

**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

<b>1</b>	<b>TIPOS DE LIGANTES ASFÁLTICOS E REVESTIMENTOS ASFÁLTICOS</b>	<b>13</b>
1.1	CLASSIFICAÇÃO BRASILEIRA DE ASFALTOS, PRODUTOS ASFÁLTICOS MODIFICADOS, ASFALTOS DILUÍDOS E EMULSÕES	13
1.1.1	ASFALTO MODIFICADO POR POLÍMERO	14
1.1.2	ASFALTO BORRACHA	15
1.1.3	ASFALTO DE BAIXA PENETRAÇÃO	15
1.1.4	CAP TLA	15
1.1.5	ASFALTOS DILUÍDOS DE PETRÓLEO	16
1.1.6	EMULSÕES ASFÁLTICAS	16
1.2	REVESTIMENTOS ASFÁLTICOS USINADOS A QUENTE, MORNOS, A FRIO, RECICLADOS	18
1.2.1	MISTURAS ASFÁLTICAS USINADAS A QUENTE	20
1.2.2	MISTURAS ASFÁLTICAS MORNAS	31
1.2.3	MISTURAS ASFÁLTICAS USINADAS A FRIO	33
1.2.4	MISTURAS ASFÁLTICAS RECICLADAS	33
1.3	TRATAMENTOS SUPERFICIAIS	35
1.3.1	LAMA ASFÁLTICA	35
1.3.2	MICRORREVESTIMENTO ASFÁLTICO A FRIO – MRAF	36
1.3.3	TRATAMENTO SUPERFICIAL POR PENETRAÇÃO	36
1.3.4	OUTROS TIPOS DE TRATAMENTOS SUPERFICIAIS	38
	<b>BIBLIOGRAFIA CONSULTADA</b>	<b>139</b>

# 1

## TIPOS DE LIGANTES ASFÁLTICOS E REVESTIMENTOS ASFÁLTICOS

### 1.1

#### CLASSIFICAÇÃO BRASILEIRA DE ASFALTOS, PRODUTOS ASFÁLTICOS MODIFICADOS, ASFALTOS DILUÍDOS E EMULSÕES

A Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) é o órgão responsável por classificar, fiscalizar e garantir a qualidade dos asfaltos brasileiros. A resolução da ANP descreve especificações, condições de armazenamento e preservação do cimento asfáltico de petróleo (CAP) e a qualidade do mesmo. Cita ainda as normas que regem os métodos de análise desse material. A Tabela A1 (ver Anexo) apresenta a especificação para CAP convencional.

A escolha dos materiais a serem empregados na camada de revestimento asfáltico de um pavimento deve ser feita de forma racional, considerando as condicionantes de tráfego, clima e estrutura do pavimento, visando à otimização de propriedades relacionadas ao seu desempenho.

Para obter melhores propriedades do CAP usualmente adiciona-se certos agentes modificadores que possam conferir melhor desempenho. Quando a um CAP é adicionado um aditivo diz-se que o mesmo é um asfalto modificado. As principais modificações são descritas a seguir.

### 1.1.1 Asfalto modificado por polímero

Asfalto modificado por polímero é um material composto por CAP e um ou mais polímeros, geralmente em teores de 3 a 8% (massa/massa, ou seja, em relação à massa do CAP). Os asfaltos modificados por polímeros têm sido uma opção para minimizar os tipos mais frequentes de falha dos pavimentos, quais sejam, deformações permanentes (afundamento de trilha de roda) e trincamento por fadiga ou por efeito de baixa temperatura ambiente. O uso de modificadores para melhorar as propriedades dos ligantes tem aumentado em todo o mundo e está hoje consagrado no Brasil. Os principais tipos de modificadores são os polímeros: copolímeros de estireno – butadieno – estireno (SBS), estireno – (etileno-co-butileno) – estireno (SEBS), etilenovinilacetato (EVA) e etilenoglicidilacrilato (Elvaloy®).

As propriedades de asfaltos modificados por polímeros dependem das características e da concentração dos polímeros utilizados bem como da natureza da constituição química do CAP. Estes materiais são obtidos a partir da incorporação de um ou mais polímeros ao CAP, podendo ou não haver reações químicas entre as partes. As interações podem ocorrer com as porções maltênicas, asfaltênicas ou até mesmo com os heteroátomos que constituem o ligante. Estas interações alteram as propriedades reológicas do material melhorando a resistência ao intemperismo, às deformações permanentes e ao trincamento.

O polímero SBS é um dos principais modificadores do CAP e a sua estrutura química favorece a adesividade ao agregado e a elasticidade do CAP modificado. A melhoria das propriedades do CAP também inclui aumento da resistência ao envelhecimento e à oxidação para este material. O teor de estireno presente no SBS é de 20 a 30% (m/m), normalmente. SBS com percentuais maiores do que 30% de estireno pode oferecer baixa compatibilidade com o ligante, com subseqüentes problemas relacionados à dispersão e à instabilidade no armazenamento. A mistura do CAP com o SBS deve ser feita a temperatura em torno de 180°C e alto cisalhamento. É importante ressaltar que deve haver uma compatibilidade adequada entre o CAP com polímero de SBS para a produção do asfalto modificado.

A Tabela A2 (ver Anexo) apresenta as especificações para CAPs modificados por polímeros do tipo elastômero, como é o caso do SBS (segundo resolução da ANP). Um elastômero é um material macromolecular que recupera rapidamente a sua forma e dimensões iniciais, após cessar a solicitação. Os CAPs modificados por polímeros elastoméricos (E) são classificados, segundo o ponto de amolecimento e a recuperação elástica a 25°C. Atualmente são especificadas três classes de ligantes elastoméricos: 55/75-E, 60/85-E e 65/90-E, cujo primeiro algarismo da classe corresponde ao ponto de amolecimento mínimo (°C) e o segundo à recuperação elástica mínima (%). Para ilustração, na classe 55/75-E tem-se que o ponto de amolecimento é de no mínimo 55°C e a recuperação elástica de no mínimo 75%. A referida resolução de número 32 não especifica qual elastômero deve ser usado para a síntese do CAP modificado nem a concentração do mesmo em relação ao CAP, embora para atingir cada classe seja necessário teores diferentes de polímero.

### 1.1.2 Asfalto borracha

A borracha foi um dos primeiros polímeros adicionados ao CAP. As características adquiridas pelo CAP modificado com borracha dependem do tipo de borracha usada, da proporção da mesma adicionada ao CAP, do tamanho das partículas de borracha adicionadas, do tempo de mistura, da composição do CAP e da temperatura da mistura reacional.

O asfalto borracha é regulamentado pela ANP que estabelece as especificações do asfalto borracha distribuído para consumo em todo o território nacional e refere-se ao produto acabado, a partir das instalações dos produtores, importadores e distribuidores de asfaltos devidamente autorizados pela ANP, e devem apresentar as características expressas na Tabela A3 (ver Anexo). Esta tabela apresenta características/limites para duas classes de CAPs modificados por borracha moída de pneus, classificados segundo seus valores de viscosidade Brookfield obtida a 175°C.

### 1.1.3 Asfalto de baixa penetração

Diante do volume de tráfego e das cargas por eixo crescentes, são necessários revestimentos asfálticos e/ou camadas de bases mais resistentes. Há disponível no mercado brasileiro atualmente ligantes asfálticos de baixa penetração (elevada dureza), utilizados em camadas asfálticas de módulo elevado (EME), contribuindo para estruturas de pavimentos de elevada rigidez. O emprego desta técnica (pavimentos perpétuos) é difundida na França e nos Estados Unidos, sendo indicada para rodovias de tráfego muito pesado. A definição de tráfego muito pesado encontra-se na Tabela 2.1. Os asfaltos duros são empregados em camadas intermediárias de revestimentos ou em bases asfálticas, tanto na construção de pavimentos novos quanto em reabilitações de pavimentos existentes. Os ligantes asfálticos indicados são os asfaltos duros, com penetração inferior a 30dmm (décimos de milímetro), em geral entre 10dmm e 25dmm, a 25°C, entre outras características. A proposta de especificação IBP/ABNT dos asfaltos de baixa penetração para a execução de camadas asfálticas de módulo elevado (EME) é apresentada na Tabela A4.

### 1.1.4 CAP TLA

O CAP TLA (*Trinidad Lake Asphalt*) é um asfalto natural com presença de alguns materiais como cinzas e areia, retirado do lago existente em Trinidad (República de Trinidad e Tobago), que é peletizado em planta industrial e comercializado como um modificador de ligantes asfálticos. Este asfalto natural pode ser adicionado aos asfaltos convencionais, modificando suas propriedades reológicas. É adequado para concretos asfálticos usados em revestimentos de vias de moderado e alto tráfego (M a A – ver Tabela 2.1). O CAP convencional modificado com TLA (em teores de 20 a 30% em massa) apresenta as seguintes características: reduzida suscetibilidade térmica, isto é, menos sensível a variações de temperatura; boa resistência à ação de solvente (diesel) oriundo de derrames fortuitos de veículos; elevada resistência à deformação permanente quando utilizado em revestimentos até a temperatura de 70°C, uma vez que este

atinge o PG 70 na classificação Superpave; dosagem, usinagem e compactação similar aquelas utilizadas quando do uso de um asfalto convencional. A Tabela A5 apresenta uma proposta de especificação.

