

# MANUAL BÁSICO DE EMULSÕES ASFÁLTICAS

MANUAL BÁSICO DE EMULSÕES ASFÁLTICAS

ABEPA

**ABEPA**

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS  
DISTRIBUIDORAS DE ASFALTOS

# Manual básico de emulsões asfálticas

2ª Edição. Agosto de 2010



2ª Edição. Agosto de 2010

Revista e ampliada pelos engenheiros da Comissão Técnica da Abeda

Rafael M. Martins de Reis

Luiz Henrique Teixeira

Rômulo Constantino

Wander Omena

Arte

Trama Criações

Revisão de texto

Mariflor Rocha

Impressão

Ultraset Editora Ltda

ABEDA, Rio de Janeiro

Manual Básico de Emulsões Asfálticas.

Rio de Janeiro, ABEDA, 2001. 2ª ed. 2010

TT 03 144 p. 62 ilustr./fotos

I Introdução. II Orientações básicas para execução de pavimentação asfáltica. III Asfaltos de petróleo. IV Emulsão asfáltica catiônica. V Imprimação com emulsões asfálticas. VI Pintura de ligação. VII Tratamentos de superfícies (TS). VIII Tratamento para eliminação de poeira. IX Lama asfáltica (LA). X Microrrevestimento asfáltico (MRAF). XI Cape seal. XII Macadame betuminoso com capa selante. XIII Pré-misturado a frio (PMF). XIV Serviço de tapa-buracos. XV Areia asfalto (AA). XVI Estabilização de solo – emulsão. XVII Reciclagem a frio. XVIII Considerações finais. XIX Anexos. XX Bibliografia consultada.



# Prefácio

## Uma importante fonte de consulta

Nos anos 1950, por meio de experiências realizadas pela empresa francesa Colas, foram introduzidas no país as primeiras emulsões asfálticas aniônicas que, quando sujeitas aos nossos agregados predominantemente ácidos e chuvas tropicais, acabaram por comprometer a resistência e o desempenho das técnicas de pavimentação a frio.

Somente na década de 1960, com a introdução das emulsões catiônicas no Brasil pelas empresas Betubrás e, posteriormente, Chevron, é que se iniciou, efetivamente, o desenvolvimento e emprego da tecnologia com esses materiais asfálticos, devidamente projetados, aplicados e controlados.

Entre os precursores, que contribuíram para a evolução e aprimoramento do uso das emulsões asfálticas catiônicas no Brasil, é importante destacar a atuação de Jean Claude Vogt, no desenvolvimento de produtos e técnicas; de João Bento Jácome Lopes, o “Tatu”, na orientação e assistência das aplicações, e da família Kojin, na implantação de unidades de fabricação no Brasil.

Naquela época já se imaginava que as emulsões asfálticas seriam um “produto do futuro”, contribuindo sensivelmente para a redução dos gastos energéticos e preservação da segurança, meio ambiente e saúde (SMS) nos serviços de pavimentação. O recente desenvolvimento das emulsões asfálticas para imprimação (EAI) de bases granulares reafirma essa previsão.

Na década de 1990, uma nova geração de emulsões catiônicas, de ruptura controlada e/ou com ligantes elastoméricos, possibilitou a melhoria no desempenho dos materiais asfálticos e da durabilidade, conforto e segurança das estradas e vias urbanas em condições de tráfego e clima adversos.

Fundamental para um país de dimensões continentais como o Brasil, essa evolução no segmento das emulsões asfálticas vem demandando a qualificação contínua de todos os que atuam nesse setor. Daí a importância desse Manual Básico de Emulsões Asfálticas, lançado pela Associação Brasileira das Empresas Distribuidoras de Asfaltos (Abeda).

Trata-se de um importante guia para qualificar e capacitar iniciantes e fonte de consulta para os profissionais do mercado que buscam executar as “boas práticas” e o controle da qualidade em obras de pavimentação rodoviária.

Cumprimento a Abeda, pela iniciativa, e ainda aos técnicos que se empenharam para fazer uma abordagem simples e concisa dos materiais e técnicas a frio nessa nova edição do *Manual básico de emulsões asfálticas*.

Carlos Alberto da Silva Paranhos  
Engenheiro químico  
São Paulo (SP) – Junho de 2010

# Sumário

<b>Apresentação</b>	<b>9</b>
<b>I Introdução</b>	<b>11</b>
1. Considerações preliminares	11
2. A Abeda	12
3. O papel dos distribuidores de asfaltos	12
4. A pavimentação com emulsões asfálticas	12
<b>II Orientações básicas para execução de pavimentação asfáltica</b>	<b>15</b>
1. Considerações preliminares	15
2. Preparativos para execução de uma obra de pavimentação convencional	16
3. Maximização da satisfação dos beneficiários	18
4. Otimização dos recursos públicos destinados à materialização de uma obra de pavimentação	19
5. Minimização dos impactos ambientais de uma obra de pavimentação	21
6. A qualidade em uma obra de pavimentação	23
7. Princípios de segurança, meio ambiente e saúde relacionados aos materiais asfálticos	23
<b>III Asfaltos de petróleo</b>	<b>31</b>
1. Tipos e especificações	31
2. Obtenção dos asfaltos de petróleo	40
3. Composição química dos asfaltos de petróleo	43
<b>IV Emulsão asfáltica catiônica</b>	<b>45</b>
1. Considerações preliminares	45
2. O que é emulsão	46
3. Processo de emulsificação	48
4. Processo de ruptura das emulsões	50
5. Principais vantagens das emulsões catiônicas	52
6. Denominação e classificação das emulsões	52
7. Aplicação das emulsões em pavimentação	56
8. Transporte, estocagem e manuseio das emulsões	58
<b>V Imprimação com emulsões asfálticas</b>	<b>61</b>
1. Condições preliminares	61
2. Campo de aplicação	61
3. Taxas de aplicação	61
<b>VI Pintura de ligação</b>	<b>63</b>
1. Considerações preliminares	63
2. Definição	63
3. Campo de aplicação	63
4. Materiais e execução – generalidades	64
5. Consumo teórico de materiais	68
<b>VII Tratamentos de superfícies (TS)</b>	<b>69</b>
1. Considerações preliminares	69
2. Tratamento superficial por penetração (TSP)	69

<b>VIII Tratamento para eliminação de poeira</b>	<b>77</b>
1. Considerações preliminares	77
2. Campo de aplicação	77
3. Materiais e execução – generalidades	77
4. Vantagens da técnica	78
<b>IX Lama asfáltica (LA)</b>	<b>79</b>
1. Considerações preliminares	79
2. Campo de aplicação	79
3. Materiais e execução – generalidades	80
4. Vantagens da técnica	81
5. Consumo teórico de materiais	81
<b>X Microrrevestimento asfáltico (MRAF)</b>	<b>83</b>
1. Considerações preliminares	83
2. Campo de aplicação	84
3. Materiais e execução – generalidades	85
4. Vantagens da técnica	92
5. Faixas granulométricas e consumo teórico de materiais	92
<b>XI Cape seal</b>	<b>95</b>
1. Considerações preliminares	95
2. Definição	96
3. Campo de aplicação	97
4. Materiais e execução – generalidades	97
5. Vantagens da técnica	99
6. Consumo teórico de materiais do <i>cape seal</i>	100
<b>XII Macadame betuminoso com capa selante</b>	<b>101</b>
1. Considerações preliminares	101
2. Campo de aplicação	101
3. Materiais e execução – generalidades	101
4. Vantagens da técnica	103
5. Faixas granulométricas e consumo teórico de materiais	104
<b>XIII Pré-misturado a frio (PMF)</b>	<b>105</b>
1. Considerações preliminares	105
2. Campo de aplicação	105
3. Materiais e execução – generalidades	107
4. Vantagens da técnica	110
5. Consumo teórico de materiais	110
<b>XIV Serviço de tapa-buracos</b>	<b>111</b>
1. Considerações preliminares	111
2. Campo de aplicação	111
3. Materiais – generalidades	111
4. Execução	112
5. Vantagens da técnica	115
6. Consumo teórico de materiais	115

<b>XV Areia asfalto (AA)</b>	<b>117</b>
1. Considerações preliminares	117
2. Campo de aplicação	117
3. Materiais e execução – generalidades	117
4. Vantagens da técnica	119
5. Consumo teórico de materiais	119
<b>XVI Estabilização de solo – emulsão</b>	<b>121</b>
1. Considerações preliminares	121
2. Campo de aplicação	121
3. Materiais e execução – generalidades	122
4. Vantagens da técnica	123
5. Consumo teórico de materiais	124
<b>XVII Reciclagem a frio</b>	<b>125</b>
1. Considerações preliminares	125
2. Campo de aplicação	126
3. Materiais e execução – generalidades	127
4. Reciclagem a frio no local	127
5. Reciclagem a frio em usina	129
6. Vantagens da técnica	129
7. Consumo teórico de materiais	130
<b>XVIII Considerações finais</b>	<b>131</b>
<b>XIX Anexos</b>	<b>133</b>
<b>XX Bibliografia consultada</b>	<b>137</b>
<b>Índice de figuras</b>	<b>138</b>
<b>Índice de tabelas</b>	<b>140</b>



# Apresentação

A cada dia, a sociedade civil torna-se mais consciente de sua importância na participação do processo construtivo de nosso país. Não fogem a isso as associações de classe que, além de buscar defender seus interesses corporativos, não se abstêm de ações proativas, voltadas para a maior qualidade de suas ofertas ao cidadão e aos entes públicos, por meio de seminários, cursos, palestras, publicações e convênios de cooperação técnica.

A Associação Brasileira das Empresas Distribuidoras de Asfaltos (Abeda), que reúne em sua organização a quase totalidade das empresas de distribuição de asfaltos e fabricantes de emulsões asfálticas, asfaltos especiais e indústrias do setor de impermeabilizadores do mercado brasileiro, dentro desse cenário de instituição socialmente responsável, sempre manteve-se fiel ao seu objetivo e aos fundamentos instituídos pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), para a atividade reconhecida como de “utilidade pública”.

Sendo o asfalto o derivado de petróleo mais nobre e democrático, pois uma vez utilizado na pavimentação asfáltica inicia um processo de desenvolvimento, conforto, segurança, higiene e bem-estar a toda população, independentemente da categoria social, vantagens estas que se renovam sempre por ser um produto 100% reciclável, sem perda de qualidade e segurança, nossa entidade através de sua Comissão Técnica, constituída de engenheiros e técnicos capacitados, cedidos por nossas associadas, demonstra uma vez mais seu comprometimento, ao entregar ao público do segmento da pavimentação asfáltica este novo manual básico de emulsões asfálticas, revisto e atualizado.

Este trabalho coletivo, que não tem a pretensão de esgotar a pesquisa, experiências e demais procedimentos, contribui com informações para aqueles que, como nós, veem na pavimentação asfáltica um meio de aceleração do crescimento do país, pela liberdade de ir e vir dos cidadãos, pela circulação das riquezas do país com maior segurança, e fator econômico decisivo para resgatar um passivo, de longa data, de investimentos nesse importante segmento.

Os nossos agradecimentos aos técnicos e engenheiros que se dedicaram efetivamente na elaboração da primeira edição deste trabalho, lançada em 2001: Rafael M. Martins de Reis, Eurico Moraes, Fernando Camacho e João Virgílio Merighi.

Para esta nova edição, agradecemos a dedicação da Comissão Técnica da Abeda, em especial aos engenheiros Rafael M. Martins de Reis, Luiz Henrique Teixeira, Rômulo Constantino e Wander Omena que, além de suas tarefas diárias, multiplicaram seu tempo para que este trabalho fosse realizado.



A Abeda, ao disponibilizar esta publicação, estimula a todos que dela participaram a continuar em seus afazeres voltados para a qualidade e engenharia de pavimentos, e àqueles que deste trabalho tomarem conhecimento e possam se beneficiar de seu conteúdo, que se sintam desafiados na tarefa de serem construtores do progresso do Brasil!

Eder Vianna

Diretor Presidente da Abeda

Associação Brasileira das Empresas Distribuidoras de Asfaltos.

# I Introdução

## 1. Considerações preliminares

A atualização e revisão do presente manual têm como objetivo **orientar acerca das técnicas e tecnologias centradas na utilização de EMULSÕES ASFÁLTICAS em obras e serviços de pavimentação, manutenção, conservação e restauração de rodovias, vias urbanas e rurais.**

De acordo com os dados estatísticos do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT, 2008), a malha rodoviária brasileira é de cerca de 1 milhão 634 mil quilômetros e apenas 13% desse total é pavimentado, ou seja, 211 mil quilômetros.

São dados incontestáveis, **a precariedade, quantitativa e qualitativa, da rede rodoviária brasileira**, destacando, principalmente, a condição em que se encontra a **malha rodoviária municipal** – cerca de **1,315 milhão de quilômetros, equivalentes a 80% de todas as estradas brasileiras pavimentadas e não pavimentadas** – **dotada de pavimento em apenas 26 mil quilômetros, ou cerca de 2% de sua extensão total.**

Considerando que o Brasil é um país rodoviário – cerca de 61% da matriz de transporte de cargas é feito por rodovia – facilmente chegamos à conclusão que muito precisa ser feito.

Dessa forma, para a elaboração e atualização deste manual, consideramos **a magnitude e a importância da malha rodoviária municipal**, uma vez que **cerca de 2/3 da população brasileira residem em municípios de até 20 mil habitantes e quase a metade com menos de 10 mil pessoas**, em cujos cenários repercutem com maior intensidade as precárias condições das ligações rodoviárias.

A **Abeda** entende que o produto **EMULSÃO ASFÁLTICA**, graças às suas características, versatilidade, facilidade de manuseio, adequabilidade ambiental e compatibilidade com diferentes condições climáticas, é um dos ligantes capaz de proporcionar, sem transigir com os princípios da boa técnica, a implementação de **vigoroso programa de pavimentação municipal**, de custo compatível com a realidade socioeconômica do Brasil.

O atual panorama que cerca as rodovias brasileiras só será revertido através de **ações – individuais e/ou coletivas – decisivas dos municípios** centradas em soluções criativas que priorizem o emprego massivo de materiais locais, maximizem a utilização de recursos humanos e de equipamentos instalados na região e otimizem a aplicação dos recursos públicos.

## **2. A Abeda**

A Associação Brasileira das Empresas Distribuidoras de Asfaltos (Abeda), que reúne em sua organização a maioria das empresas de distribuição de asfaltos e fabricantes de emulsões asfálticas, asfaltos especiais e indústrias do setor de impermeabilizadores do mercado brasileiro, vem atuando com presença marcante na organização e no desenvolvimento técnico e tecnológico do setor, investindo fortemente na disseminação de estudos, pesquisas e tecnologias, com o objetivo de valorização da atividade em busca da excelência.

Consciente da importância de seu papel para a indústria de pavimentação e vias, a Abeda participa de diferentes projetos de desenvolvimento de tecnologias e qualificação de profissionais do setor e estimulando o crescimento da infraestrutura rodoviária do país, fator importantíssimo para o desenvolvimento socioeconômico do Brasil.

Para maiores informações sobre esses projetos, acesse o site da Abeda: [www.abeda.org.br](http://www.abeda.org.br).

## **3. O papel dos distribuidores de asfaltos**

Atividade considerada de utilidade pública, são os distribuidores de asfaltos os responsáveis pela produção de emulsões asfálticas e asfaltos modificados e possuem um sistema de logística que viabiliza o abastecimento de todas as obras do país, por mais distantes que estejam das fontes produtoras dos asfaltos primários.

A indústria de asfaltos desenvolveu nos últimos anos várias técnicas de alto desempenho na área de revestimentos asfálticos, aprimorando a qualidade dos produtos e contribuindo para maior durabilidade das ruas e estradas nas quais são aplicados. Aos asfaltos tradicionais, foram incorporados polímeros e borracha de pneus que permitem uma vida útil mais longa para a pavimentação.

A qualidade dos asfaltos é prioridade. Os distribuidores de asfaltos oferecem assistência técnica em projetos e análises de materiais e total acompanhamento na execução da obra e aplicação dos produtos.

## **4. A pavimentação com emulsões asfálticas**

A execução da pavimentação e/ou reabilitação da malha rodoviária existente, além de proporcionar benefícios diretos aos usuários com a melhoria dos níveis de conforto e segurança, e, ainda, redução dos custos operacionais dos veículos, incrementa o progresso socioeconômico da região, repercutindo, positivamente, na qualidade de vida, estruturação espacial das comunidades, disponibilidade de transporte coletivo etc.

Ciosa de seus direitos quanto a dispor de adequada infraestrutura viária, a sociedade através dos cidadãos ou, ainda, coletivamente, por suas associações e lideranças, reivindica e reclama, contínua e crescentemente, a implementação de intervenções de pavimentação que, se não atendidas rapidamente, acabam gerando grandes transtornos e desgastes políticos aos administradores públicos.

Assim, a realização de obras de pavimentação depende de eficiente planejamento técnico-econômico para adequada gestão dos recursos financeiros, geralmente escassos, bem como do gerenciamento dos recursos humanos, materiais e mecânicos, nem sempre disponíveis em qualidade e quantidade suficientes.

No Brasil, o desenvolvimento das emulsões asfálticas catiônicas trouxe vantagens indiscutíveis para a evolução das técnicas de pavimentação e, principalmente, para os serviços de conservação.

Considerada na época como “tecnologia de ponta”, a **emulsão asfáltica** foi introduzida, no Brasil, em 1962 por uma empresa brasileira (Betubras), através do engenheiro químico **Jean Claude Vogt**, francês de nascimento, mas brasileiro por opção, e, posteriormente, seu emprego foi implementado através de outros renomados técnicos, entre eles os engenheiros **João Bento Jácome Lopes**, **Johannes Larsen** e **Carlos Alberto da Silva Paranhos**, que dedicaram grande parte de suas vidas ao desenvolvimento e aplicação das emulsões.

Com o emprego de novos equipamentos rodoviários e materiais poliméricos associados às peculiaridades das emulsões asfálticas catiônicas, tais como: facilidade e flexibilidade de aplicação em temperatura ambiente, baixo custo de transporte e estocagem, elevado envolvimento e adesividade do ligante aos agregados úmidos, disponibilidade em todo o território nacional, bem como a possibilidade de combinar grandes volumes de produção com baixo risco de poluição ambiental, soluções mais duradouras e adequadas aos poucos recursos financeiros vêm sendo adotadas, incrementando ao longo desses quase 50 anos, a aceitação dessa tecnologia no Brasil.

Espera-se, com este trabalho, informar ao leitor, de forma simples e concisa, sobre as diversas possibilidades de emprego e vantagens que as emulsões asfálticas oferecem na pavimentação e conservação rodoviária.



# Orientações básicas para execução de pavimentação asfáltica

## 1. Considerações preliminares

Usualmente os órgãos rodoviários federal e estaduais (DNIT e DERs) possuem documentos e especificações técnicas que estabelecem as diretrizes e procedimentos para a execução de obras rodoviárias. Entretanto, a grande maioria dos municípios brasileiros necessita de suporte técnico no planejamento e execução de suas obras de pavimentação urbana. Este capítulo fornece ao leitor as orientações básicas referentes a esses serviços.

Inúmeras pesquisas realizadas em diversas cidades brasileiras para identificar as carências e as prioridades das comunidades revelam que “o asfalto” das vias e ruas de seus bairros coloca-se entre os três principais anseios.

O “asfaltamento”, ou a pavimentação de uma via ou rua, é, sem dúvida, uma das mais importantes intervenções do poder público voltada ao saneamento básico e, conseqüentemente, à melhoria do nível de qualidade de vida das comunidades, pois deflagra, com a sua conclusão, um contínuo processo de incorporação de novos benefícios – diretos e/ou indiretos – assegurando à população envolvida a conquista do direito à cidadania.

A pavimentação de uma via melhora as condições de salubridade no seu entorno; facilita e disciplina a captação, condução e destinação das águas pluviais; viabiliza a implementação de transporte coletivo mais eficiente e rápido, face à melhor condição de rolamento, facilitando e reduzindo o tempo de deslocamento da população; incentiva a instalação de infraestrutura comercial, industrial e de serviços nas adjacências da intervenção; estimula a introdução de melhorias nas moradias e demais ocupações existentes nas laterais da artéria pavimentada; valoriza os imóveis lindeiros etc.

Assim, a decisão de promover a pavimentação de uma rua deve merecer da administração pública especial atenção para não frustrar a consecução de nenhum dos ganhos elencados no parágrafo acima ou, ainda, de não tolher outros mais desejados pela comunidade.

Antecedendo a qualquer ação para a materialização da obra de pavimentação, é recomendável que a administração pública ausculte o universo dos futuros beneficiários para a identificação e conhecimento das expectativas geradas, bem como das particularidades que, de outra forma, poderiam ser esquecidas, ocasionando, posteriormente, impactos e conseqüências indesejadas ou, mesmo, desastrosas.

A oportunidade citada enseja ao poder público informar a comunidade acerca das linhas mestras estabelecidas para viabilizar o empreendimento tais como estimativa do custo da obra, recursos disponíveis, prazo de execução (início e conclusão), tipo de solução de pavimentação adotada, dificuldades a serem superadas, forma de participação da comunidade etc.

Essas providências conduzirão, certamente, ao engajamento dos beneficiários envolvidos, tornando-os parte importante do processo e partícipes da conquista proporcionada pela obra de pavimentação.

## 2. Preparativos para execução de uma obra de pavimentação convencional

**Uma obra de pavimentação convencional**, que contemple a execução integral de toda a estrutura do pavimento, envolve, a partir da decisão da **administração pública** em realizá-la, entre outras, **as principais etapas básicas a seguir**.

**a) Auscultação dos anseios e expectativas da comunidade envolvida.**

**b) Elaboração de estudos:**

- topográficos (planialtimétricos, cadastrais etc.);
- geotécnicos (do subleito, das fontes de materiais utilizáveis etc.);
- hidrológicos (caso a obra contemple a implantação da rede de drenagem pluvial);
- de tráfego.

**c) Elaboração de projetos:**

- geométrico (definição do greide da superfície da camada de rolamento etc.);
- de pavimentação (dimensionamento do pavimento, definição dos tipos de estruturas do pavimento, indicação das fontes de materiais a serem utilizados, especificações técnicas adotadas etc.);
- de drenagem (caso a obra contemple a implantação da rede de drenagem pluvial);
- de desapropriação (para fins dos procedimentos cabíveis visando à desinterdição da plataforma da via para a realização da obra);
- de serviços complementares (sinalização vertical e horizontal, calçadas etc.).

**d) Quantificação dos serviços envolvidos**, com base nas informações dos diversos projetos.

**e) Orçamentação da obra**, a partir dos quantitativos de serviços estabelecidos e com base:

- na tabela de preços unitários praticada pela municipalidade/autarquia;
- na tabela de preços de órgãos rodoviários;
- em pesquisa de preços de serviços e materiais junto ao mercado construtor;
- em informações extraídas de publicações especializadas ajustadas às peculiaridades regionais ou locais da obra.

**f) Elaboração de cronograma físico-financeiro.**

**g) Elaboração do edital de licitação** (carta convite, tomada de preços e concorrência pública), inclusive da minuta do contrato.

**h) Disponibilização de recursos orçamentários para a execução da obra.**

As atividades relacionadas nas alíneas de “a” a “g” podem ser desenvolvidas, integral ou parcialmente, pela estrutura técnica da **administração pública**, ou contratadas, integral ou parcialmente, com empresas especializadas de engenharia consultiva.

O conjunto dos produtos das atividades acima arroladas resultará no projeto básico (abrangendo todas as etapas elencadas, porém com menor nível de detalhamento e, consequente-

mente, de precisão) ou no **projeto executivo** (com todas as informações e dados necessários à plena realização da obra, inclusive com detalhes executivos – notas de serviço etc.).

A Lei nº 8.666/93 e suas alterações subsequentes permitem a licitação da obra centrada no **projeto básico** e admite que o **projeto executivo** seja detalhado e desenvolvido pela empresa vencedora do certame, cabendo à **administração pública** analisá-lo e aprová-lo antes de colocá-lo em prática. É oportuno reproduzir o entendimento estabelecido na Lei nº 8.666/93 e alterações subsequentes acerca do projeto básico e projeto executivo:

*IX – **Projeto Básico** – conjunto de elementos necessários e suficientes, com nível de precisão adequado, para caracterizar a obra ou serviço, ou complexo de obras ou serviços objeto da licitação, elaborado com base nas indicações dos estudos técnicos preliminares, que assegurem a viabilidade técnica e o adequado tratamento do impacto ambiental do empreendimento, e que possibilite a avaliação do custo da obra e a definição dos métodos e do prazo de execução, devendo conter os seguintes elementos:*

- a) desenvolvimento da solução escolhida de forma a fornecer visão global da obra e identificar todos os seus elementos constitutivos com clareza;*
- b) soluções técnicas globais e localizadas, suficientemente detalhadas, de forma a minimizar a necessidade de reformulação ou de variantes durante as fases de elaboração do projeto executivo e de realização das obras e montagem;*
- c) identificação dos tipos de serviços a executar e de materiais e equipamentos a incorporar à obra, bem como suas especificações que assegurem os melhores resultados para o empreendimento, sem frustrar o caráter competitivo para a sua execução;*
- d) informações que possibilitem o estudo e a dedução de métodos construtivos, instalações provisórias e condições organizacionais para a obra, sem frustrar o caráter competitivo para a sua execução;*
- e) subsídios para montagem do plano de licitação e gestão da obra, compreendendo a sua programação, a estratégia de suprimentos, as normas de fiscalização e outros dados necessários em cada caso;*
- f) orçamento detalhado do custo global da obra, fundamentado em quantitativos de serviços e fornecimentos propriamente avaliados;*

*X – **Projeto Executivo** – o conjunto dos elementos necessários e suficientes à execução completa da obra, de acordo com as normas pertinentes da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT.*

A execução de qualquer tipo de obra de pavimentação exige, em maior ou menor grau de detalhamento, a elaboração de cuidadoso e abrangente planejamento para assegurar o êxito total da empreitada que pode ser sintetizado pelo trinômio: maximização da satisfação dos beneficiários envolvidos com a obra x otimização da aplicação dos recursos públicos destinados à materialização de uma obra de pavimentação x avaliação e minimização dos impactos ambientais decorrentes da intervenção.

### 3. Maximização da satisfação dos beneficiários

Além de atender primariamente aos reclamos dos beneficiários, direta e/ou indiretamente envolvidos, **uma obra de pavimentação resultará na imediata e duradoura satisfação total dos usuários quando:**

- a) **É iniciada e concluída nos prazos compromissados;**
- b) **Minimiza os transtornos ao longo do processo construtivo.** A utilização de soluções – materiais e processos executivos – de pavimentação mais imunes às adversidades climáticas e/ou a realização da obra na época do ano de menor incidência de chuvas são condições que proporcionam maior agilidade e rapidez ao andamento e conclusão do empreendimento;
- c) **Não ocasiona repercussões negativas decorrentes da obra concluída** (acidentes em razão do incremento da velocidade de circulação dos veículos, incompatibilidade do greide da rua com as cotas das soleiras das residências gerando dificuldades de acesso às moradias, inundações provocadas por ausência ou deficiência dos dispositivos de drenagem etc.);
- d) **Proporciona espaços adequados à circulação de pedestres e de ciclistas, bem como de locais apropriados para as paradas de ônibus;**
- e) **Incorpora medidas especiais relativamente aos equipamentos públicos:** escolas, hospitais, postos de saúde, praças etc. dispostos às margens da via/rua;
- f) **Contempla cuidados adicionais para com as redes das concessionárias de serviços públicos** (água, telefonia, energia elétrica e gás) tais como prévio reconhecimento dos locais de instalação dos dutos etc., evitando, assim, a ocorrência de danos e consequentes interrupções motivadas por acidentes ocasionados por descuidos quando da execução da obra;
- g) **Inclui, no contrato da obra com terceiros ou quando da execução direta pela administração pública, obrigações aos executores no sentido de assegurar, ao longo da intervenção:**
  - **permanente acesso às residências, equipamentos públicos etc.,**
  - **respeito ao repouso noturno dos lindeiros à obra,** evitando operações que produzam elevados níveis de ruídos,
  - **redução da geração de poeiras** (umedecimento contínuo, nos períodos de estiagem, das superfícies potencialmente produtoras de pó quando da circulação de veículos),
  - **adequada sinalização diurna e noturna da obra,**
  - **eficiente comunicação verbal ou escrita, direta ou através da imprensa, dando ciência, aos moradores afetados pela obra, da programação semanal dos trabalhos,** bem como permanente contato com as associações de moradores, lideranças comunitárias e políticas locais, de alguma forma envolvidas,
  - **observância ao limite de peso estabelecido para a circulação dos caminhões de transporte,** evitando, conseqüentemente, danos ao pavimento e às obras de arte especiais das vias e ruas utilizadas no trajeto dos veículos pesados,
  - **extensão de todas as medidas acima aos caminhos de serviços** das jazidas, instalações de britagem e usinagem etc., bem como às vias percorridas pelos caminhões para transportar os materiais e produtos até a obra;



- h) Apresenta durabilidade e manutenção facilitada ao longo da vida de projeto;
- i) Resulta em custo compatível com a realidade orçamentária da municipalidade e com o poder aquisitivo dos munícipes, particularmente nos programas de pavimentação comunitária.

#### **4. Otimização dos recursos públicos destinados à materialização de uma obra de pavimentação**

A otimização dos recursos destinados à materialização de uma obra de pavimentação – sem a imposição de nenhum sacrifício a sua qualidade final – é uma medida extremamente salutar, pois enseja a disponibilização de verbas para a implementação de outras melhorias que podem ser agregadas ao empreendimento principal e resulta de um conjunto de medidas e ações de largo espectro, tempestivamente definidas, avaliadas, sopesadas e adotadas nos projetos básico e/ou executivo.

