Microrrevestimento asfáltico a frio. Especificações gerais para serviços e obras rodoviárias. Pavimentação, 2000.
- DNIT – DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. DNIT 155/2010-ME. Material asfáltico – determinação da penetração – método de ensaio. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Rio de Janeiro, 2010.
- _____. DNIT 006/2003 – PRO. Avaliação objetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semirrígidos – procedimento. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, Brasil.
- _____. DNIT 007/2003 – PRO. Levantamento para avaliação da condição de superfície de subtrecho homogêneo de rodovias de pavimentos flexíveis e semirrígidos para gerência de pavimentos e estudos e projetos – procedimento. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, Brasil.
- _____. DNIT 008/2003 – PRO. Levantamento visual contínuo para avaliação da superfície de pavimentos flexíveis e semirrígidos – procedimento. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, Brasil.
- _____. DNIT 035/2005-ES. Pavimentos flexíveis – microrrevestimento asfáltico a frio com emulsão modificada por polímero. Especificação de serviço. Rio de Janeiro, 2005.

- _____. DNIT 112/2009-ES. Pavimentos flexíveis – concreto asfáltico com asfalto borracha, via úmida, do tipo “terminal blending” – especificação de serviço. Rio de Janeiro, 2009.
- _____. DNIT. Manual de pavimentação. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. IPR Publicação 719. Ministério dos Transportes. Brasília, 2006a.
- _____. DNIT. Manual de restauração de pavimentos asfálticos. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. IPR Publicação 720. Ministério dos Transportes. Brasília, 2006b.
- EAPA – EUROPEAN ASPHALT PAVEMENT ASSOCIATION. Asphalt in figure 2010. Disponível em: http://eapa.org/usr_img/Asphalt%20in%20figures%20Version%2022-12-2011.pdf. Acessado em: 16 jan. 2013, 2011.
- FERREIRA, P.N. Estudo da utilização de revestimentos asfálticos delgados a quente para pavimentos tipo BBTM no Brasil. 200f. Tese (Doutorado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.
- FRAENTZIS, P. Development of crumb rubber reinforced bituminous binder under laboratory conditions. *Journal of Materials Science*, v. 38, p. 1397-1401. 2003.
- FRANCO, F.A.C.P. Método de dimensionamento mecanístico-empírico de pavimentos asfálticos – Sispav. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Rio de Janeiro, RJ, 2007.
- GARCÍA-MORALES, M.; PARTAL, P.; NAVARRO, F.J.; MARTÍNEZ-BOZA, F.J.; GALLEGOS, C. Process rheokinetics and crostructure of recycled EVA/LDPE – modified bitumen. *Rheol Acta*, v. 45, p. 513-524; 2006.
- HIGHWAY RESEARCH BOARD. The AASHO road test. Special Rep. n. 61A-E, National Academy of Science, National Research Council, Washington, D.C, 1962.
- IMPERPAV PROJETOS E CONSULTORIA. Estudo comparativo: CAP 30-45 e CAP 50-70 sua utilização em revestimentos asfálticos. Relatório Técnico. Editora ABCR, 2008.
- INSTITUTO PAVIMENTAR. Curso de aperfeiçoamento em operação de usina de asfalto. Petrobras, Abeda e Aneor. 2013.
- _____. Curso de aperfeiçoamento em operação de usina de microrrevestimento asfáltico a frio. Petrobras, Abeda e Aneor. 2012.
- ISACSSON, U.; LU, X. Modification of road bitumens with thermoplastic polymers. *Polymer Testing*, v. 20, p. 77-86, 2001.

- ISO 13473-1:1997. Characterization of pavement texture by use of surface profiles – part 1: determination of mean profile depth.
- ISSA – INTERNATIONAL SLURRY SURFACING ASSOCIATION. ISSA A-143. Recommended performance guideline for micro surfacing. Annapolis, MD. Estados Unidos, 2010.
- JAHROMI, S.G.; KHODAI, A. Construction and Building Materials, n. 23, p. 2894-2904, 2009.
- JIN, H.; GAO, Z.; ZHANG, Y.; SUN, K.; FAN, Y. Improved properties of polystyrene-modified asphalts through dynamic vulcanization. Polymer Testing, v. 21, p. 633-640, 2002.
- LCPC. Manual LPC de ayuda en la formulación de mezclas bituminosas em caliente. Coord: Jean-Luc Delorme, Chantal de la Roche, Louise Wendling. Laboratoire Central de Ponts et Chaussées. Paris, 2005.
- LEITE, L.F.M. Estudos de preparo e caracterização de asfaltos modificados por polímeros. Tese de Doutorado – Instituto de Macromoléculas Professora Eloísa Mano – Universidade Federal do Rio de Janeiro, 1999.
- LIMA, A.T. Caracterização mecânica de misturas asfálticas recicladas a quente. Dissertação de Mestrado, Petran/UFC – Universidade Federal do Ceará, Departamento de Engenharia de Transportes, Fortaleza, CE, 2003.
- LOGARAJ, S.; ALMEIDA, A. Surface-active bitumen additive for warm mix asphalt with adhesion promoting properties. Akzo Nobel Surface Chemistry LLC Paper. USA, 2009.
- LOIOLA, P.R.R. Estudo de agregados e ligantes alternativos para emprego em tratamentos superficiais de rodovias. Dissertação, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2009.
- MAKOWSKI, L.; BISCHOFF, D.L.; BLANKENSHIP, P.; SOBCHAK, D.; HAULTER, F. Wisconsin experiences with reflective crack relief projects. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, n. 1905, p. 44–55, 2005.
- MELO, A.L. Tratamentos superficiais. Universidade Federal de Pernambuco. Centro de Tecnologia. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. Recife, 1978.
- MMA – MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Reciclagem – Brasil, 2014. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/component/k2/item/7656>. Acessado em: 14 fev. 2014.
- MORALES, M.G.; PARTAL, P.; NAVARRO, F.J.; BOZA, F.M.; GALLEGOS, C.; GONZÁLEZ, N.; GONZÁLEZ, O.; MUÑOZ, M.E. Fuel, v. 83, p. 31-38; 2004.