### 1.1.5 Asfaltos diluídos de petróleo

Os asfaltos diluídos de petróleo (ADPs) são produzidos a partir da diluição do CAP com solventes como querosene, nafta ou gasolina. A finalidade é reduzir a viscosidade e a temperatura de aplicação do ligante, sendo usados principalmente na imprimação das camadas de base dos pavimentos. Conhecidos como *cutbacks*, uma vez aplicados liberam o solvente para o ambiente recuperando a viscosidade original do CAP residual. Esses produtos são empregados na pavimentação como imprimação de bases (não tratadas com cimento). Para redução dos problemas ambientais, devido à liberação dos solventes decorrente do processo de cura da imprimação, gradativamente os ADPs estão sendo substituídos por emulsões asfálticas especiais em serviços de imprimação.

A ANP apresenta as especificações limites para os ADPs com CR (CR-70 e CR-250) e CM (CM-30 e CM-70), Tabelas A6 e A7 (ver Anexo), respectivamente.

### 1.1.6 Emulsões asfálticas

Emulsão é uma dispersão na qual as fases são fluidos imiscíveis ou parcialmente miscíveis. Há uma fase finamente dividida (dispersa ou interna) em outra fase (contínua ou externa), na presença de um surfactante (agente emulsificante). No caso das emulsões asfálticas (EAPs), estas tratam-se de dispersões coloidais de uma fase asfáltica (50 a 70% de CAP) em fase aquosa, além de um agente emulsificante e aditivos como estabilizantes, melhoradores de adesividade e controladores de ruptura. Emulsões modificadas incluem polímero. Entre as vantagens das emulsões, modificadas ou não, está a redução da viscosidade do CAP possibilitando a sua utilização em temperaturas bem menores, reduzindo a liberação dos voláteis e os custos com energia.

Os emulsificantes são estruturas orgânicas que apresentam uma parte polar que apresenta afinidade com os hidrocarbonetos do CAP e uma parte apolar com afinidade com as moléculas de água. O uso de emulsificante em suspensões asfálticas tem a finalidade de dar estabilidade à EAP, de diminuir a tensão superficial e de revestir os glóbulos de asfalto com uma película protetora, mantendo-os dispersos na EAP. A quantidade de emulsificante usada na composição da EAP, em geral, não ultrapassa 2,5% em massa de emulsão asfáltica. Os emulsificantes são classificados em iônicos e não iônicos, conforme a apresentação ou não de carga quando solubilizados na fase aquosa, respectivamente. Os emulsificantes iônicos podem ser anfóteros, catiônicos ou aniônicos, de acordo com o domínio de cargas positivas ou negativas em sua constituição.

A coalescência dos glóbulos de asfalto ocorre quando há uma desestabilização do emulsificante fazendo com que as gotas de asfalto se unam. Quando isto ocorre, diz-se que

houve a ruptura ou a quebra da EAP. A ruptura pode ocorrer devido à mudança de pH da emulsão, a mudança no balanço entre as estruturas hidrofóbicas e hidrofílicas do emulsificante, a evaporação da água e a adsorção do tensoativo pelos agregados minerais.

A emulsão asfáltica modificada por polímero é uma evolução, sendo os polímeros mais usados nesse tipo de processo o SBR (borracha de butadieno estireno) e o SBS. SBR é um copolímero obtido principalmente pelo processo de polimerização em emulsão, em que as partículas de polímero ficam suspensas no asfalto na forma de látex. Por pertencer à classe dos elastômeros, o SBR resiste bem a temperaturas elevadas e apresenta propriedades elásticas semelhantes às da borracha. Este material apresenta boa compatibilidade com o asfalto. Suas propriedades mecânicas podem ser melhoradas através do processo de vulcanização, através da reação com enxofre ou com peróxidos. Os polímeros SBR e SBS têm efeito significativo sobre os resultados do teste de ductilidade. Os elastômeros podem estar dispersos tanto na fase aquosa da emulsão quanto dissolvidos no ligante asfáltico emulsionado. Após a ruptura da emulsão, o elastômero é completamente misturado ao ligante asfáltico. Os ligantes asfálticos contendo elastômeros apresentam maior retorno elástico, menor envelhecimento, melhor coesão e maior durabilidade.

As emulsões asfálticas são classificadas nos seguintes grupos de acordo com o Regulamento Técnico da ANP.

<b>RR</b>	Ruptura rápida.
<b>RM</b>	Ruptura média.
<b>RL</b>	Ruptura lenta.
<b>EAI</b>	Emulsão asfáltica para imprimação.
<b>LA e LAN</b>	Emulsões asfálticas de ruptura lenta catiônica e de carga neutra, respectivamente, para serviço de lama asfáltica. A lama asfáltica é uma mistura de agregado mineral, material de enchimento (fíler), emulsão asfáltica e água, usada para reparos superficiais nos pavimentos. Os agregados podem ser areia, agregado miúdo, pó de pedra ou mistura de ambos, desde que suas partículas sejam resistentes e com moderada angularidade, livre de torrões de argila e de substâncias nocivas. O fíler (cimento Portland, cal extinta, pós calcários etc.) deve estar seco e sem grânulo.
<b>LARC</b>	Emulsão asfáltica catiônica de ruptura controlada para serviço de lama asfáltica.
<b>RR1C-E</b>	Emulsão asfáltica catiônica de ruptura rápida modificada por polímeros elastoméricos, essa emulsão é especialmente indicada para serviços de pintura de ligação entre as camadas do pavimento.

<b>RR2C-E</b>	Emulsão asfáltica catiônica de ruptura rápida modificada por polímeros elastoméricos, essa emulsão é especialmente indicada para os serviços de tratamentos superficiais e macadame betuminoso por penetração.
<b>RM1C-E</b>	Emulsão asfáltica catiônica de ruptura média modificada por polímeros elastoméricos, essa emulsão destina-se para aplicação em serviços de pré-misturados a frio (PMF).
<b>RC1C-E</b>	Emulsão asfáltica catiônica de ruptura controlada modificada por polímeros elastoméricos, seu maior campo de aplicação é em microrrevestimento asfáltico a frio.
<b>RL1C-E</b>	Emulsão asfáltica catiônica de ruptura lenta modificada por polímeros elastoméricos, seu maior campo de aplicação é em pré-misturado a frio (PMF) denso.

As Tabelas A8 e A9 (ver Anexo) apresentam, respectivamente, os valores limites para emulsões do tipo catiônica e modificadas por polímero elastomérico. Os números 1 ou 2 indicam viscosidades diferentes (diferentes teores de resíduo seco na emulsão), sendo a do tipo 2 com maior viscosidade.

## 1.2

### REVESTIMENTOS ASFÁLTICOS USINADOS A QUENTE, MORNOS, A FRIO, RECICLADOS

Na maioria dos pavimentos brasileiros usa-se como revestimento ou camada de rolamento misturas de agregados minerais e ligantes asfálticos com graduações e características próprias que, de forma adequadamente dosada e processada, garantam ao serviço executado os requisitos de impermeabilidade, flexibilidade, estabilidade, durabilidade, resistência à fadiga e ao trincamento térmico, de acordo com o clima e o tráfego previstos para o local.

Os revestimentos asfálticos são compostos basicamente por dois materiais: ligantes asfálticos e agregados minerais. Há diferentes alternativas de composição desses constituintes em revestimentos asfálticos, destacando-se:

- misturas asfálticas de graduação densa e bem graduada.
- misturas asfálticas de graduação descontínua.
- misturas asfálticas de graduação aberta.

Quanto à graduação dos agregados, esta influencia o teor de ligante asfáltico de projeto e a macrotextura superficial da camada asfáltica. O teor de ligante asfáltico de projeto está vinculado ao recobrimento que este deverá realizar em todos os agregados (portanto sendo dependente da superfície específica dos mesmos), permitindo uma dada espessura de filme de ligante que proteja os mesmos e permita coesão elevada nos contatos entre grãos

recobertos. Porém, o teor de ligante asfalto requerido depende também dos vazios criados entre os agregados (do esqueleto mineral): se os vazios disponíveis forem preenchidos na quase totalidade, a mistura asfáltica tende a ser impermeável; se o teor de ligante asfáltico é suficiente para recobrir os agregados, mas a granulometria permite que os vazios com ar no interior da mistura asfáltica fiquem interligados em volume suficiente para permitir a percolação de água, estas são misturas asfálticas permeáveis.

As misturas asfálticas bem graduadas, por serem compostas por agregados de várias dimensões, onde os menores preenchem os vazios deixados pelos de maior dimensão, formam uma estrutura de elevada resistência ao cisalhamento, pois há um embricamento (atrito interno) dos agregados cujas superfícies se tocam em vários pontos – Figura 1.1. Dada a distribuição granulométrica, estas misturas tendem a oferecer vazios do agregado mineral (VAM) relativamente baixos, ou seja, há uma baixa disponibilidade de vazios para serem preenchidos com ligante asfáltico e um teor relativamente baixo deste, entre 4 e 6% (em massa de mistura asfáltica) no geral, torna a mistura densa, impermeável, com cerca de 3 a 5% de volume de vazios (Vv).