A seguir, a descrição de algumas delas:

- a) Realização de detalhamento topográfico (planialtimétrico e, se possível, cadastral das edificações lindeiras, redes de serviços públicos, bueiros, pontes e de outros pontos notáveis) abrangendo a plataforma da via e terrenos adjacentes (parte) para permitir a elaboração de projeto geométrico (definição do greide da camada de rolamento) que concilie ou minimize as interferências com obstáculos irremovíveis dispostos ao longo e nas laterais do desenvolvimento da via;
- b) Identificação da existência de algum tipo de problema ou obstáculo – desapropriação, por exemplo – que tenha de ser resolvido, ou tenha encaminhada uma solução adequada, antes do início da obra de pavimentação;
- c) Caracterização dos solos existentes no subleito da via a ser pavimentada. Muitas vezes, a obra de pavimentação será executada numa via dotada de revestimento primário (de ensaibramento) que pode ser, integral ou parcialmente, incorporado à sub-base ou base do pavimento a ser construído. Em algumas situações, por limitações altimétricas, a construção do pavimento requer cortes ou rebaixos no leito da via revestida primariamente. Nesses casos, a camada de revestimento primário removida poderá ser estocada para confecção da estrutura do pavimento, após a abertura da cava, ou ainda ser reaproveitada no pavimento de outra via. Em outros casos, os solos geotecnicamente inservíveis provenientes de rebaixos nas plataformas das ruas para construção do pavimento poderão ser utilizados no aterramento de áreas, por exemplo, para a geração de espaços públicos;
- d) Identificação das fontes de materiais disponíveis para a confecção do pavimento, inclusive da camada de rolamento, englobando reconhecimento de suas características geotécnicas e comparação com as especificações pertinentes. A elaboração de cadastro de outros mananciais – naturais ou artificiais – dispostos na área de influência da obra ou do município ampliará o leque de alternativas e auxiliará na seleção das fontes de materiais aplicáveis na obra de pavimentação. Poderá ser de grande valia a realização de

- consulta e pesquisa junto às residências ou distritos rodoviários dos DERs e DNIT para acessar os projetos de engenharia de rodovias implantadas e/ou pavimentadas na região da obra ou do município e conhecer as soluções adotadas e suas particularidades;
- e)** Apreciação dos custos de exploração (obtenção) das fontes de materiais, transporte e produção (caso de mistura de dois ou mais materiais) de cada uma das alternativas, inclusive dos custos para recomposição/mitigação de eventuais danos ambientais;
- f)** Caracterização do tipo e volume de tráfego existente na via a ser pavimentada que, acrescido da participação do tráfego gerado e desviado, em conjunto com a vida de projeto estabelecido e outras considerações técnicas, subsidiarão a seleção da camada de rolamento mais adequada e a definição da estrutura (tipo e espessura) do pavimento;
- g)** Quantificação dos serviços envolvidos – etapa importante que permitirá a elaboração do orçamento e do cronograma físico-financeiro – que, numa obra de pavimentação pioneira, envolve, em regra geral, as seguintes fases:
- abertura da “cava” ou “caixa” do pavimento (escavação, carga e transporte do material escavado no leito e subleito da via, em m<sup>2</sup>);
  - regularização do subleito, exclusive fornecimento de material, em m<sup>2</sup>;
  - reforço do subleito, inclusive fornecimento, transporte e execução, em m<sup>3</sup>;
  - sub-base, inclusive fornecimento, transporte e execução, em m<sup>3</sup>;
  - base, inclusive fornecimento, transporte e execução, em m<sup>3</sup>;
  - imprimação (exclusive material betuminoso), em m<sup>2</sup>;
  - pintura de ligação (exclusive material betuminoso), em m<sup>2</sup>;
  - camada de rolamento (revestimento asfáltico):
    - usinagem, inclusive fornecimento e transporte de agregados pétreos, areia e material de enchimento; exclusive fornecimento e transporte de material betuminoso, em tonelada;
    - execução propriamente dita (aplicação na pista), inclusive transporte da mistura da usina até a pista em tonelada;
  - fornecimento e transporte de material betuminoso, em tonelada, para:
    - imprimação (asfalto diluído de petróleo);
    - pintura de ligação (emulsão asfáltica de ruptura rápida);
    - usinagem da mistura (cimento asfáltico de petróleo, nas misturas a quente; emulsão asfáltica, nas misturas a frio);
  - fornecimento, assentamento e rejuntamento de meio-fio, em m<sup>2</sup>;
  - observação: outros serviços poderão ser incluídos no orçamento: rede de drenagem pluvial e dispositivos correlatos (caixa coletora e boca de lobo), sinalização horizontal e vertical, calçadas etc;
- h)** Elaboração do orçamento da obra, a partir das quantidades e modalidades de serviços complementadas por outras informações e orientações, também contempladas no projeto básico ou executivo da obra, e com base nos preços unitários tabelados ou pesquisados;
- i)** Avaliação técnico-econômica das soluções de pavimentação possibilitando à administração pública selecionar a mais conveniente – sob a ótica técnica, ou executiva, ou econômica – aos interesses da municipalidade;

- j) Avaliação do potencial de equipamentos e recursos humanos e da qualificação técnico-executiva das empresas de pavimentação instaladas no município, ou na área de influência da obra, ou ainda da própria municipalidade/autarquia, para verificar a compatibilidade entre as soluções definidas no anteprojeto e projeto básico e a capacidade de realização de obras instaladas na região do empreendimento;

## 5. Minimização dos impactos ambientais de uma obra de pavimentação

Antecedendo o início efetivo dos trabalhos e por ocasião da elaboração do **projeto executivo**, é importante que a **administração pública**, em conjunto com a empresa contratada para a execução da obra de pavimentação, ou ainda – caso a intervenção seja realizada por administração direta – com a estrutura pertinente da municipalidade, analisem e ponderem, minuciosamente, todos os aspectos ambientais envolvidos para definir as medidas necessárias à minimização dos impactos junto ao ecossistema decorrentes da realização da obra.

É indispensável que seja buscada orientação, aprovação e licenciamento nos órgãos e entidades ambientais intervenientes para que as medidas e ações de proteção ao meio ambiente estabelecidas tenham o competente respaldo legal sob a ótica da ecologia.

A seguir, são listadas algumas medidas relativas ao canteiro de obras, serviços de pavimentação e sinalização que deverão ser observadas pelo executor – da iniciativa privada ou do setor público – da obra antes, durante e após a conclusão do empreendimento:

<b>CANTEIRO DE OBRAS</b>
Prever instalações administrativas em condições de atender às necessidades da obra.
Implantar alojamentos e refeitórios providos de instalações hidrossanitárias adequadas, observando as condições de uso e sua disposição no espaço do canteiro.
Localizar as instalações de manutenção (oficina, postos de lavagem, lubrificação e abastecimento) e garagem em locais que não interfiram com os recursos hídricos.
Adotar medidas de segurança nos pátios de estacionamento, ou de guarda, de equipamentos para evitar que o derramamento de derivados de petróleo, ou de quaisquer outras substâncias nocivas, degrade o meio ambiente.
Instalar e equipar, adequadamente, as centrais de britagem e de classificação, assim como as unidades de usinagem de solos e de misturas asfálticas (a quente e a frio), prevendo, inclusive, a adoção de outras medidas especiais de proteção ambiental, quando os equipamentos citados se localizarem na área de influência de mananciais, nascentes, lagos e lagoas, bem como de aglomerados urbanos, hospitais, escolas.
Evitar desmatamentos de áreas destinadas às instalações de canteiro de obras localizadas nas proximidades de margens de rios, lagos e lagoas. Quando for necessário implantar acesso às instalações em foco, é indispensável contato com os órgãos ambientais para a aprovação da referida intervenção.
Implantar e operar as centrais de britagem/classificação e as unidades de usinagem observando a legislação ambiental e as competentes licenças. Prever a instalação de filtros nas usinas para combater a poluição aérea, bem como de dispositivos para o tratamento de rejeitos.
Localizar os depósitos de materiais betuminosos e/ou tóxicos em áreas que sejam seguras em relação ao meio ambiente, observando as normas estabelecidas nas leis e regulamentos vigentes.
Informar, imediatamente, aos órgãos ambientais e à administração pública, a ocorrência de acidentes com produtos tóxicos e/ou substâncias nocivas, e adotar as medidas cabíveis para conter e eliminar o processo de contaminação.
Observar, em todas as frentes de serviço, os limites de níveis de ruídos estabelecidos por lei, adotando todas as medidas necessárias, antes do início das operações, para evitar a superação dos limites fixados.
Dar destinação adequada a todos os dejetos, restos de demolição, lixo em geral, quando da desativação do canteiro de obras.
<b>PAVIMENTAÇÃO</b>
Comprovar, junto à administração pública, a permissão oficial relativa à exploração de jazidas de materiais de construção.
Elaborar plano de exploração de jazidas de materiais de construção observando toda a legislação vigente, especialmente quando envolver o uso de explosivos.
Reconformar e harmonizar, ao concluir a exploração de jazidas, com os solos orgânicos resultantes da decapagem do jazimento, a superfície explorada de modo a recompor suas características hidrológicas superficiais iniciais, inclusive realizando o replantio de árvores, arbustos e gramíneas.
Efetuar a extração de seixos, areias e outros materiais de construção somente após a liberação da administração pública e a observância de todos os demais trâmites de licenciamento.
Estocar, adequadamente, os materiais empregados na obra, inclusive os gerados em remoções.
Reaproveitar, sempre que possível, na própria obra, os excessos e as remoções de materiais de pavimentação, de forma direta ou através de reciclagem.
Adaptar os planos de trabalho da obra às condições locais, evitando ocasionar problemas tais como ruídos, poeiras, fumaças.
Obedecer, no transporte de materiais asfálticos, as normas existentes para a circulação de cargas perigosas.
Equipar os caminhões de transporte de materiais com lonas para evitar a geração de poeiras e com dispositivos adequados para impedir a queda ou vazamento de materiais durante a operação de transporte.
Inspeccionar, após cada período de chuva ou diariamente no caso de períodos prolongados, os dispositivos de drenagem pluvial e corrigir as demais deficiências constatadas.
<b>SINALIZAÇÃO</b>
Implantar, na fase de construção, a sinalização adequada, visando à total segurança da comunidade e dos operários da obra.

## 6. A qualidade em uma obra de pavimentação

O sucesso – bom acabamento, desempenho impecável e durabilidade adequada – de uma obra de pavimentação, além de depender da qualidade dos projetos básico e executivo, resulta, principalmente, dos controles de materiais, da execução propriamente dita e da geometria realizados ao longo do empreendimento para assegurar que todo o processo construtivo atenda integralmente às condicionantes e diretrizes projetadas e respeite as especificações pertinentes.

O **Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT)** dispõe de um conjunto de **métodos de ensaios (ME)**, **especificações de materiais (EM)**, **especificações de serviços (ES)** e **manuals técnicos** que são utilizados para caracterização e certificação da qualidade de materiais e da execução de uma obra de pavimentação, bem como para avaliação e reconhecimento do desempenho e comportamento de pavimentos flexíveis. Esses documentos podem ser consultados pelo site: **www.dnit.gov.br** no link Instituto de Pesquisas Rodoviárias (IPR).

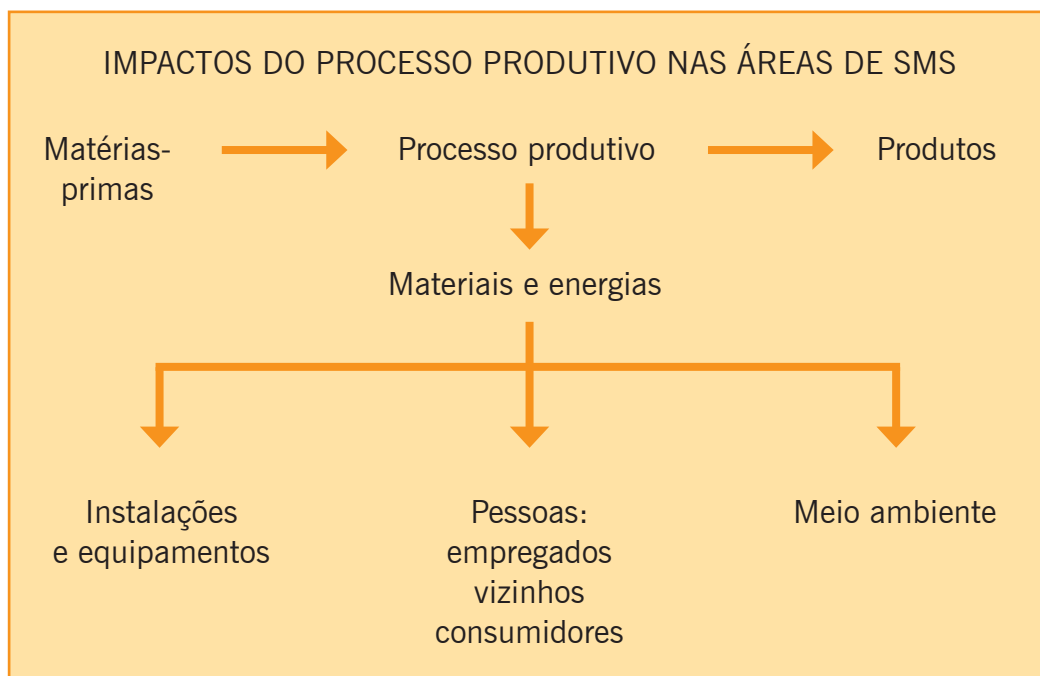
Nos próximos capítulos, são abordadas e detalhadas as principais características técnico-executivas envolvendo a utilização de emulsões asfálticas convencionais e especiais com polímeros, tanto para a execução de camadas de rolamento de novos pavimentos como para a restauração, conservação e manutenção de revestimentos de vias e rodovias existentes.

O elenco das alternativas centradas na utilização de emulsões asfálticas e, consequentemente, de aplicação a frio, destaca-se pela simplicidade e facilidade dos processos executivos envolvidos na aplicação e pelos equipamentos básicos disponíveis nas pequenas e médias municipalidades, departamentos estaduais rodoviários e construtoras brasileiras, dispensando, portanto, investimentos em novas instalações e maquinários.

## 7. Princípios de segurança, meio ambiente e saúde relacionados aos materiais asfálticos

Esta seção fornece os princípios gerais da gestão de segurança, meio ambiente e saúde (SMS), e aborda os principais conceitos técnicos, as leis, regulamentos e normas técnicas relacionados à produção e à aplicação de materiais asfálticos.

A lógica da gestão integrada de SMS fundamenta-se na forte conexão que existe entre as três áreas.



Os materiais e as energias liberados nos processos produtivos de asfalto e derivados podem causar danos de curto, médio e longo prazo à saúde da força de trabalho e das comunidades vizinhas (campo da saúde), às instalações e aos equipamentos (campo da segurança) e ao meio ambiente.

Todos os riscos gerados pela utilização de materiais e energias devem ser gerenciados de forma integrada.

Responsabilidade compartilhada na gestão de SMS. A gestão efetiva de SMS exige a convergência de ações de responsabilidade governamental (Legislativo, Executivo e Judiciário), institucional (dirigentes empresariais e das instituições em geral), gerencial ou de supervisão e individual.

Constituem objetivos da gestão integrada de SMS:

- **Prevenir** a poluição durante todas as etapas do ciclo de vida do asfalto e seus derivados, ou seja, desde as atividades de aquisição de insumos, fabricação, mistura, armazenamento, transporte, distribuição, aplicação e tratamento de resíduos, efluentes, emissões e eventuais impactos ao solo e aquíferos;
- **Reduzir** os riscos à segurança e à saúde dos trabalhadores em relação aos agentes físicos (ruído, vibrações, pressões anormais, radiações ionizantes, radiações não ionizantes, temperaturas extremas), agentes químicos (poeiras, fumos, líquidos, névoas, neblinas, gases e vapores), agentes biológicos (vírus, bactérias, fungos, parasitas, protozoários etc.), agentes ergonômicos (posturas inadequadas, esforços e ritmos excessivos, mobiliário inadequado, trabalhos noturnos e em turnos, repetitividade e monotonia, iluminação inadequado etc.), e às condições de risco de acidente (queda

de níveis, eletricidade, trabalhos em altura e em espaços confinados, ferramentas, máquinas, equipamentos, veículos inadequados etc.);

- **Prevenir** riscos à saúde pública com ações de vigilância sanitária para promover ações de prevenção de doenças, epidemias e pandemias;
- **Assegurar** os direitos dos trabalhadores em relação ao trabalho e à previdência social.

## 7.1. CONCEITOS TÉCNICOS DE SMS

A compreensão dos conceitos técnicos apresentados a seguir é essencial para a implementação das boas práticas de SMS.

**Perigo** é uma fonte ou uma situação com potencial para provocar danos em termos de lesão, doença, prejuízos à propriedade, dano no meio ambiente ou uma combinação destes.

**Dano** é o resultado deletério da ação de materiais e energias sobre as pessoas, instalações, equipamentos e meio ambiente, contabilizado como perda.

**Desvio** é qualquer ação ou condição em desacordo com as normas de trabalho, procedimentos, regulamentos, requisitos do sistema de gestão, boas práticas etc., que possa levar, direta ou indiretamente, à morte, lesão ou doença, dano à propriedade, dano ao meio ambiente ou uma combinação desses.

**Risco** é a combinação da probabilidade de ocorrência e da severidade de um determinado evento.

**Incidente** é o evento não planejado com potencial que, em condições diferentes, pode causar um acidente.

**Acidente de trabalho** (conceito técnico) é o evento não desejado e não planejado que resulta em danos a pessoas, a propriedades ou perda de produção, a partir do contato de uma determinada fonte de energia ou material com o corpo humano, instalações e equipamentos.

**Acidente de trabalho** (conceito legal) é o que ocorre pelo exercício do trabalho a serviço da empresa, provocando lesão corporal ou perturbação funcional que cause a morte, a perda ou redução, temporária ou permanente, da capacidade para o trabalho (Lei nº 8.213/91).

**Doença do trabalho** é a doença adquirida ou desencadeada em função de condições especiais em que o trabalho é realizado e com ele se relacione diretamente.

**Impacto ambiental**, segundo a legislação, é qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam: I a saúde, a segurança e o bem-estar da população; II as atividades sociais e econômicas; III a biota; IV as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente; V a qualidade dos recursos ambientais. Resolução Conama 001/1986, Anexo B.

**Poluição** é a degradação da qualidade ambiental resultante de atividades que direta ou indiretamente:

- prejudiquem a saúde, a segurança e o bem-estar da população;
- criem condições adversas às atividades sociais e econômicas;
- afetem desfavoravelmente o ciclo da natureza;
- afetem as condições estéticas ou sanitárias do meio ambiente;
- lancem matérias ou energia em desacordo com os padrões ambientais estabelecidos (definição da Lei nº 6.938/81).

**Saúde** é uma resultante das condições de alimentação, moradia, saneamento básico, meio ambiente, trabalho, renda, educação, transporte, lazer e acesso aos bens e serviços essenciais, onde se inclui a assistência médica e hospitalar (Lei nº 8.080/90).

**Saúde pública** é a arte e a ciência de prevenir as doenças e os acidentes, prolongar a vida produtiva das pessoas, e promover a saúde e a eficiência, mediante o esforço organizado da sociedade. A saúde pública engloba as atividades educativas em saúde, o saneamento do ambiente, as medidas preventivas de doenças e lesões, o controle das doenças transmissíveis, a organização dos serviços de saúde, em suma, todos os recursos dirigidos à preservação e à recuperação da saúde da sociedade como um todo.

## 7.2. LEGISLAÇÃO, REGULAMENTAÇÃO E NORMAS TÉCNICAS

Os técnicos e gestores da indústria de asfalto devem conhecer e aplicar a legislação e as normas técnicas de SMS relativas às suas atividades, produtos e serviços.

Na vasta legislação ambiental brasileira merecem destaque: a Lei nº 6.938/81, a mais importante lei ambiental brasileira, que estabelece a Política Nacional do Meio Ambiente; a Lei nº 9.605/98, denominada Lei de Crimes Ambientais, e a Lei nº 9.795/99, que dispõe sobre educação ambiental. A legislação ambiental é regulamentada no âmbito do Conselho Nacional do Meio Ambiente (Conama) e pode ser acessada no endereço [www.mma.gov.br/conama](http://www.mma.gov.br/conama).

O direito ao trabalho seguro e saudável está previsto na Constituição Federal de 1988, em diversos textos legais e em convenções internacionais firmadas pelo Brasil, como a Convenção 155 – Segurança e Saúde dos Trabalhadores, da Organização Internacional do Trabalho (OIT).

A Consolidação das Leis do Trabalho (CLT) constitui, ainda, o principal documento legal relacionado com Segurança e Saúde no Trabalho. A Portaria nº 3.214/78, do Ministério do Trabalho e Emprego, ordenou toda a regulamentação em um conjunto único denominado Normas Regulamentadoras de Segurança e Medicina do Trabalho (NR) que, atualmente, abrange 33 normas.

As principais legislações federais estão disponíveis na página da Presidência da República do governo brasileiro: <http://www.presidencia.gov.br/legislacao>.



A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) elabora e disponibiliza as normas técnicas brasileiras, sendo diversas delas aplicáveis à indústria de asfalto. A relação das normas técnicas brasileiras pode ser acessada em [www.abnt.org.br](http://www.abnt.org.br).

### **7.3. SISTEMA DE GESTÃO INTEGRADA DE SMS**

Para uma gestão eficaz de SMS para a indústria de asfalto e derivados é importante que as empresas possuam um sistema de gestão integrada que contemple os seguintes elementos essenciais:

- política de SMS;
- procedimento de identificação e avaliação de aspectos ambientais e perigos e riscos de segurança e saúde ocupacional;
- procedimento de identificação de requisitos legais e outros requisitos;
- objetivos, metas e programas de SMS;
- estrutura de atribuições, responsabilidades e recursos;
- procedimento de treinamento, conscientização e competência;
- documentação do sistema de gestão integrada de SMS;
- procedimento de controle de documentos e dados;
- procedimentos de controle operacional;
- procedimentos de emergência;
- procedimentos de monitoramento, medição e avaliação da conformidade legal;
- procedimentos de ação corretiva e preventiva;
- procedimento de controle de registros;
- procedimento de auditoria;
- sistemática de análise crítica do sistema de gestão integrada de SMS.

### **7.4. PRINCIPAIS ORGANIZAÇÕES RELACIONADAS COM SMS E ASFALTO**

#### **Internacionais:**

Organização Mundial de Saúde: <http://www.who.int>

Agência Internacional de Pesquisa do Câncer (International Agency for Research on Cancer – IARC): <http://www.iarc.fr>

Organização Internacional do Trabalho (OIT):

<http://www.ilo.org>; <http://www.oitbrasil.org.br>

Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) – United Nations Environment Programme (UNEP): <http://www.unep.org>

Occupational Safety and Health Administration (OSHA/USA): <http://www.osha.gov>

National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH/USA):

<http://www.cdc.gov/niosh>

National Safety Council (NSC/USA): <http://www.nsc.org>  
Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ASTDR/USA):  
<http://www.atsdr.cdc.gov>  
ISAP: International Society for Asphalt Pavements: <http://www.asphalt.org>

### **Nacionais:**

Associação Brasileira das Empresas Distribuidoras de Asfaltos (Abeda):  
<http://www.abeda.org.br>  
Rede Cooperativa de Pesquisa em Asfalto: <http://www.redeasfalto.org.br>  
Associação Brasileira de Pavimentação (ABPv): <http://www.abpv.org.br>  
Agência Nacional do Petróleo, Gás e Biocombustíveis – ANP: <http://www.anp.gov.br>  
Ministério do Trabalho e Emprego (MTE): <http://www.mte.gov.br>  
Fundacentro: <http://www.fundacentro.gov.br>  
Ministério do Meio Ambiente (MMA): <http://www.mma.gov.br>  
Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (Ibama):  
<http://www.ibama.gov.br>  
Conselho Nacional do Meio Ambiente (Conama): <http://www.mma.gov.br/conama>.  
Ministério da Saúde: <http://www.saude.gov.br>  
Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa): <http://www.anvisa.gov.br>  
Ministério da Previdência Social (MPS): <http://www.mpas.gov.br>  
Instituto Brasileiro de Petróleo, Gás e Biocombustíveis: <http://www.ibp.org.br>

### **Regionais:**

Agência para a Segurança e Saúde no Trabalho da União Europeia:  
<http://osha.europa.eu>  
Agência para o Meio Ambiente da União Europeia:  
[http://europa.eu/pol/env/index\\_pt.htm](http://europa.eu/pol/env/index_pt.htm)  
Organização Panamericana de Saúde (OPAS): <http://www.opas.org.br>

### **Bibliografia internacional de SMS sobre asfalto:**

NIOSH: Reducing Roofers' Exposure to Asphalt Fumes:  
<http://www.cdc.gov/niosh/docs/2003-107/pdfs/2003-107.pdf>  
NIOSH: Health effects of occupational exposure to asphalt:  
<http://www.cdc.gov/niosh/pdfs/01-110.pdf>  
NIOSH: Fume Exposures During the Manufacture of Roofing Products:  
<http://www.phppo.cdc.gov/niosh/pdfs/2001-127.pdf>  
NIOSH: Asphalt Fume Exposures During the Application of Hot Asphalt to Roofs:  
[http://www.phppo.cdc.gov/niosh/docs/2003-112/2003-112\\_6.html](http://www.phppo.cdc.gov/niosh/docs/2003-112/2003-112_6.html)  
NIOSH: Engineering Control Guidelines for Hot Mix Asphalt Pavers:  
<http://www.cdc.gov/niosh/asphalt.html>

IPCS: ASPHALT (BITUMEN):

<http://www.inchem.org/documents/cicads/cicads/cicad59.htm>

## **SMS – RELAÇÃO DE NORMAS RELACIONADAS COM A INDÚSTRIA DE ASFALTO**

As NRs relacionadas com a indústria de asfalto estão especificadas a seguir:

- NR-1 – Disposições Gerais;
- NR-2 – Inspeção Prévia;
- NR-3 – Embargo ou Interdição;
- NR-4 – Serviços Especializados em Eng. de Segurança e em Medicina do Trabalho;
- NR-5 – Comissão Interna de Prevenção de Acidentes;
- NR-6 – Equipamentos de Proteção Individual – EPI;
- NR-7 – Programas de Controle Médico de Saúde Ocupacional;
- NR-8 – Edificações;
- NR-9 – Programas de Prevenção de Riscos Ambientais;
- NR-10 – Segurança em Instalações e Serviços em Eletricidade;
- NR-11 – Transporte, Movimentação, Armazenagem e Manuseio de Materiais;
- NR-12 – Máquinas e Equipamentos;
- NR-13 – Caldeiras e Vasos de Pressão;
- NR-14 – Fornos;
- NR-15 – Atividades e Operações Insalubres;
- NR-16 – Atividades e Operações Perigosas;
- NR-17 – Ergonomia;
- NR-18 – Condições e Meio Ambiente de Trabalho na Indústria da Construção;
- NR-19 – Explosivos;
- NR-20 – Líquidos Combustíveis e Inflamáveis;
- NR-21 – Trabalho a Céu Aberto;
- NR-23 – Proteção contra Incêndios;
- NR-24 – Condições Sanitárias e de Conforto nos Locais de Trabalho;
- NR-25 – Resíduos Industriais;
- NR-26 – Sinalização de Segurança;
- NR-27 – Registro Profissional do Técnico de Segurança do Trabalho no MTB;
- NR-28 – Fiscalização e Penalidades;
- NR-32 – Segurança e Saúde no Trabalho em Estabelecimentos de Saúde;
- NR-33 – Segurança e Saúde no Trabalho em Espaços Confinados.

A Lei nº 8.080/90 criou o Sistema Único de Saúde (SUS) e estabeleceu que a saúde é um direito fundamental do ser humano, tendo o Estado o dever de garanti-la por meio da formulação e execução de políticas econômicas e sociais. A Lei nº 8.213/91 dispõe sobre os benefícios da Previdência Social e é regulamentada por meio de instruções normativas elaboradas pelo Ministério da Previdência Social.

## 1. Tipos e especificações

Considerando a malha nacional pavimentada (federal, estados e municípios) de 211 mil km de extensão, cerca de 97% das rodovias brasileiras possuem pavimento flexível, sendo o asfalto o componente principal das camadas de rolamento e às vezes de camadas intermediárias da estrutura.

Os asfaltos originam-se do petróleo, sendo obtidos pela evaporação natural de depósitos localizados na superfície terrestre (asfaltos naturais) ou produzidos em unidades industriais denominadas refinarias de petróleo.

Os asfaltos naturais podem ocorrer em depressões da crosta terrestre, constituindo os lagos de asfaltos (Trinidad, Bermudas), ou aparecem impregnando os poros de algumas rochas, formando as denominadas rochas asfálticas (asfaltita e gilsonita). Encontram-se também misturados com impurezas minerais (areias e argilas), em quantidades variáveis, sendo geralmente submetidos a processos de purificação para serem aplicados em pavimentação.

A Figura III.1 mostra o lago de asfalto natural de Trinidad.



Figura III.1 – Lago de asfalto de Trinidad

O emprego de asfaltos naturais remonta ao alvorecer da história. Há mais de 5 mil anos os povos da Mesopotâmia o utilizavam na formulação de tintas e vernizes, argamassas impermeabilizantes para construção e até mesmo como medicamento.

No mundo, atualmente, cerca de 98% do asfalto é obtido através do processo de refino de petróleo. No Brasil, a média histórica de consumo é de 1,7 milhão de toneladas/ano. Cerca de 95% são utilizados em pavimentos, sendo usualmente denominados cimentos asfálticos de petróleo (CAPs), de modo a distingui-los dos asfaltos próprios a utilizações que não sejam

de pavimentação, sendo os 5% restantes destinados à impermeabilização na construção civil e para finalidades industriais.

Na sua forma mais comum de utilização, os cimentos asfálticos de petróleo (CAPs), não são solúveis em água, apresentam-se no estado semissólido e não fluem na temperatura ambiente, necessitando de aquecimento para terem consistência apropriada à mistura com agregados pétreos e aplicação sobre o pavimento.

Os CAPs apresentam propriedades aglutinantes e impermeabilizantes, são flexíveis, resistentes à ação da maioria dos produtos inorgânicos e duráveis, características fundamentais para o seu desempenho como materiais de engenharia na construção e manutenção rodoviária.

Como agentes aglutinantes proporcionam uma íntima ligação entre os agregados, capaz de resistir à ação mecânica de desagregação produzida pelas cargas dos veículos. Sua natureza impermeabilizante garante a vedação eficaz contra a penetração de água das chuvas, evitando danos à estrutura do pavimento.

Os cimentos asfálticos de petróleo (CAPs) são materiais especificados segundo as normas brasileiras ABNT NBR. Atualmente há quatro tipos de CAPs, classificados por penetração: CAP 30/45, CAP 50/70, CAP 85/100 e CAP 150/200, constituindo produtos básicos para a produção de outros materiais asfálticos, a seguir discriminados, de acordo com sua aplicação em pavimentação:

- **Cimentos Asfálticos de Petróleo (CAP)** – Tabela 1 – Especificação ANP Resolução nº 19, de 11 de julho de 2005, e anexo Regulamento Técnico nº 3/2005.
- **Asfaltos Diluídos de Petróleo (ADP CR e CM)** – Tabelas 2 e 3 – Especificação ANP Resolução nº 30, de 9 de outubro de 2007, e anexo Regulamento Técnico nº 2/2007.
- **Aditivos Asfálticos de Reciclagem para Misturas a Quente** – Tabela 4 – Regulamento Técnico DNC nº 04/97 – Portaria nº 44, de 29 de setembro de 1997.
- **Emulsões Asfálticas para Pavimentação (EAP)** – Tabela 5 – Proposta de Especificação da Comissão de Asfalto do IBP-ABNT, pendente.
- **Agentes de Reciclagem Emulsionados (ARE)** – Tabela 6 – Proposta de Especificação da Comissão de Asfalto do IBP.
- **Asfaltos Modificados por Polímeros Elastoméricos (AMP-E)** – Tabela 7 – Proposta de Especificação da Comissão de Asfalto do IBP-ABNT, pendente.
- **Asfalto Modificado por Borracha Moída de Pneu (AMB)** – Tabela 8 – Especificação ANP Resolução nº 39, de 24 de dezembro de 2008, e anexo Regulamento Técnico nº 05/2008.
- **Emulsões Asfálticas Catiônicas Modificadas por Polímeros Elastoméricos (EAP-E)** – Tabela 9 – Especificação ANP Resolução nº 32, de 14 de outubro de 2009, e anexo Regulamento Técnico 05/2009.

**Tabela 1 – Especificações dos Cimentos Asfálticos de Petróleo (CAP) – Classificação por Penetração – Resolução ANP nº 19, de 11 de julho de 2005 e anexo.**

CARACTERÍSTICAS	UNIDADES	LIMITES				MÉTODOS	
		CAP 30/45	CAP 50/70	CAP 85/100	CAP 150/200	ABNT	ASTM
Penetração (100 g, 5 s, 25°C)	0,1 mm	30-45	50-70	85-100	150-200	NBR 6576	D 5
Ponto de amolecimento, mín	°C	52	46	43	37	NBR 6560	D 36
Viscosidade Saybolt-Furol - a 135°C, mín. - a 150°C, mín. - a 177°C	s	192 90 40 - 150	141 50 30 - 150	110 43 15 - 60	80 36 15 - 60	NBR 14950	E 102
OU Viscosidade Brookfield - a 135°C, SP 21... 20 rpm, mín - a 150°C, SP 21, mín - a 177°C, SP 21	cP	374 203 76 - 285	274 112 57 - 285	214 97 28 - 114	155 81 28 - 114	NBR 15184	D 4402
Índice de susceptibilidade térmica (1)		(-1,5) a (+0,7)	(-1,5) a (+0,7)	(-1,5) a (+0,7)	(-1,5) a (+0,7)		
Ponto de fulgor, mín.	°C	235	235	235	235	NBR 11341	D 92
Solubilidade em tricloroetileno, mín.	% massa	99,5	99,5	99,5	99,5	NBR 14855	D 2042
Ductibilidade a 25°C, mín.	cm	60	60	100	100	NBR 6293	D 113
Efeito do calor e do ar (RTFOT) a 163°C, 85 min.							D 2872
Variação em massa, máx. (2)	% massa	0,5	0,5	0,5	0,5	-	
Ductibilidade a 25°C, mín.	cm	10	20	50	50	NBR 6293	D 113
Aumento do ponto de amolecimento, máx.	°C	8	8	8	8	NBR 6560	D 36
Penetração retida, mín (3)	%	60	55	55	50	NBR 6576	D 5

(1) Índice de susceptibilidade térmica é obtido a partir da seguinte equação ou da Tabela 2:  
Índice de susceptibilidade térmica =

$$= \frac{(500) (\log \text{PEN}) + (20) (\text{T}^\circ\text{C}) - 1951}{120 - (50) (\log \text{PEN}) + (\text{T}^\circ\text{C})}$$

onde:

(T°C) = ponto de amolecimento

PEN = penetração a 25°C, 100 g, 5 s.