- MORILHA, A.J.; Estudo sobre a ação de modificadores no envelhecimento nos ligantes asfálticos e nas propriedades mecânicas e de fadigas das misturas asfálticas. Tese de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, 2004.
- NAPA – NATIONAL ASPHALT PAVEMENT ASSOCIATION. NAPA. HMA pavement mix type selection guide. National Asphalt Pavement Association. FHWA. Information Series 128. Washington, 2001.
- _____. NAPA. Design, construction and maintenance of open-graded asphalt friction courses. National Asphalt Pavement Association IS-115. 2002.
- _____. NAPA. Rollers operations for quality. National Asphalt Pavement Association IS-121, 2001.
- _____. NAPA. Pavers operations for quality. National Asphalt Pavement Association IS-125/2002.
- _____. NAPA. Warm-mix asphalt: contractors' experiences. National Asphalt Pavement Association IS-134. 2008.
- _____. NAPA. Best practices for emulsion tack coats. National Asphalt Pavement Association QIP-128. 2013.
- _____. NAPA. Designing and constructing SMA mixtures – state-of-the-practice. National Asphalt Pavement Association QIS-122. 2002.
- _____. NAPA. Warm-mix asphalt: best practices. National Asphalt Pavement Association QIS-125. 2007.
- _____. NAPA. Rolling and compaction of hot mix asphalt pavement. National Asphalt Pavement Association TAS-15.
- NCHRP. A manual for design of hot-mix asphalt with commentary. National Cooperative Highway Research Program. Transportation Research Board. NCHRP Report 673. Washington, 2011.
- NOGAMI, J.S.; VILLIBOR, D.F. Pavimentação de baixo custo com solos lateríticos. 213 p. São Paulo: Editora Villibor, 1995.
- PEREIRA, S.L.O. Avaliação dos tratamentos superficiais simples, duplo e triplo de rodovias através do emprego de diferentes agregados da Região Metropolitana de Fortaleza. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2013.
- PINTO, S. Tratamento superficial betuminoso. Instituto Militar de Engenharia – IME/RJ, 2002.
- POLACCO, G.; STASTNA, J.; BIONDI, J.; ZANZOTTO, L. Relation between polymer architecture and non linear viscoelastic behavior of modified asphalts. Current Opinion in Colloid in Interface Science, v. 11, p. 230-245; 2006.

- PROAS. Vademécum de pavimentación. Coord. Felix Edmundo Pérez Jimenez. Madrid: Productos Asfálticos SA., 2011.
- REIS, R.M.M. Investigação de campo e laboratório sobre revestimento asfáltico ultra delgado. 2012. 317 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre.
- SANTO, N.R.E.; REIS, R.M.M. Microrrevestimento asfáltico a frio. Uma inovação tecnológica para tratamentos de superfície. 1999.
- SHIMAZAKI, M.K.; TAKAHASHI, M.; KASAHARA, A. Development of high performance asphalt for prevention of reflective cracking. Compendium of Papers from the First International Conference on Pavement Preservation, Chapter 4: Paper 71, pp. 227-244, 2010.
- SHRP – STRATEGIC HIGHWAY RESEARCH PROGRAM A-410. Superior performing asphalt pavements (Superpave): The Product of SHRP Asphalt Research Program. National Research Council. Washington, DC, 1994.
- SILVA, I.S. Contribuição ao estudo do envelhecimento de ligantes asfálticos. Influência da adição de polímeros e comportamento frente à radiação UV. Tese (Doutorado em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais); Escola de Engenharia – UFRGS; Porto Alegre, 2005.
- STRUFALDI, E.G.B.; BERNUCCI, L.L.B.; APS, M.; VITTORINO, F.; SOUZA, D.R. Traffic noise reduction using porous asphalt course as an overlay of a Portland cement concrete pavement in Sao Paulo, Brazil. In: 39th International Congress and Exposition on Noise Control Engineering., 2010, Lisboa. Noise and sustentability, 2010.
- SHELL BITUMEN. The Shell Bitumen handbook. 5. ed. Shell Bitumen, 2003.
- VIEIRA, T. Asphalt pavement surface analysis and its effects on the tire – pavement friction and on noise generation. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes da Escola Politécnica da USP. São Paulo, 2014.
- VILLELA, A.R.A. Estudo de camada de base asfáltica de módulo elevado para restauração de rodovias de tráfego muito pesado. Tese de Doutorado, Poli/USP, 2012.



ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS
DISTRIBUIDORAS DE ASFALTOS

www.abeda.org.br

ISBN 978-85-69658-00-9



9 788569 658009