As misturas asfálticas descontínuas, por sua vez, por terem uma porcentagem elevada de agregados de dimensão similar, formam um esqueleto com estes agregados que se tocam entre si, deixando elevado Vv entre os mesmos (comparativamente à mistura asfáltica densa) – Figura 1.1. Para tornar essa mistura asfáltica impermeável, com cerca de apenas 4% de vazios com ar, é necessário preencher esse elevado volume entre agregados graúdos com um mástique, formado por uma fração pequena de agregados miúdos, fíler e asfalto. Uma vez que o VAM é elevado, o teor de ligante requerido excede em geral 6%. Algumas misturas asfálticas descontínuas permitem um maior Vv e, desta maneira, o teor de ligante requerido fica entre 5 e 6%.

As misturas asfálticas de graduação aberta são similares às misturas asfálticas descontínuas, porém não são incluídas frações de agregados miúdos suficientes para preencher os vazios entre os agregados graúdos – Figura 1.1. Desta forma, o VAM para este tipo de mistura é elevado e o Vv também é elevado, aproximadamente de 18 a 25%. Estas misturas asfálticas requerem, portanto, menores teores de ligante (em geral entre 3,5 e 4,5%) e são consideradas permeáveis.



**Figura 1.1** Ilustração esquemática dos três tipos de distribuição granulométrica das misturas asfálticas

## 1.2.1 Misturas asfálticas usinadas a quente

### CA – concreto asfáltico

O concreto asfáltico (também denominado em alguns órgãos por CAUQ – concreto asfáltico usinado a quente ou CBUQ – concreto betuminoso usinado a quente) é a mistura asfáltica densa mais utilizada. O contato entre os grãos de maiores dimensões pode não acontecer pela quantidade proporcionalmente equivalente das frações menores. Assim, a perda por abrasão Los Angeles (LA) pode ser em geral de até 50%. A norma DNIT 031/2006-ES define as faixas granulométricas e os requisitos para esse tipo de mistura asfáltica, conforme a Tabela A10 (ver Anexo). Esta norma também apresenta limites de valores de características e de propriedades a serem atendidas, além de especificações complementares. A Tabela A11 (ver Anexo) apresenta uma das tabelas da referida ES, mas com métodos de ensaio mais recentes propostos pela ABNT.

A norma DNIT 031/2006-ES estabelece faixa de valores da relação Betume/Vazios (RBV) que tem se mostrado elevada na prática. Atualmente tem-se adotado valores de RBV inferiores aos preconizados nesta norma, decorrentes de utilização de metodologia diferenciada de cálculo de VAM e do RBV.

### *Gap-graded*

As misturas asfálticas descontínuas, *gap-graded*, são assim denominadas pois apresentam-se com graduação em intervalo. Nas misturas asfálticas do tipo *gap-graded*, o ligante asfáltico utilizado é modificado por borracha moída de pneu ou por polímeros elastoméricos, apresentados na seção anterior. A Tabela A12 (ver Anexo) apresenta faixas granulométricas para esse tipo de misturas asfáltica utilizada no país, norma DNIT 112/2009-ES. A Tabela A13 (ver Anexo) apresenta as características e as propriedades a serem atendidas por estas citadas misturas (considerando os métodos de ensaio propostos pela ABNT).

### SMA – *stone matrix asphalt*

O *stone matrix asphalt* (SMA), desenvolvido na Alemanha em 1968, foi concebido para maximizar o contato entre os agregados graúdos, aumentando a interação grão/grão. A mistura a quente se caracteriza por conter uma elevada porcentagem de agregados graúdos (70-80% retidos na peneira nº 10). Devido a esta particular graduação forma-se um grande volume de vazios entre os agregados graúdos; esses vazios, por sua vez, são preenchidos por um mástique asfáltico, constituído pela mistura da fração de areia de brita, fíler, ligante asfáltico e fibras de celulose. A fração de areia é constituída essencialmente de material britado. Na dosagem volumétrica, o VAM deve ser tal que possibilite a inserção do mástique entre os agregados, porém ainda que assegure certo volume de vazios preenchidos com ar.

Nas misturas asfálticas do tipo SMA é utilizado o CAP modificado por polímeros elastoméricos e a adição de fibras para evitar o escorrimento de ligante asfáltico. Uma vez que o teor de ligante asfáltico dessas misturas é bastante elevado (em geral, acima de 6,0% para agregados de densidade 2,75), em comparação com o teor utilizado em misturas asfálticas bem graduadas densas, realiza-se ainda um ensaio especial para verificação do escorrimento de ligante asfáltico aquecido, para assegurar sua permanência na mistura asfáltica

durante a usinagem, o transporte do material e a densificação da camada, verificando assim a necessidade de se incluir certa quantidade de fibras (de várias naturezas).

Para utilização em misturas asfálticas do tipo SMA, o agregado deve apresentar perda por abrasão LA de no máximo 30%, embora tenham sido utilizados com sucesso agregados com perdas um pouco acima desse limite. Devido ao maior contato dos agregados graúdos entre si, há efetivamente maior chance de quebra ou desgaste dos grãos angulares.

Em 2007, o Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de São Paulo (DER/SP, 2007) publicou a primeira especificação técnica brasileira da mistura asfáltica tipo SMA.

A Tabela A14 (ver Anexo) apresenta as faixas granulométricas e espessuras estabelecidas segundo a norma ET-DE-P00/031 (DER/SP, 2007). A Tabela A15 (ver Anexo) complementa os requisitos técnicos para a dosagem da mistura asfáltica, cujos parâmetros volumétricos são obtidos através de corpos de prova Marshall compactados com 50 golpes por face.

A Tabela 1.1 apresenta as faixas granulométricas e requisitos para misturas asfálticas do tipo SMA pela especificação alemã.

**Tabela 1.1: Faixas granulométricas e requisitos para misturas asfálticas do tipo SMA propostos pela especificação alemã (ZTV Asphalt – StB 94, 2001)**

Peneira	Porcentagem em massa, passando			
	SMA 0/11S	SMA 0/8S	SMA 0/8	SMA 0/5
< 0,09mm	9 a 13	10 a 13	8 a 13	8 a 13
> 2mm	73 a 80	73 a 80	70 a 80	60 a 70
> 5mm	60 a 70	55 a 70	45 a 70	< 10
> 8mm	> 40	< 10	< 10	–
> 11,2mm	< 10	–	–	–
Características e requisitos				
Tipo de asfalto <sup>(1)</sup>	B65 ou PmB45	B65 ou PmB45	B80	B80 ou B200
Fibras na mistura, % em peso	0,3 a 1,5			
Dosagem	Marshall (compactação: 50 golpes por face)			
Temperatura de compactação, °C	135 ± 5 (Para PmB deve ser de 145 ± 5)			
Volume de vazios, %	3,0 a 4,0	3,0 a 4,0	2,0 a 4,0	2,0 a 4,0
Camada de rolamento	3,5 a 4,0	3,0 a 4,0	2,0 a 4,0	1,5 a 3,0
Camada de nivelamento	2,5 a 5,0	2,0 a 4,0	–	
Grau de compactação, %	> 97			
Volume de vazios da camada compactada, %	< 6,0			

<sup>(1)</sup> A designação B corresponde a CAPs convencionais e o número significa a penetração do ligante asfáltico; PmB são ligantes modificados por polímeros. Os CAPs modificados por polímeros (PmB45) são recomendados para solicitações especiais.

## **CPA – camada porosa de atrito**

Entre as misturas asfálticas abertas, a mais utilizada é a camada porosa de atrito (CPA). Neste tipo de mistura asfáltica é utilizado o CAP modificado por polímeros elastoméricos. A especificação brasileira do DNER-ES 386/99 recomenda cinco faixas granulométricas para as misturas asfálticas do tipo CPA, conforme Tabela A16 (ver Anexo). Estas misturas asfálticas, como indica o nome corrente, destinam-se especialmente a serem drenantes das águas superficiais evitando a formação da lâmina d'água e o fenômeno da hidroplanagem. Por isso não compõem camadas estruturais e devem sempre ser aplicadas sobre uma camada asfáltica densa.

## **Revestimentos asfálticos do tipo BBTM (*béton bitumineux très minces*)**

As misturas asfálticas francesas são definidas e caracterizadas pelo tipo, pela posição dentro da estrutura (camada intermediária ou de rolamento), pela espessura média da camada, pela graduação (ou tamanho nominal máximo dos agregados) e pela classe de desempenho exigido para o produto acabado. Os agregados são totalmente britados, com características relacionadas ao desempenho (tamanho, graduação, dureza, angularidade, forma, limpeza, resistência à abrasão, ao polimento, entre outras). Quando os agregados são combinados com os ligantes asfálticos modificados ou especiais, resultam em camadas asfálticas intermediárias mais resistentes (módulo de rigidez elevado), associadas a camadas de rolamento de espessura reduzida e alto desempenho funcional.