(2) A variação em massa, em porcentagem, é definida como:

$$\Delta M = (M_{\text{inicial}} - M_{\text{final}}) / M_{\text{final}} \times 100$$

onde:

M<sub>inicial</sub> = massa antes do ensaio RTFOT.

(3) A penetração retida é definida como:

$$\text{PEN retida} = (\text{PEN}_{\text{final}} / \text{PEN}_{\text{inicial}}) \times 100$$

onde:

PEN<sub>inicial</sub> = penetração antes do ensaio RTFOT.

PEN<sub>final</sub> = penetração após o ensaio RTFOT.

**Tabela 2 – Especificações para Asfaltos Diluídos de Cura Rápida – Resolução ANP nº 30, de 9 de outubro de 2007 e anexo.**

CARACTERÍSTICA	UNIDADE	LIMITE		MÉTODO	
		CR-70	CR-250	ABNT NBR	ASTM
Água, máx.	% vol	0,2	0,2	14236	D 95
Viscosidade cinemática a 60°C OU Viscosidade Saybolt-Furol (s):	cSt	70-140	250-500	14756	D 2170
- a 50°C	SSF	60-120	-	14950	D 88
- a 60°C	SSF	-	125-250		
Ponto de fulgor, mín.	°C	-	27	5765	D 3143
Destilação até 360°C, % volume total destilado, mín.:				14856	D 402
- a 190°C	% vol	10	-		
- a 225°C	% vol	50	35		
- a 260°C	% vol	70	60		
- a 316°C	% vol	85	80		
- resíduo a 360°C, por diferença, mín.	% vol	55	65		
Viscosidade a 60°C (2)	P	600-2.400	600-2.400	5847	D 2171
Betume, mín. (2)	% massa	99,0	99,0	14855	D 2042
Ductilidade a 25°C, mín. (1) (2)	cm	100	100	6293	D 113

(1) Se a ductilidade obtida a 25°C for menor do que 100 cm, o asfalto diluído estará especificado se a ductilidade a 15,5°C for maior do que 100 cm.

(2) Ensaio realizado no resíduo da destilação.

**Tabela 3 – Especificações para Asfaltos Diluídos de Cura Média – Resolução ANP nº 30, de 9 de outubro de 2007 e anexo.**

CARACTERÍSTICA	UNIDADE	LIMITE		MÉTODO	
		CM-30	CM-70	ABNT NBR	ASTM
Água, máx.	% vol	0,2	0,2	14236	D 95
Viscosidade cinemática a 60°C OU Viscosidade Saybolt-Furol (s):	cSt	30-60	70-140	14756	D 2170
- a 50°C	SSF	75-150	-	14950	D 88
- a 60°C	SSF	-	60-120		
Ponto de fulgor, mín	°C	38	38	5765	D 3143
Destilação até 360°C, % volume total destilado, mín.:				14856	D 402
- a 225°C, máx.	% vol	25	20		
- a 260°C	% vol	40-70	20-60		
- a 316°C	% vol	75-93	65-90		
- resíduo a 360°C, por diferença, mín.	% vol	50	55		
Viscosidade a 60°C (2)	P	300-1.200	300-1.200	5847	D 2171
Betume, mín. (2)	% massa	99,0	99,0	14855	D 2042
Ductilidade a 25°C, mín. (1) (2)	cm	100	100	6293	D 113

(1) Se a ductilidade obtida a 25°C for menor do que 100 cm, o asfalto estará especificado se a ductilidade a 15,5°C for maior do que 100 cm.

(2) Ensaios realizados no resíduo da destilação.

**Tabela 4 – Especificação ANP para Agentes Rejuvenescedores e para Mistura a Quente – Regulamento Técnico DNC nº 4/97, Portaria nº 44, de 29 de setembro de 1997.**

ENSAIOS	MÉTODO DE ENSAIO	AR-1	AR-5	AR-25	AR-75	AR-250	AR-500
VALORES LIMITES		MÍN.-MÁX.	MÍN.-MÁX.	MÍN.-MÁX.	MÍN.-MÁX.	MÍN.-MÁX.	MÍN.-MÁX.
Viscosidade a 60°C, cSt	NBR14756 ou ASTM D 2171	50-175	176-900	901-4.500	4.501-12.500	12.501-37.500	37.501-60.000
Ponto de fulgor, VAC, °C (1)	NBR 5765	218	218	218	218	218	218
Teor de saturados, % massa	ASTM D 2007	30	30	30	30	30	30
Efeito do calor e do ar a 163°C (RTFOT)	ASTM D 2872						
Razão de viscosidade (2)	ou	4	4	4	4	4	4
Varição de massa, %	NBR-15235	4	4	3	3	3	3
Densidade a 20°C/4°C	ABNT MB-587	anotar	anotar	anotar	anotar	anotar	anotar

(1) VAC: Ponto de Fulgor Vaso Aberto Cleveland

(2) Razão de viscosidade =  $\frac{\text{Viscosidade a 60°C após RTFOT ou TFOT}}{\text{Viscosidade a 60°C antes RTFOT ou TFOT}}$



**Tabela 5 – Proposta da Comissão de Asfalto do IBP-ABNT de Especificação de Emulsões Asfálticas para Pavimentação.**

EMULSÕES ASFÁLTICAS PARA PAVIMENTAÇÃO												
CARACTERÍSTICAS	MÉTODO DE ENSAIO (ABNT)	RUPTURA RÁPIDA			RUPTURA MÉDIA		RUPTURA LENTA			RUPTURA CONTROLADA		
		RR-1C	RR-2C	RM-1C	RM-2C	RL-1C	LA-1C	LAN	EAI			
<b>ENSAIOS SOBRE EMULSÃO</b>												
Viscosidade sobre Saybolt-Furol, S, a 25°C	NBR 14491	90 máx.	-	-	-	90 máx.	90 máx.	90 máx.	90 máx.	90 máx.	90 máx.	90 máx.
Viscosidade sobre Saybolt-Furol, S, a 50°C	NBR 14491	-	100-400	20-200	100-400	-	-	-	-	-	-	-
Sedimentação, % em massa, máx.	NBR 6570	5	5	5	5	5	5	5	5	10	5	5
Peneiração, 0,84 mm, % massa, máx.	NBR 14393	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Resistência à água, % de cobertura, mín.	NBR 14249	80	80	80	80	80	80	-	-	-	-	-
Adesividade em agregado miúdo, % mín.	NBR 14757	-	-	-	-	-	-	75	-	-	-	75
Carga de partícula	NBR 6567	positiva	positiva	positiva	positiva	positiva	positiva	positiva	positiva	neutra	-	positiva
pH, máx.	NBR 6299	-	-	-	-	6,5	-	6,5	-	8	-	6,5
Destilação:	NBR 6568	-	-	0-12	0-12	-	-	-	-	0-15	-	-
Solvente destilado, % em vol.	NBR 6568	-	-	0-12	0-12	-	-	-	-	-	-	-
Resíduo seco, % em massa, mín./h	NBR 14376	62	67	62	65	60	60	60	60	45	60	60
Desemulsibilidade, % em massa	NBR 6569	50 mín.	50 mín.	50 máx.	50 máx.	-	-	-	-	-	-	-
Mistura com filler silício, %	NBR 6302	-	-	-	-	2 máx.	1,2-2,0	-	-	-	-	2 mín.
ou mistura com cimento, %	NBR 6297	-	-	-	-	2 máx.	2 máx.	-	-	-	-	2 mín.
<b>Ensaio sobre o resíduo da emulsão obtido pela ABNT NBR 14896</b>												
Penetração a 25°C, 100 g, 5 s, 0,1 mm	NBR 6576	40-150	40-150	40-150	40-150	40-150	40-150	40-150	40-150	40-250	40-150	40-150
Teor de betume, % mín	NBR 14855	97	97	97	97	97	97	97	97	97	97	97
Ductilidade a 25°C, cm, mín.	NBR 6293	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40

**Tabela 6 – Proposta da Comissão de Asfalto do IBP-ABNT de Especificação para Agentes de Reciclagem Emulsionados (ARE)**

CARACTERÍSTICAS	UN.	ESPECIFICAÇÕES								
		ABNT NBR	ASTM D	ARE 1	ARE 5	ARE 25	ARE 75	ARE 250	ARE 500	
<b>ENSAIO SOBRE A EMULSÃO</b>										
Viscosidade Saybolt-Furol, SSF a 25°C	s	14491	244	70 máx.	70 máx.	70 máx.	70 máx.	70 máx.	70 máx.	
Sedimentação	% v	6570	6930	5 máx.	5 máx.	5 máx.	5 máx.	5 máx.	5 máx.	
Peneiração, 0,84 mm	% p	14393	6933	0,1 máx.	0,1 máx.	0,1 máx.	0,1 máx.	0,1 máx.	0,1 máx.	
Carga da partícula	-	6567	244	+	+	+	+	+	+	
Destilação:	Solvente destilado	% v	6568	6997	nula	nula	nula	nula	nula	nula
	Resíduo mínimo	% p	6568	-	60 mín.	60 mín.	60 mín.	60 mín.	60 mín.	60 mín.
<b>ENSAIO SOBRE O RESÍDUO</b>										
Viscosidade cinemática a 60°C	cSt	14756	D 2170	50-175	176-900	901-4500	4501-12500	12501-37500	37501-60000	
Teor de saturado	% p	-	D 2007	30 máx	30 máx	30 máx	30 máx	30 máx	30 máx	
Efeito do calor e do ar a 163°C	Razão de viscosidade	-	14736 ou 15235	D 1754 ou D 2872	4	4	4	4	4	
	Varição de massa	% p	15235	D 2872	4	4	3	3	3	

**Tabela 7 – Proposta da Comissão de Asfalto do IBP-ABNT de Especificação para Asfalto Modificado por Polímeros Elastoméricos (AMP-E)**

CARACTERÍSTICAS	UNIDADE	LIMITE			MÉTODO	
		55/75	60/85	65/90	ABNT NBR	ASTM
<b>GRAU</b>						
Penetração (100 g, 5 s, 25°C)	0,1mm	45-70	45-70	45-70	6576	D 5
Ponto de amolecimento, mín.	°C	55	60	65	6560	D 36
Viscosidade Brookfield	cP				15184	D 4402
- a 135°C, spindle 21, 20 rpm, máx.		3.000	3.000	3.000		
- a 150°C, spindle 21, 50 rpm, máx.		2.000	2.000	2.000		
- a 177°C, spindle 21, 100 rpm, máx.		1.000	1.000	1.000		
Ponto de fulgor, mín.	°C	235	235	235	11341	D 92
Ensaio de separação de fase, máx.	°C	5	5	5	15166	D 7173
Recuperação elástica a 25°C, 20 cm, mín.	%	75	85	90	15086	D 6084
Efeito do calor e do ar (RTFOT) a 163°C, 85 mín.						
Varição em massa, máx. (1) (2)	% massa	1	1	1	15235	D 2872
Varição do ponto de amolecimento, máx. (2)	°C	-5 a +7	-5 a +7	-5 a +7	6560	D 36
Porcentagem de penetração original, mín. (2)	%	60	60	60	6576	D 5
Porcentagem de recuperação elástica original a 25°C, mín. (2)	%	80	80	80	15076	D 6084

(1) A variação em massa, em porcentagem, é definida como:

$$\Delta M = (M_{\text{inicial}} - M_{\text{final}}) / M_{\text{final}} \times 100$$

onde:  $M_{\text{inicial}}$  = massa antes do ensaio RTFOT.

$M_{\text{final}}$  = massa após o ensaio RTFOT.

(2) Ensaio realizado após teste RTFOT.

**Tabela 8 – Especificações de Asfalto Modificado por Borracha Moída de Pneu Industrializado, Tipo “Terminal Blend” – Resolução ANP nº 39, de 24 de dezembro de 2008 e anexo.**

CARACTERÍSTICAS TIPO	UNIDADE	LIMITE		MÉTODO	
		AB8	AB22	ABNT NBR	ASTM
Penetração (100 g, 5 s, 25°C)	0,1 mm	30-70	30-70	6576	D 5
Ponto de amolecimento, mín.	°C	57	55	6560	D 36
Viscosidade Brookfield a 175°C, spindle 3, 20 rpm, máx.	cP	800-2.000	2.200-4.000	15529	D 2196
Ponto de fulgor, mín.	°C	235	235	11341	D 92
Estabilidade à estocagem, máx.	°C	9	9	15166	D 7173
Recuperação elástica a 25°C, 10 cm, mín.	%	55	55	15086	D 6084
Varição em massa do RTFOT, máx.	% massa	100	100	15235	D 2872
<b>ENSAIOS NO RESÍDUO DO RTFOT</b>					
Varição do ponto de amolecimento, máx.	°C	1,0	1,0	6560	D 36
Porcentagem de penetração original, mín.	%	55	55	6576	D 5
Porcentagem de recuperação elástica original (25°C, 10 cm) mín.	%	100	100	15086	D 6084

**Tabela 9 – Especificações para Emulsões Asfálticas Catiônicas Modificadas por Polímeros Elastoméricos – Resolução ANP nº 32, de 14 de outubro de 2009 e anexo.**

CARACTERÍSTICAS	UNIDADE	LIMITE						MÉTODO (1)	
		RUPTURA RÁPIDA		RUPTURA MÉDIA	RUPTURA CONTROLADA	RUPTURA LENTA	ABNT NBR	ASTM	
		RR1C-E	RR2C-E	RM1C-E	RC1C-E	RL1C-E			
<b>ENSAIOS SOBRE A EMULSÃO</b>									
Viscosidade Saybolt-Furol, S, a 50°C	s	70 máx.	100-400	20-200	70 máx.	70 máx.	14491	D 244	
Sedimentação, máx.	% massa	5	5	5	5	5	6570	D 6930	
Peneiração, 0,84 mm, máx.	% massa	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	14393	D 6933	
Resistência à água, mín. de cobertura (2)							6300	D 244	
Agregado seco	%	80	80	80	80	80	6300	D 244	
Agregado úmido	%	80	80	60	60	60	6300	D 244	
Carga de partícula	-	positiva	positiva	positiva	positiva	positiva	6567	D 244	
pH, máx.	-	-	-	-	6,5	6,5	6299	D 244	
Destilação – solvente destilado a 360°C, % vol.	% volume	0 - 3	0 - 3	0-12	0	0	6568	D 244	
Resíduo seco, mín.	% massa	62	67	62	62	60	14376	D 6934	
Desemulsibilidade: mín. máx.	% massa % massa	50 -	50 -	- 50	- -	- -	6569 6569	D 6936 D6936	
<b>ENSAIOS SOBRE O RESÍDUO DA EMULSÃO OBTIDO PELA ABNT NBR 14896</b>									
Penetração a 25°C, 100 g, 5 s	0,1 mm	45-150	45-150	45-150	45-150	45-150	6576	D 5	
Ponto de amolecimento, mín.	°C	50	55	55	55	55	6560	D 36	
Viscosidade Brookfield a 135°C, SP 21, 20 rpm, mín.	cP	550	600	600	600	600	15184	D 4402	
Recuperação elástica a 25°C, 20 cm, mín.	%	65	70	70	70	70	15086	D 6084	

(1) A equivalência das normas NBR e ASTM é parcial, sendo que, preferencialmente, os ensaios devem ser realizados pelas normas NBR.

(2) Se não houver envio de amostra ou informação da natureza do agregado pelo consumidor final, o distribuidor deverá indicar a natureza do agregado usado no ensaio no Certificado de Qualidade.

Para maiores detalhes sobre materiais asfálticos, consultar o *Manual de informações básicas sobre materiais asfálticos* (IBP, 2010).

## 2. Obtenção dos asfaltos de petróleo

Para obtenção do asfalto, determinados tipos de petróleo, previamente selecionados, são submetidos ao processo de destilação nas refinarias da Petrobras, no qual as frações leves (gasolina, querosene, diesel) são separadas do asfalto por vaporização, fracionamento e condensação.

A quantidade de asfalto contida num petróleo é variável de 10% a 80%, em volume e depende de várias características, principalmente da densidade do petróleo, expressa em graus API. Quanto menor o grau API (o grau API é uma escala hidrométrica idealizada pelo **American Petroleum Institute – API**, juntamente com a **National Bureau of Standards** e utilizada para medir a densidade relativa de líquidos), maior o rendimento na produção de asfalto (Figura III.2).

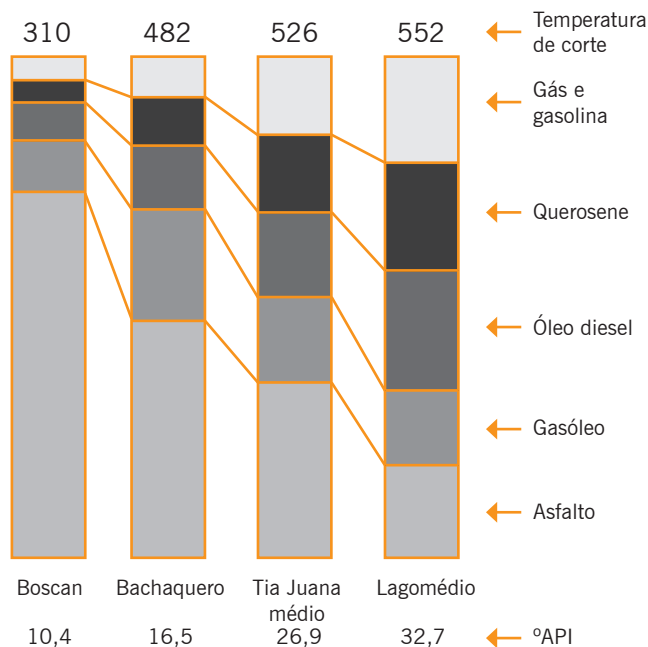


Figura III.2 – Rendimento em CAP de diferentes petróleos

É obtido pela fórmula:

$$^{\circ}\text{API} = (141,5 \div \text{densidade da amostra à temperatura de } 60^{\circ}\text{F}) - 131,5$$

em que a densidade é medida relativamente à densidade da água

A densidade, portanto, pode ser obtida por:

$$\rho = \frac{141,5}{^{\circ}\text{API} + 131,5}$$

Obs.: 60°F correspondem a 15,55°C.

O grau de API permite classificar o petróleo em:

**petróleo leve ou de base parafínica** – possui °API maior que 31,1. Contém, além de alcanos, uma porcentagem de 15% a 25% de cicloalcanos;

**petróleo médio ou de base naftênica** – possui °API entre 22,3 e 31,1. Além de alcanos, contém também de 25% a 30% de hidrocarbonetos aromáticos;

**petróleo pesado ou de base aromática** – possui °API menor que 22,3 e é constituído, praticamente, só de hidrocarbonetos aromáticos;

**petróleo extrapesado** – possui °API menor que 10.

Quanto maior o grau API, maior o valor do produto no mercado.

O petróleo encontrado pela Petrobras no **campo petrolífero de Tupi (bacia de Santos)** em novembro de 2007 foi testado e classificado como 28° API, ao contrário do que é frequentemente dito é do tipo médio e não leve. Um dos motivos para a sua divulgação como leve é a comparação com a média da densidade do petróleo nacional.

Os processos de refinação para obtenção de asfaltos dependem do tipo de petróleo e do rendimento em asfalto que o mesmo apresenta.

Se o petróleo é pesado e apresenta características asfálticas, basta apenas um estágio de destilação a vácuo de alto rendimento para a produção de cimento asfáltico de petróleo (Figura III.3).

Se os petróleos apresentam médio rendimento em asfalto e são do tipo intermediário, o processo empregado é o da destilação em dois estágios: um a pressão atmosférica seguido de outro a vácuo (Figura III.4). Este é o processo de produção mais utilizado nas refinarias uma vez que permite o uso de uma gama bem maior de tipos de petróleos em temperaturas relativamente baixas sob pressão reduzida, evitando-se, assim, o craqueamento do asfalto com a consequente perda de algumas de suas propriedades.

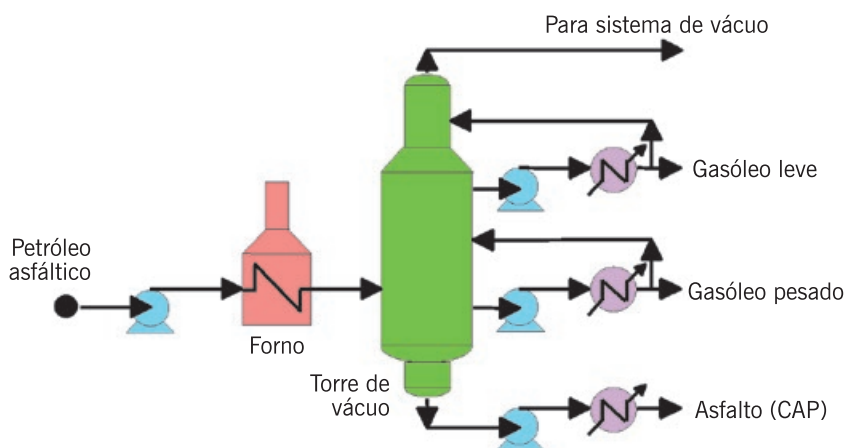


Figura III.3 – Processamento petróleos pesados (asfálticos)

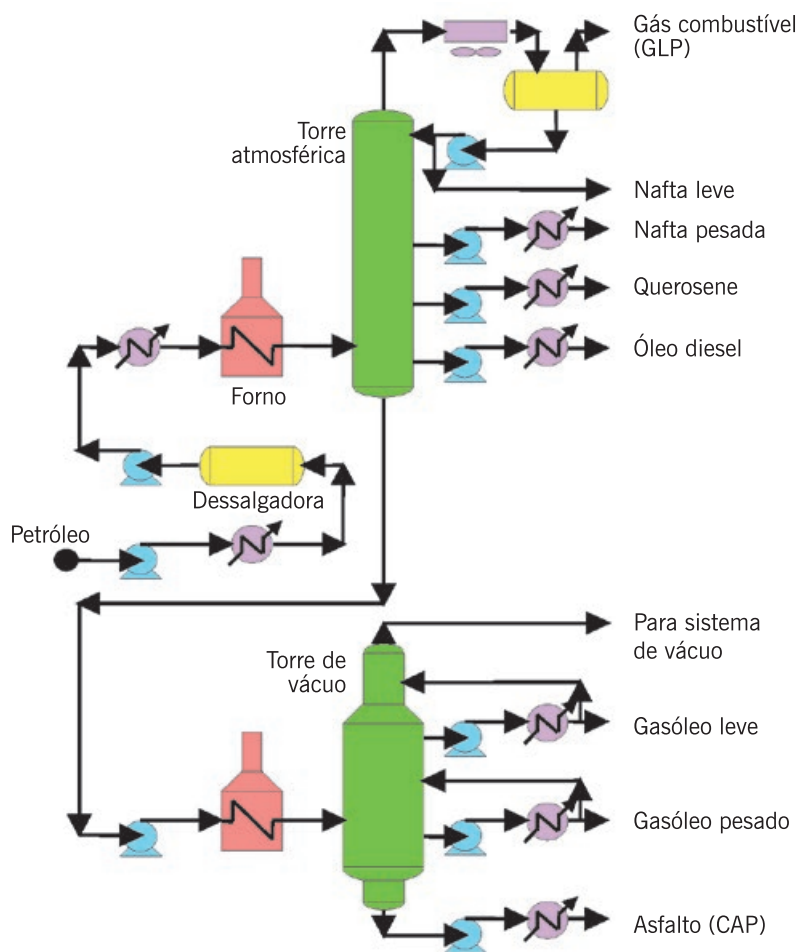


Figura III.4 – Processamento de petróleos médios

Se o petróleo é do tipo intermediário ou leve, inclui-se um processo de extração após o segundo estágio da destilação a vácuo (Figura III.5), denominado de desasfaltação. Essa extração é efetuada com mistura de solventes específicos (propano/butano) a pressão e temperatura controladas. O resíduo da desasfaltação é um produto rico em frações muito pesadas e necessita ser diluído em óleos especiais, com características físico-químicas apropriadas, para o enquadramento nas especificações de CAP.

Na maioria das vezes o CAP é produzido utilizando-se misturas de petróleos, de forma a atender adequadamente ao mercado consumidor dos diversos produtos de petróleo em quantidade e qualidade. O conhecimento das características individuais de cada petróleo permite explorá-las da melhor forma possível pela formulação de misturas de petróleos. Para saber se determinado petróleo ou mistura de petróleos produz CAP de qualidade adequada, efetua-se avaliação de cada petróleo individualmente, quanto à produção de CAP em todos os petróleos processados.

Portanto, o CAP não é um resíduo da indústria de petróleo, uma vez que exige para a sua produção e enquadramento nas especificações brasileiras a seleção de matéria-prima e processos adequados em cada refinaria (IBP, 2010).

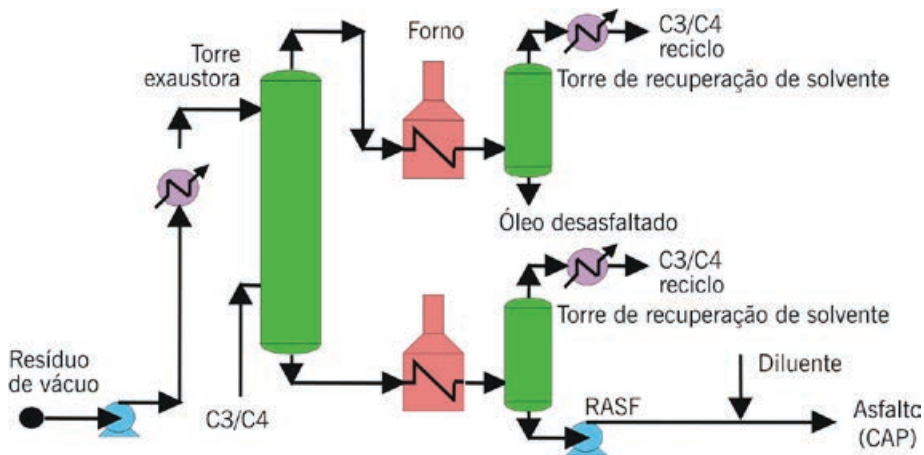


Figura III.5 – Processamento de petróleos intermediários ou leves

### 3. Composição química dos asfaltos de petróleo

Com relação a sua constituição, o asfalto é uma mistura química complexa composta predominantemente por hidrocarbonetos alifáticos e aromáticos não voláteis de elevada massa molecular e uma pequena quantidade de estruturas heterocíclicas contendo grupos funcionais formados por enxofre, nitrogênio e oxigênio.

Os cimentos asfálticos também são caracterizados como sistemas coloidais constituídos pela dispersão de moléculas de asfaltenos em frações maltênicas (óleos saturados, aromáticos e resinas). Os asfaltenos constituem a parte sólida a temperatura ambiente, conferindo rigidez e coloração marrom-escuro ou preta ao CAP. Os maltenos representam a parte oleosa e são os agentes de dispersão, adesão e plasticidade do CAP.

A composição química dos cimentos asfálticos de petróleo (CAPs) varia principalmente em função da origem do petróleo e, em menor grau, do processo empregado em seu refino, do efeito do calor e do ar durante as etapas de produção da mistura asfáltica e ao longo da vida de serviço do pavimento.

A análise elementar de asfaltos provenientes do refino de uma ampla variedade de petróleos mostra que os cimentos asfálticos apresentam em sua composição química básica (Shell, 2003): carbono, 82-88%; hidrogênio, 8-11%; enxofre, 0-6%; oxigênio, 0-1,5% e nitrogênio, 0-1%.

Os cimentos asfálticos também possuem uma pequena quantidade ou traços de metais (ppm – partes por milhão), tais como: vanádio, níquel, ferro, manganês, magnésio, sódio e cálcio que ocorrem na forma de sais inorgânicos e óxidos.



Os constituintes metálicos do asfalto provenientes de várias fontes de petróleo e obtidos através de análise elementar por espectrofotometria de emissão ultravioleta são mostrados na Tabela 10 (Shell, 2003).

**Tabela 10 – Análise Elementar de CAPs Provenientes de Petróleos**

	CARBONO (% P/P)	HIDROGÊNIO (% P/P)	NITROGÊNIO (% P/P)	ENXOFRE (% P/P)	OXIGÊNIO (% P/P)	NÍQUEL (PPM)	VANÁDIO (PPM)
FAIXA MÉDIA	80,2-84,3 82,8	9,8-10,8 10,2	0,2-1,2 0,7	0,9-6,6 3,8	0,4-1,0 0,7	10-139 83	7-1.590 254
	FERRO (PPM)	MANGANÊS (PPM)	CÁLCIO (PPM)	MAGNÉSIO (PPM)	SÓDIO (PPM)	RELAÇÃO H/C	-
FAIXA MÉDIA	5-147 67	0,1-3,7 1,1	1-335 118	1-134 26	6-159 63	1,42-1,50 1,47	-

## 1. Considerações preliminares

Historicamente, pode-se dizer que a Patente de Invenção nº 202021, registrada pelo químico inglês Hugh Alan Mackay em 9 de maio de 1922, marcou o ponto de partida para uma nova geração de ligantes asfálticos que revolucionaram os revestimentos asfálticos rodoviários. Em 1951 a Esso, na França, deu um passo importante na utilização desse produto, quando colocou à disposição do mercado as emulsões catiônicas. A Figura IV.1 apresenta uma aplicação de emulsão asfáltica no início do século passado.



Figura IV.1 – Aplicação de emulsão asfáltica no início do século passado

Existem três formas de liquefazer o cimento asfáltico de petróleo (CAP) para sua utilização: por aquecimento, por solubilização com solventes derivados de petróleo e por dispersão em água. A produção das misturas asfálticas a quente requer aquecimento dos agregados e do cimento asfáltico de petróleo em usinas com aquecedores de óleo térmico, acarretando em maiores custos operacionais e energéticos que, às vezes, ultrapassam os recursos disponíveis. A produção de massa asfáltica a partir de asfaltos diluídos de petróleo (ADP) parte de uma matéria-prima de custo social e financeiro elevado, pois o solvente emana para a atmosfera, gerando problemas de segurança, de meio ambiente e de saúde ocupacional (SMS).

Uma opção versátil encontrada ainda no início do século passado, mas que somente a partir da década de 1950 passou a fazer parte do dia a dia dos técnicos é a emulsão asfáltica produzida a partir da emulsificação do CAP.

Dadas as suas características de manuseio a temperatura ambiente, a versatilidade de emprego na produção de misturas asfálticas e a facilidade de armazenamento fazem com que a emulsão asfáltica se torne uma excelente alternativa para a pavimentação.

As emulsões tiveram um impulso muito grande na Europa a partir da década de 1960. Somente na França, foram construídos mais de 1,3 milhão de km de vias rurais e secundárias com esse material asfáltico.

A produção mundial de emulsão asfáltica em 2006 foi aproximadamente de 8 milhões de toneladas/ano. Na Tabela 11 é apresentado o consumo anual dos principais países produtores.

**Tabela 11 – Produção de Emulsão em 2006 em Alguns Países**

PAÍS	PRODUÇÃO ANUAL EMULSÃO (TON/ANO)
França	977.000
Itália	135.000
Espanha	354.000
UK	150.000
Alemanha	120.000
Irlanda	120.000
<b>Total na Europa</b>	<b>2.533.000</b>
US	2.400.000
México	650.000
<b>Brasil</b>	<b>400.000</b>
Canadá	350.000

Fonte: <http://www.ibef.net/en/statistiques.html>

## 2. O que é emulsão

Uma emulsão pode ser definida como a dispersão de pequenas partículas de um líquido em outro líquido. Assim, a emulsão pode ser formada por dois líquidos não miscíveis onde geralmente a fase contínua é a água. Exemplos típicos de emulsões são: leite, maionese, manteiga, cremes cosméticos etc.

Tomando como exemplo a mistura de querosene e água; a fase querosene não se dissolve na água. No entanto, agitando-se os dois líquidos, é possível que uma das fases se disperse na outra, formando partículas que parecem estar “boiando” na outra fase.

Essa mistura não é estável e, passado um curto período, ocorre a separação das fases, juntando-se as partículas de querosene numa massa uniforme e separada da água.

A Figura IV.2 apresenta, de forma esquemática, querosene disperso em água.

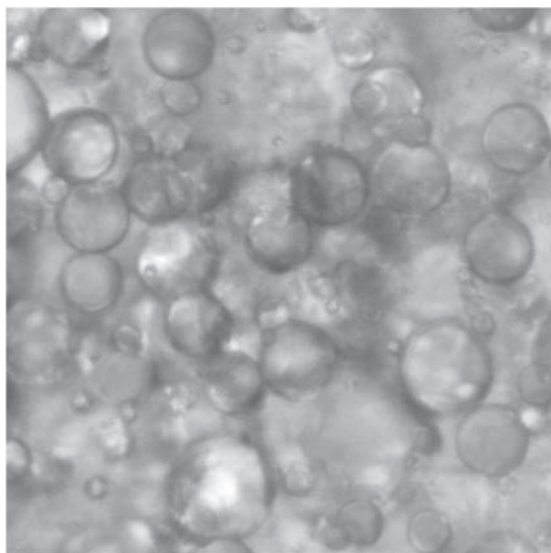


Figura IV.2 – Dispersão de querosene em água

## 2.1. EMULSÕES ASFÁLTICAS

A Asphalt Emulsion Manufacturers Association (AEMA) define emulsão asfáltica como: *“Combinação de três componentes básicos: cimento asfáltico, água e emulsificante. Na emulsificação, esses componentes são introduzidos em um mecanismo conhecido como moinho coloidal, que cisalha o asfalto em pequenos glóbulos. O emulsificante, que é um agente tensoativo, mantém os glóbulos em uma suspensão estável além de conferir estabilidade à ruptura. O resultado é um produto líquido de coloração marrom, com consistência variando entre a água e um creme, sendo usado em processos a frio de construção e manutenção de estradas.”*

As emulsões asfálticas apresentam composição química variável conforme sua utilização. Geralmente são compostas por 30% a 50% de água, 50% a 70% de cimento asfáltico e 0,1% a 2,5% de agentes emulsificantes.

O tamanho dos glóbulos de asfalto dispersos em água depende do moinho empregado e da viscosidade do asfalto original, usualmente entre 1 a 20  $\mu\text{m}$  (0,001 a 0,020 mm) de diâmetro.

Os agentes emulsificantes conferem cargas elétricas, positivas ou negativas, e em alguns casos não conferem ionicidade aos glóbulos de asfalto, servindo como base para a classificação das emulsões quanto à sua carga de partícula. Além dos emulsificantes, outros aditivos podem ser incorporados durante o processo de fabricação e/ou aplicação das emulsões para atender a fins específicos.

As emulsões asfálticas para pavimentação empregadas no Brasil são, predominantemente, do tipo catiônicas em função de seu melhor desempenho no que se refere à compatibilidade com a maioria dos agregados minerais.

O tipo e a concentração dos agentes emulsificantes têm uma relação direta com a estabilidade da emulsão ao bombeamento, ao transporte e ao armazenamento em temperatura ambiente. Essas características devem ser otimizadas durante o processo produtivo para que

o ligante asfáltico conserve sua capacidade adesiva, de resistência à água e de durabilidade após sua aplicação.

A separação entre as fases água e asfalto é conhecida como ruptura da emulsão. O tempo necessário para que ocorra essa separação confere às emulsões características intrínsecas à aplicação no campo, servindo, também como base para a sua classificação quanto à velocidade de ruptura.

## **2.2. EMULSÕES ASFÁLTICAS MODIFICADAS POR POLÍMEROS**

A partir da década de 1970, na Europa e na América do Norte houve um expressivo desenvolvimento dos asfaltos modificados por polímeros para melhorar as propriedades do cimento asfáltico em relação ao intemperismo e às solicitações crescentes de volume e peso dos veículos comerciais.

No Brasil, o uso comercial de asfaltos modificados ocorreu a partir de meados da década de 1990. Os polímeros mais empregados na fabricação de emulsões asfálticas modificadas são os elastoméricos do tipo SBS (copolímero de estireno butadieno) e o SBR (látex de estireno butadieno).

Em relação às emulsões asfálticas convencionais, as emulsões modificadas por polímeros SBS e SBR apresentam, entre outras propriedades, melhor adesão e coesão aos agregados, menor susceptibilidade térmica, maior ponto de amolecimento e resistência ao envelhecimento. Também aumentam a recuperação elástica do ligante asfáltico residual e, conseqüentemente, a flexibilidade e a durabilidade dos revestimentos asfálticos delgados.

Destaca-se que o desenvolvimento das emulsões asfálticas modificadas no país possibilitou o emprego das técnicas de tratamento superficial, pré-misturado a frio e microrrevestimento asfáltico em vias de tráfego intenso com rapidez na sua execução e liberação ao tráfego.

O DNIT desenvolveu em 1998 especificações e normas para asfaltos e emulsões modificadas por polímeros e suas aplicações em pavimentos. O Instituto Brasileiro de Petróleo, Gás e Biocombustíveis (IBP), por meio de sua Comissão de Asfalto, e a Associação Brasileira de Normas Técnicas elaboraram em conjunto com a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) a especificação brasileira de asfalto modificado por polímeros elastoméricos e das emulsões catiônicas modificadas por polímeros elastoméricos.

## **3. Processo de emulsificação**

No processo de emulsificação, é necessário que se promova a quebra do cimento asfáltico (CAP) em partículas micrométricas e que o mesmo fique disperso no meio aquoso.

Para promover esse cisalhamento do CAP é aplicada energia térmica e mecânica, por meio do moinho coloidal, obtendo-se uma emulsão de asfalto em água.

No processo convencional, o cimento asfáltico é aquecido a uma temperatura entre 140° a 145°C e a fase aquosa entre 50° a 60°C, na qual já se encontram previamente

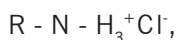
dissolvidos os agentes emulsificantes. A principal finalidade dos emulsificantes é evitar que as partículas de asfalto se aglomerem, mantendo as duas fases em equilíbrio durante um período que pode variar de algumas semanas a alguns meses.

O agente emulsificante é uma substância tensoativa que diminui a energia ou tensão superficial e aumenta a área interfacial entre as fases (asfalto e água), aproximadamente 500 m<sup>2</sup> por litro. Suas moléculas são formadas de uma parte polar carregada positivamente e outra apolar.

A escolha do tipo e da concentração do agente emulsificante determina a carga da partícula e a reatividade da emulsão produzida. O agente emulsificante de uma emulsão asfáltica catiônica é geralmente um sal de amina, que se comporta como uma base fraca.

O agente emulsificante em contato com a superfície do agregado reage quimicamente promovendo a adesividade satisfatória do asfalto residual da emulsão (resistência à ação da água) com praticamente todos os tipos de agregados.

Sua fórmula geral é:



sendo:

R = parte apolar da molécula (cadeia orgânica);

NH<sub>3</sub><sup>+</sup> + Cl<sup>-</sup> = parte polar da molécula.

Na fabricação de emulsão asfáltica modificada por polímero, a adição do polímero pode ser feita previamente no CAP ou na fase aquosa, dependendo do tipo de polímero.

A Figura IV.3 apresenta um esquema simplificado de produção da emulsão asfáltica catiônica.

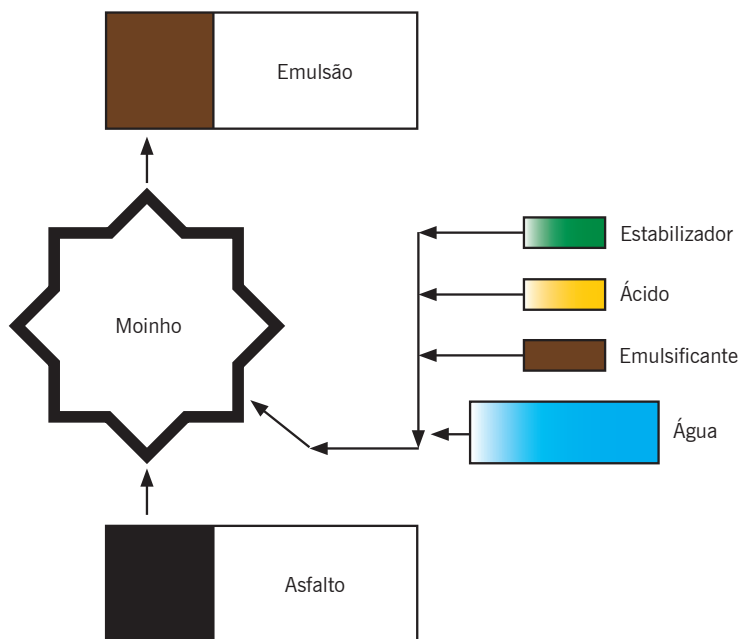


Figura IV.3 – Esquema básico de produção de emulsão asfáltica catiônica

A Figura IV.4 apresenta em detalhe o moinho coloidal onde são produzidas as emulsões asfálticas.



Figura IV.4 – Moinho coloidal

#### 4. Processo de ruptura das emulsões

O processo de ruptura ocorre quando os glóbulos de asfalto da emulsão dispersos na água entram em contato com o agregado mineral. A velocidade em que ocorre a separação e a evaporação da água depende: do tipo de emulsão, reatividade/superfície específica dos agregados, teor de umidade dos mesmos, das temperaturas dos materiais e ambiente e da ação mecânica de compactação.

O sinal de ruptura é dado pela mudança de cor da emulsão, que passa de marrom para preta. Ocorre então a adsorção de uma película sobre o material pétreo pela reconstituição do asfalto residual, independentemente do agregado estar seco ou úmido, com a consequente evaporação da água de dispersão.

Nas emulsões catiônicas o processo de ruptura se dá principalmente por reação química de atração eletrostática entre o emulsificante e o agregado e nas emulsões aniônicas e não iônicas, pela evaporação da água.

O tempo de ruptura e cura das emulsões durante sua aplicação dependerá da técnica e dos materiais empregados, bem como, das condições ambientais.

As Figuras IV.5 a IV.7 representam, de forma esquemática, o efeito de ruptura da emulsão catiônica quando em contato com o agregado.

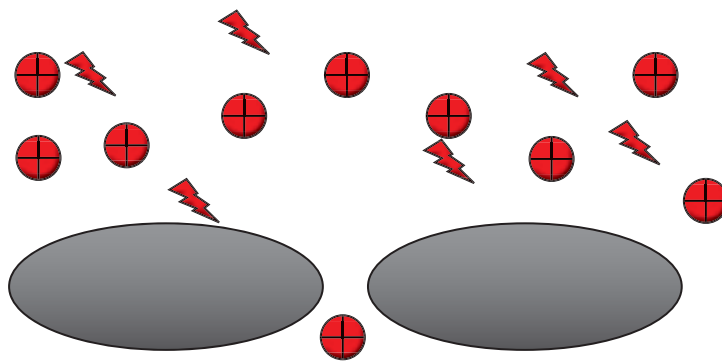


Figura IV.5 – A emulsão entra em contato com o agregado

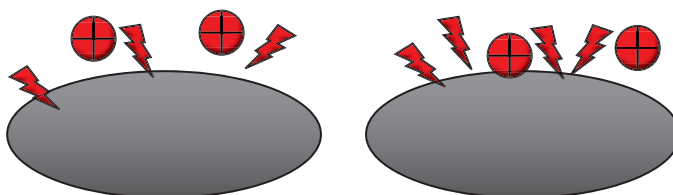


Figura IV.6 – Adsorção do agente emulsificante livre e atração das partículas de asfalto

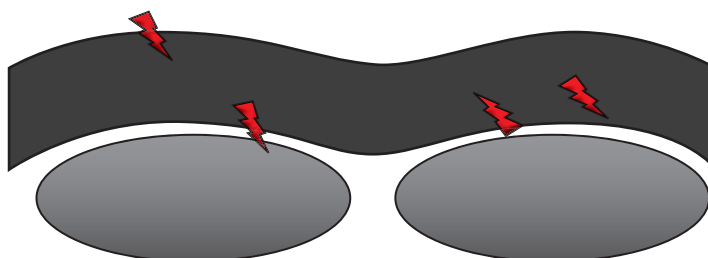


Figura IV.7 – Formação do filme de asfalto sobre o agregado



## 5. Principais vantagens das emulsões catiônicas

- a) Resultam em uma maior economia de energia, praticamente empregada sem necessidade de aquecimento.
- b) Apresentam excelente afinidade com todos os tipos de agregados eliminando o uso de aditivos melhoradores de adesividade (dope), normalmente empregados para melhorar a adesividade do cimento asfáltico de petróleo (CAP) em misturas a quente com agregados.
- c) Possibilitam a utilização de agregados úmidos evitando a necessidade de combustíveis para sua secagem.
- d) Permitem estocagem a temperatura ambiente em instalações simples que não requerem fonte de aquecimento, combustíveis derivados de petróleo e isolamento térmico.
- e) Eliminam os riscos de incêndio e explosões, uma vez que não são utilizados solventes de petróleo em seu emprego.
- f) Evitam os riscos de acidentes por queimaduras.
- g) Não geram vapores tóxicos e poluentes mitigando impactos ao meio ambiente e à saúde ocupacional dos trabalhadores e da população lindeira às obras.
- h) Instalações industriais (usinas) possibilitam a produção de grandes volumes de misturas em equipamentos de baixo custo de aquisição e manutenção, bem como, fácil operação/distribuição, resultando em menores custos em relação às misturas a quente.
- i) A utilização de emulsões modificadas por polímeros tem possibilitado o uso de serviços asfálticos em vias de alto tráfego, melhorando as condições de segurança e de desempenho dos pavimentos frente às ações do tráfego e do clima.

## 6. Denominação e classificação das emulsões

As principais propriedades das emulsões estão relacionadas ao tempo necessário para que ocorra a separação entre a fase aquosa e a fase asfalto (ruptura), ao teor de asfalto contido nas mesmas e a sua carga iônica. A viscosidade da emulsão tem relação direta com seu teor de asfalto.

A emulsão asfáltica é considerada rápida, designada pela letra R, quando sua ruptura ocorre imediatamente após seu contato com agregados limpos de baixa área superficial, por exemplo, brita utilizada em tratamento superficial.

Ruptura média, designada pela letra M, quando esse tempo de exposição é maior que o anterior, permitindo a mistura da emulsão com agregados isentos, praticamente, de pó e de baixa área superficial, por exemplo, britas utilizadas em pré-misturados abertos.

A emulsão é considerada lenta, designada pela letra L, quando o tempo de ruptura é maior em relação aos dois tipos anteriores, podendo ser misturada com agregados de elevada área superficial, por exemplo, agregado miúdo, principalmente, pó de pedra e fíler utilizados em pré-misturados densos.

A emulsão é de ruptura controlada, designada pela letra C, quando sua reatividade é intermediária, entre a emulsão RM e a RL e não necessita do teste de mistura com

cimento ou com fíler silícico para caracterizá-la, por exemplo, agregado miúdo, principalmente, pó de pedra e fíler utilizados em lama asfáltica de ruptura controlada e microrrevestimento asfáltico.

De acordo com a Proposta de Especificação da Comissão de Asfalto do IBP-ABNT, em substituição à Resolução CNP nº 07/88 – Sessão Ordinária de 6/9/88 e ABNT 14594/2000 as emulsões asfálticas para pavimentação podem ser classificadas quanto ao tipo de carga da partícula ou quanto ao tempo de ruptura.

Quanto à carga da partícula classificam-se em:

- catiônicas;
- aniônicas;
- neutras;
- anfotéricas.

Quanto ao tempo de ruptura classificam-se em:

- RR – ruptura rápida;
- RM – ruptura média;
- RL – ruptura lenta;
- RC – ruptura controlada.

Dependendo da quantidade de cimento asfáltico envolvido na fabricação das emulsões, elas podem se classificar em 1C e 2C, onde a terminologia C indica emulsão do tipo catiônica e os números 1 e 2 estão associados a menor e maior viscosidade/teor de asfalto, respectivamente.

As emulsões para lama asfáltica são classificadas em três tipos: LA-1C, LAN e LARC, onde a terminologia N significa carga de partícula neutra e RC significa ruptura controlada. Na mesma proposição foi incluída a emulsão asfáltica para imprimação (EAI), cujas características são apresentadas na Tabela 4 do capítulo III. No mesmo capítulo são apresentadas as tabelas com a classificação proposta pela Comissão de Asfalto do IBP para os agentes rejuvenescedores emulsionados, bem como o Regulamento Técnico da ANP aplicado às emulsões asfálticas catiônicas modificadas por polímeros elastoméricos.

Os ligantes residuais das emulsões com polímeros elastoméricos SBS e SBR apresentam vantagens em relação aos resíduos asfálticos das emulsões convencionais, a saber:

- menor susceptibilidade térmica tanto a alta quanto a baixa temperatura;
- maior coesão interna que se transmite à mistura asfáltica ou a tratamentos de superfície;
- maior elasticidade, praticamente inexistente nos resíduos asfálticos das emulsões convencionais;
- maior adesividade aos agregados;
- maior resistência ao envelhecimento em serviço.

Essas características são fundamentais para as técnicas a frio. Por exemplo, uma melhoria na coesão é importante para compensar a presença inicial de água durante o período de cura da mistura asfáltica. Esse efeito se mostra fundamental nas lamas asfálticas com polímero e nos microrrevestimentos, onde a espessura do revestimento é de alguns milímetros e nos tratamentos superficiais onde os esforços tangenciais e de impacto aos agregados são muito elevados.

Pode se resumir a classificação das emulsões asfálticas nos seguintes tipos e aplicações:

- **RR-1C** – emulsão asfáltica catiônica de ruptura rápida, que apresenta, no mínimo, 62% de teor de ligante asfáltico, desemulsibilidade não inferior a 50% e viscosidade Saybolt-Furol a 25°C no máximo de 90 segundos, ou seja, apresenta baixa consistência. Essa emulsão é recomendada para serviços de pintura de ligação entre as camadas do pavimento;
- **RR-2C** – emulsão asfáltica catiônica de ruptura rápida, que apresenta, no mínimo, 67% de ligante asfáltico, desemulsibilidade não inferior a 50% e viscosidade Saybolt-Furol a 50°C entre 100 e 400 segundos, ou seja, apresenta alta consistência. Seu maior campo de aplicação: tratamentos superficiais e macadame betuminoso por penetração;
- **RM-1C** – emulsão asfáltica catiônica de ruptura média, que apresenta, no mínimo, 62% de ligante asfáltico, desemulsibilidade no máximo de 50%, teor de solvente destilado no máximo de 12% e viscosidade Saybolt-Furol a 50°C entre 20 e 200 segundos. Seu maior campo de aplicação: pré-misturado a frio (PMF) e areia asfalto a frio;
- **RM-2C** – emulsão asfáltica catiônica de ruptura média, que apresenta, no mínimo, 65% de ligante asfáltico, desemulsibilidade no máximo de 50%, teor de solvente destilado no máximo de 12% e viscosidade Saybolt-Furol a 50°C entre 100 e 400 segundos, ou seja, alta consistência. Seu maior campo de aplicação: pré-misturado a frio (PMF) e areia asfalto a frio;
- **RL-1C** – emulsão asfáltica catiônica de ruptura lenta, que apresenta, no mínimo, 60% de ligante asfáltico, não apresenta solvente em sua composição e viscosidade Saybolt-Furol a 25°C no máximo de 90 segundos, ou seja, baixa consistência. Não se faz o ensaio de desemulsibilidade para caracterizá-la e sim o teste de mistura com cimento ou com fíler silícico, dependendo do agregado mineral que for usado. Seu maior campo de aplicação: pré-misturado a frio (PMF) denso, areia asfalto a frio e estabilização solo emulsão;
- **LA-1C** – emulsão asfáltica catiônica para lama asfáltica, que apresenta, no mínimo, 60% de ligante asfáltico e viscosidade Saybolt-Furol a 25°C no máximo de 90 segundos, ou seja, baixa consistência. A especificação da LA-1C apresenta limite máximo de 2% no ensaio de mistura com cimento e limites entre 1,2% a 2% no ensaio com fíler silícico. Seu campo de aplicação são os serviços de lama asfáltica;
- **LAN** – emulsão asfáltica neutra para lama asfáltica, que apresenta, no mínimo, 60% de ligante asfáltico e viscosidade Saybolt-Furol a 25°C no máximo de 90 segundos, ou seja, baixa consistência. Os ensaios de mistura com fíler silícico ou mistura com

cimento não são aplicáveis para esse tipo de emulsão. Seu campo de aplicação são os serviços de lama asfáltica;

- **EAI** – emulsão asfáltica para imprimação que apresenta, no mínimo, 45% de ligante asfáltico, teor de solvente de no máximo 15% em sua composição e viscosidade Saybolt-Furol a 25°C no máximo de 90 segundos, ou seja, baixa consistência. Os ensaios de carga de partícula, mistura com fíler silícico ou mistura com cimento não são aplicáveis para esse tipo de emulsão. Essa emulsão é especialmente utilizada para serviços de imprimação de bases;
- **LARC** – emulsão asfáltica catiônica para lama asfáltica, que apresenta, no mínimo 60% de ligante asfáltico e viscosidade Saybolt-Furol a 25°C no máximo de 90 segundos, ou seja, baixa consistência. A especificação da LARC apresenta limite mínimo de 2% no ensaio de mistura com fíler silícico ou mistura com cimento. Essa emulsão é especialmente usada em serviços de lama asfáltica de ruptura controlada;
- **RR1C-E** – emulsão asfáltica catiônica ruptura rápida modificada por polímeros elastoméricos, que apresenta, no mínimo, 62% de ligante asfáltico, desemulsibilidade não inferior a 50% e viscosidade Saybolt-Furol a 50°C máxima de 70 segundos, ou seja, baixa consistência. O resíduo da emulsão, entre outras características, deve apresentar ponto de amolecimento mínimo de 50°C e recuperação elástica a 25°C mínima de 65%. Seu maior campo de aplicação: essa emulsão é especialmente indicada para serviços de pintura de ligação entre as camadas do pavimento;
- **RR2C-E** – emulsão asfáltica catiônica de ruptura rápida modificada por polímeros elastoméricos que apresenta, no mínimo, 67% de resíduo seco, desemulsibilidade não inferior a 50% e viscosidade Saybolt-Furol a 50°C entre 100 e 400 segundos, ou seja, alta consistência. O resíduo da emulsão, entre outras características, deve apresentar ponto de amolecimento mínimo de 55°C e recuperação elástica a 25°C mínima de 70%. Seu maior campo de aplicação: tratamentos superficiais e macadame betuminoso por penetração;
- **RM1C-E** – emulsão asfáltica catiônica de ruptura média modificada por polímeros elastoméricos, que apresenta, no mínimo, 62% de ligante asfáltico, desemulsibilidade no máximo de 50%, teor de solvente destilado no máximo de 12% e viscosidade Saybolt-Furol a 50°C entre 20 e 200 segundos, ou seja, baixa consistência. O resíduo da emulsão, entre outras características, deve apresentar ponto de amolecimento mínimo de 55°C e recuperação elástica a 25°C mínima de 70%. Essa emulsão destina-se para aplicação em serviços de pré-misturados a frio (PMF);
- **RC1C-E** – emulsão asfáltica catiônica de ruptura controlada modificada por polímeros elastoméricos, que apresenta, no mínimo, 62% de ligante asfáltico, não tem solvente em sua composição e viscosidade Saybolt-Furol a 50°C no máximo de 70 segundos, ou seja, baixa consistência. Não se faz o ensaio de desemulsibilidade nem o teste de mistura com cimento ou com fíler silícico para caracterizá-la. O resíduo da emulsão, entre outras características, deve apresentar ponto de amolecimento mínimo de 55°C e recuperação elástica a 25°C mínima de 70%. Seu maior campo de aplicação: microrrevestimento asfáltico a frio;
- **RL1C-E** – emulsão asfáltica catiônica de ruptura lenta modificada por polímeros elastoméricos que apresenta, no mínimo, 60% de ligante asfáltico, não tem solvente em

sua composição e viscosidade Saybolt-Furol a 50°C no máximo de 70 segundos, ou seja, baixa consistência. Não se faz o ensaio de desemulsibilidade e nem o teste de mistura com cimento ou com fíler silícico para caracterizá-la. O resíduo da emulsão, entre outras características, deve apresentar ponto de amolecimento mínimo de 55°C e recuperação elástica a 25°C mínima de 70%. Seu maior campo de aplicação: pré-misturado a frio (PMF) denso;

- **Agente rejuvenecedor emulsionado (emulsões para reciclagem a frio)** – são agentes rejuvenecedores emulsionados catiônicos (com exceção do ARE-1, sobre o qual não se aplica o ensaio de carga de partícula), com, no mínimo, 60% de agentes rejuvenecedores, e viscosidade SSF (25°C) no máximo de 70 segundos. Seu emprego é na reciclagem a frio dos revestimentos asfálticos para recuperar as características físico-químicas originais do ligante asfáltico e formuladas de acordo com o projeto, específico para cada obra.

## 7. Aplicação das emulsões em pavimentação

As emulsões asfálticas possibilitam a execução de praticamente todas as camadas asfálticas existentes numa estrutura de pavimento, desde a execução de pavimentos novos, até a construção de camadas destinadas à recuperação e ao rejuvenescimento da camada de rolamento.

A escolha do tipo adequado de emulsão para determinada aplicação consiste basicamente em combinar a reatividade da emulsão com a reatividade do agregado e as condições ambientais. Por exemplo, em temperatura ambiente elevada há a aceleração das reações físico-químicas de ruptura e cura do processo que, portanto, demanda emulsões de menor reatividade.

A Figura IV.8 apresenta as principais aplicações das emulsões asfálticas em pavimentação. A Tabela 12 apresenta sugestões para o emprego de emulsões em serviços asfálticos.



Figura IV.8 – Principais aplicações das emulsões asfálticas

**Tabela 12 – Sugestões para Emprego de Materiais Asfálticos em Pavimentação**

CARACTERÍSTICAS	EMULSÕES ASFÁLTICAS														ARES <sup>1</sup>
	CONVENCIONAIS							ELASTOMÉRICAS							
	RUPTURA RÁPIDA		RUPTURA MÉDIA		RUPTURA LENTA			RUPTURA CONTROLADA	RUPTURA RÁPIDA		RUPTURA MÉDIA	RUPTURA CONTROLADA	RUPTURA LENTA		
RR-1C	RR-2C	RM-1C	RM-2C	RL-1C	LA-1C	LAN	EA I	LA-RC	RR1C-E	RR2C-E	RM1C-E	RC1C-E	RL1C-E		
Imprimação							x								
Pintura de Ligação	x								x						
TSS		x								x					
TSD		x								x					
TST		x								x					
Macadame Betuminoso		x								x					
PMF Aberto			x								x				
PMF Denso							x						x		
Areia Asfalto à Frio			x				x				x		x		
Mistura na Estrada							x								
Microrevestimento												x			
Solo-Emulsão							x								
Lama Asfáltica								x							
SAM/SAMI													x		
Reciclagem à Frio															

(1) ARE = Agente de reciclagem emulsificado.

## 8. Transporte, estocagem e manuseio das emulsões

As emulsões asfálticas são transportadas, normalmente, das fábricas ou depósito de estocagem até o canteiro de obras. São basicamente fornecidas a granel, transportadas por carretas apropriadas cujos reservatórios variam de 10 a 30 toneladas.

As formas dos reservatórios são cilíndricas ou elípticas e dispõem no seu interior de divisões transversais chamadas “quebra-ondas” que reduzem a velocidade de agitação da emulsão asfáltica.

O caminhão-tanque que transporta a emulsão deverá ser inspecionado antes do carregamento para verificar a existência de impurezas ou lastro no seu interior. Em caso positivo, deverá ser limpo e vaporizado.

Deve ser observado o enchimento do caminhão-tanque até a carga plena o que evita uma agitação maior do produto durante o transporte, preservando dessa forma as suas características físico-químicas de fabricação (viscosidade, resíduo asfáltico, sedimentação etc.).

As emulsões corretamente fabricadas e estocadas podem durar alguns meses sem nenhum dano. As formas de armazenamento são responsáveis por muitos insucessos na aplicação das emulsões asfálticas.

A decantação provoca um aumento na concentração de asfalto no fundo em relação ao topo do depósito de armazenamento, porém esse fenômeno é reversível e, dependendo do tempo de estocagem, não acarreta a floculação ou ruptura da emulsão. Todavia ela ocorre ao longo do tempo devendo-se prever a agitação do ligante como forma de evitá-la. Os meios de agitação podem ser manuais ou mecânicos. Quando realizada com bombas, deve-se evitar a sucção e a descarga no mesmo nível do tanque preferindo realizar a transferência de um depósito para outro, podendo este ser o próprio caminhão espargidor.

Uma nata ou casca espessa também pode aparecer na superfície da emulsão quando ela é exposta ao ar após longo período de armazenamento. Uma forma de evitar a sua formação é garantir que a mangueira de descarga da emulsão no tanque esteja próxima ao fundo deste. Isso evitará que a emulsão espume e venha a formar a casca, que pode dificultar o seu uso. Entretanto, uma fina película de asfalto que se forma na superfície do tanque com o tempo de estocagem não apresenta inconvenientes, pelo contrário, tem a vantagem de proteger o ligante do contato com o ar.

O mais indicado é o armazenamento em tanques verticais altos, que minimizam a área de exposição ao ar. Os tanques fixos geralmente são verticais enquanto os tanques horizontais são utilizados em armazenamentos temporários e breves. Recomenda-se a manutenção dos tanques horizontais cheios e agitação mecânica ou manual da emulsão (remo de madeira), a cada 5 dias de estocagem para evitar o fenômeno da decantação, a formação de casca e, conseqüentemente, o entupimento de válvulas e bombas.

Se possível instalar agitador de costado no tanque, pois reduz a formação excessiva de casca, mantendo a emulsão sempre homogênea. Estes devem ser instalados a 1 metro acima do fundo do tanque. As hélices devem ser de grande diâmetro e a rotação deve ser baixa. Deve-se evitar a agitação excessiva. Outra opção é a recirculação do produto do topo para o fundo. Essa operação, quando feita por bombas de engrenagem, não deve exceder a 45 minutos para evitar as quedas de viscosidade originadas pelo bombeamento e também pela introdução de ar que pode ocasionar a ruptura da emulsão.

Os principais cuidados a serem observados, com o intuito de preservar a qualidade (ruptura/contaminação), segurança, meio ambiente e saúde (SMS) relativos à emulsão asfáltica, são:

- ✓ Estocar a emulsão no intervalo de temperatura entre 10° e 75°C, dependendo do tipo de emulsão;
- ✓ Armazenar na temperatura apropriada para cada tipo e aplicação, conforme Tabela 13;
- ⊘ Não aquecer a emulsão além de 75°C. Temperatura muito elevada evapora a água, altera a característica da emulsão, podendo rompê-la;
- ⊘ Não manter a temperatura da emulsão abaixo de 4°C. Nessa temperatura é iniciado o processo de cristalização da água e de ruptura da emulsão por congelamento;
- ⊘ Não deixar a boca de visita do tanque aberta;
- ⊘ Não deixar que a temperatura da superfície de aquecimento ultrapasse 100°C. Isso fará a emulsão romper sobre essa superfície;
- ⊘ Não soprar por longo tempo a emulsão a fim de agitá-la. Isso pode levar à ruptura da emulsão;
- ⊘ Não diluir a emulsão (recortar em água) nem retornar com a emulsão diluída para o tanque de armazenamento. Se extremamente necessário sugere-se um teste prévio entre a emulsão e a água antes de proceder ao recorte que deverá ser realizado exclusivamente no caminhão espargidor. A água deverá ser adicionada lentamente sobre a emulsão (nunca emulsão à água);
- ✓ Quando aquecer uma emulsão asfáltica, manter sob agitação branda ou circular o produto a fim de minimizar a formação de casca e surgimento de camadas com temperaturas distintas;
- ✓ Esgotar as linhas e deixar os drenos abertos enquanto não estiverem em uso;
- ✓ Usar bombas com abertura de rotor apropriado para emulsões asfálticas. Abertura muito pequena pode romper parcialmente a emulsão;
- ✓ Aquecer a bomba em torno de 65°C antes do início do bombeio;
- ✓ Se possível evitar bombeio repetido e recirculação. Isso poderá provocar queda de viscosidade e oclusão de bolhas de ar, tornando a emulsão instável;
- ✓ Colocar linhas submersas e linha de retorno posicionada no fundo do tanque a fim de evitar formação de espuma;
- ✓ Realizar a sucção a partir do fundo a fim de evitar contaminação com a casca que possa ter sido formada;
- ✓ Lembrar que mesmo emulsões nominalmente do mesmo tipo podem ser diferentes em termos químicos e/ou de desempenho;
- ✓ Transportar emulsões em carretas que contenham tanques dotados de quebra-on-das, preservando, ao máximo, as características originais da emulsão;
- ✓ Recircular as emulsões que tiveram longo tempo de estocagem (acima de 5 dias);
- ⊘ Não misturar diferentes tipos de emulsões em tanques de armazenamento, carretas ou espargidores;
- ⊘ Não aquecer em demasia as carcaças das bombas, pois estas podem danificar-se;
- ⊘ Não adicionar emulsão em tanques, carretas, caminhões espargidores contendo lastro de materiais incompatíveis;



- ⊘ Nunca expor a emulsão ao ar ou à chama direta, calor ou oxidantes fortes. Usar sistema de aquecimento por fluido térmico e ventilação adequado sempre com a circulação da emulsão dentro do tanque de armazenamento;
- ⊘ Não descarregar a emulsão no tanque de armazenamento com a mangueira longe do fundo;
- ⊘ Não respirar gases, vapores ou fumaça. Consultar FISPQ para correta utilização de EPIs.
- ✓ Consultar a Ficha de Informação de Segurança do Produto Químico (FISPQ) para detalhes referentes a segurança, meio ambiente e saúde (SMS);
- ✓ Em caso de dúvida consultar sempre o Departamento Técnico do fornecedor do produto.