Destacam-se aqui as misturas asfálticas delgadas conhecidas como *béton bitumineux très mince* (BBTM) (para espessuras de camadas asfálticas entre 20mm e 30mm) e as misturas asfálticas ultradelgadas ou *béton bitumineux ultra mince* (BBUM), com espessura de camada similar ao diâmetro do agregado (monogranular) podendo chegar a 15mm. As misturas asfálticas delgadas são utilizadas como revestimento em pavimentos novos ou na reabilitação de pavimentos antigos, não apresentam efeito estrutural, sendo o seu papel garantir ou restaurar as características superficiais como aderência, uniformidade e redução de ruídos provenientes do contato pneu-pavimento.

Para uma boa compatibilização entre suas características mecânicas e funcionais, deve-se adequar o Vv e a descontinuidade das curvas granulométricas das misturas asfálticas projetadas. Essas formulações levam a revestimentos com graduação descontínua e textura superficial aberta que necessitam de uma camada e/ou uma pintura de ligação, para garantir a impermeabilização das camadas subjacentes. Na metodologia de dosagem de misturas asfálticas francesas, há níveis distintos cuja escolha depende do volume de tráfego e da importância da obra, conforme referido no Capítulo 3 deste guia técnico.

Em função do ótimo desempenho da técnica do BBTM em relação à conservação da textura superficial, do perfil transversal (ausência de afundamento de trilhas de rodas) e da redução de ruído (< 76dB), com valores médios entre 74,3dB (0-1 ano) e 73,9dB (1-3 anos), os franceses recomendam sua aplicação em rodovias e vias urbanas expressas. A experiência no Brasil em 2005 indica que a usinagem da mistura BBTM deve ser realizada preferencialmente em usinas gravimétricas e que o controle de temperatura é fundamental em todas as etapas do processo.

A mistura do tipo BBUM é derivada de duas técnicas: aquela utilizada para composição das misturas asfálticas a quente do tipo BBTM e aquela utilizada para os tratamentos superficiais para a aplicação de um filme de ligante asfáltico contínuo, com elevada dosagem (membrana elástica), que assegure a adesão e a impermeabilidade do revestimento. A técnica deve ser considerada mais como um procedimento ou um sistema do que propriamente um material (não possui normalização na França para a mesma).

### **Revestimento asfáltico ultradelgado (RAUD) – concepção norte-americana**

Na América do Norte também existe uma mistura ultradelgada cuja técnica é denominada *ultra thin bonded hot-mix asphalt wearing course* – UTBWC (Hanson, 2001). Reis (2012) usou em português o termo Revestimento Asfáltico Ultra Delgado (RAUD), que é definido como uma mistura asfáltica de graduação descontínua (*gap-graded*), com elevada percentagem de agregados graúdos recobertos por uma argamassa constituída de areia britada, fíler e ligante asfáltico, produzida e aplicada a quente sobre uma pintura de ligação com emulsão asfáltica. A espessura do revestimento é determinada pelo tamanho máximo do agregado da mistura asfáltica, em geral entre 15mm e 25mm.

Hanson (2001) recomenda que as trincas existentes no pavimento devem ser previamente seladas para o bom desempenho do RAUD. Conclui que a técnica resulta em boas características de macrotextura, de atrito e de drenabilidade superficial, bem como excelente retenção de agregados e adesão do revestimento à camada subjacente.

A seguir são apresentados os principais aspectos relacionados à seleção dos materiais e da graduação desse tipo de mistura, procedimentos de dosagem, processo construtivo e controle tecnológico do RAUD de acordo com as adaptações da metodologia francesa feitas pelos norte-americanos.

### **Seleção dos materiais e da graduação da mistura**

Recomendam-se agregados britados com tamanho máximo entre 6,2mm a 12,5mm. Noventa a 100% do agregado graúdo (> 4,75mm) devem ter uma ou mais faces fraturadas e pelo menos 85% devem possuir duas ou mais faces fraturadas. Devem apresentar perda por abrasão Los Angeles, ASTM C 131/06 (ASTM, 2006a), limitados a no máximo 35% e/ou 18% pelo método de ensaio Micro Deval úmido, sendo este, em geral, apenas realizado para fins informativos.

O limite máximo para a perda de durabilidade ou sanidade ao sulfato de sódio, para esse tipo de mistura, é de 15%, ASTM C 88/05 (ASTM, 2005). O agregado graúdo deve ser cúbico com no máximo 25% de partículas achatadas e alongadas (para razão 3:1 da maior dimensão em relação à menor dimensão, respectivamente) ou com no máximo 10% de partículas achatadas e alongadas para razão 5:1, da maior dimensão em relação à menor dimensão, respectivamente, segundo a norma ASTM D 4791 (ASTM, 2010a).

Para o agregado miúdo (passando na peneira de nº 4) os valores mínimos de angularidade (conteúdo de vazios não compactados), conforme a ASTM C 1252/06 (ASTM, 2006b), e de equivalente de areia, segundo a norma ASTM D 2419 (ASTM, 2002a), estão

limitados entre 40 ou 45% e entre 45 a 50%, respectivamente. As especificações norte-americanas também recomendam que esses ensaios sejam realizados com a mistura de agregados do projeto e que a adição de fíler industrial (cal hidratada ou cimento Portland) seja limitada a no máximo 2% do peso da mistura de agregados (Hanson, 2001; Caltrans, 2003a; TDOT, 2004; TxDOT, 2004).

A Tabela 1.2 apresenta as principais características avaliadas e os limites recomendados para os agregados utilizados em misturas asfálticas do tipo RAUD (Caltrans, 2003a). As especificações para os agregados graúdos e os miúdos são apresentadas nas Tabelas 1.3 e 1.4, respectivamente (TDOT, 2004). O material de enchimento (fíler) deve ser constituído de material 100% passante na peneira de nº 30 e pelo menos 75% passante na peneira de nº 200.

**Tabela 1.2: Propriedades dos agregados para uso em misturas asfálticas do tipo RAUD. Fonte: Caltrans (2003a)**

Ensaio	Método	Especificação
Porcentagem de partículas britadas Agregado graúdo (% mínima)	Califórnia Test 205 <sup>(a)</sup>	90
Agregado miúdo, passante 4,75mm e retido 2,36mm (% mínima)	Califórnia Test 205 <sup>(a)</sup>	85
Vazios (angularidade) (% mínima) <sup>(b)</sup>	AASHTO T304 <sup>(a)</sup>	45
Índice de forma, 3:1 (% máxima)	ASTM D 4791	25
Abrasão Los Angeles, perda após 500 revoluções (% máxima)	Califórnia Test 211	35
Equivalente de areia		
Limite de aceitação (% mínima)	Califórnia Test 217	47
Faixa de trabalho (% mínima)	Califórnia Test 217	50

- (a) Na Seção D da metodologia Califórnia Test 205, a definição de uma partícula britada é: “Uma partícula com duas ou mais faces fraturadas mecanicamente pode ser considerada uma partícula britada”.
- (b) Se o agregado miúdo é 100% britado, o uso de material britado deve ser monitorado durante todo o processo produtivo. Se a fração fina é uma combinação de material britado e materiais naturais, a angularidade do agregado miúdo deve ser monitorada durante o processo.

**Tabela 1.3: Características dos agregados graúdos ( $\geq 4,75\text{mm}$ ) para misturas asfálticas do tipo RAUD. Fonte: TDOT (2004)**

Ensaio	Método	Limite
Perda por abrasão Los Angeles (%)	ASTM C 131	35 máx.
Índice de forma, 3:1 (%)	ASTM D 4791	25 máx.
% britada, uma face	ASTM D 5871	95 mín.
% britada, duas faces	ASTM D 5821	85 mín.

**Tabela 1.4: Características dos agregados miúdos ( $< 4,75\text{mm}$ ) para misturas asfálticas do tipo RAUD. Fonte: TDOT (2004)**

Ensaio	Método	Especificação
Equivalente de areia (%)	ASTM D 2419	$> 45$
Vazios não compactados (angularidade)	ASTM C 1252	$> 40$

Caltrans (2003a) recomenda ligantes asfálticos modificados para utilização em revestimentos asfálticos ultra delgados. Em geral, o teor de ligante de projeto para misturas asfálticas do tipo RAUD varia entre 5,2 a 5,8% em massa de mistura asfáltica (considerando Gse de 2,650). A emulsão asfáltica também deve ser modificada por polímero e aplicada com taxas variando entre  $0,85 \pm 0,31/\text{m}^2$ , dependendo do tipo da superfície do revestimento sobre a qual esta é aplicada. Por exemplo, se o revestimento estiver oxidado sua taxa deve ser aumentada; se estiver com a superfície exsudada a taxa deve ser diminuída. A função da emulsão é selar pequenas trincas ( $< 6,0\text{mm}$ ) e assegurar aderência do revestimento à camada subjacente do pavimento (Hanson, 2001). Os ligantes asfálticos recomendados possuem PG 76-22 ou PG 70-22. A emulsão asfáltica para execução da camada de ligação deve ser modificada por polímeros elastoméricos.

A graduação da mistura de agregados para o RAUD é selecionada em função do nível de tráfego e das condições da superfície do pavimento existente. As graduações típicas utilizadas nos Estados Unidos são apresentadas na Tabela 1.5.