**Tabela 13 – Temperaturas de Armazenamento para as Emulsões Asfálticas**

TIPO DE EMULSÃO	TEMPERATURA (°C)	
	MÍNIMO	MÁXIMO
Emulsões asfálticas de ruptura rápida e média convencionais e elastoméricas	10	75
Emulsões asfálticas de ruptura lenta e controlada convencionais e elastoméricas	10	45
Emulsões para imprimação, lama asfáltica convencional e controlada	10	45



# Imprimação com emulsões asfálticas

## 1. Condições preliminares

Os serviços de imprimação consistem na aplicação de material betuminoso sobre uma superfície de base granular concluída, antes da execução de um revestimento betuminoso qualquer, objetivando conferir coesão superficial, impermeabilizar e permitir condições de aderência entre a superfície e o revestimento a ser executado.

O serviço de imprimação pode ser realizado com o emprego de emulsão asfáltica especialmente formulada para essa finalidade (EAI) sendo uma alternativa em substituição aos asfaltos diluídos de cura média (CM-30 e CM-70) normalmente utilizados.

Entre outras vantagens, a emulsão tipo EAI apresenta maior ponto de fulgor e menor emissão de vapores (VOCs) em relação ao CM-30 (mitigação dos riscos à segurança, ao meio ambiente e à saúde (SMS), bem como menor tempo de cura (máximo 48 h), dependendo da textura da base e condições climáticas da obra.

## 2. Campo de aplicação

Os serviços de imprimação são executados sobre bases isentas de material pulverulento, por espargimento de ligante asfáltico com poder impermeabilizante e que atenda duas condições básicas: baixa viscosidade para melhorar seu poder de penetração e tempo de cura satisfatório.

## 3. Taxas de aplicação

O serviço de imprimação com a utilização de emulsão asfáltica tipo EAI deve ter sua taxa de aplicação aferida em campo em função das condições de textura da base e climáticas. Para fins de orientação, pode-se considerar a taxa entre 1,0 l/m<sup>2</sup> a 1,2 l/m<sup>2</sup>. A Figura V.1 e V.2 mostram a aplicação e a Figura V.3 apresenta a textura da base imprimada após 48 h.



Figura V.1 – Aplicação da emulsão tipo EAI

Foto: Akzo-Nobel



(a) aplicação da EAI sobre base granular  
Figura V.2 – Serviço de imprimação com EAI



(b) detalhe da textura da base sendo imprimada

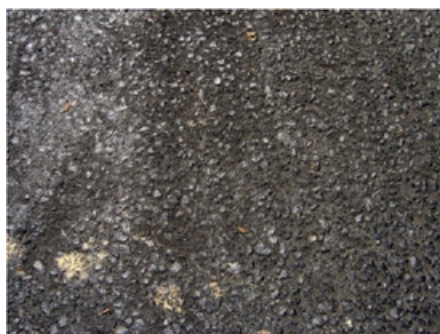


Figura V.3 – Textura da base imprimada após 48 horas

## 1. Considerações preliminares

A estrutura de um pavimento flexível deve funcionar de forma monolítica, ou seja, as camadas devem estar ligadas entre si permitindo que o sistema interaja e responda aos esforços solicitantes de forma conjunta. Assim, se uma camada apresenta menor resistência que a outra se deforma, porém, como está unida a outra camada mais resistente, esta deverá contribuir para suportar uma parcela maior dos esforços. Com a aderência, as camadas passam a ter um comportamento de material monolítico fazendo com que os esforços aos quais o revestimento sozinho sucumbiria, sejam assimilados pelas camadas subjacentes.

A existência de aderência entre as diversas camadas é essencial para promover 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.

## 2. Definição

A pintura de ligação consiste na aplicação de emulsão asfáltica catiônica, conforme indicação de projeto, sobre base coesiva ou pavimento a ser restaurado, objetivando promover condições de aderência entre as camadas.

## 3. Campo de aplicação

É aplicável em camadas de base devidamente imprimadas que tenham recebido ação de tráfego, em camadas de ligação de duas ou mais camadas asfálticas na construção de pavimentos flexíveis e, ainda, sobre antigos revestimentos asfálticos, previamente à execução de um reforço, recapeamento e rejuvenescimento superficial com lama asfáltica, microrrevestimento e reperfilagens com misturas asfálticas a frio ou a quente.

## 4. Materiais e execução – generalidades

A adesão entre as camadas se dá devido à característica intrínseca do ligante asfáltico. O agente de ligação indicado é a **emulsão asfáltica catiônica**. Atualmente, a emulsão de ruptura rápida tipo RR-1C é formulada para essa finalidade e pronta para uso, dispensando a operação de diluição em campo. Tradicionalmente costumava-se proceder sua diluição no caminhão espargidor para a execução do serviço de pintura de ligação. Dependendo da qualidade e quantidade de água utilizada era identificada a ruptura prematura da emulsão durante seu emprego. Além disso, emulsões diluídas são quimicamente instáveis à estocagem e, obrigatoriamente, devem ser utilizadas imediatamente após sua diluição.

A pintura deve ser aplicada de maneira uniforme na taxa recomendada. O excesso de ligante reduz sua capacidade adesiva provocando defeitos tais como: **exsudação e escorregamento entre as camadas asfálticas**.

A aspersão da emulsão pode ser realizada de duas formas distintas:

a) através de barra espargidora, que garantirá uma distribuição homogênea e em condições de ser aferida, conforme apresentado na Figura VI.1;



Figura VI.1 – Detalhe da barra espargidora

b) com auxílio de uma ponteira denominada **“caneta”**. Esta técnica não garante uma aplicação homogênea nem precisão na taxa aplicada sendo indicada somente para regiões de difícil acesso ou para pequenas correções, conforme apresentado na Figura VI.2.



Figura VI.2 – Aplicação de pintura de ligação com caneta espargidora

O veículo recomendado para a aplicação da **pintura de ligação** é um caminhão-tanque com dispositivo para que a emulsão asfáltica seja lançada com bomba de engrenagens pela barra espargidora. No meio técnico é conhecido como caminhão espargidor ou **“burro preto”**.

A barra espargidora é acoplada na traseira do caminhão-tanque ou, então, na parte posterior de uma carreta provida de tanque. A aplicação se dá com o movimento do veículo em velocidade constante de forma a manter uma trajetória contínua e distribuição uniforme da emulsão ao longo da via.

Nem sempre as prefeituras, ou mesmo construtoras, podem dispor de um caminhão espargidor como mostrado na Figura VI.3. Nesse caso, é possível utilizar um pequeno reboque provido de um tanque com dispositivo para bombear a emulsão.



Figura VI.3 – Aplicações de pintura de ligação com caminhão espargidor

Quando a utilização de equipamento provido de ponteira ou “caneta” for necessária, deve-se orientar o operador para que faça a aplicação de maneira uniforme.

Normalmente, a melhor forma de aplicar a pintura é mover a “caneta” em torno do operador em movimentos semicirculares com largura de, aproximadamente, 2 m a 2,5 m. A cada passada, deve-se recobrir  $\frac{1}{3}$  da passada anterior para evitar falhas de aplicação.

A aplicação deve ser feita de tal forma que, visualmente, a camada inferior fique perfeitamente recoberta pela pintura, não permanecendo manchas na superfície e nem excesso de emulsão. Deve-se espargir o ligante no sentido contrário ao vento, e delimitar a área de aplicação, na extremidade inicial e final, com a colocação de faixas de papel não poroso, transversalmente à pista, para evitar excesso de ligante nesses locais. Logo após o banho, as faixas de papel com o betume impregnado deverão ser retiradas, conforme observa-se na Figura VI.4.



**Figura VI.4 – Colocação de faixas de papel não poroso para pintura de ligação**

Para uma boa aderência entre as camadas é necessário que a superfície seja previamente limpa, utilizando-se vassouras para a remoção de materiais ou partículas soltas, seguida de lavagem da superfície para eliminar o pó presente nos poros da camada inferior.

É importante que se realize o controle de qualidade da emulsão e de execução a fim de atender às especificações do serviço. Basicamente, o controle tecnológico da aplicação da pintura consiste de duas etapas:

- a) Determinação da taxa de emulsão aplicada, conforme mostra a Figura VI.5, realizada mediante a introdução de uma bandeja ou papel absorvente sobre a superfície a ser pintada. A pintura é conduzida normalmente e a bandeja ou papel absorvente recebe a pintura como se fosse parte integrante da superfície. O valor da taxa de pintura é determinado pela relação:

$$Taxa = \frac{P_{bp} - P_b}{A}$$

onde:

**Taxa** = taxa de pintura de ligação, em kg/m<sup>2</sup>;

**Pbp** = peso da bandeja com pintura, expresso em kg;

**Pb** = peso da bandeja, expresso em kg;

**A** = área da bandeja, expressa em m<sup>2</sup>.



**Figura VI.5 – Determinação da taxa de pintura de ligação**

**b)** Inspeção visual para identificar falhas de execução ou, eventualmente, poças de emulsão causadas por depressões existentes na superfície a ser pintada. Qualquer acúmulo de ligante deve ser removido a fim de evitar exsudações e escorregamento entre as camadas.

Recomenda-se que a pintura de ligação seja executada em temperatura ambiente superior a 10°C, em elevação, não devendo ser executada em tempo chuvoso, uma vez que a presença da água reduz a taxa efetiva de ligante, prejudicando a aderência entre as camadas.

As Especificações de Serviços DNER-ES 307/97 e a DNER-ES 395/99 (com a utilização de emulsões modificadas por polímeros) estabelecem a sistemática de execução e do controle da qualidade desse serviço.

Recomenda-se para a pintura de ligação o emprego de emulsão modificada por polímeros elastoméricos, principalmente sob revestimentos delgados (espessuras inferiores a 5 cm), tais como: camadas de reperfilamento, Stone-Matrix-Asphalt (SMA), camada porosa de atrito (CPA), revestimentos tipo “Gap-Graded” e rolamento, devido à sua maior capacidade de adesão entre as camadas resultando em melhor desempenho e vida útil do pavimento asfáltico.



## 5. Consumo teórico de materiais

A Tabela 14 apresenta o consumo teórico de materiais para cada um dos tipos de emulsões.

**Tabela 14 – Consumo Teórico de Materiais**

TIPO DE EMULSÃO ASFÁLTICA	TAXA (kg/m <sup>2</sup> ) (1)
RR-1C	0,4
RR-1C-E	0,4

(1) Taxa teórica de ligante asfáltico residual.



# Tratamentos de superfícies (TS)

## 1. Considerações preliminares

O termo tratamentos de superfícies (TS) engloba uma ampla variedade de serviços rodoviários em que, geralmente, o ligante asfáltico e os materiais pétreos são aplicados em espessuras inferiores a 25 mm, 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.

A seguir, são descritos os principais aspectos teóricos e práticos dessas técnicas.

## 2. Tratamento superficial por penetração (TSP)

### 2.1. DEFINIÇÃO

O tratamento superficial por penetração (TSP) é um dos métodos mais antigos e econômicos de se fazer revestimento asfáltico, sobre bases granulares, ou recuperar superfícies de rolamento de pavimentos que estejam degradadas superficialmente e que ainda se encontram em boas condições estruturais, com a utilização de emulsões asfálticas catiônicas convencionais ou modificadas por polímeros.

O tratamento superficial por penetração é um revestimento flexível de pequena espessura, geralmente entre 0,5 cm a 2,5 cm.

Consiste, basicamente, na execução por espalhamento sucessivo de emulsão asfáltica catiônica de ruptura rápida, tipo RR-2C, convencional ou modificada por polímeros, seguido da aplicação de material granular.

Os tratamentos superficiais por penetração viabilizam a confecção de camadas de rolamento esbeltas na justa medida da exigência estrutural requerida pelo volume de tráfego (de leve a média intensidade,  $N \leq 10^6$ ), minimizando os investimentos iniciais.

Os tratamentos superficiais por penetração são largamente utilizados como revestimentos de vias e rodovias implantadas segundo a ótica de pavimentação por etapas, prática usualmente empregada quando se pretende massificar os benefícios socioeconômicos proporcionados pela pavimentação pioneira de custos otimizados, ou, ainda, quando não se dispõe de dados e informações que traduzam, com segurança, a médio e longo prazo, a evolução do tráfego que justifiquem tecnicamente a confecção de pavimentos mais robustos e, conseqüentemente, mais onerosos.

Cabe esclarecer que a pavimentação por etapas exige a realização de estudos e projetos idênticos aos requeridos quando do dimensionamento de pavimentos de vida de projeto mais longa, normalmente fixada em 10 anos.

A vida de projeto de pavimentos implantados por etapas é de 3 a 5 anos, que, ao ser atingida, determinará, ou não, em função do desempenho da estrutura, a confecção de nova camada de rolamento, cujo tipo e espessura deverão ser definidos através estudos e avaliações específicas e consistentes.

A emulsão asfáltica é aplicada sobre a superfície do pavimento em taxas que variam em torno de 1 l/m<sup>2</sup> a 1,5 l/m<sup>2</sup> por camada, obedecendo à dosagem de materiais previamente estabelecida em projeto e aquecida no equipamento distribuidor de ligante entre 50° a 70°C.

De acordo com o número de camadas sucessivas de ligante e agregados empregados, é classificado em simples, duplo ou triplo.

Dependendo do projeto da obra têm-se, como opções de acabamento, o banho diluído ou a capa selante.

O banho diluído é um procedimento utilizado para eliminar a rejeição do material pétreo empregado na última camada dos tratamentos superficiais por penetração. Consiste no emprego de uma emulsão asfáltica catiônica tipo RR-2C diluída em água, durante sua aplicação, na taxa definida em projeto.

A capa selante é um tratamento superficial simples, aplicado com a emulsão asfáltica catiônica, tipo RR-2C e agregado miúdo (areia ou pó de pedra). Essa técnica é empregada para impermeabilizar e/ou melhorar a textura de revestimentos novos ou antigos, e deve estar prevista em projeto.

## **2.2. CAMPO DE APLICAÇÃO**

Os tratamentos superficiais por penetração são utilizados, principalmente, para:

- a)** Melhorar a aderência pneu/pavimento em vias pavimentadas;
- b)** Proteger a infraestrutura do pavimento contra desgaste proveniente dos efeitos combinados do clima e tráfego;
- c)** Gerar uma camada de rejuvenescimento, impermeabilizante e selante de trincas quando se deseja reduzir a sua propagação e recuperar o revestimento asfáltico existente;
- d)** Introduzir uma camada de rolamento de alta flexibilidade sobre bases granulares acompanhando as deformações do subleito.

### 2.3. MATERIAIS E EXECUÇÃO – GENERALIDADES

Por ser uma técnica de simples aplicação, é necessário ter critérios na avaliação da superfície, clima, tráfego, seleção dos materiais e na sua execução, cuidados amplamente compensados pelo resultado superior que se pode conseguir.

A emulsão asfáltica empregada deverá ser a emulsão asfáltica catiônica, do tipo RR-2C convencional ou modificada por polímeros elastoméricos.

As emulsões asfálticas deverão ser levemente aquecidas, entre 50° a 70°C, para atender à faixa de viscosidade medida entre 100 a 250 sSF na temperatura de 50°C.

Os agregados devem obedecer às especificações de serviço quanto à granulometria, desgaste por abrasão Los Angeles, índice de forma, durabilidade e limpeza. Em tratamentos superficiais duplos ou triplos, geralmente o diâmetro nominal do agregado da camada superior deverá apresentar dimensão equivalente à metade do diâmetro do agregado predominante na camada inferior.

A execução de cada camada deve ser previamente planejada e ter disponíveis três principais equipamentos: espargidor de emulsão asfáltica, distribuidor de agregado e o rolo compactador que trabalham “em comboio”. O espargidor e o distribuidor de agregados podem estar combinados num único equipamento denominado multidistribuidor, conforme apresentado na Figura VII.1.



(a) equipamento multidistribuidor

b) detalhe da aplicação simultânea dos materiais

Figura VII.1 – Equipamento multidistribuidor para tratamento superficial

O espargimento da emulsão asfáltica e a distribuição de agregados devem ocorrer praticamente de forma simultânea a fim de evitar a má aderência entre os materiais. Logo após a distribuição do agregado deverá ser iniciada a operação de sua acomodação com rolo pneumático, sem aspersão de óleo diesel ou solventes de petróleo. Uma pequena quantidade de água deve ser aspergida com o objetivo de evitar que o agregado seja arrancado pela passagem do rolo pneumático.

O equipamento utilizado para aplicação da emulsão asfáltica deverá conter barra espargidora, tacógrafo, bomba de ligante com conta-giros, termômetro, maçarico de aquecimento e “caneta” para eventuais correções manuais. Antes do início dos serviços, o distribuidor de emulsão asfáltica deverá ser regulado quanto ao ângulo dos bicos, altura e paralelismo da

barra distribuidora (geralmente entre 17 cm e 25 cm medidos da parte inferior dos bicos até a superfície a ser tratada para o recobrimento triplo).

Deverá ser ainda definida a rotação da bomba, temperatura da emulsão asfáltica e velocidade do caminhão espargidor para a obtenção das taxas preconizadas no projeto.

Na prática, o distribuidor de agregado, geralmente, é uma caixa metálica – que é acoplada na traseira do caminhão basculante – equipada com pneus e dotada, na face inferior, de uma abertura regulável para o escoamento do agregado à medida do avanço, em marcha a ré, do caminhão, de forma tal que a distribuição do material pétreo ocorra sempre sobre a emulsão asfáltica não rompida. Apesar da simplicidade da operação em questão, convém salientar que deverá ser previamente regulada a abertura da comporta e definida a velocidade do caminhão basculante (que traciona o distribuidor de agregado) para assegurar a obtenção da taxa de agregado especificada. Outro detalhe importante, é que o caminhão circulará de ré, para evitar que as rodas transitem sobre a faixa que já recebeu o ligante, conforme mostra a Figura VII.2.



**Figura VII.2 – Distribuidor de agregado para tratamento superficial**

Antes da rolagem, deverão ser corrigidas as falhas decorrentes da distribuição do agregado com a remoção do excedente e/ou preenchimento das lacunas. Na sequência, será executada a varrição mecânica e/ou manual.

Todas as camadas deverão ser acomodadas, preferencialmente, com rolo de pneus de pressão variável. Nos tratamentos duplos e triplos, a última camada receberá acomodação adicional com rolo de chapa.

A liberação ao tráfego deverá ser realizada de maneira criteriosa. As especificações orientam para que ela não ocorra quando a temperatura for inferior a 15°C. Além da redução da velocidade de circulação dos veículos, recomenda-se que o tratamento recém-executado seja exposto durante, pelo menos, 48 horas a temperaturas acima de 15°C, procedendo à avaliação final de seu comportamento quanto à rejeição de agregados antes da abertura ao tráfego.

Quando da confecção de tratamento superficial sobre bases granulares, deve-se, previamente imprimir a superfície subjacente.

As especificações de serviços DNER-ES-308/97 (Tratamento Superficial Simples), 309/97 (Tratamento Superficial Duplo), 310/97 (Tratamento Superficial Triplo), 391/99

(Tratamento Superficial Simples com Polímeros), 392/99 (Tratamento Superficial Duplo com Polímeros) e 393/99 (Tratamento Superficial Triplo com Polímeros) estabelecem a sistemática empregada na execução e no controle da qualidade desse serviço.

As Figuras VII.3, VII.4 e VII.5 mostram a sequência de execução do tratamento superficial. As Figuras VII.6 e VII.7 mostram aplicações de tratamento superficial em rodovias.



**Figura VII.3 – Aplicação da taxa de emulsão asfáltica com caminhão espargidor**



**Figura VII.4 – Aplicação da taxa de agregado com distribuidor**



**Figura VII.5 – Acomodação do tratamento superficial com rolo pneumático**



**Figura VII.6 – Tratamento superficial executado em rodovia**



**Figura VII.7 – Tratamento superficial triplo com capa selante, em rodovia**

## 2.4. VANTAGENS DA TÉCNICA

Além das vantagens citadas anteriormente, destacam-se:

- a) Excelente relação custo-benefício;
- b) Atendimento integral aos requisitos de segurança estabelecidos pelos órgãos rodoviários para circulação de veículos sob condições climáticas adversas (chuvas intensas) em razão de elevada capacidade de drenagem superficial, expressiva resistência à derrapagem, redução do spray e incremento da eficiência da sinalização;
- c) Simplicidade e economia do processo executivo resultantes da utilização de equipamentos (espargidor de ligante, distribuidor de agregado e vassoura mecânica) de fácil operação e baixo custo de aquisição/operação/manutenção;
- d) Facilidade de implementação das atividades de treinamento de pessoal e de realização do controle tecnológico do serviço (basicamente, verificação da taxa de emulsão asfáltica e de agregado), sem envolver recursos financeiros expressivos;
- e) A utilização de emulsões asfálticas modificadas por polímeros elastoméricos em tratamentos superficiais por penetração aumenta seu desempenho e vida útil em razão de conferir maior resistência e flexibilidade às ações do tráfego e do clima comparativamente aos tratamentos superficiais convencionais.

A Figura VII.8 apresenta em detalhe o tratamento superficial com aplicação simultânea de emulsão asfáltica elastomérica e agregados através do equipamento multidistribuidor.



Figura VII.8 – Aplicação simultânea de emulsão asfáltica elastomérica e agregados através do equipamento multidistribuidor

## 2.5. CONSUMO TEÓRICO DE MATERIAIS

As Tabelas 15 a 17 apresentam o consumo teórico de materiais para os tratamentos superficiais simples, duplo e triplo com emulsão asfáltica, respectivamente.

a) Tratamento superficial simples (TSS).

**Tabela 15 – Consumo Teórico de Materiais no TSS**

TIPO DE MATERIAL	TRATAMENTO SIMPLES (l/m <sup>2</sup> ) (1)	TRATAMENTO SIMPLES COM BANHO DILUÍDO (l/m <sup>2</sup> ) (1)
Pedrisco ¼" ou 3/8"	5 a 6	5 a 6
Emulsão asfáltica, RR-2C (2)	1,00 a 1,20	1,40

(1) Considerando, em média, o peso específico da emulsão asfáltica 1,0 kg/l.

(2) Dependendo do projeto poderá ser empregada emulsão asfáltica elastomérica (RR2C-E).

b) Tratamento superficial duplo (TSD).

**Tabela 16 – Consumo Teórico de Materiais no TSD**

TIPO DE MATERIAL	TRATAMENTO DUPLO (l/m <sup>2</sup> ) (1)	TRATAMENTO DUPLO COM BANHO DILUÍDO (l/m <sup>2</sup> ) (1)	TRATAMENTO DUPLO COM CAPA SELANTE (l/m <sup>2</sup> ) (1)
Pedra 1/2" ou 5/8" ou 3/4"	9 a 14	9 a 14	9 a 14
Pedrisco ¼" ou 3/8"	5 a 6	5 a 6	5 a 6
Pó de pedra ou areia	-	-	5 a 6
Emulsão asfáltica, RR-2C (2)	2,00 a 2,20	2,7 a 2,9	3,0 a 3,2

(1) Considerando, em média, o peso específico da emulsão asfáltica 1,0 kg/l.

(2) Dependendo do projeto poderá ser empregada emulsão asfáltica elastomérica (RR2C-E).

c) Tratamento superficial triplo (TST).

**Tabela 17 – Consumo Teórico de Materiais no TST**

TIPO DE MATERIAL	TRATAMENTO TRIPLO (l/m <sup>2</sup> ) (1)	TRATAMENTO TRIPLO COM BANHO DILUÍDO (l/m <sup>2</sup> ) (1)	TRATAMENTO TRIPLO COM SELANTE (l/m <sup>2</sup> ) (1)
Pedra 1"	16 a 18	16 a 18	16 a 18
Pedrisco ½" ou 5/8" ou 3/4"	9 a 14	9 a 14	9 a 14
Pedrisco ¼" ou 3/8"	5 a 6	5 a 6	5 a 6
Pó de pedra ou areia	-	-	5 a 6
Emulsão asfáltica, RR-2C (2)	3,4 a 3,7	4,1 a 4,4	4,4 a 4,7

(1) Considerando, em média, o peso específico da emulsão asfáltica 1,0 kg/l.

(2) Dependendo do projeto poderá ser empregada emulsão asfáltica elastomérica (RR2C-E).





# Tratamento para eliminação de poeira

## 1. Considerações preliminares

Observando as grandes dificuldades encontradas pelos órgãos públicos para manterem estradas com baixo tráfego e elevada manutenção, principalmente após longos períodos de chuva, o tratamento para eliminação de poeira destina-se a melhorar as características aglutinantes de solos locais, possibilitando a execução de um revestimento asfáltico de baixo custo, economicamente viável e com manutenção reduzida tornando-a preventiva.

Sua indicação é para serviços de pavimentação por etapas em estradas rurais e vias urbanas de baixo tráfego (tráfego local). A prerrogativa é que seja executada sobre o leito natural tratado com espessura mínima de 10 cm e com boa qualidade de suporte.

O tratamento para eliminação de poeira consiste no espalhamento de emulsão asfáltica catiônica que será coberta por uma camada de agregado mineral ou saibro (granito decomposto), sobre uma superfície não pavimentada, com a finalidade de evitar a propagação do pó.

## 2. Campo de aplicação

Rodovias urbanas ou rurais com leito natural ou dotadas de revestimento primário, constituído de solos estabilizados com cascalho ou granulometricamente, podem gerar grande quantidade de pó e lama nos períodos chuvosos, principalmente pela passagem do tráfego, aumentando os riscos de acidentes e ocasionando desconforto aos moradores lindeiros.

O tratamento para eliminação de poeira, embora sendo paliativo, é uma alternativa técnica simples e de baixo custo quando os recursos financeiros são escassos e o volume de tráfego muito baixo não justifica a execução de revestimentos asfálticos mais nobres.

## 3. Materiais e execução – generalidades

De modo geral para tratamento para eliminação de poeira as emulsões asfálticas catiônicas devem ser formuladas atendendo às características dos materiais a serem tratados. Como no Brasil há uma diversidade de materiais, temos bons exemplos de sucesso com emulsões asfálticas do tipo RM-1C, RL-1C e RR-1C ou especialmente formuladas para atender aos requisitos técnicos da obra. O projeto irá definir qual a emulsão asfáltica que apresentará os melhores resultados.

De posse desses dados, será possível analisar a capacidade aglutinante que o conjunto emulsão solo adquire, e a necessidade de alguma correção na sua composição.

O material deve apresentar certo equilíbrio quanto aos seus índices físicos para proporcionar bons resultados.

A aplicação é realizada em várias passadas do distribuidor de ligante (barra ou caneta espargidora), normalmente, na taxa unitária de 0,4 l/m<sup>2</sup> a 2,3 l/m<sup>2</sup>.

A quantidade requerida de emulsão asfáltica, quando aplicada sobre bases de solos não impermeabilizados, é definida em função do seu grau de permeabilidade, portanto, recomenda-se a execução de trecho experimental para determinação das taxas (unitária e total) de aplicação a fim de evitar a aderência do ligante aos pneus dos veículos.

Soluções mais duradouras são obtidas quando o tratamento para eliminação de poeira é efetuado com essas emulsões asfálticas na taxa de 1,2 l/m<sup>2</sup>, e imediatamente recobertas com areia grossa ou pedrisco na taxa de 4 kg/m<sup>2</sup> a 6 kg/m<sup>2</sup>, seguindo-se a compactação com rolo pneumático.

A Figura VIII.1 mostra a sequência de aplicação dos materiais do tratamento para a eliminação de poeira. A Figura VIII.2 mostra o aspecto final do serviço asfáltico.



(a) aplicação de emulsão asfáltica

(b) aplicação de agregado

Figura VIII.1 – Sequência de aplicação do tratamento para eliminação de poeira



Figura VIII.2 – Aspecto final do tratamento para eliminação de poeira

#### 4. Vantagens da técnica

Simplicidade e o baixo custo de execução são as principais vantagens do tratamento para eliminação de poeira.

## 1. Considerações preliminares

As lamas asfálticas tradicionais tiveram origem na França e no Brasil na década de 1960 a partir de um procedimento desenvolvido nos EUA, particularmente no Texas, denominado *slurry seal*.

Basicamente, consiste de uma associação, com consistência fluida, de agregados minerais, material de enchimento (fíler), emulsão asfáltica catiônica tipos LA-1C, LAN ou ruptura controlada (LARC, RCIC-E) e água, uniformemente misturada e espalhada por equipamento próprio no local, a temperatura ambiente.

## 2. Campo de aplicação

O principal campo de aplicação da lama asfáltica (LA) é a manutenção preventiva, isto é, a conservação de pavimentos asfálticos ou de concreto de cimento Portland que se encontram em bom estado, necessitando apenas de selagem, impermeabilização e rejuvenescimento da superfície de rolamento, desgastada pela ação do tráfego e do clima.

A lama asfáltica pode ser ainda aplicada como revestimento final sobre bases estabilizadas granulometricamente/quimicamente ou sobre tratamentos superficiais por penetração envelhecidos. Um programa adequado de manutenção preventiva com essa técnica, em média 3 anos após a aplicação da camada de rolamento, retarda significativamente a sua deterioração, reduzindo o custo do ciclo de vida do pavimento e, conseqüentemente, recursos financeiros em restaurações.

Todavia, em função de não conferir reforço estrutural, qualquer intervenção nesse sentido ou para correção de irregularidades longitudinais e/ou transversais deverá ser executada antes da aplicação da lama asfáltica.

A técnica convencional é recomendada para acostamento de rodovias, vias urbanas e secundárias ou que suportam tráfego baixo ou médio, apresentando desempenho limitado ao longo do tempo sob tráfego intenso, principalmente pela redução das condições de aderência pneu-pavimento. Nesse caso, poderá ser utilizada como revestimento selante antes da aplicação do microrrevestimento asfáltico.

### 3. Materiais e execução – generalidades

A lama asfáltica é espalhada, em usina móvel de fluxo contínuo, com espessuras delgadas, geralmente, entre 3 mm a 9 mm dependendo da faixa granulométrica escolhida, não excedendo, por aplicação, o tamanho máximo do agregado da mistura. As aplicações manuais devem ser limitadas somente a áreas inacessíveis à usina.

O agregado mineral empregado na produção da LA deverá ser limpo, anguloso, de elevada resistência mecânica, menor que 9,5 mm, oriundo, principalmente, de britagem de rocha, de granulometria uniforme e bem graduada. Em alguns projetos, dependendo da qualidade dos materiais envolvidos, admite-se até 20% de areia lavada de rio na mistura de agregados.

O cimento Portland ou cal hidratada que atua como material de enchimento ou fíler, além de preencher os vazios do agregado mineral graúdo, também melhora a coesão da massa asfáltica aplicada.

A emulsão asfáltica é formulada, principalmente, de acordo com a reatividade dos agregados e das condições climáticas da obra. Quando há necessidade de rápida liberação ao tráfego, recomenda-se o uso de emulsões de ruptura controlada cujo tempo de liberação é de 2 a 4 horas, dependendo da temperatura ambiente, velocidade do vento, grau de insolação e umidade relativa do ar.

A mistura deverá ser realizada numa usina móvel apoiada sobre um chassi de caminhão, provida de silo para agregados, depósitos separados para água, emulsão asfáltica e material de enchimento (fíler).

O sistema misturador e de distribuição da usina móvel deverá ser capaz de processar e espalhar a lama asfáltica, de forma contínua e homogênea, sobre a superfície a ser revestida.

A taxa de aplicação deve estar de acordo com as condições da superfície e a granulometria do agregado, geralmente, entre 4 kg/m<sup>2</sup> a 15 kg/m<sup>2</sup>. Recomenda-se executar a pintura de ligação com emulsão apropriada para este fim, somente sobre pavimentos bastante envelhecidos ou em concreto de cimento Portland.

Para aplicações correntes, a lama asfáltica não necessita de compactação. Caso seja requerida tecnicamente em áreas tais como estacionamentos, aeroportos e estradas de alto tráfego, recomenda-se o emprego de rolo pneumático de 10 t com pressão máxima de 80 lb/in<sup>2</sup>, equipado com sistema de aspersão de água e de limpeza dos pneus.

A especificação técnica DNER-ES 314/97 estabelece a sistemática empregada na execução e no controle da qualidade desse serviço.



Figura IX.1 – Aplicação de lama asfáltica

#### 4. Vantagens da técnica

As principais vantagens dessa técnica são:

- a) fácil execução e elevada produtividade;
- b) minimiza a frequência de interdição da via para grandes manutenções (tapa-buracos);
- c) reduz a perda de agregados pela passagem do tráfego;
- d) gera textura superficial apropriada para pinturas de sinalização;
- e) corrige pequenas irregularidades superficiais;
- f) impermeabiliza a superfície do revestimento, impedindo a entrada de água para as camadas subjacentes;
- g) minimiza as repercussões junto aos dispositivos de drenagem (meio-fio, boca de lobo etc.), bem como aos passeios, comparativamente a outras soluções de restauração;
- h) rejuvenesce a textura, melhorando as características estéticas e, principalmente, anti-derrapantes em vias urbanas e secundárias.

#### 5. Consumo teórico de materiais

A Tabela 18 apresenta o consumo teórico de materiais para a lama asfáltica.

Tabela 18 – Consumo Teórico de Materiais

FAIXAS GRANULOMÉTRICAS DNER-ES 314/97	I	II	III	IV
Espessura, mm	3 a 4	2 a 3	4 a 6	6 a 9
Mistura seca de agregados, kg/m <sup>2</sup>	4 a 6	2 a 5	5 a 8	8 a 13
Emulsão asfáltica, kg/m <sup>2</sup>	0,5 a 1,3	0,3 a 1,3	0,6 a 1,8	0,6 a 2,0



# Microrrevestimento asfáltico (MRAF)

## 1. Considerações preliminares

Durante a segunda metade dos anos 1970, paralelamente ao uso corrente e já consagrado das técnicas de aplicação a frio com a utilização de emulsões, um novo sistema derivado da lama asfáltica, porém com emprego muito mais amplo, surgiu na Europa e posteriormente nos EUA recebendo a terminologia de microrrevestimento asfáltico. Desde então a técnica se difundiu por diversos países na reabilitação funcional de pavimentos em rodovias de volumes de tráfego médio e alto, bem como em rodovias de tráfego pesado.

No Brasil, a primeira experiência de microrrevestimento asfáltico em rodovia de intenso volume de tráfego, devidamente monitorada pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) data de 1997 quando foi executado o trecho experimental na Rodovia Presidente Dutra (BR-116-SP). Nos anos seguintes, houve crescente interesse dos órgãos rodoviários, com utilização em larga escala em função dos bons resultados em pista e de sua efetividade econômica no incremento da vida do pavimento. Entre 1998 e 2002, somente no estado de São Paulo, foram contabilizados mais de 15 milhões de m<sup>2</sup> de microrrevestimento, equivalente a mais de 4.100 km de faixa.

Atualmente, a necessidade de reabilitação superficial imediata associado ao alto volume de tráfego das vias brasileiras impulsiona a aplicação da técnica para todas as concessionárias de rodovias e aos órgãos rodoviários nacional, estaduais e municipais (DNIT, DERs e prefeituras).

A técnica pode ser considerada como uma evolução da lama asfáltica, embora tenha o mesmo princípio e concepção, emprega materiais, equipamentos e controles de qualidade e desempenho mais rigorosos.

O microrrevestimento asfáltico (MRAF) é uma mistura a frio de emulsão modificada por polímeros SBR ou SBS com agregado mineral, material de enchimento, também denominado fíler, água e, se necessário, aditivos químicos para controle da velocidade de ruptura da emulsão e fibras de reforço, para melhoria das propriedades mecânicas de flexibilidade do revestimento.

A emulsão empregada no microrrevestimento asfáltico a frio é de ruptura controlada e contém polímeros elastoméricos. Os tempos de ruptura e de cura são ajustados compatibilizando a composição química da emulsão, o tipo e a quantidade de fíler mineral (cal CH-1 ou cimento Portland), aditivos químicos, se necessário, com os agregados e as condições climáticas da obra (umidade relativa e temperatura ambiente).

## 2. Campo de aplicação

O principal campo de aplicação do MRAF é na manutenção preventiva, isto é, na conservação de pavimentos que necessitam rejuvenescimento e melhoria das condições de aderência pneu-pavimento e não apresentam problemas estruturais.

Além de seu emprego como revestimento final sobre pavimentos flexíveis ou rígidos, bases granulares ou recicladas, o MRAF pode ser ainda utilizado como camada intermediária para redução da espessura de reforço, selando fissuras e trincas não ativas do substrato envelhecido.

Nos pavimentos em que a camada de rolamento apresenta trincas em bloco ou tipo couro de jacaré, buracos ou grandes ondulações localizadas devem ser tratados isoladamente antes de aplicar o MRAF. Se o problema já estiver localizado na base, é necessário executar previamente uma manutenção corretiva para recomposição das camadas subjacentes ao MRAF (Figura X.1).



**Figura X.1 – Pavimento asfáltico a ser restaurado (fresagem e recomposição) antes da aplicação de microrrevestimento**

O MRAF, uma vez curado, apresenta-se uniforme e com aparência de concreto asfáltico usinado a quente (CAUQ) de textura média ou grosseira. Esse aumento da rugosidade da camada de rolamento é responsável pela melhoria da aderência pneu-pavimento, da drenagem superficial e da diminuição do *spray* que se forma pela movimentação dos veículos, reduzindo as condições de visibilidade e, conseqüentemente, de segurança dos usuários sobre pista molhada.

O MRAF é uma solução versátil que permite sua aplicação tanto em vias de tráfego elevado para melhoria das condições de segurança, como se justifica em vias de tráfego local pela facilidade de execução e custo atrativo.

### **3. Materiais e execução – generalidades**

A qualidade do agregado mineral empregado na produção do MRAF tem uma excepcional importância no desempenho da mistura, tanto do ponto de vista da aderência ao pavimento como na drenagem superficial.

A utilização de 100% de materiais granulares, limpos, de elevada resistência mecânica, menores que 12,5 mm, oriundos da britagem de rocha, acompanhados de uma curva granulométrica bem graduada, conferem ao MRAF qualidade superior de desempenho quando comparado aos materiais similares como, por exemplo, a lama asfáltica.

O cimento Portland ou cal hidratada CH-1 atua como material de enchimento ou fíler, além de preencher os vazios do agregado mineral graúdo, também melhora a coesão da massa asfáltica aplicada. A utilização de fíler mineral minimiza a segregação de agregados devido ao incremento da consistência da mistura asfáltica e acelera o processo de ruptura/cura pelo aumento da velocidade de liberação da água e, conseqüentemente, da sua coesão.

O agregado deverá ser peneirado a fim de evitar que material excessivamente graúdo, fora da composição granulométrica de projeto, seja arrastado e forme estrias longitudinais, prejudicando o bom acabamento do serviço.

A pilha de agregados armazenados deve ser homogeneizada diariamente com a pá carregadeira para a uniformidade da composição granulométrica e da sua umidade evitando, respectivamente, variações de textura e de dosagem da água de mistura durante a operação da usina móvel.

O silo de fíler mineral da usina móvel deverá ser esgotado e limpo com ar comprimido diariamente a fim de evitar torrões durante a aplicação do microrrevestimento. Quando for usado o cimento Portland, sua data de validade deve ser verificada, pois o produto vencido não reage quimicamente com a emulsão asfáltica, prejudicando o processo de ruptura/cura da mesma.

A emulsão é catiônica e de ruptura controlada, formulada especialmente com características específicas dependendo do tipo de estrutura da via, clima e tráfego. É produzida a partir de asfalto modificado por polímeros elastoméricos tipo borracha termoplástica (SBS) ou látex de borracha sintética (SBR).

As emulsões asfálticas modificadas por polímeros conferem ao microrrevestimento as seguintes características: menor suscetibilidade térmica com redução dos riscos de exsudação em climas quentes e maior flexibilidade e elasticidade em climas frios, melhores características adesivas ao substrato e na selagem de fissuras e maior resistência ao desgaste e ao envelhecimento da mistura asfáltica.

O controle da ruptura da emulsão permite a execução dos serviços, até mesmo à noite, com tempo de liberação da pista ao tráfego, geralmente, entre 1 e 3 horas, dependendo do tipo de ligante asfáltico empregado, reatividade/superfície específica dos



agregados e das condições climáticas. Vale lembrar que os parâmetros de coesão úmida a 30 e 60 minutos, para ruptura da emulsão e liberação ao tráfego, respectivamente, foram estabelecidos pela International Slurry Surfacing Association (ISSA) para aplicações de 12,7 mm de espessura em temperatura ambiente de 24°C e 50% de umidade relativa do ar.

A rápida liberação dos serviços de MRAF ao tráfego é de fundamental importância para minimizar os transtornos aos usuários, principalmente em rodovias de alto tráfego e vias urbanas sujeitas a congestionamentos. A mistura deverá ser realizada numa usina móvel própria e apoiada sobre um chassi de caminhão, provida com silo para agregado miúdo, depósitos separados para água, emulsão asfáltica modificada por polímeros, aditivos sólido e líquido.

O sistema de circulação do ligante asfáltico deverá estar interligado com o sistema de alimentação do agregado e do aditivo sólido de modo a assegurar o perfeito controle da dosagem dos materiais, conforme projeto de laboratório.

Emulsões aplicadas com temperaturas acima de 50°C podem romper muito rápido ou não se misturar adequadamente, resultando em uma mistura segregada. A emulsão deverá ser estocada, antes de ser transportada à obra, por um período suficiente para que sua temperatura se reduza a temperatura ambiente.

Recomenda-se que a emulsão asfáltica seja recirculada com bomba de engrenagem ou agitada manualmente (remo de madeira) a cada 3 dias de estocagem, trabalhados ou não.

O teor de água da mistura deve ser ajustado durante a operação. Em altas temperaturas ambiente deve se incrementar o teor para manter uma consistência uniforme do microrrevestimento dentro da faixa de projeto. A água deverá ser limpa, desprovida de matéria orgânica, óleos e outras substâncias prejudiciais à ruptura da emulsão asfáltica.

Misturas contendo pouca quantidade de água podem ser muito difíceis de espalhar, prejudicando tanto a execução como também a adesão ao pavimento existente. Se a mistura for muito rígida, também pode ocorrer o rompimento prematuro na caixa distribuidora ou o arrastamento de material na distribuição, causando estrias ou frisos na superfície acabada.

Misturas contendo mais que 12% de água podem se tornar muito fluidas e segregadas, evidenciando a perda de adesão do ligante asfáltico ao agregado (sendo este arrancado pela ação do tráfego, “peladura”) e a exsudação do asfalto (redução da macrotextura e da aderência pneu-pavimento), com potenciais riscos à segurança dos usuários.

Recomenda-se que a quantidade de água seja a mínima necessária para promover uma mistura com consistência e estabilidade adequada ao espalhamento e acabamento uniforme. Como regra geral, a taxa de água de mistura deve variar entre 6% a 11% em peso da composição de agregados. Deve se levar em consideração que misturas ligeiramente secas apresentam maior velocidade de cura e melhor desempenho em relação às misturas mais úmidas.

Antes da aplicação do microrrevestimento deverá ser realizada a limpeza prévia da superfície com vassouras mecânicas e/ou jatos de ar comprimido a fim de evitar a presença de pó ou argilas no substrato.

As fissuras e trincas de baixa severidade (não ativas) e superiores a 6 mm deverão ser previamente demarcadas e seladas com emulsão asfáltica com polímeros antes da execução

do microrrevestimento, sendo recomendável manter a selagem de trincas abaixo do nível da superfície ou não coroando a mesma. Complementarmente, qualquer selante velho deve ser raspado e substituído antes da aplicação do microrrevestimento.

O microrrevestimento não deve ser executado em temperaturas inferiores a 10°C e que estejam caindo, seja do ar ou do pavimento, em dias de chuva ou caso haja previsão de temperaturas inferiores a 0°C nas 24 horas seguintes. A execução é indicada quando as temperaturas do ar são de no mínimo 7°C e estão subindo. Há a necessidade de cuidados adicionais ao aplicar o microrrevestimento em temperatura ambiente superior a 40°C, situação na qual o projeto de mistura e a execução dos trabalhos poderão ser reavaliados.

Em temperatura de pista superior a 45°C, o pavimento deve ser previamente umedecido, através da barra de aspersão de água da usina móvel, evitando a ruptura prematura da emulsão com a superfície existente. Não deverá haver água livre em frente à caixa distribuidora.

O microrrevestimento aplicado em baixas temperaturas ambiente e em dias chuvosos pode desgastar e trincar prematuramente. Se as temperaturas são excessivamente altas ou se a umidade relativa do ar se encontra muito baixa, a ruptura da emulsão poderá ocorrer prematuramente causando a retenção de água e retardando a cura interna (falsa cura). Nesse caso, deverá ser alterada a formulação da emulsão asfáltica ou ser empregado aditivo para controle do tempo de ruptura, possibilitando a aplicação adequada.

O MRAF geralmente apresenta espessura delgada, entre 6 mm a 15 mm, não excedendo, por aplicação, a 1,5 vez o tamanho nominal máximo do agregado. Para espessuras superiores a 8 mm, recomenda-se sua aplicação em duas camadas.

A primeira camada, denominada regularização ou de arraste, é aplicada para o restabelecimento do perfil transversal, com a caixa distribuidora apoiada nos pontos altos da pista, preenchendo os pontos mais baixos com espessura de no máximo 8 mm. A segunda camada, denominada rolamento ou texturização, visa atender aos requisitos de segurança (aderência) e conforto (acabamento).

A velocidade de aplicação também afeta a textura do microrrevestimento. Velocidades mais rápidas tendem a resultar em superfícies onduladas e pior acabamento. A velocidade de aplicação deve ser a do caminhar (entre 4 km/h a 5 km/h) possibilitando um melhor controle visual do serviço por parte do operador da usina móvel e de seus ajudantes.

O sistema misturador e de distribuição da usina móvel deverá ser capaz de processar de forma contínua e homogênea espalhando a massa asfáltica sobre a superfície a ser revestida. A largura da caixa distribuidora deverá ser regulada de acordo com a faixa de rolamento. A taxa de aplicação do MRAF varia de acordo com as condições da superfície e a granulometria dos agregados, geralmente, entre 10 kg/m<sup>2</sup> a 30 kg/m<sup>2</sup>. Recomenda-se executar somente a pintura de ligação sobre pavimentos bastante envelhecidos ou em concreto de cimento Portland com emulsão apropriada evitando-se sua diluição em obra.

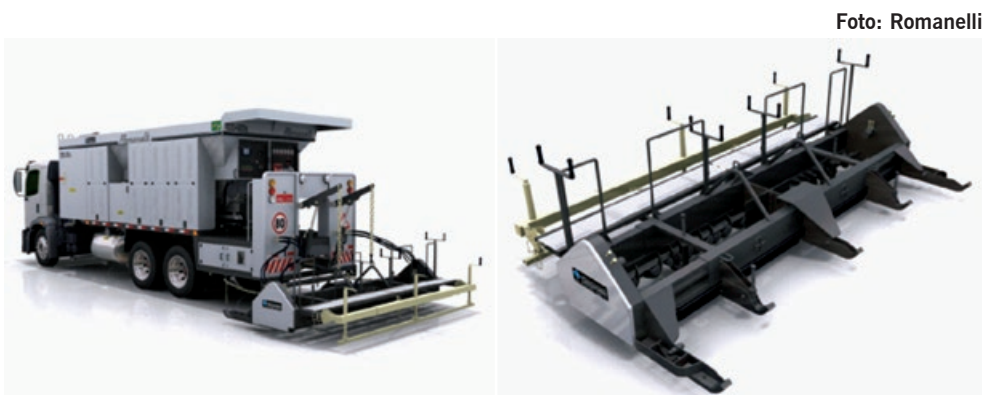
A caixa distribuidora deverá ser hidráulica, com largura regulável (2,2 m a 4,2 m), contendo agitadores duplos do tipo “sem-fim” para promover a ida e retorno da mistura asfáltica. Deverá ter controle de velocidade e direção para trabalho em seções de superelevação e curvas para promover uma melhor mistura, distribuição, uniformidade da textura e do acabamento do microrrevestimento.

O lançamento da mistura na caixa distribuidora é controlado pela quantidade de agregado que é descarregada pelo misturador. A mistura deve ser lançada na caixa distribuidora, em movimento em taxa suficiente para manter o microrrevestimento homogêneo e fluído em toda a largura de aplicação (especialmente nas bordas). Essa distribuição deve se dar numa taxa de aplicação uniforme, regulada em função da altura da caixa em relação à pista e da velocidade de execução. Não é permitida a adição de água diretamente na caixa distribuidora durante o espalhamento da mistura na pista.

Observa-se que a taxa de aplicação do microrrevestimento varia de acordo com as irregularidades existentes no substrato e que a direção da calha de distribuição da mistura (vertedor) deve ser alternada durante toda aplicação para o preenchimento homogêneo da caixa distribuidora.

Durante os serviços, pode ocorrer acúmulo de material na caixa, resultando em ruptura prematura da emulsão, marcas de arraste atrás da caixa distribuidora ou mesmo formação de material grosseiro na pista. O operador deve remover imediatamente qualquer formação de material e manter o nível da caixa distribuidora pela metade durante a aplicação, isto é, a mistura asfáltica deverá cobrir parcialmente os agitadores sem-fim, sem respingos da emulsão para fora do equipamento.

A Figura X.2 mostra a usina móvel de MRAF e no detalhe sua caixa distribuidora.



**Figura X.2 – Usina móvel para aplicação de MRAF e detalhe de sua caixa distribuidora**

A presença de massa asfáltica aderida (ruptura prematura da emulsão) às borrachas da caixa distribuidora e da barra de acabamento, ocasiona estrias ou frisos longitudinais e, portanto, sua limpeza deverá ser executada diariamente em conjunto com o misturador da usina móvel e, durante a operação, sempre que se verificar material acumulado nesses equipamentos.

Os serviços de acabamento manuais deverão ser reduzidos ao mínimo. Caso necessário, o espalhamento da mistura asfáltica deverá ser executado no sentido longitudinal. Cuidados durante a execução devem ser tomados em relação às juntas construtivas. A junta transversal deverá ser executada com auxílio de uma faixa de papel absorvente ou lona, apoiada sobre a seção previamente executada, removendo-se o material acumulado ou em excesso para se evitar possíveis falhas de acabamento. A junta longitudinal deverá ser executada evi-

tando sobreposição excessiva, que poderá acarretar um cume entre as faixas de rolamento. Recomenda-se que a largura máxima da junta longitudinal seja fixada em 50 mm.

Em aplicações correntes, o MRAF não é compactado. Caso seja requerido tecnicamente em áreas tais como: estacionamentos, aeroportos e estradas de alto tráfego, recomenda-se o emprego de rolo pneumático de 10 t com pressão de 80 lb/in<sup>2</sup>, equipado com sistema de aspersão de água e de limpeza dos pneus. Também na iminência de chuvas e/ou umidade relativa do ar elevada, recomenda-se a utilização do rolo pneumático a fim de acelerar o processo de cura do microrrevestimento.

O microrrevestimento poderá ser empregado para preenchimento de trilhas de roda. Para essa aplicação é utilizada uma caixa distribuidora especial com dois compartimentos separados que recebem a mistura e a espalham dentro das trilhas de roda. Segundo a recomendação da ISSA (ISSA A-143) para cada 25 mm de mistura de MRAF aplicada na trilha deve-se acrescentar uma camada com 3 mm a 6 mm devido à ação de compactação do tráfego. Depois de preenchidas as trilhas de roda, deve-se aguardar o tempo necessário para a cura e liberação do MRAF ao tráfego. Para espessuras menores que 15 mm, geralmente a liberação ocorre entre 40 minutos e 1,5 hora após seu espalhamento na pista e para espessuras entre 15 mm e 40 mm admite-se até 2,5 horas, dependendo principalmente do volume de tráfego da rodovia. Também é recomendável que a camada de preenchimento fique exposta ao tráfego de 1 a 5 dias antes da aplicação final ou de acabamento do MRAF, geralmente com espessuras de 8 mm, em toda a extensão transversal e longitudinal da pista de rolamento. Essa operação permite que a mistura dentro das trilhas sofra um adensamento e libere a água remanescente contida em seu interior.

A Figura X.3 mostra a aplicação do MRAF para preenchimento em trilhas de roda.



**Figura X.3 – Aplicação de MRAF para o preenchimento de trilhas de roda**

A pintura de sinalização horizontal pode ser executada sobre o microrrevestimento uma semana após sua aplicação. Porém, não devem ser aplicados materiais termoplásticos até que a mistura cure completamente, dependendo das condições climáticas locais.

As características de aderência pneu-pavimento dependem da microtextura e da macrotextura do microrrevestimento. A microtextura é decorrente dos pontos de contato da superfície do agregado, exposto na superfície do revestimento, com os pneus dos veículos,

sob condições de pista molhada. A macrotextura indica os canais entre os agregados que são capazes de promover uma drenagem de água através do microrrevestimento eliminando a lâmina de água entre a superfície de rolamento e os pneus dos veículos. No Brasil, em geral, recomenda-se um valor mínimo de 45 para o valor de resistência à derrapagem (VRD), determinado com o pêndulo britânico. Já a macrotextura é determinada pelo ensaio de mancha de areia com valores limites entre 0,6 mm e 1,2 mm.

Para assegurar a proporção de materiais preconizada no projeto de mistura e o controle de qualidade, devem ser realizadas rotineiramente verificações de dosagem e de acabamento ao longo dos serviços. As especificações técnicas DNIT 035/2005 – ES e ABNT NBR 14948 estabelecem a sistemática empregada na execução e no controle da qualidade desse serviço.

As Figuras X.4 a X.7 apresentam exemplos de aplicação da técnica.

A macrotextura grossa do MRAF melhora aderência pneu-pavimento e, conseqüentemente, as condições de segurança para o usuário (Figura X.8).



Figura X.4 – Aplicação de microrrevestimento asfáltico em rodovia de alto tráfego



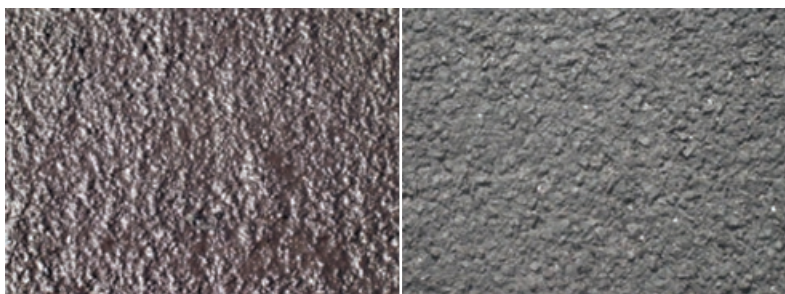
Figura X.5 – Aplicação de microrrevestimento asfáltico em rodovia rural



Figura X.6 – Aplicação de microrrevestimento asfáltico em via urbana expressa



Figura X.7 – Microrrevestimento asfáltico a frio em vias urbanas



(a) MRAF antes da cura

(b) MRAF após cura

Figura X.8 – Aspecto da textura superficial do MRAF antes e após a cura

## 4. Vantagens da técnica

As principais vantagens do MRAF são:

- a) Apresenta durabilidade superior à da lama asfáltica convencional frente ao incremento do tráfego e ações adversas do clima;
- b) Oferece boas condições de drenagem superficial, de aderência pneu-pavimento e de uniformidade da superfície de rolamento melhorando a visibilidade do usuário e os índices de conforto e de segurança (acidentes por derrapagem);
- c) Corrige os defeitos superficiais, através do enchimento das trilhas de roda e selagem das trincas;
- d) Reduz a espessura do revestimento asfáltico de reforço estrutural, quando empregado como camada intermediária;
- e) Preserva a estrutura do pavimento, em função da diminuição da entrada de água e ar no pavimento;
- f) Alta produtividade e mínima perturbação ao tráfego, rapidez na execução e liberação dos serviços, evitando acidentes e congestionamentos durante a operação;
- g) Geralmente, não necessita de pintura de ligação, apresentando excelente adesão ao pavimento;
- h) Melhoria das condições de segurança, meio ambiente e saúde (SMS), por ser uma técnica empregada a temperatura ambiente, não conter solventes derivados de petróleo e sem riscos de explosões.

## 5. Faixas granulométricas e consumo teórico de materiais

As Tabelas 19, 20 e 21 apresentam as faixas granulométricas da norma DNIT 035/2005 – ES, as faixas da especificação ABNT NBR 14948:2003 e consumo teórico de materiais, respectivamente.

**Tabela 19 – Faixas Granulométricas da Norma DNIT 035/2005 – ES**

COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA DA MISTURA DE AGREGADOS					
PENEIRA DE MALHA QUADRADA		PORCENTAGEM PASSANDO EM PESO			TOLERÂNCIA DA CURVA DE PROJETO (%)
PENEIRAS		FAIXA I	FAIXA II	FAIXA III	
NOME	ABERTURA, mm				
1/2	12,5	-	-	100	-
3/8	9,5	100	100	85 - 100	±5
nº 4	4,75	90-100	70-90	60-87	±5
nº 8	2,36	65-90	45-70	40-60	±5
nº 16	1,18	45-70	28-50	28-45	±5
nº 30	0,60	30-50	19-34	19-34	±5
nº 50	0,33	18-30	12-25	14-25	±5
nº 100	0,15	10-21	7-18	8-17	±5
nº 200	0,075	5-15	5-15	4-8	±3
Asfalto residual	% em peso do agregado	7,5-13,5	6,5-12,0	5,5-7,5	±2
Fíler	% em peso do agregado	0-3	0-3	0-3	±0,3
Polímero	% em peso do asfalto residual	3 mín.	3 mín.	3 mín.	-
Taxa de aplicação	kg/m <sup>2</sup>	5-11	8-16	15-30	-
Espessura (mm)	-	4-15	6-20	12-37	-
Utilização		Áreas urbanas Aeroportos	Rodovias de tráfego pesado Trilhas de roda	Regularização de rodovias e Rodovias de tráfego pesado	-

**Nota:** As tolerâncias constantes do quadro são permitidas, desde que os limites da faixa não sejam ultrapassados.

**Tabela 20 – Faixas da Especificação ABNT NBR 14948:2003**

FAIXAS GRANULOMÉTRICAS DA MISTURA DE AGREGADOS PARA MICRORREVESTIMENTO					
PENEIRA		PORCENTAGEM PASSANDO EM PESO			TOLERÂNCIA DA CURVA DE PROJETO (%)
Nº	ABERTURA	FAIXA A	FAIXA B	FAIXA C	
1/2	12,5 mm	100	100	100	±5
3/8	9,5 mm	100	100	85-100	±5
nº 4	4,75 mm	90-100	70-90	60-87	±5
nº 8	2,36 mm	65-90	45-70	60-87	±5
nº 16	1,18 mm	45-70	28-50	28-45	±5
nº 30	600 µm	30-50	19-34	19-34	±5
nº 50	300 µm	18-30	12-25	14-25	±5
nº 100	150 µm	10-21	7-18	8-17	±3
nº 200	75 µm	5-15	5-15	4-8	±2

**Nota:** As tolerâncias na curva do projeto são permitidas, desde que os limites da faixa granulométrica referencial não sejam ultrapassados.



**Tabela 21 – Consumo Teórico de Materiais**

FAIXAS GRANULOMÉTRICAS DNIT 035/2005 – ES	I	II	III
Espessura acabada, mm	4 a 15	6 a 20	12 a 37
Mistura seca de agregados, kg/m <sup>2</sup>	5 a 19	8 a 16	15 a 30
Emulsão asfáltica com polímeros, kg/m <sup>2</sup>	0,5 a 1,5	0,9 a 2,0	1,5 a 3,0

As taxas de materiais, apresentadas na Tabela 21 e estabelecidas nos projetos de dosagem do microrrevestimento asfáltico, são apenas orientativas e referentes a espessuras previamente definidas sobre uma superfície perfeitamente lisa e uniforme.

Os métodos de medição dos serviços de microrrevestimento asfáltico a frio baseados em espessuras ou densidades aparentes médias não levam em consideração a textura e as irregularidades longitudinais/transversais da superfície a ser tratada e, portanto, não devem ser adotados como parâmetros para aceitação ou rejeição dos serviços.

A Norma internacionalmente adotada da International Slurry Surfacing Association (ISSA 143-2010) e a brasileira (ABNT NBR 14948) estabelecem que o pagamento dos serviços tenha por base a medição em peso dos materiais efetivamente aplicados (toneladas ou quilogramas) acrescidos dos custos operacionais. Outro parâmetro que poderá ser adotado como critério de pagamento é o custo total orçado e medido em metros quadrados de área executada.

## 1. Considerações preliminares

O preenchimento dos vazios dos agregados do Tratamento Superficial Simples (TSS) para melhorar as condições de rolamento e aumentar a sua vida útil é uma prática que tem sido utilizada em vários países do mundo. Em 1950, na África do Sul, foi pela primeira vez empregado um processo de aplicação de pré-misturado a quente com pó de pedra e asfalto sobre uma camada de TSS com agregado de 19 mm (3/4”), buscando proporcionar uma maior durabilidade do tratamento superficial. Inicialmente esse tipo de revestimento foi utilizado somente em construções novas, com VDM de até 300 veículos pesados por dia.

Na Austrália, o revestimento *cape seal* data do início dos anos 1960, sendo a lama asfáltica aplicada sobre uma camada de TSS para melhorar o rolamento e incrementar a durabilidade em construções novas. Mais recentemente o processo tem sido utilizado de maneira indireta, sendo a lama asfáltica substituída pelo microrrevestimento como camada de reabilitação sobre o TSS, com o objetivo de rejuvenescimento da camada asfáltica existente. Nesta situação o MRAF é utilizado para preenchimento dos vazios do TSS aumentando sua durabilidade.

Já nos Estados Unidos, as primeiras aplicações do revestimento *cape seal* ocorreram no final da década de 1970, como um procedimento de manutenção sobre o pavimento existente. No norte da Califórnia foi utilizado nas estradas vicinais das propriedades rurais. Em 1984 foi usado nas cidades de Salinas e Sacramento, na Califórnia, em estradas vicinais e áreas residenciais. Atualmente 15% das estradas vicinais e 5% das vias urbanas californianas têm superfícies revestidas com *cape seal*.

No Brasil, Larsen (1985), no seu conhecido trabalho sobre tratamentos superficiais, cita que a utilização de lama asfáltica sobre tratamento superficial possibilita um alto grau de fechamento e coesão do revestimento, evitando ainda a rejeição de partículas.

No Brasil podemos considerar como marco inicial a execução do trecho experimental na RST-101 entre Osório e Capivari, executado pelo DAER-RS no início de 2002, conforme mostra a Figura X.1. Posteriormente a Concessionária SPVias de Tatuí, São Paulo, adotou a técnica na recuperação da Rodovia Presidente Castelo Branco.

## Execução do *cape seal*



Figura XI.1 – Execução do *cape seal* – aplicação conjunta de TS e MRAF

O revestimento *cape seal* reúne as propriedades desejáveis do TSS e do microrrevestimento asfáltico. A combinação dessas propriedades proporciona uma solução econômica, uniformizando e protegendo a superfície, possibilitando uma conservação, reabilitação ou construção do pavimento mais eficiente.