**Tabela 1.5: Faixas granulométricas para a mistura asfáltica do tipo RAUD**

Fonte: Hanson (2001)

Peneiras		6,2mm (1/4") Tipo A		9,5mm (3/8") Tipo B		12,5mm (1/2") Tipo C	
(mm)	ASTM	Limites (% passando)	Tolerância (%)	Limites (% passando)	Tolerância (%)	Limites (% passando)	Tolerância (%)
19,0	3/4"	–	–	–	–	100	–
12,5	1/2"	–	–	100	–	85-100	± 5
9,5	3/8"	100		85-100	± 5	60-80	± 4
4,75	nº 4	40-55	± 4	28-38	± 4	28-38	± 4
2,36	nº 8	22-32	± 4	25-32	± 4	25-32	± 4
1,18	nº 16	15-25	± 3	15-23	± 3	15-23	± 3
0,60	nº 30	10-18	± 3	10-18	± 3	10-18	± 3
0,30	nº 50	8-13	± 3	8-13	± 3	8-13	± 3
0,15	nº 100	6-10	± 2	6-10	± 2	6-10	± 2
0,075	nº 200	4-7	± 2	4-7	± 2	4-7	± 2

### Misturas asfálticas de módulo elevado

As misturas asfálticas de módulo elevado para camadas do tipo EME são empregadas na França como base asfáltica, com elevados módulos dinâmicos (módulo dinâmico a 15°C e 10Hz > 14.000MPa, que conferem elevada rigidez) e com elevada resistência à deformação permanente. Estas propriedades são obtidas através do uso de CAP de baixa penetração (em geral entre 10 e 20 × 0,1mm a 25°C e ponto de amolecimento igual ou superior a 55°C), combinado com graduação bem graduada e densa (30% a 35% dos agregados passante na peneira de 2mm, e 7% a 8% de finos passante na peneira de nº 200), e construídas em espessuras mínimas que confirmam alta rigidez estrutural e baixa deformabilidade ao pavimento. Na França, é usual graduações com agregados de diâmetro máximo nominal de 10mm, 14mm (mais comum) ou 20mm, sendo estas aplicadas em camadas de 60mm a 150mm de espessura. O teor de CAP usual é de aproximadamente 6% (massa do CAP/massa do agregado), para agregados de densidade de 2,650.

As misturas de módulo elevado são divididas em dois tipos conforme a aplicação das mesmas como camada de ligação (binder) ou camada de base. A mistura para camadas do

tipo EME é dividida em duas classes: EME 1 – devido ao teor de CAP reduzido apresenta baixa durabilidade e resistência à fadiga, sendo usada preferencialmente em camadas sujeitas a compressão; EME 2 – com maior teor de CAP e, conseqüentemente, maior durabilidade e resistência à fadiga. Associada a uma camada de rolamento em concreto asfáltico delgado (20mm a 30mm), a EME 2 é uma das técnicas de manutenção mais frequentes na França para os pavimentos de tráfego pesado.

Nas normas francesas não há faixas granulométricas, sendo a dosagem desse tipo de mistura baseada em resultados de ensaios mecânicos. A Tabela 1.6 apresenta faixas granulométricas para a mistura de módulo elevado adotadas em camada de base em Portugal (Jae, 1998; Branco *et al.*, 2006).

**Tabela 1.6: Faixas granulométricas para a mistura de módulo elevado adotadas em camada de base em Portugal (Jae, 1998; Branco *et al.*, 2006)**

(mm)	ASTM	Limite inferior (% passando)	Limite superior (% passando)
25	1"	100	100
19	3/4"	90	100
12,5	1/2"	70	90
9,5	3/8"	60	80
4,75	nº 4	44	62
2,36	nº 8	30	44
0,85	nº 20	16	30
0,425	nº 40	10	21
0,18	nº 80	7	14
0,075	nº 200	6	10

As normas francesas também não fazem restrições com relação ao ligante, que pode ser puro, modificado (com polímeros ou com aditivos). A dosagem é fixada por meio do “módulo de riqueza” ( $k$ ) que é uma espessura mínima de filme de asfalto sobre o agregado (Brosseaud, 2002). A partir da escolha de uma curva granulométrica, define-se o teor de ligante em função da superfície específica dos agregados e do tipo de mistura a partir do módulo de riqueza, conforme indicado pela equação (3.1).

Segundo Serfass *et al.* (1997), as misturas de módulo elevado podem ser divididas em duas categorias quanto ao módulo de riqueza  $k$ .

#### Misturas asfálticas ricas:

- $k > 3,2$ ; teor de ligante entre 5,5% e 6,2% (para agregados com densidade de 2,650), com excelente desempenho mecânico em termos de rigidez, resistência à deformação permanente e vida de fadiga. Essas misturas asfálticas apresentam maior aptidão à compactação, menor porcentagem de vazios, maior resistência ao dano por umidade induzida, maior resistência à fadiga e pequena diferença na resistência à deformação permanente em relação às misturas pobres ou fracas.

#### Misturas asfálticas pobres ou fracas:

- $2,5 < k < 3,2$ ; teor de ligante entre 4,0% e 5,4%, desenvolvidas com propósitos essencialmente econômicos, com elevada resistência à deformação permanente, mas com deficiência com relação à resistência à fadiga. Esta solução de EME deve ser combinada com uma camada asfáltica de elevada vida de fadiga, executada sob a de EME (princípio dos pavimentos “perpétuos” norte-americanos).

A Tabela 1.7, adaptada de ECS (2006), e a Tabela 1.8, adaptada de Afnor (1999), Corté e Serfass (2000) e Corté (2001), apresentam as especificações de características para CAPs de elevada rigidez e para as misturas asfálticas de alto módulo utilizadas na Europa.

**Tabela 1.7: Características dos ligantes asfálticos do tipo CAP 10-20 e CAP 15-25 adaptada de ECS (2006)**

Parâmetro	Ligante duro	
	CAP 10-20	CAP 15-25
Penetração a 25°C, 5s, 100g (10 <sup>-1</sup> mm)	10-20	15-25
Temperatura de ponto de amolecimento anel e bola	60-76°C	55-71°C
Variação de massa, após RTFOT, máxima	0,5%	0,5%
Penetração retida, após RTFOT, mínima	55%	55%
Aumento da temperatura de amolecimento após RTFOT, máximo	10°C	10°C
Índice de penetração antes do ensaio (no ligante original)	-1,5 a +0,7	-1,5 a +0,7
Viscosidade cinemática a 135°C, mínima	700 mm <sup>2</sup> /s	600 mm <sup>2</sup> /s
Temperatura de inflação, mínima	245°C	245°C
Solubilidade, máxima	99%	99%

**Tabela 1.8: Especificações para misturas asfálticas de módulo elevado (EME 1 e EME 2) adaptadas de Afnor (1999), Corté e Serfass (2000) e Corté (2001)**

Parâmetro	EME 1		EME 2	
Granulometria	Contínua		Contínua	
Módulo de riqueza ( <i>k</i> )	2,5-3,3		≥3,4	
Diâmetro máximo dos agregados (0/D) e espessura das camadas	0/10	60 a 100mm	0/10	60 a 100mm
	0/14	70 a 120mm	0/14	70 a 120mm
	0/20	100 a 150mm	0/20	100 a 150mm
% ligante, para 0/10	4,0-5,0		5,2-6,2	
% ligante, para 0/14	3,8-4,8		5,0-6,0	
% ligante, para 0/20	3,6-4,6		4,9-5,8	
Nível de compactação (%)	94-98		94-98	
Ensaio Duriez (18°C) NF P 98-251-1	≥0,70		≥0,70	
% deformação permanente (60°C, 30.000 ciclos) NF P 98-253-1	≤7,5 (vazios entre 7 e 10%)		≤7,5 (vazios entre 3 e 6%)	
Módulo rigidez (15°C, 10 Hz) (MPa) NF P 98-280-2	≥14.000 (vazios entre 7 e 10%)		≥14.000 (vazios entre 3 e 6%)	
Módulo por tração direta (MPa) NF P 98-260-1	≥14.000 (vazios entre 7 e 10%)		≥14.000 (vazios entre 3 e 6%)	
Ensaio de fadiga $\epsilon_6$ (10 <sup>-6</sup> ) (15°C, 25 Hz), em 1 milhão de ciclos NF P 98-260-1	≥100 $\mu$ def (vazios entre 7 e 10%)		≥130 $\mu$ def (vazios entre 3 e 6%)	
PCG volume de vazios (%)	≤10		≤6	

## Outras misturas asfálticas

### AAUQ – areia asfáltica usinada a quente

Ainda dentro do grupo das misturas asfálticas a quente, têm sido utilizadas na prática as argamassas asfálticas, também denominadas areia asfáltica usinada a quente (AAUQ). Em regiões onde não existem agregados pétreos graúdos, utiliza-se como revestimento uma argamassa de agregado miúdo, em geral areia, ligante (CAP), e fíler se necessário, com maior consumo de ligante se comparada aos concretos asfálticos convencionais devido ao aumento da superfície específica (DNIT 032/2004 - ES) – Tabela A17 (ver Anexo). O DNIT também abre a possibilidade hoje do uso de asfalto modificado por polímero nas misturas do tipo AAUQs, através da especificação DNER-ES 387/99 – Tabela A18 (ver Anexo).