## 2. Definição

O *cape seal* é um revestimento asfáltico delgado, onde são aplicadas duas técnicas de pavimentação em conjunto, a saber:

- tratamento superficial simples (TSS) com agregados com diâmetro máximo variando entre 9 mm a 13 mm, que confere as características de reabilitação e flexibilidade em pavimentos com trincas não ativas;
- seguido de uma selagem com microrrevestimento asfáltico a frio – MRAF, que promove a impermeabilização e a rugosidade ideal a fim de garantir a segurança e conforto ao rolamento aos usuários da rodovia, conforme apresentado na Figura XI.2.

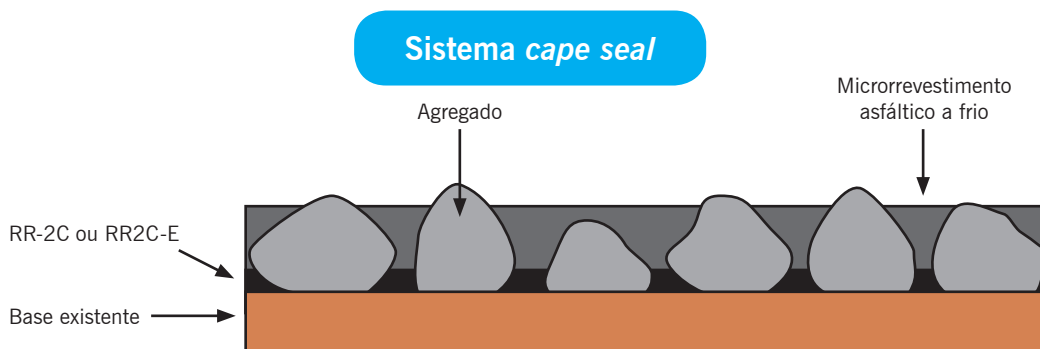


Figura XI.2 – Constituintes do *cape seal*

### 3. Campo de aplicação

O *cape seal* é utilizado para a reabilitação de pavimentos sujeitos a tráfego médio ou pesado e/ou na construção de novas rodovias e vias urbanas. Em função de sua alta flexibilidade, acompanha deformações relativamente grandes da infraestrutura podendo ser utilizado como camada intermediária ou de rolamento sobre camadas recicladas a frio com cimento ou emulsão asfáltica.

Em pontos onde existam deformações, trincamentos, bombeamento, trilhas de roda, exsudação etc. deverá ser feita uma intervenção para solucionar tais defeitos anteriormente à execução do *cape seal*.

### 4. Materiais e execução – generalidades

A seleção dos agregados deve atender às especificações de serviço de TSS e MRAF quanto à abrasão Los Angeles e índice de forma, entre outros fatores importantes, para que o agregado possa ser utilizado.

Outro fator de grande relevância é a relação de vazios obtidos através das medições de *average least dimension* (ALD – média da menor dimensão do agregado) e da faixa granulométrica do microrrevestimento a ser aplicado. Essas relações permitem uma sobreposição entre as camadas da lama ou microrrevestimento asfáltico a frio (MRAF) no tratamento superficial simples (TSS).

O desempenho do sistema *cape seal* depende também da qualidade das emulsões asfálticas catiônicas elastoméricas. Essas emulsões são formuladas de acordo com as características de cada agregado. A emulsão elastomérica para o TSS, RR2C-E deve possuir uma grande adesividade aos agregados, além de ter uma viscosidade tal que envolva bem o agregado e não escorra, com tempo de ruptura e cura adequado para posterior aplicação do microrrevestimento. Já a emulsão elastomérica de ruptura controlada para o MRAF, RC1C-E deverá proporcionar uma fluidez adequada ao MRAF visando ao perfeito preenchimento dos vazios do TSS (menor irregularidade), com tempo de cura adequado para rápida liberação ao tráfego.

A utilização de emulsões modificadas por polímeros elastoméricos proporciona a melhoria das propriedades adesivas e coesivas do TSS e de resistência ao desgaste e atrito do microrrevestimento asfáltico.

Durante a execução do projeto das misturas consideram-se, além dos aspectos relacionados à segurança e ao conforto dos usuários, as condições climáticas da região, bem como a geometria da rodovia, para a formulação de misturas asfálticas que promovam a rápida liberação dos serviços ao tráfego.

### SEQUÊNCIA DE APLICAÇÃO:

De uma forma esquemática, a sequência de aplicação da técnica é apresentada na Figura XI.3. A aplicação da técnica é ilustrada na sequência de Figuras XI.4 a XI.7.

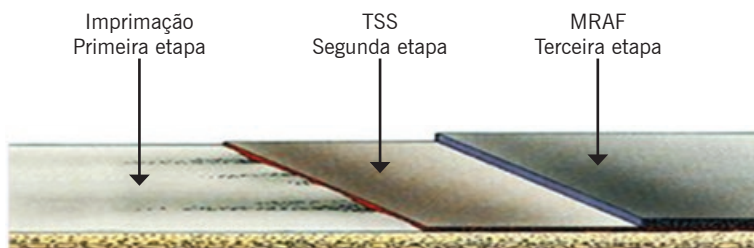


Figura XI.3 – Sequência de aplicação do *cape seal*



(a) multidistribuidor



(b) aplicação simultânea de emulsão e agregado

Figura XI.4 – Aplicação da camada de TSS



Figura XI.5 – Aplicação do MRAF



Figura XI.6 – *Cape seal* – Rodovia Castelo Branco (1 ano de tráfego)



Figura XI.7 – Textura final do *cape seal*

## 5. Vantagens da técnica

De acordo com experiências realizadas em outros países, podemos esperar as vantagens a seguir com o emprego do revestimento *cape seal*.

<b>DURABILIDADE</b>	A resistência ao envelhecimento é função do índice de vazios e espessura do filme de ligante. A inserção do MRAF nos interstícios dos vazios do TSS proporciona a formação de uma barreira física, criando uma vedação densa da mistura, onde o índice de vazios é, no máximo, de 2 a 3%. A baixa permeabilidade à água e ao ar do revestimento <i>cape seal</i> proporciona um aumento da durabilidade, especialmente se comparado com os tratamentos superficiais, onde o índice de vazios é elevado.
<b>RESISTÊNCIA À DERRAPAGEM</b>	Os revestimentos <i>cape seal</i> são também resistentes à derrapagem, pois têm apresentado valores aceitáveis de macrotextura e atrito superficial (VRD $\geq$ 55).
<b>REDUÇÃO DE RUÍDO</b>	O revestimento <i>cape seal</i> apresenta menor nível de ruído que o Tratamento Superficial Duplo – TSD.
<b>ACABAMENTO UNIFORME</b>	A maior uniformidade de acabamento do revestimento <i>cape seal</i> em relação ao tratamento superficial é atribuída, principalmente, às diferentes formas de confecção dos revestimentos. O MRAF é fabricado por mistura em usina móvel e o tratamento superficial com capa selante, através de espalhamento sucessivo de ligante e agregado na superfície.
<b>MAIOR EFICIÊNCIA DA SINALIZAÇÃO HORIZONTAL</b>	Os revestimentos <i>cape seal</i> são melhores substratos para a sinalização horizontal, proporcionando uma maior retrorefletividade, comparativamente ao TSD com capa selante. Além disso, esses revestimentos permitem abreviar o início dos serviços de sinalização horizontal, ao contrário dos tratamentos superficiais, onde se faz necessário aguardar um período de tempo muito mais longo para a fixação dos agregados e eliminação dos rejeitos.
<b>ECONOMIA</b>	O emprego de <i>cape seal</i> (TSS + microrrevestimento) apresenta custo semelhante ao TSD com capa selante, podendo, contudo, ter vantagens compensadoras de desempenho técnico.

## 6. Consumo teórico de materiais do *cape seal*

De uma forma geral o consumo dos materiais pode ser considerado conforme a Tabela 22.

**Tabela 22 – Consumo de Materiais do *Cape Seal***

TRATAMENTO SUPERFICIAL SIMPLES		MICRORREVESTIMENTO ASFÁLTICO	
MATERIAL	QUANTIDADE	MATERIAL	QUANTIDADE
Pedrisco 3/8"	7,0 kg/m <sup>2</sup>	Pó de pedra	70%
		Pedrisco 3/8"	30%
		Cimento Portland ou Cal CH-1	1,0%
Emulsão RR-2C ou RR2C-E	1,0 l/m <sup>2</sup>	Água	8,0%
		Aditivo controlador de ruptura	zero a 0,5%
		Emulsão RC1C-E	10,4%



# Macadame betuminoso com capa selante

## 1. Considerações preliminares

Macadame betuminoso com capa selante é uma camada de pavimento realizada por aplicações alternadas de ligante asfáltico sobre agregados minerais de diversos tamanhos, espalhada e compactada no local.

## 2. Campo de aplicação

O principal campo de aplicação do macadame betuminoso com capa selante é na execução de estruturas de reforço e/ou camada de rolamento de alta flexibilidade sobre bases granulares com a finalidade de acompanhar as deformações do subleito.

Pode ainda ser utilizado como revestimento impermeabilizante e selante quando se deseja bloquear a propagação de trincas do revestimento asfáltico existente e proteger a infraestrutura do pavimento contra a ação combinada do clima e do tráfego.

## 3. Materiais e execução – generalidades

O ligante asfáltico empregado deverá ser preferencialmente a emulsão asfáltica catiônica do tipo RR-2C convencional ou com polímero elastomérico.

A emulsão asfáltica poderá ser aplicada em superfícies úmidas, desde que não haja água em excesso e quando a temperatura ambiente estiver acima de 10°C. As emulsões asfálticas deverão ser levemente aquecidas, entre 50° a 70°C, para atender à faixa de viscosidade medida entre 100 a 250 SSF na temperatura de 50°C.

Os agregados minerais deverão ser de um único tipo (pedra, escória ou seixo britados), obedecendo às especificações de serviço quanto a granulometria, desgaste por abrasão Los Angeles, índice de forma, durabilidade e limpeza.

A Tabela 23 apresenta as faixas granulométricas para macadame betuminoso.



**Tabela 23 – Faixas Granulométricas para Macadame Betuminoso**

CAMADAS (1)	-	1ª	2ª	3ª	4ª
PENEIRAS ABERTURA (mm)	Nº OU POLEGADA	PEDRA BRITADA Nº 03	PEDRA BRITADA Nº 01	PEDRISCO	PEDRISCO FINO (PÓ)
63,5	2 ½"	100			
50,8	2"	90-100			
38,1	1 ½"	35-70			
25,4	1"	0-15	100		
19,1	¾"	-	90-100		
12,7	½"	0-5	20-55	100	
9,52	3/8"	-	0-15	90-100	100
4,76	Nº 04	-	-	40-75	55-100
2,38	Nº 08	-	-	5-25	
2,00	Nº 10	-	-	-	
0,42	Nº 40	-	-	0-10	
0,074	Nº 200	0-2	0-2	0-2	5-20

(1) Peneiras de malhas quadradas e porcentagem passando em peso.

A execução de cada camada é muito simples e não necessita de equipamentos sofisticados. Basicamente, os três principais – espargidor de ligante, distribuidor de agregado e o rolo compactador – trabalham “em comboio” com espaçamento mínimo entre eles.

O macadame betuminoso é constituído de uma aplicação de brita 3 (2”) sobre base devidamente imprimada, na taxa necessária para atingir 7 cm de espessura após sua compactação, resultando numa superfície nivelada, tanto transversal como longitudinalmente.

Posteriormente, são executadas três aplicações alternadas de emulsão asfáltica e brita 1 (3/4”), pedrisco (1/4”) e pó de pedra/areia respectivamente, devidamente espalhadas e compactadas, cuja espessura final deverá ser de 7 cm.

Antes da compactação é removido o excesso de agregado ou completado onde houver falhas de distribuição. Na sequência, executa-se o vassouramento mecânico e/ou manual.

Todas as camadas são compactadas, preferencialmente, com rolo de pneus de pressão variável. Para melhorar o acabamento, as camadas de pedrisco e pó de pedra recebem compactação complementar com rolo de chapa.

A liberação ao tráfego é realizada de maneira criteriosa, com controle da velocidade dos veículos. Diversas especificações orientam para que esta não seja executada quando a temperatura for inferior a 15°C.

Recomenda-se a exposição do revestimento recém-concluído durante, pelo menos 48 horas, a temperatura superior a 15°C, procedendo à avaliação final do serviço antes de sua abertura.

No caso da execução do serviço sobre bases granulares, deve-se tomar o cuidado de imprimir previamente a camada subjacente com asfalto diluído de petróleo (CM 30, CM 70) ou emulsão asfáltica para imprimação (EAI).

A especificação técnica DNER-ES 311/97 estabelece a sistemática empregada na execução e no controle da qualidade desse serviço.



Figura XII.1 – Macadame betuminoso com capa selante em via urbana. Execução: 1993



Figura XII.2 – Detalhe da macrotextura do macadame betuminoso com capa selante em via urbana. Execução: 1993

#### 4. Vantagens da técnica

As principais vantagens dessa técnica são:

- a) Excelente relação do custo-benefício do revestimento em questão;
- b) Simplicidade de operação e baixo custo de aquisição/manutenção dos equipamentos envolvidos (espargidor de ligante, distribuidor de agregado e vassoura mecânica);
- c) Simplicidade das atividades de treinamento de pessoal e controle tecnológico do serviço (basicamente, verificação da taxa de ligante asfáltico e de agregado), dispensando investimentos mais significativos;
- d) Maior resistência e flexibilidade às ações do tráfego/clima em relação ao macadame convencional quando do emprego de emulsões asfálticas elastoméricas.

## 5. Faixas granulométricas e consumo teórico de materiais

A Tabela 24 apresenta o consumo teórico de materiais usado no macadame betuminoso.

**Tabela 24 – Consumo Teórico de Materiais**

APLICAÇÃO	RR-2C (1) (kg/m <sup>2</sup> )	AGREGADOS (l/m <sup>2</sup> )
1º banho sobre a base ou substrato	1,0	-
1ª camada de agregado – brita 3 (2")	-	75
2º banho RR-2C ou RR2C-E sobre a brita 3 (2")	3,5	-
2ª camada de agregado – brita 1 (3/4")	-	14
3º banho RR-2C ou RR2C-E sobre brita 1 (3/4")	1,3	-
3ª camada de agregado – pedrisco	-	5
4º banho RR-2C ou RR2C-E sobre pedrisco	1,0	-
4ª camada de agregado – pó de pedra ou areia	-	6
<b>TOTAL</b>	<b>6,8</b>	<b>100</b>

(1) Dependendo do projeto de dosagem pode ser utilizada a emulsão asfáltica elastomérica (RR2C-E).

## 1. Considerações preliminares

Pré-misturado a frio (PMF) é uma técnica utilizada na execução de camada intermediária de regularização e reforço da estrutura do pavimento, também conhecida como binder, em revestimentos asfálticos e serviços rotineiros de conservação do tipo tapa-buracos.

Entre os inúmeros serviços que podem ser executados com emulsão asfáltica, talvez o mais empregado seja o pré-misturado a frio (PMF).

Os PMFs tiveram sua origem nos EUA na década de 1950 usando graduação aberta em bases e em revestimentos. No Brasil iniciou-se essa técnica a partir de 1966 em camadas de regularização e em bases. Na década de 1980 iniciou-se o emprego de PMFs na forma de graduação densa em revestimentos delgados.

A facilidade com que se pode obter a massa asfáltica, bem como sua aplicação na pista com vibroacabadora e até com motoniveladora, faz com que essa alternativa ganhe espaço em muitas cidades que querem pavimentar e não dispõem de grandes recursos financeiros.

Basicamente, o PMF consiste numa mistura, em equipamento apropriado, de agregado graúdo, agregado miúdo, material de enchimento (fíler) e emulsão asfáltica catiônica convencional ou modificada por polímeros (ruptura média ou lenta) espalhada e compactada a frio.

Os PMFs são classificados em aberto, semidenso e denso, segundo a porcentagem de vazios e a granulometria, obedecendo à classificação a seguir, como apresentado na Tabela 25.

**Tabela 25 – Classificação dos Tipos de PMF em Função dos Vazios**

DENOMINAÇÃO	P % PASSANDO		% VAZIOS
	Nº 10 (2 mm)	Nº 200 (0,074 mm)	
Aberto	$P \leq 10$	$P \leq 2$	22 a 34
Semidenso	$20 \geq P > 10$	$P \leq 5$	15 a 22
Denso	$P > 20$	$P \leq 8$	9 a 15

## 2. Campo de aplicação

A utilização do PMF é uma técnica utilizada na execução de camada intermediária de regularização e reforço da estrutura do pavimento, também conhecida como binder, revestimentos asfálticos e de serviços rotineiros de conservação do tipo tapa-buracos.

As emulsões de ruptura média (RM) são responsáveis pela produção das misturas de PMF do tipo abertas que, de acordo com as normas brasileiras, têm como maior agregado a brita de 1" ou 3/4", ou seja, agregado graúdo com diâmetro máximo de 25,4 mm ou 19 mm, respectivamente.

Como revestimento asfáltico apresenta a vantagem de elevada rugosidade, o que permite uma qualidade superior de aderência pneu-pavimento, aumentando a segurança quanto à derrapagem.

Como camada intermediária ou de transição pode servir de ligação, compatibilizando o módulo resiliente ou a resistência estrutural da camada de rolamento em concreto asfáltico com a camada granular subjacente de menor módulo de resiliência.

Devido à facilidade de produção, estocagem, transporte, aplicação e manuseio no campo é uma excelente solução para vias de tráfego médio e leve. O PMF aberto pode ser armazenado por períodos maiores que o PMF denso (em geral, até 30 dias, desde que devidamente estocado em pilhas e protegido com lonas impermeáveis).

Essa característica proporciona flexibilidade na programação do serviço, ou seja, pode-se priorizar a fase de produção da massa asfáltica e, posteriormente, a aplicação na pista. Além disso, apresenta a grande vantagem de liberação imediata da camada executada ao tráfego, permitindo a construção da obra por etapas.

Os PMFs com emulsões de ruptura lenta RL-1C proporcionam misturas asfálticas de granulometria densa e semidensa. Devido ao baixo índice de vazios, esse revestimento asfáltico apresenta excelente comportamento estrutural e funcional para vias de médio volume de tráfego, conferindo bom desempenho tanto do ponto de vista mecânico como de segurança e conforto da superfície de rolamento.

O PMF de graduação densa ou aberta, além do seu emprego como revestimento de novos pavimentos, é uma excelente opção para melhorar as condições da superfície de rolamento de pavimentos confeccionados em paralelepípedos, lajotas e pedra irregular, corrigindo as depressões e irregularidades altimétricas existentes e reforçando a capacidade de suporte da estrutura original.

O PMF denso pode ser estocado até 7 dias. Em caso de chuva, a execução da camada só poderá ser iniciada após a completa secagem da base.

Os trabalhos só devem ser conduzidos quando as condições ambientais forem apropriadas, isto é, com temperatura ambiente acima de 10°C e tempo estável, sem chuvas.

A Figura XIII.1 apresenta detalhe da produção de PMF em usina própria.



**Figura XIII.1 – Produção de PMF em usina de asfalto**

### 3. Materiais e execução – generalidades

Geralmente, a emulsão utilizada é catiônica, de ruptura média ou lenta empregada em pré-misturados abertos, semidensos ou densos, respectivamente. Se requerido no projeto, a emulsão asfáltica poderá conter polímeros elastoméricos.

A seguir, são indicadas as principais características dos materiais constituintes do pré-misturado a frio.

<b>AGREGADO GRAÚDO</b>	São materiais pétreos (rochas britadas, escórias britadas, cascalhos britados ou não), duráveis, livres de torrões, substâncias nocivas e de boa adesividade aos ligantes asfálticos.
<b>AGREGADO MIÚDO</b>	Pó de pedra, areia lavada de rio (exceto areia de cava) ou mistura de ambos, desde que apresente forma e resistência adequada e não contenha torrões de argila e outras impurezas. A quantidade máxima de areia admitida é de 20% sobre o total de agregados a ser confirmado em projeto.
<b>MATERIAL DE ENCHIMENTO (FÍLER)</b>	Cimento Portland, cal hidratada ou pó calcário são materiais minerais de granulometria conhecida e isentos de argilas ou outras impurezas. O cimento Portland e a cal hidratada além de compor a curva granulométrica melhoram a coesão e trabalhabilidade da massa asfáltica auxiliando os processos de ruptura e cura da emulsão; enquanto o pó calcário atua apenas na granulometria.

A mistura dos agregados com a emulsão deverá ser processada em equipamentos específicos tais como betoneiras e usinas mecânicas, estas últimas podem ser estacionárias ou móveis com capacidade de produção de 10 t/h a 200 t/h.

A usina estacionária destinada à confecção de misturas de solos, brita graduada, solo cimento etc. se aplica também à produção de pré-misturados com emulsões. As de maior capacidade de produção, geralmente, possuem silos individuais para os agregados graúdo (pedrisco e pedra 1) e miúdo (pó de pedra e/ou areia), dotados de comportas reguláveis para assegurar as vazões necessárias à composição do traço indicado.

A descarga dos silos é efetuada numa correia transportadora que conduz a mistura de agregados ao misturador (*pugmill*), onde é injetada a emulsão, dosada por medidores de vazão, ou pela calibragem prévia da rotação das bombas de transferência.

A Figura XIII.2 apresenta uma usina de solos/PMF de baixa capacidade de produção.



Figura XIII.2 – Usina de solos/PMF de baixa capacidade de produção

As usinas do tipo móvel, montadas em chassi de caminhão, são práticas e funcionais podendo ser colocadas em operação em poucas horas (Figura XIII.3).

Foto: Ciber Equipamentos Rodoviários Ltda



Figura XIII.3 – Usina de solo/PMF móvel

Já as usinas menores de produção *in situ*, em sua maioria, têm seu emprego restrito a pequenas quantidades de pré-misturados, para conservações corretivas rotineiras do tipo tapa-buracos (esse serviço também é realizado em betoneiras de pequeno volume).

Inicialmente deve-se fazer a aplicação de uma pintura de ligação que deverá ser executada com emulsão apropriada, lançada através de barra espargidora acoplada a um caminhão-tanque.

A massa asfáltica produzida é transferida para caminhões basculantes que transportam e descarregam o PMF em depósito apropriado, ou na via para ser espalhado com motoniveladora ou, também, diretamente na vibroacabadora.

O espalhamento manual deve ficar restrito ao serviço de tapa-buracos ou de pequenos segmentos descontínuos. Inicialmente deve-se fazer a aplicação de uma pintura de ligação que poderá ser executada com a própria emulsão, lançada através de barra ou caneta espargidora acoplada a um caminhão-tanque. Essa pintura deverá ter um consumo aproximado de 0,70 kg/m<sup>2</sup>.

A espessura da camada compactada de PMF deverá estar entre 1,5 a 3,0 vezes o tamanho máximo do agregado, para evitar desagregações prematuras ou deformações/ondulações, respectivamente.

A espessura máxima a ser compactada do PMF não deverá ultrapassar 7 cm. Para espessuras maiores a aplicação e compactação deverão ser feitas em duas camadas.

A compactação deverá ser iniciada com a utilização de rolo pneumático de pressão variável e prosseguirá até que não haja mais desnível entre a faixa a compactar e a adjacente já compactada. A compactação deverá ser concluída com a aplicação de rolo liso. Na falta de rolo pneumático de pressão variável, pode-se utilizar rolo conjugado com pneus lisos no eixo traseiro e chapa no tambor dianteiro. Todos os equipamentos de compactação devem ser devidamente lastrados e livres de vazamentos de óleo hidráulico.

Nos trechos em tangente, a compactação deverá ser iniciada do bordo para o eixo, e nos trechos em curva do bordo mais baixo para o mais alto.

A compactação será dada como concluída quando a camada apresentar uma superfície desempenada, uniforme, isenta de ondulações e sem saliência ou rebaixos. Antes da liberação ao tráfego a camada de PMF poderá receber um tratamento tipo capa selante; executada com uma aplicação de emulsão apropriada através de barra ou caneta espargidora seguida da distribuição de areia grossa ou pó de pedra na taxa de projeto. Essa etapa visa promover proteção à ação das intempéries.

Recomenda-se uma passada de rolo liso sem vibração para promover a acomodação e penetração da areia ou pó de pedra nos vazios superficiais do PMF. O tráfego poderá ser liberado imediatamente, com a devida sinalização de alerta quanto à existência de material solto na superfície da pista a fim de evitar acidentes.



Figura XIII.4 – Aplicação de PMF denso com vibroacabadora



Figura XIII.5 – Revestimento asfáltico tipo PMF em via urbana



## 4. Vantagens da técnica

As principais vantagens dessa técnica são operacionais e econômicas, tais como:

- a) Utilização de equipamentos de baixo custo para usinagem e aplicação;
- b) Trabalhabilidade a temperatura ambiente, sem necessidade de aquecimento dos materiais empregados;
- c) Possibilidade de trabalhar com agregados úmidos;
- d) Possibilidade de utilizar agregados britados provenientes de quase todos os tipos de rocha, devido à adesividade ímpar das emulsões catiônicas;
- e) Alta produtividade, possibilitando a estocagem do PMF para posterior aplicação, tais como serviços de tapa-buracos e pequenas intervenções;
- f) Baixo consumo de energia térmica e elétrica envolvida durante as operações de produção, transporte, manuseio, estocagem e aplicação dos materiais (cerca de 60% a 70% da energia total consumida em misturas asfálticas a quente);
- g) Possui capacidade de suporte às deflexões das camadas subjacentes, apresentando baixo grau de fissuramento e trincamento;
- h) Reduzida emissão de gases tóxicos e poluentes melhorando as condições de segurança, meio ambiente e saúde (SMS).

## 5. Consumo teórico de materiais

A Tabela 26 apresenta o consumo teórico de materiais usados no PMF.

**Tabela 26 – Consumo Teórico de Materiais**

TIPO DE REVESTIMENTO	EMULSÃO	DENSIDADE APARENTE	CONSUMO	
			EMULSÃO kg/m <sup>2</sup>	AGREGADOS kg/m <sup>2</sup>
I – Camada intermediária (binder)				
Aberta	6	1,70	5,10	80,0
Semidensa	7	1,80	6,30	83,7
II – Camada de rolamento				
Aberta	6	1,90	5,70	89,3
Semidensa	8	2,10	8,40	96,6
Densa	9	2,20	9,90	100,0

**Nota:**

Porcentagem em peso da mistura de agregados secos.

As sugestões de consumo na tabela deverão ser confirmadas em laboratório.

Espessura de 5 cm de PMF compactado.



# Serviço de tapa-buracos

## 1. Considerações preliminares

O serviço de tapa-buracos com emulsões asfálticas constitui o sistema mais simples para a manutenção de pavimentos e comumente é empregado em planos emergenciais rodoviários e de vias urbanas.

Na execução do tapa-buracos, entre os inúmeros serviços que podem ser executados com emulsões asfálticas, um dos mais empregados é o pré-misturado a frio (PMF).

A facilidade da produção de massa asfáltica em usina apropriada ou betoneira, bem como na execução dos serviços, faz com que essa alternativa ganhe espaço em muitas obras em que não se dispõe de grandes recursos financeiros e operacionais.

## 2. Campo de aplicação

A superfície dos pavimentos sofre deterioração sob a ação das características do tráfego e do intemperismo.

Inicialmente surgem os defeitos superficiais, representados por fissuras e trincas que afetam o revestimento asfáltico. Na sequência aparecem as degradações médias (panelas), ainda sem o comprometimento das camadas de base. No estágio final, surgem as degradações profundas (trincas de alta severidade e buracos) que afetam também as camadas subjacentes do pavimento.

Os primeiros defeitos oriundos de degradações superficiais, se não sanados através de ações preventivas, por exemplo, selagem de trincas e/ou lama asfáltica, necessitarão, num curto período, de intervenções emergenciais para restabelecer as condições de serventia do pavimento. Nesse caso, devem ser empregados os serviços corretivos de tapa-buracos.

O retardamento da execução dessas operações poderá resultar no comprometimento estrutural demandando uma restauração mais pesada e onerosa, ou até mesmo a reconstrução total do pavimento.

## 3. Materiais – generalidades

De uma forma geral a execução de tapa-buracos é realizada com PMFs empregando-se emulsão asfáltica catiônica que poderá ser de ruptura média, tipo RM-1C em PMF aberto

e para misturas de PMF semidenso ou denso é utilizada emulsão lenta, tipo RL-1C. Antes da aplicação do PMF deverá ser aplicado sobre o substrato emulsão de ruptura rápida, RR-1C, para promover a ligação entre as camadas (pintura de ligação). Se requerido no projeto, o ligante asfáltico pode conter polímeros, para atender às características específicas de clima e tráfego.

É fundamental em qualquer tipo de mistura asfáltica, inclusive as empregadas no serviço de tapa-buracos, que os agregados sejam britados no mínimo em uma face e que possuam granulometria adequada à solução indicada.

Normalmente, são utilizadas as faixas granulométricas especificadas pelo DNIT para o PMF.

Os principais equipamentos utilizados no serviço são usinas, rolo compressor e acessórios tais como pás, enxadas, ancinhos, soquetes, entre outros.

## 4. Execução

O buraco a ser reparado deve ser preparado conforme os seguintes procedimentos usuais:

- conformação de seus lados segundo figura geométrica regular (requadramento);
- varreção;
- pintura de ligação e, se necessário;
- aplicação de base.

O PMF para camada de rolamento deve ser aplicado na espessura máxima de 5 cm. Se a profundidade do buraco for maior, deve-se completar a estrutura do pavimento com material de base ou colocar uma camada de PMF intermediária (faixa B do DNIT).

Após a compactação da camada intermediária, completa-se o buraco com o PMF que servirá de camada de rolamento.

O PMF deve ser aplicado com espessura adicional de cerca de 1 cm em relação à superfície/cota do pavimento remanescente para evitar que o local reparado tenha seu perfil alterado por efeito da compactação empregada no reparo pela ação do trânsito.

A compactação pode ser feita com rolos compressores, sapos mecânicos, placas vibratórias ou soquetes manuais; dependendo do montante da obra.

Após a compactação, para que o trânsito seja liberado de imediato, sugere-se cobrir o buraco tapado com pó de pedra ou areia para que a massa tenha sua cura completada com qualidade e segurança.

De qualquer maneira, a compactação será completada pelo próprio trânsito. Após alguns dias, o PMF estará completamente consolidado.

Um bom desempenho do serviço de tapa-buraco com PMF é garantido através da escolha de agregados de boa qualidade e emulsão adequada à mistura desejada. A mistura deverá ser dosada e controlada por laboratório especializado em asfaltos.

A Tabela 27 apresenta a composição para mistura de PMF em betoneira.

**Tabela 27 – Composição para Mistura de PMF**

ESPESSURA DO REVESTIMENTO (cm)	5 a 10	3 a 5	3	3 a 5
Tipo de revestimento	Base	Rolamento	Rolamento	Rolamento
Tipo de emulsão	RM-1C	RM-1C	RL-1C	RL-1C
Faixa granulométrica	B	C	C	C (CAUQ)
Brita 2 (1")	20%	0%	0%	0%
Brita 1 (5/8")	40%	30%	0%	20%
Brita (3/8") ou (1/4")	40%	60%	40%	40%
Pó de pedra	0%	0%	40%	40%
Areia	0%	10%	20%	0%
Água	Máx. 3,0%	Máx. 3,0%	Máx. 6,0%	Máx. 6,0%
Emulsão (%)	4,5 a 5,5	6,0 a 7,0	9,0	9,0
Emulsão (litros)	6,7 a 8,3	9,0 a 10,5	13,5	13,5

**Nota:**

Utilizar pó de pedra somente nas misturas de RL-1C.

As quantidades acima devem ser confirmadas através de projetos laboratoriais.

Através de padiolas, previamente cubadas, colocam-se na betoneira, todos os agregados e a água para uma carga, evitando seu carregamento excessivo. Recomenda-se usar 2/3 de sua capacidade a fim de obter uma mistura mais uniforme.

Em seguida, adiciona-se a emulsão na quantidade prevista, e promove-se a mistura dos componentes até o completo envolvimento dos agregados. Posteriormente o PMF é descarregado em carrinhos de mão, podendo ser aplicado imediatamente, ou coberto com lona plástica impermeável e estocado por um período de até 30 dias.