### **SAMI – stress absorbing membrane interlayer**

A SAMI é geralmente composta por grande parcela de material granular miúdo (menor do que 4,75mm) e ligante modificado por polímeros elastoméricos, podendo haver, ainda, a incorporação de aditivos (minerais e/ou químicos). A distribuição granulométrica dessa camada antirreflexão de trincas é uma variável importante, principalmente por não existirem especificações de faixas granulométricas para a mesma. O mais comum é o uso de agregados que tenham todas as partículas passando pela peneira de 9,5mm.

Muitos dos trabalhos publicados sobre esse tipo de mistura asfáltica não apresentam os detalhes de como a mistura final foi proposta no que diz respeito à dosagem das mesmas, nem aos parâmetros utilizados. Blankenship *et al.* (2004) apresentam alguns limites relacionados aos parâmetros volumétricos, bem como para a resistência ao trincamento por fadiga, para seleção da mistura, conforme ilustrado na Tabela 1.9. Os autores mencionam que essa camada intermediária deve ser rica em ligante asfáltico altamente modificado (HiMA), e agregado miúdo. O ligante asfáltico utilizado no citado estudo foi um *cross-linked elastomeric styrene-butadiene block copolymer system*, que, de acordo com os autores, fornece características elásticas ao ligante asfáltico, além de torná-lo resistente a tensões de tração, de cisalhamento e de flexão. Makowski *et al.* (2005) apresentam os mesmos critérios (parâmetros volumétricos e resistência ao trincamento por fadiga), porém adicionam exigências quanto às características do ligante asfáltico e sugerem uma faixa granulométrica para esse tipo de mistura, conforme apresentado na Tabela 1.10.

**Tabela 1.9: Critérios de dosagem de misturas asfálticas do tipo SAMI apresentados por Blankenship *et al.* (2004)**

<b>Parâmetros volumétricos</b>	
N <sub>max</sub>	50 giros
Volume de vazios (Vv)	0,5 a 2,5%
Vazios no agregado mineral (VAM)	16% (mín)
Estabilidade Hveem	18 (mín)
Teor de projeto	7,0% (mín)
<b>Ensaio de fadiga (vigota na flexão)</b>	
Volume de vazios	3,0 ± 1,0%
Vida de fadiga (2.000µε)	100.000 ciclos (mín)
Solubilidade, máxima	99%

**Tabela 1.10: Critérios de dosagem de misturas asfálticas do tipo SAMI apresentados por Makowski *et al.* (2005)**

Especificações do ligante asfáltico	
Recuperação elástica após RTFOT (ASTM D6084 Sec 6.2)	45% (mín) @ 25°C
Teste de separação (ASTM D5976 Sec 6.1)	6°C de diferença (máx) após 48h
Distribuição granulométrica	
3/8" (9,5mm)	100%
nº 4 (4,7mm)	80-100%
nº 8 (2,36mm)	60-85%
nº 16 (1,18mm)	40-70%
nº 30 (0,6mm)	25-55%
nº 50 (0,3mm)	15-35%
nº 100 (0,15mm)	8-20%
nº 200 (0,075mm)	6-14%

## 1.2.2 Misturas asfálticas mornas

As misturas usinadas a quente, apresentadas no item 1.2.1, podem ser produzidas e compactadas em temperaturas inferiores as usuais. Essa categoria de mistura é denominada de mornas ou semimornas. Essas misturas utilizam procedimentos e/ou produtos que reduzem as temperaturas de usinagem e de compactação das misturas asfálticas. Atualmente, a produção de misturas asfálticas mornas e semimornas prevê o uso de: (i) técnica de asfalto espuma, (ii) aditivos orgânicos (ceras) ou (iii) aditivos químicos (surfactantes), introduzidos no ligante asfáltico ou durante o processo de mistura do ligante asfáltico com os agregados.

O emprego das misturas asfálticas mornas vem crescendo nos últimos anos devido às maiores exigências em relação ao desenvolvimento sustentável e na preservação das condições de segurança, meio ambiente e saúde (SMS).

As misturas mornas são aquelas produzidas em temperaturas entre 110°C e 140°C. Devido à redução aproximada de 20 a 40°C na temperatura de aquecimento dos agregados em relação ao processo convencional, essas misturas economizam entre 15% a 30% do combustível necessário para sua fabricação.

A técnica do asfalto espuma considera a adição de uma pequena quantidade de água no ligante asfáltico aquecido ou na mistura asfáltica para a formação de uma espuma com o ligante asfáltico quente. Nas tecnologias que fazem uso desse recurso, a água é introdu-

zida no processo de usinagem por injeção direta, através do agregado úmido ou ainda na forma de material hidrofílico como as zeólitas. Quando essa água se dispersa no ligante asfáltico aquecido e se torna vapor há uma expansão do ligante, resultando em consequente diminuição de viscosidade. As temperaturas podem ser reduzidas em até 50°C, sendo algumas dessas técnicas denominadas de misturas asfálticas semimornas por viabilizarem a densificação abaixo de 100°C. Combinadamente, algumas dessas técnicas usam aditivos químicos/surfactantes para melhorar a adesão entre o ligante asfáltico e os agregados. Entre alguns exemplos da técnicas do asfalto espuma têm-se: LEA®, LT Asphalt® (misturas asfálticas semimornas), Advera® WMA, AQUABlack® *Warm Mix Asphalt*, Aspha-Min®, Double Barrel® Green, LEA B®, Ultrafoam GX2TM, WAM-Foam®, WMA Terex® (misturas asfálticas mornas).

Os aditivos orgânicos e as ceras podem ser introduzidos previamente no ligante asfáltico ou juntamente com este durante a usinagem e têm por princípio a redução da viscosidade do ligante asfáltico. Ao serem submetidos a temperaturas acima de seu ponto de amolecimento, esses aditivos interferem nas propriedades reológicas do ligante asfáltico, fazendo com que haja diminuição da viscosidade deste último. Os aditivos orgânicos possibilitam a redução das temperaturas de usinagem e de compactação em cerca de 30 a 40°C. Com o resfriamento da mistura asfáltica, esses elementos se cristalizam de modo disperso no ligante asfáltico, aumentando a rigidez do ligante asfáltico e, por consequência, da mistura asfáltica como um todo. Entre alguns exemplos de aditivos orgânicos/ceras têm-se: Asphaltan B®, CCBit 113AD, Licomont BS 100® e o Sasobit®.

Dentre as várias tecnologias desenvolvidas para as misturas mornas destaca-se o processo que emprega aditivos químicos que não modificam as propriedades reológicas dos asfaltos e não introduzem água na mistura asfáltica. Esses produtos químicos atuam modificando a tensão interfacial entre os agregados e o ligante asfáltico reduzindo o atrito interno da mistura asfáltica e possibilitando melhor poder de recobrimento, trabalhabilidade e de compactação em temperaturas mais baixas que as usualmente empregadas. Geralmente esses produtos químicos não alteram a viscosidade do ligante asfáltico e agem na interface agregado/ligante auxiliando no recobrimento em temperaturas mornas, podendo ainda atuar como melhoradores de adesividade. Entre alguns exemplos de aditivos químicos têm-se: Gemul XT14, Cecabase RT®, Evotherrm™, QPR® QualiTherrm, Rediset™ WMX, WarmGrip®, Revix. Nenhum desses processos/produtos exige modificações importantes nas práticas utilizadas nas usinas e em campo.

Segundo Logaraj e Almeida (2009), a incorporação de aditivos químicos modificadores da tensão interfacial ao ligante asfáltico confere os seguintes benefícios para as misturas mornas:

- reduz o envelhecimento da mistura asfáltica por ação do calor e ar, aumentando sua resistência à fadiga;
- melhora a resistência da mistura aos danos por umidade induzida (adesividade);
- facilita a maior incorporação de material reciclado ao processo;

- reduz a exposição dos trabalhadores a altas temperaturas, às emissões, fumaça e aos odores emanados ao meio ambiente;
- e possibilita aumentar o intervalo de tempo destinado ao transporte, bem como a eficiência na compactação da massa asfáltica, principalmente quando a mistura asfáltica é aplicada em espessuras delgadas sob condições de baixa temperatura ambiente.

### 1.2.3 Misturas asfálticas usinadas a frio

São denominadas misturas asfálticas a frio aquelas nas quais as etapas de usinagem e compactação são feitas a temperatura ambiente, conseguida com a utilização de emulsões asfálticas. Para a produção dessas misturas asfálticas é necessário pouco ou nenhum aquecimento dos materiais e estas podem frequentemente ser produzidas *in situ* sem a necessidade de usina. O pré-misturado a frio pode ser empregado como revestimento, base, regularização ou reforço do subleito, e é regido pela Norma DNER - ES 317/97. O agregado graúdo utilizado nesse tipo de mistura pode ser agregado natural ou seixo britados, ou outro material indicado no projeto, obedecendo as faixas apresentadas na Tabela A19 (ver Anexo).

A composição do pré-misturado a frio deve satisfazer aos requisitos conforme indicado na Tabela A19 (ver Anexo). O método Marshall modificado (DNER-ME 107/94) deverá ser utilizado para verificação do Vv, da estabilidade e da fluência, atendendo aos seguintes valores: Vv entre 5 e 30%, estabilidade mínima de 250kgf (75 golpes) e 150kgf (50 golpes), e fluência entre 2,0mm e 4,5mm.

### 1.2.4 Misturas asfálticas recicladas

Quando um pavimento asfáltico em uso torna-se deteriorado estruturalmente, há necessidade de restaurar a sua capacidade de carga por meio da construção de novas camadas ou por meio do corte de todo ou parte do revestimento deteriorado por equipamento especial – fresadora – e execução de nova camada de revestimento asfáltico. O material gerado a partir do corte pode ser reaproveitado através da reciclagem. Entende-se por reciclagem de revestimento o processo de reutilização de misturas asfálticas envelhecidas e deterioradas para produção de novas misturas asfálticas, aproveitando os agregados e o ligante asfáltico remanescente, provenientes da fresagem, com acréscimo de novos insumos: agregados, CAP ou EAP novos, asfalto espuma, e/ou aglomerantes hidráulicos. A reciclagem também pode incluir a camada de base, além do revestimento, que pode se misturada e ter acrescida outros insumos para a produção de uma nova base de melhor qualidade e sobre a qual é colocada uma camada de rolamento.

É possível reaproveitar totalmente o material pétreo triturado ou cortado pelas fresadoras e reaproveitar o ligante total ou parcialmente por processos de reusinagem a quente ou mornos, com adição de agentes de reciclagem ou rejuvenescedores, ou ligantes novos de viscosidade devidamente avaliados para serem misturados à mistura asfáltica envelhecida.

#### **A reciclagem pode ser efetuada:**

- a quente ou morna, utilizando-se novos CAP e agregados (em alguns processos há a injeção de agente rejuvenescedor – AR), e agregados fresados. Em geral a proporção de material fresado é de 10 a 50% no total da nova mistura asfáltica.
- a frio, utilizando EAP, e agregados fresados a temperatura ambiente e cimento ou cal, podendo adicionar eventualmente agregados novos.

#### **A reciclagem pode ser realizada em:**

- usina estacionária, a quente ou a frio: onde o material fresado é levado para a usina.
- *in situ* a frio: o material fresado é misturado a frio com ligante (EAP) no próprio local do corte, por equipamento especialmente concebido para essa finalidade; pode-se incorporar o material da base, dependendo da natureza, e adicionar ainda cimento ou cal. Este material pode compor uma nova camada intermediária de revestimento ou mesmo uma nova base.
- usina móvel, a frio com emulsão ou com espuma de asfalto: o material fresado é selecionado por peneira da usina, podendo incorporar materiais granulares novos, que são misturados à EAP ou asfalto espuma. Pode-se incorporar ao revestimento antigo uma parte da base, com ou sem adição de ligantes hidráulicos, formando uma nova base que será revestida de nova mistura asfáltica como camada de rolamento.

Misturas asfálticas recicladas mornas (MARMs) apresentam ganhos ambientais semelhantes àqueles obtidos através do uso de misturas asfálticas recicladas a quente (MARQs), porém, demandam menos energia na sua fase de produção, dado que precisam de temperaturas menores para serem produzidas. Para as MARMs pode-se fazer uso do método de dosagem Marshall ou Superpave, sem qualquer mudança de equipamentos na linha de produção normalmente empregada. É preciso apenas adquirir um aditivo surfactante de mistura morna. A diferença no processo de dosagem é a modificação do CAP com um percentual do aditivo em questão antes do processo de dosagem. Feito isto, as dosagens podem ser executadas normalmente (seguindo o passo a passo de cada método de dosagem).

A Tabela A20 (ver Anexo) define as faixas granulométricas e os requisitos para esse tipo de mistura asfáltica, produzida em usina ou *in situ*, conforme especificações DNIT 033/2005-ES e DNIT 034/2005-ES. Estas normas também apresentam limites de valores de características e de propriedades a serem atendidos, conforme Tabela A11 (atualizada para métodos ABNT), e especificações complementares.

## 1.3

## TRATAMENTOS SUPERFICIAIS

O termo tratamentos de superfícies engloba uma ampla variedade de serviços rodoviários em que, geralmente, o ligante asfáltico e os materiais pétreos são aplicados em espessuras inferiores a 25mm, sobre bases granulares ou pavimentos estruturalmente adequados.

Nessa modalidade de serviço, destacam-se os executados a frio no local, devido, principalmente, a sua simplicidade de aplicação, economia de energia no processo e nas operações de transporte e estocagem dos materiais.

Os principais tipos de serviços são executados por espalhamento alternado de emulsão asfáltica e agregados (tratamento superficial por penetração e tratamento antipoeira), devidamente dosados em laboratório, ou por aplicação desses componentes sob a forma de misturas pré-dosadas em usinas móveis próprias (lama asfáltica, microrrevestimento asfáltico e *cape seal*).

Esses revestimentos superficiais são excelentes soluções técnicas, principalmente quando se deseja implantar um programa de pavimentação por etapas, pois além de otimizar a aplicação dos recursos disponíveis, asseguram a preservação do sistema de drenagem pluvial em caso de um futuro reforço estrutural decorrente do incremento do volume e/ou da composição do tráfego.

Segundo sua aplicação os tratamentos de superfícies podem ser classificados em: (a) usinados (lama asfáltica e microrrevestimento asfáltico a frio) e (b) sem mistura prévia (tratamentos superficiais por penetração), conforme descritos a seguir.

### 1.3.1 Lama asfáltica

As lamas asfálticas consistem basicamente de uma associação, em consistência fluida, de agregados minerais, material de enchimento ou fíler, emulsão asfáltica catiônica preferencialmente dos tipos RL-1C, LA-1C, LAN ou LARC e água, uniformemente misturados e espalhados no local da obra, a temperatura ambiente, por equipamento móvel. Este tipo de mistura *in situ* começou a ser utilizado na década de 1960, nos Estados Unidos (*slurry seal*), na França e no Brasil (IBP, 1999; Abeda, 2001). Estas têm sua aplicação principal em manutenção de pavimentos, especialmente nos revestimentos com desgaste superficial e baixo grau de trincamento, sendo neste caso um elemento de impermeabilização e rejuvenescimento da condição funcional do pavimento. Geralmente esse tipo de material é aplicado em ruas e vias secundárias. Eventualmente, a lama asfáltica ainda é usada com granulometria mais grossa para repor a condição de atrito superficial e a resistência à aquaplanagem. Outro uso é como capa selante aplicada sobre tratamentos superficiais envelhecidos. No entanto, não corrige irregularidades acentuadas nem aumenta a capacidade estrutural. A especificação correspondente é a DNER ES 314/97, cujas faixas granulométricas e algumas características da mistura asfáltica constam da Tabela A21.

### 1.3.2 Microrrevestimento asfáltico a frio – MRAF

O MRAF é uma técnica que pode ser considerada uma evolução das lamas asfálticas, pois as duas usam o mesmo princípio e a mesma concepção, porém utiliza emulsões asfálticas modificadas com polímero elastomérico tipo RC-1C E. A emulsão asfáltica RC, ou seja Ruptura Controlada é uma emulsão dimensionada para o tipo de material pétreo a ser empregado durante a execução da obra de MRAF. Esta carecterística de ruptura controlada aliada a presença de polimeros em sua composição conduzem ao aumento da vida útil da mesma. O MRAF é uma mistura asfáltica a frio processada em usina móvel especial, de agregados minerais, fíler, água e emulsão modificada com polímero, e eventualmente com a adição de fibras (NBR 14948/2003). É usualmente produzida em uma usina móvel (ver Capítulo 3) e aplicada através de uma caixa espalhadora em duas camadas sucessivas, que resultam em cerca de 10mm a 15mm de espessura conjunta no total.

A Tabela A22 (ver Anexo) apresenta as faixas granulométricas e o consumo teórico de materiais segundo a especificação de serviço DNIT 035/2005-ES. A Tabela A23 (ver Anexo) apresenta requisitos para projeto de dosagem de MRAF recomendados pela norma ISSA A-143 2010.

#### **O MRAF é utilizado em:**

- recuperação funcional de pavimentos deteriorados restabelecendo as condições de atrito superficial; preenchimento de trilhas de roda pouco profundas oriundas da camada de rolamento, correção de pequenas panelas e desgastes superficiais (neste caso pode ser necessária a aplicação de pintura de ligação antes da aplicação da primeira camada de microrrevestimento);
- capa selante (impermeabilização).
- revestimento de pavimentos de baixo volume de tráfego.
- camada intermediária antirreflexão de trincas em projetos de reforço estrutural.

### 1.3.3 Tratamento superficial por penetração

O TS por penetração consiste no espalhamento de ligante asfáltico e subsequente aplicação dos agregados sobre a camada de ligante aplicada. A penetração se dá pela acomodação do agregado no ligante depositado sobre a base imprimada, e após a compactação a adesão entre ligante e agregado é reforçada.

O TS é um revestimento flexível de pequena espessura, normalmente variando de 0,5cm a 2,5cm, sendo um dos métodos mais antigos de se fazer revestimentos asfálticos sobre bases granulares ou bases de solo-brita ou mesmo sobre bases de solos. Esse tipo de revestimento também é empregado para recuperar superfícies asfálticas que ainda se encontram em boas condições estruturais, mas que apresentam algum trincamento, utilizando emulsões asfálticas convencionais ou modificadas por polímeros elastoméricos tipos RR-2C e RR-2C E, respectivamente.

Os TS também podem ser realizados com CAP ou com asfaltos modificados, porém é necessário equipamento que mantenha o ligante asfáltico em tanque aquecido. Esta opção

de ligante foi sendo descontinuada e substituída por tratamento com EAP. Atualmente há novas experiências empregando a técnica dos TS com asfalto modificado por borracha ou por polímero. O TS como único revestimento é principalmente indicado para rodovias de baixo volume de tráfego ( $N \leq 10^6$  repetições equivalentes ao eixo padrão).

**As principais funções do TS são:**

- proporcionar uma camada de rolamento de pequena espessura, porém de alta resistência ao desgaste;
- impermeabilizar e proteger a infraestrutura do pavimento;
- proporcionar um revestimento antiderrapante;
- proporcionar um revestimento de alta flexibilidade que possa acompanhar deformações relativamente grandes da infraestrutura.

Devido à sua pequena espessura, o TS não aumenta a capacidade estrutural do pavimento e não corrige irregularidades (longitudinais ou transversais) da pista caso seja aplicado em superfície com estes defeitos.

**De acordo com o número de camadas sucessivas de ligantes e agregados podem ser:**

**TSS** – tratamento superficial simples;

**TSD** – tratamento superficial duplo;

**TST** – tratamento superficial triplo.

A Figura 1.2 mostra, esquematicamente, esses três tipos de TS. Nos tratamentos múltiplos em geral a primeira camada é de agregados de tamanhos maiores e estes vão diminuindo à medida que constituem uma nova camada. As Tabelas A24 e A25 (ver Anexo) mostram exemplos de faixas granulométricas que podem ser empregadas no TSD.

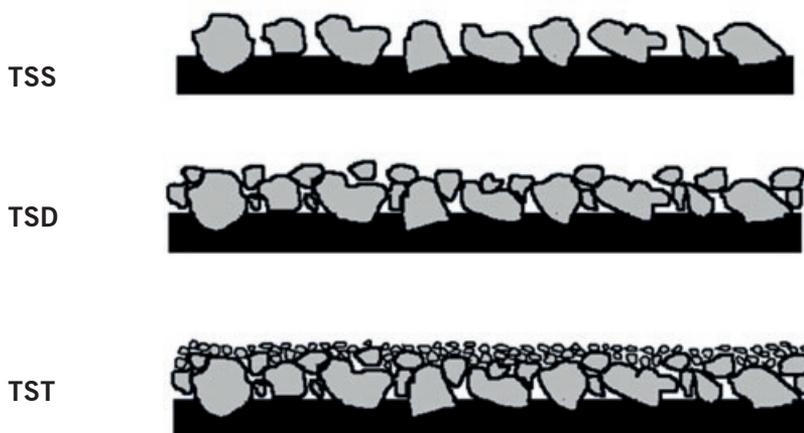


Figura 1.2 Esquema de tratamentos superficiais

Em acostamentos, executados com EAP de baixa viscosidade, onde é necessário iniciar-se por um espalhamento de agregado para evitar o escorrimento do ligante, normalmente executa-se o TS por penetração invertida. Neste tipo de TS, é prevista uma penetração (agulhamento) significativa do agregado no substrato ainda durante a compactação. Essa ancoragem é necessária para compensar a falta de ligante asfáltico abaixo do agregado. Portanto, a primeira camada de agregado, nesse tipo de tratamento, deve ser considerada, também, como um complemento à base.

### 1.3.4 Outros tipos de tratamentos superficiais

São ainda incluídos na família dos TS, que se caracterizam pelo espalhamento de materiais separadamente e o envolvimento do agregado pela penetração do ligante (sempre com pequenas espessuras).

#### Capa selante por penetração

- Selagem de um revestimento asfáltico por espalhamento de ligante, com ou sem cobertura de agregado miúdo. A espessura acabada é de até 5mm, aproximadamente. Este material é frequentemente utilizado como última camada em tratamentos superficiais múltiplos. Quando não é usada a cobertura de agregado miúdo, denomina-se também “pintura de impermeabilização” ou *fog seal*.

#### Tratamento anti-pó

- Técnica utilizada para controle de poeira em estradas de terra ou de revestimento primário, por espalhamento de emulsão asfáltica de baixa viscosidade tipo EAI, com ou sem cobertura de agregado miúdo. A emulsão asfáltica tipo EAI deve penetrar na superfície tratada (2mm a 7mm). É uma alternativa de baixo custo para locais de baixíssimo volume de tráfego e obtida por espalhamento de ligante de baixa viscosidade, com cobertura de agregado miúdo (Derba 023/00). Considera-se que, se a base imprimada apresenta uma boa interação com a emulsão, proporcionando boa resistência ao desgaste, o sucesso da técnica estará garantido, visto que a impermeabilização da base estará satisfeita. O pó utilizado no salgamento da técnica de tratamento antipó visa proteger a camada imprimada que será submetida à ação do tráfego. Portanto, é necessária a realização do ensaio de desgaste, nesta camada, e o sucesso da mesma depende da qualidade da emulsão aplicada no segundo banho e do material granular utilizado (pó de pedra, areia etc.).

#### Cape seal

- Revestimento asfáltico delgado, onde são aplicadas duas técnicas de pavimentação em conjunto, TSS com agregados com diâmetro máximo variando entre 6,3mm a 13mm, que confere as características de reabilitação e de flexibilidade aos pavimentos com trincas não ativas; seguido de uma selagem com MRAF, que promove a impermeabilização e a rugosidade ideal para o pavimento a fim de garantir a segurança e o conforto ao rolamento aos usuários da rodovia.

### **Macadame betuminoso**

- Aplicações sucessivas (geralmente duas) de agregado e ligante asfáltico, por espalhamento. Inicia-se pela aplicação do agregado mais graúdo (DNER ES 311/97), a espessura acabada em geral é de 20mm, porém este pode ser usado como base ou *binder*, em espessuras maiores do que 50mm. Esse tipo de material tem sido pouco empregado nos últimos anos para rodovias brasileiras, mas ainda é empregado por muitas prefeituras em vias urbanas;

### **Imprimação**

- Segundo o DNIT, o serviço de imprimação consiste na aplicação de material asfáltico sobre a superfície da base granular concluída, antes da execução de um revestimento asfáltico qualquer, objetivando conferir coesão superficial, impermeabilizar e permitir condições de aderência entre esta base e o revestimento a ser executado. É prática usual na engenharia rodoviária a utilização do asfalto diluído de petróleo (ADP) tipo cura média CM 30 para serviços de imprimação. Porém nos últimos anos, devido às maiores exigências em relação ao desenvolvimento sustentável e a preservação das condições de segurança, meio ambiente e saúde (SMS), passou a se empregar emulsões asfálticas para este tipo de tratamento de superfície. Diante dessa conscientização, o DNIT revisou sua especificação de serviço (DNIT 144/2014-ES) de modo a contemplar o emprego de emulsões asfálticas tipo EAI, cuja especificação é apresentada na Tabela A8 (ver Anexo).

### **Pintura de Ligação**

- A pintura de ligação consiste na aplicação de emulsão asfáltica catiônica, conforme indicação do projeto, sobre base coesiva ou pavimento a ser restaurado, objetivando promover condições de aderência entre as camadas. A existência de aderência entre as diversas camadas é fundamental para manter a integridade estrutural do pavimento, uma vez que cada camada contribui com sua parcela para a absorção dos esforços oriundos da ação das cargas em movimento, sendo que na sua ausência o pavimento seria incapaz de assimilar esforços transversais ou longitudinais originados pela passagem dos veículos. A norma DNIT 145 2010 ES – Pintura de ligação com ligante asfáltico convencional estabelece a especificação de serviço para esse tipo de tratamento de superfície. Recomenda-se a pintura de ligação com o emprego de emulsão modificada por polímero elástico tipo RR1C-E devido a sua maior capacidade de adesão entre as camadas, resultando em um melhor desempenho e vida útil do pavimento asfáltico..

A maior parte da estabilidade do TS por penetração se deve à adesão, conferida pelo ligante asfáltico entre o agregado e o substrato, sendo secundária a contribuição dada pelo entrosamento das partículas dos agregados. Já no macadame betuminoso, a estabilidade é principalmente obtida pelo intertravamento e pelo atrito entre as partículas de agregados, complementada pela coesão conferida pelo ligante asfáltico. Do TSS por penetração até o tratamento múltiplo, há uma transição no que diz respeito à estabilidade. Entretanto, quanto mais aplicações se adotam no TS, mais duvidosas serão as vantagens econômicas do processo; neste caso um outro tipo de revestimento, como o pré-misturado a frio, deve ser considerado.

# 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](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](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.
- DEINFRA-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](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](http://www.abeda.org.br)

ISBN 978-85-69658-00-9



9 788569 658009