Diz-se que a emulsão rompeu quando o asfalto se deposita na pedra, o que é constatado pela mudança na cor da mistura; de marrom (emulsão não rompida) para preta (emulsão rompida).

Durante a preparação duas falhas podem ocorrer:

**a) A emulsão não envolve:**

- deve-se prolongar a mistura até que a emulsão rompa; ou
- envolva completamente os agregados.

**b) A emulsão rompe prematuramente sem envolver o agregado:**

- isso pode ocorrer devido à insuficiência de emulsão ou ruptura prematura desta;
- se a dosagem estiver correta, deve-se umedecer ou lavar os agregados antes de adicionar a emulsão.

A preparação pode ser considerada adequada quando o PMF é descarregado da betoneira completamente com agregado envolvido e sem escorrimento do ligante asfáltico.

Após a compactação da camada intermediária, completa-se o buraco com o PMF na gradação projetada para camada de rolamento.

O PMF deve ser aplicado com espessura adicional de cerca de 1 cm em relação à superfície/cota do pavimento remanescente para evitar que o local reparado tenha seu perfil alterado por efeito da compactação do tráfego.

Dependendo do porte da obra, a compactação pode ser feita com rolos compressores, sapos mecânicos, placas vibratórias ou soquetes manuais.

Para liberação imediata ao tráfego, sugere-se proteger a área restaurada com pó de pedra ou areia evitando problemas de desagregações prematuras e de segurança aos usuários. A consolidação do PMF aplicado ocorrerá pela ação do tráfego ao longo dos primeiros 6 meses.

Além dos cuidados executivos, para o bom desempenho do serviço de tapa-buraco recomenda-se que a seleção dos materiais e a dosagem da mistura de PMF sejam realizadas em laboratório especializado em asfalto.

Atualmente, empresas especializadas fornecem misturas asfálticas a granel ou em sacos para execução de serviços emergenciais do tipo tapa-buracos.

As principais etapas de execução dos serviços de tapa-buracos são apresentadas nas Figuras XIV.1 e XIV.2.



(a) preparação do PMF em betoneira

(b) aplicação do PMF em buraco quadrado

Figura XIV.1 – Preparação e execução de PMF para tapa-buracos



Figura XIV.2 – Compactação de tapa-buracos

## 5. Vantagens da técnica

A seguir são destacadas as principais vantagens do sistema:

- dispensa qualquer aquecimento;
- apresenta excelente adesividade;
- possibilita o trabalho com agregados úmidos;
- pode ser produzido em simples betoneiras;
- permite a estocagem da mistura, possibilitando a usinagem dissociada da aplicação na pista;
- é de técnica simples, podendo ser praticada por pessoal sem grande experiência;
- possibilita a realização de serviços mais econômicos.

## 6. Consumo teórico de materiais

A Tabela 28 apresenta o consumo teórico de materiais do serviço de tapa-buraco.

**Tabela 28 – Consumo Teórico de Materiais**

TIPO DE PMF	ABERTO	SEMI-DENSO	DENSO
TIPO DE REVESTIMENTO	BASE	ROLAMENTO	ROLAMENTO
Brita 2 (1"), (litros/m <sup>3</sup> )	200	-	-
Brita 1 (3/4" ou 5/8"), (litros/m <sup>3</sup> )	400	300	200
Pedrisco 3/8" ou 1/4", (litros/m <sup>3</sup> )	400	600	400
Areia de Rio (litros/m <sup>3</sup> )	-	100	-
Pó de Pedra (litros/m <sup>3</sup> )	-	-	400
Emulsão RM-1C, (l/m <sup>3</sup> )	75	105	-
Emulsão RL-1C, (l/m <sup>3</sup> )	-	-	140

**Nota:**

Baseado em m<sup>3</sup> de massa solta de PMF solta, antes da compactação e cura (como produzida e comprada). Considerando, em média, o peso específico da emulsão asfáltica = 1,0 kg/l.

## 1. Considerações preliminares

Areia asfalto (AA) é o produto resultante da mistura, em equipamento apropriado, de emulsão asfáltica catiônica e agregado miúdo, com a presença ou não de material de enchimento (fíler), espalhado e compactado a frio.

Esse tipo de serviço, empregado com tecnologia similar ao PMF, pode ser considerado como uma solução alternativa para viabilizar a pavimentação, em regiões onde há carência de agregados pétreos e elevado custo de transporte dos materiais.

## 2. Campo de aplicação

Areia asfalto (AA) é um serviço utilizado, principalmente, na execução de regularizações, camada final de revestimento asfáltico e serviços do tipo tapa-buracos em vias de baixo tráfego.

## 3. Materiais e execução – generalidades

De modo geral, a emulsão utilizada é catiônica de ruptura lenta RL-1C convencional ou especialmente formulada para atender aos requisitos técnicos da obra.

Em climas frios e úmidos deve-se estudar o emprego de emulsões de ruptura controlada, do tipo RC-1C, para otimizar o tempo de abertura ao tráfego.

O agregado miúdo pode ser constituído de areia, pedrisco, pó de pedra, pó de escória ou mistura de ambos. Suas partículas individuais deverão ser resistentes, apresentar ângulos moderados, livres de torrões de argila e de substâncias nocivas, com equivalente de areia igual ou superior a 55%.

A Tabela 29 apresenta a recomendação quanto à composição granulométrica da areia.

**Tabela 29 – Composição Granulométrica da Areia**

PENEIRAS – ASTM	FINA (1)	MÉDIA (1)	GROSSA (1)
3/8"	-	100	100
Nº 4	100	90-100	95-100
Nº 50	60-90	25-60	5-25
Nº 200	3-10	0-5	0-5

(1) Porcentagem passando.

As granulometrias do pó de pedra, pedrisco e pó de escória recomendadas são indicadas na Tabela 30.

**Tabela 30 – Composição Granulométrica**

PENEIRAS – ASTM	PEDRISCO (1)	PÓ DE PEDRA (1)	PÓ DE ESCÓRIA (1)
3/8"	100	100	100
Nº 4	10-70	90-100	90-100
Nº 50	0-5	23-35	25-35
Nº 200	0-2	5-10	4-8

(1) Porcentagem passando.

**Nota:** A fração que passa na peneira 200 poderá ultrapassar o limite exigido, desde que a mistura total apresente um valor mínimo de 10% de vazios.

O material de enchimento, se necessário, poderá ser cimento Portland, cal hidratada (CH-I), pó calcário ou qualquer outro material que satisfaça as especificações do DNIT.

Para a dosagem adequada da mistura, deverão ser executados, no mínimo, os ensaios de granulometria, equivalente de areia e determinação da umidade dos agregados.

O ensaio de estabilidade Marshall para misturas asfálticas a frio deverá apresentar valor mínimo de 150 kgf para estabilidade. Se necessário, deverá ser incorporado material britado, cimento ou cal hidratada CH-I (1% a 7%) na mistura de agregados.

Os principais equipamentos utilizados são:

- usinas móveis, ou estacionárias de PMF, dotadas de misturadores, tipo *pugmill*;
- espargidor para a pintura de ligação;
- motoniveladora ou vibroacabadora capaz de distribuir a camada de mistura na espessura a ser compactada;
- rolo pneumático de pressão variável;
- rolo tandem, ou rolo conjugado.

Para espessuras maiores que 4 cm, recomenda-se a execução em subcamadas. A Figura XV.1 mostra o revestimento areia asfalto a frio em via urbana.





(a) areia asfalto a frio em via urbana



(b) detalhe da espessura delgada do revestimento

Figura XV.1 – Revestimento areia asfalto a frio

## 4. Vantagens da técnica

As vantagens dessa técnica são:

- aproveitamento total ou parcial da areia existente na região;
- equipamento simples para usinagem e aplicação;
- possibilidade de trabalhar com agregados úmidos (não saturados de água);
- baixo consumo energético.

## 5. Consumo teórico de materiais

A Tabela 31 apresenta o consumo teórico de materiais.

Tabela 31 – Consumo Teórico de Materiais

TIPO DE MATERIAIS	TAXA
Areia	1,450 m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>
Areia + Pedrisco (1)	1,450 m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>
RL-1C	190 kg/m <sup>3</sup>

(1) Nas regiões onde são disponíveis, pode-se utilizar até 50% de pedrisco para melhorar a estabilidade.

## 1. Considerações preliminares

Estabilização de solo com emulsão é o produto resultante da mistura de solos, geralmente locais, com emulsão asfáltica, na presença, ou não, de fílers minerais ativos, em equipamentos apropriados, espalhada e compactada a frio.

Esse tipo de serviço pode ser considerado como uma solução alternativa para viabilizar a pavimentação, principalmente em regiões onde existe carência de agregados pétreos e elevado custo de transporte dos materiais.

## 2. Campo de aplicação

A estabilização solo – emulsão, principalmente no local, é uma excelente alternativa técnica e de baixo custo para a preservação de energia, do meio ambiente e dos recursos naturais, uma vez que há o aproveitamento dos materiais locais para a execução a frio de sub-base e/ou base de resistência estrutural adequada ao volume de tráfego e às condições do subleito em função da espessura dos pavimentos flexíveis e rígidos.

Vias urbanas ou rurais de baixo tráfego podem ser pavimentadas, simplesmente, combinando essa técnica com um revestimento asfáltico superficial delgado (tratamento antipó, capa selante, lama asfáltica, tratamento superficial por penetração ou microrrevestimento asfáltico).

Em termos gerais, pode-se dizer que as possibilidades de estabilização de um solo com emulsão asfáltica dependem, fundamentalmente, da composição granulométrica e das características físico-químicas do mesmo.

Se o solo é constituído totalmente de areia, sem coesão, a missão principal da emulsão asfáltica é aglutinadora, ou seja, conferir coesão.

Quando se tem um solo coesivo puro (solo argiloso), o problema é totalmente diferente. É bem conhecido que uma argila seca desenvolve altos valores de coesão, a qual se perde na presença de água. O elemento coesivo, nesse caso é a argila e a função principal do ligante asfáltico não é precisamente conferir coesão, mas proteger as partículas de argila da ação da umidade.

Em outras palavras, a emulsão atua conferindo propriedades impermeabilizantes (hidrófobas) cobrindo as partículas de argila com uma fina película de betume fortemente aderida e bloqueando os condutos capilares a fim de impedir o acesso de água.

Esses são os dois casos extremos que podem ocorrer com cada material tratado individualmente. Nos casos intermediários, a preponderância do atrito interno das partículas ou coesivo

do solo, sem o ligante asfáltico como estabilizante, dependerá da relação volumétrica e das características de seus componentes.

Com esse mesmo raciocínio se pode admitir que, para uma mistura de um solo e uma areia de características e natureza determinadas, haverá o desenvolvimento simultâneo de atrito interno e de coesão para um dado grau de compactação. Nesse caso, a emulsão asfáltica contribuirá para conservar a coesão desenvolvida pelo solo, mediante sua impermeabilização, fornecendo, também, coesão própria para aumentar a capacidade de suporte do conjunto.

Uma grande variedade de tipo de solos pode ser estabilizada com emulsões asfálticas, por exemplo:

- a)** No caso de materiais britados, não classificados e não plásticos com equivalente de areia maior que 30% e até 15% de material passando na peneira nº 200, podem ser tratados com bons resultados, com desempenho similar ao processo realizado a quente;
- b)** Solos com índice de plasticidade (IP) menor que 8, com equivalente de areia entre 20 a 30 e até 20% de material passando na peneira nº 200, podem ser estabilizados de maneira econômica, empregando somente emulsão asfáltica;
- c)** Solos com índice de plasticidade (IP) maior que 8 ou com equivalente de areia menor que 20% são candidatos a uma estabilização mista com emulsão asfáltica e um ligante hidráulico para reduzir a sua plasticidade e, conseqüentemente, aumentar sua resistência estrutural inicial (mesmo no caso de solos não plásticos).

### 3. Materiais e execução – generalidades

A qualidade e o desempenho de uma mistura estabilizada dependem fundamentalmente de:

- a)** Um projeto de dosagem para determinar as quantidades ótimas de solo e emulsão asfáltica a serem empregadas, a fim de garantir a impermeabilidade da mistura;
- b)** Boas condições de mistura e compactação na umidade ótima para atingir uma adequada estabilidade e resistência estrutural;
- c)** Adequado tempo de secagem da mistura compactada até o menor conteúdo de umidade possível.

Geralmente os materiais são estabilizados no local com emulsão asfáltica catiônica de ruptura lenta, tipo RL-1C; porém dependendo da quantidade de finos reativos e/ou plásticos passantes na peneira nº 200, poderá ser desenvolvida uma emulsão que atenda a essa necessidade específica.

O conjunto de equipamentos necessários para a execução do serviço é o seguinte: fresadoras/recicladoras ou pulvemisturador ou grade de disco para misturas no local ou central de mistura para PMF e outros tais como motoniveladora com escarificador, espargidor de água e de emulsão asfáltica, rolos compactadores do tipo pé de carneiro, pneumáticos ou mistos.

As camadas devem ser executadas individualmente, espalhando nessa ordem:

- aditivo hidráulico;
- agregado virgem (se necessário);
- água até ser atingida a umidade ótima de compactação; e
- emulsão asfáltica.

A emulsão asfáltica pode ser adicionada simultaneamente no processo de mistura com equipamento de reciclagem ou aplicada sobre a superfície quando o processo de homogeneização é realizado com motoniveladora (Figura XVI.1).

Cada camada não deverá exceder a espessura de 7 cm, quando aplicada com motoniveladora, e 15 cm, quando aplicada com pulverizador, após sua compactação.

Em alguns casos, a aeração da mistura com a motoniveladora poderá ser requerida antes da compactação final, bem como aspersão de emulsão asfáltica sobre a superfície compactada para impermeabilizar e/ou servir de pintura de ligação para o revestimento superficial da camada de rolamento.



Figura XVI.1 – Estabilização de solos no local, com emulsão asfáltica

#### 4. Vantagens da técnica

As principais vantagens dessa técnica são:

- a) Preservação dos recursos naturais, utilizando materiais do local;
- b) Conservação de energia, não havendo necessidade de aquecimento dos materiais;
- c) Baixo custo de execução e de manutenção;
- d) Elevado grau de impermeabilização das camadas de base e resistência à fadiga e às trincas de origem térmica.

## 5. Consumo teórico de materiais

A Tabela 32 apresenta o consumo teórico de materiais.

**Tabela 32 – Consumo Teórico de Materiais**

TIPO DE MATERIAIS	TAXA (l/m <sup>2</sup> /cm)
Solo	15
Emulsão RL-1C ou LAN	1,14

# XVII Reciclagem a frio

## 1. Considerações preliminares

A crescente preocupação das organizações governamentais e da sociedade com as questões ambientais tem estimulado o desenvolvimento de “tecnologias limpas”, voltadas para a redução/eliminação dos processos poluentes e para a preservação dos recursos naturais, cada vez mais raros.

Durante muitos anos, os órgãos responsáveis pela manutenção de estradas, adotavam como única solução, sucessivos recapeamentos asfálticos, procurando estender ao máximo o ciclo de vida dos pavimentos. No entanto, essa intervenção periódica gerava sobre elevação de material, causando problemas, principalmente em túneis, pontes, meios-fios, defensas, drenos da pista e formação de degraus nos acostamentos.

Nas últimas duas décadas, as estruturas deterioradas vêm sendo recuperadas através de um conjunto de técnicas de reciclagem ou de estabilização betuminosa, executadas no próprio local da obra ou em usinas fixas.

Essa tecnologia de reutilização dos materiais existentes pode ser empregada em operações a quente ou a frio de acordo com as condições gerais e peculiaridades de cada obra de pavimentação.

O rejuvenescimento dos pavimentos flexíveis teve um grande avanço, na década de 1940, quando o químico americano F. S. Rostler estudou a química dos asfaltos, identificando suas frações e permitindo assim o desenvolvimento dos agentes de reciclagem para o restabelecimento das características originais dos ligantes, envelhecidos pela ação do clima e do tráfego.

Principalmente a reciclagem a frio de pavimentos asfálticos vem ganhando popularidade na Europa e EUA, em função de suas vantagens ecológicas e de baixo custo.

De modo geral, a técnica consiste em promover a fresagem e a mistura das camadas de rolamento e de base, aditivando-as com ligantes hidráulicos (cal ou cimento Portland), emulsões asfálticas e/ou agentes de reciclagem emulsionados (convencionais ou modificados com polímeros), visando obter uma nova estrutura, homogênea e mais resistente.

As camadas recicladas a frio são intermediárias e devem receber algum tipo de revestimento asfáltico na superfície de rolamento.

A escolha, basicamente, dependerá da categoria de tráfego, podendo ser aplicado um tratamento de superfície convencional para baixo volume (lama asfáltica, tratamento superficial por penetração) ou com emulsão asfáltica elastomérica quando o tráfego for intenso (microrrevestimento asfáltico ou *cape seal*).

## 2. Campo de aplicação

Todos os tipos de pavimentos asfálticos podem ser reciclados para a remoção de trincas, fissuras, deformações plásticas, exsudações e buracos, tais como rodovias de baixo, médio e alto volume de tráfego, vias rurais e urbanas, pistas de aeroportos etc.

Por exemplo, estruturas compostas de bases granulares e solos arenosos no subleito podem ter sua resistência mecânica melhorada mediante a reciclagem ou estabilização a frio.

Porém, é imprescindível, como em qualquer método de reabilitação de pavimentos asfálticos, sua avaliação funcional e estrutural através do levantamento dos defeitos, da bacia de deflexões, do tráfego atual/futuro e sondagens para verificação das condições e espessuras das camadas, acompanhadas de extração de amostras para estudo dos materiais e realização do projeto de dosagem.

Dependendo do grau de deterioração do pavimento, pode-se proceder à reciclagem da capa asfáltica ou à reciclagem da capa e camadas subjacentes.

A reciclagem a frio somente da camada de rolamento ou em conjunto com a de ligação (CAUQ/PMQ – pré-misturado a quente) poderá ser executada com agentes de reciclagem emulsionados, convencionais ou com polímeros, quando se necessita tratar estruturas de até 10 cm de espessura que apresentam elevado grau de trincamento. As Figuras XVII.1 e XVII.2 apresentam de forma esquemática as camadas do pavimento que podem ser recicladas.

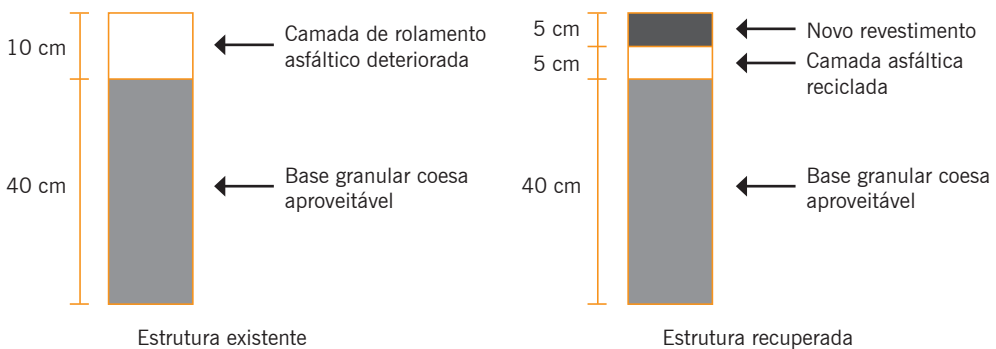


Figura XVII.1 – Reciclagem de capa

A reciclagem a frio das camadas de rolamento (CAUQ), de ligação (PMQ) e de base poderá ser executada com emulsões asfálticas catiônicas, tipo ruptura lenta ou controlada quando se necessita tratar estruturas entre 13 cm a 25 cm de espessura.

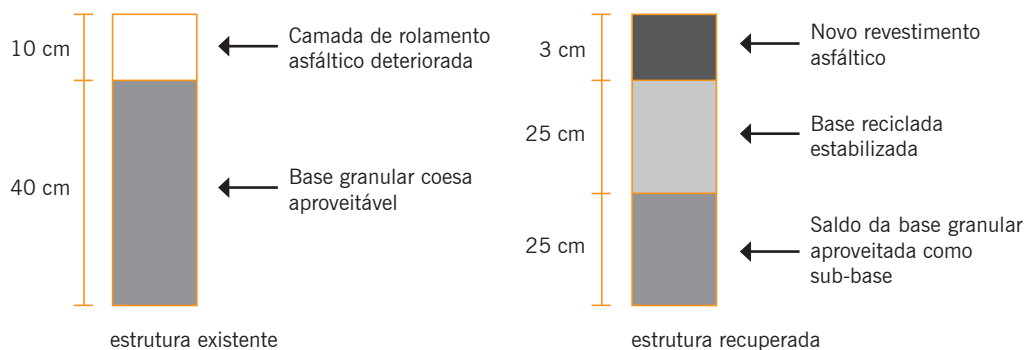


Figura XVII.2 – Reciclagem de capa e camadas de base

### 3. Materiais e execução – generalidades

A escolha do tipo de agente de reciclagem emulsionado (ARE) depende da quantidade e grau de envelhecimento do ligante asfáltico no pavimento. Os agentes de reciclagem emulsionados seguem a especificação IBP-ABNT, conforme Tabela 6, apresentada anteriormente.

Embora dependa do nível de degradação em que se encontra o pavimento, na maioria das intervenções, 100% do material fresado da pista poderá ser reciclado/estabilizado a frio, otimizando as vantagens econômicas e de preservação do meio ambiente da técnica. A seguir descreveremos, basicamente, sua execução no local e em usina.

### 4. Reciclagem a frio no local

O depósito de ARE não necessita de energia de aquecimento ou isolamento térmico; é de preferência rebocável, munido de bomba de circulação, permitindo a transferência do produto para o tanque de alimentação da unidade móvel.

O equipamento para execução do serviço deverá ser capaz de fresar o pavimento na espessura previamente definida, triturar o material na granulometria do projeto, dosar adequadamente água e ARE, misturar todos esses componentes a frio no local e aplicar a massa reciclada sobre o pavimento.

Há a necessidade de aplicar a pintura de ligação antes da mistura reciclada, sendo a massa espalhada geralmente com motoniveladora e compactada com rolo liso e/ou pneumático.

As máquinas mais modernas além de fresar/reciclar o material asfáltico, também já possuem, acoplada à parte traseira, uma mesa acabadora. Outras são unidades múltiplas (fresadoras, classificadoras do material extraído e recicladoras), montadas sobre chassi de caminhão, sendo, nesse caso, a massa espalhada com vibroacabadora convencional.

As Figuras XVII.3 a XVII.5 apresentam exemplos de reciclagem no local com emulsão asfáltica em via urbana, rodovia e em seção do pavimento da rodovia SP-333 (S. Paulo), respectivamente.





Figura XVII.3 – Reciclagem a frio no local, em via urbana



Figura XVII.4 – Reciclagem a frio no local, em rodovia



Figura XVII.5 – Detalhe da reciclagem a frio em seção do pavimento da SP-333

## 5. Reciclagem a frio em usina

Os equipamentos para depósito de AREs, espalhamento e compactação são os mesmos utilizados para os serviços de pré-misturados a frio (PMF).

O fresado obtido por escarificação a quente ou a frio é transportado até a usina de PMF ou de solos (fixa ou transferível) onde será misturado com o ARE e o agregado adicional (se necessário), de acordo com as quantidades especificadas em projeto.

As usinas mais modernas dispõem de unidades classificadoras para eliminar qualquer fresado acima da granulometria de projeto. Há necessidade de aplicar a pintura de ligação antes da mistura reciclada, sendo a massa espalhada com vibroacabadora ou motoniveladora e compactada com rolo liso e/ou pneumático.

Em ambos os tipos de reciclagem:

- O controle tecnológico do serviço (basicamente granulometria, teor, penetração e viscosidade do ligante asfáltico) é realizado antes e depois da massa asfáltica reciclada;
- Adicionalmente, recomenda-se a realização de ensaios mecânicos (módulo de resiliência e resistência à tração) em corpos de prova extraídos da pista;
- A abertura ao tráfego fica condicionada à não desagregação da massa reciclada, executando-se, posteriormente, como camada de rolamento, um revestimento asfáltico superficial delgado, como já descrito anteriormente.

## 6. Vantagens da técnica

As vantagens de utilização das técnicas de reciclagem a frio são inúmeras, principalmente, as ecológicas e o baixo custo, entre outras:

- Eliminação de exploração de jazidas de novos materiais preservando o meio ambiente;
- Eliminação de operações de escavação, carga e transporte de materiais na jazida ou na pista a ser restaurada;
- Aproveitamento total dos materiais do pavimento existente sem criar depósitos de materiais removidos;
- Eliminação da necessidade de instalação de equipamentos para beneficiamento de materiais (britadores);
- Processo de alta produtividade, não poluente e não necessita energia de aquecimento dos materiais;
- Possibilidade de executar camadas com espessuras e dosagens diferenciadas para cada seção da via, de acordo com sua necessidade específica;
- Geração de uma camada de “base negra” com ótimas características estruturais (resistente à reflexão de trincas), possibilitando economia no dimensionamento das espessuras de eventuais novas camadas;

- Mínima alteração do perfil original da via não havendo necessidade de modificações no projeto geométrico e de drenagem;
- Mínima perturbação ao tráfego local, em função do pequeno número de equipamentos envolvidos;
- Não há necessidade de interromper a via por longos períodos. Imediatamente após a operação de reciclagem, o serviço poderá ser reaberto ao tráfego.

## 7. Consumo teórico de materiais

A Tabela 33 apresenta o consumo teórico de materiais.

**Tabela 33 – Consumo Teórico de Materiais**

TIPO DE REVESTIMENTO	TIPO DE PRODUTO	TAXA (kg/m <sup>3</sup> ) (1)	TEOR (%)
Camada de rolamento (CAUQ/PMQ)	AREs (2)	38 a 48	1,8-2,3
Camada de rolamento (CAUQ/PMQ) e Camadas de base	Emulsão asfáltica convencional, RL-1C ou de ruptura controlada	95 a 136	4,5-6,5

(1) Considerando a massa reciclada, compactada.

(2) Agentes de reciclagem emulsionados, especificados de acordo com o projeto.

As diretrizes e recomendações contidas no presente manual são gerais e objetivam servir de balizamento inicial a todos aqueles que pretendem fazer uso das emulsões em soluções de pavimentação.

Embora de tecnologia simples e acessível, a utilização de emulsões asfálticas requer, como todas as demais técnicas que envolvem outros tipos de ligantes – cimento asfáltico de petróleo, cimento Portland, cal etc. – cuidadosa avaliação de todos os aspectos que influenciam, direta e/ou indiretamente, o produto gerado, inclusive destinação e uso.

Assim, recomenda-se que as orientações aqui emitidas sejam ponderadas para certificação de sua procedência ou necessidade de compatibilização às particularidades locais envolvidas. A dimensão continental do Brasil, sua diversidade climática, geológica, econômica etc. reforçam a afirmação anterior.

Embora já tenha sido exaustivamente enfatizado, relembra-se que o sucesso das soluções envolvendo emulsões asfálticas, além da qualidade e compatibilidade do ligante aos agregados, depende de um conjunto de outras providências, a saber:

- Dimensionamento do pavimento, com o objetivo de estabelecer a espessura real e estrutural da camada asfáltica a frio e demais condicionantes a serem observados durante o processo executivo;
- Projeto e dosagem da mistura asfáltica de forma a atender aos requisitos fixados no dimensionamento do pavimento;
- Procedimento construtivo que materialize com rigor a concepção estabelecida no dimensionamento, não só quanto à camada asfáltica, mas também para toda a estrutura do pavimento;
- Controle de qualidade das etapas executivas, abrangendo tanto os materiais individualmente com a solução final, confrontando os resultados obtidos com os parâmetros especificados;
- Acompanhamento do desempenho da estrutura confeccionada para introduzir em tempo hábil as correções necessárias.

A Abeda, através das empresas associadas, coloca-se à disposição de todos os profissionais do setor rodoviário, bem como, dos administradores públicos, no sentido de aportar esclarecimentos adicionais a respeito do conteúdo do presente manual.

A Abeda muito apreciaria receber os comentários críticos sobre este trabalho através do site [www.abeda.org.br](http://www.abeda.org.br), inclusive recomendações e indicações de temas que poderão ser incluídos em nova edição do *Manual básico de emulsões asfálticas*.

Relação dos métodos de ensaios e especificações referentes a materiais e serviços de pavimentação asfáltica, segundo as Normas Brasileiras – NBR.

1.	NBR 05765:2004	Asfaltos diluídos – Determinação do ponto de fulgor - Vaso aberto Tag
2.	NBR 05847:2001	Materiais betuminosos – Determinação da viscosidade absoluta
3.	NBR 06293:2001	Materiais betuminosos - Determinação da ductilidade
4.	NBR 06296:2004	Produtos betuminosos semi-sólidos – Determinação da massa específica e densidade relativa
5.	NBR 06297:2003	Emulsão asfáltica de ruptura lenta – Determinação de ruptura – Método da mistura com cimento
6.	NBR 06299:2005	Emulsões asfálticas – Determinação do pH
7.	NBR 06300:2009	Emulsões asfálticas catiônicas – Determinação da resistência à água (adesividade)
8.	NBR 06302:2008	Emulsões asfálticas – Determinação da ruptura – Método de mistura com filler silício
9.	NBR 06560:2008	Materiais betuminosos – Determinação do ponto de amolecimento - Método do anel e bola
10.	NBR 06567:2009	Emulsões asfálticas – Determinação da carga de partícula
11.	NBR 06568:2005	Emulsões asfálticas – Determinação do resíduo de destilação
12.	NBR 06569:2008	Emulsões asfálticas catiônicas – Determinação da desemulsibilidade
13.	NBR 06570:2005	Emulsões asfálticas – Determinação da sedimentação
14.	NBR 06576:2007	Materiais betuminosos – Determinação da penetração
15.	NBR 14249:2007	Emulsão asfáltica catiônica – Determinação expedita da resistência à água (adesividade) sobre agregados graúdos
16.	NBR 14329:1999	Cimento asfáltico de petróleo – Determinação expedita da resistência à água (adesividade) sobre agregados graúdos
17.	NBR 14376:2007	Emulsões asfálticas – Determinação do resíduo asfáltico por evaporação - Método expedito
18.	NBR 14393:2006	Emulsões asfálticas – Determinação da peneiração
19.	NBR 14491:2007	Emulsões asfálticas – Determinação da viscosidade Saybolt-Furol
20.	NBR 14594:2005	Emulsões asfálticas catiônicas – Especificação
21.	NBR 14725-1:2009	Produtos químicos – Informações sobre segurança, saúde, meio ambiente – Parte 1: Terminologia
22.	NBR 14725-2:2009	Produtos químicos – Informações sobre segurança, saúde, meio ambiente – Parte 2: Sistema de classificação de perigo
23.	NBR 14725-3:2009	Produtos químicos – Informações sobre segurança, saúde, meio ambiente – Parte 3: Rotulagem

24.	NBR 14725-4:2009	Produtos químicos – Informações sobre segurança, saúde, meio ambiente – Parte 4: Ficha de informações de segurança de produtos químicos (FISPQ)
25.	NBR 14746:2001	Microrrevestimentos a frio e lama asfáltica – Determinação de perda por abrasão úmida (WTAT)
26.	NBR 14756:2001	Materiais betuminosos – Determinação da viscosidade cinemática
27.	NBR 14757:2001	Microrrevestimentos e lamas asfálticas – Determinação da adesividade de misturas
28.	NBR 14758:2001	Microrrevestimentos asfálticos – Determinação do tempo mínimo de misturação
29.	NBR 14798:2002	Microrrevestimentos asfálticos – Determinação da coesão e características da cura pelo coesímetro
30.	NBR 14841:2002	Microrrevestimentos a frio – Determinação de excesso de asfalto e adesão de areia pela máquina LWT
31.	NBR 14856:2002	Materiais betuminosos – Determinação da solubilidade em tricloroetileno
32.	NBR 14856:2002	Asfaltos diluídos – Ensaio de destilação
33.	NBR 14896:2004	Emulsões asfálticas modificadas com polímero – Determinação do resíduo seco por evaporação
34.	NBR 14948:2003	Microrrevestimentos asfálticos a frio modificados por polímero – Materiais, execução e desempenho
35.	NBR 14949:2003	Microrrevestimentos asfálticos – Caracterização da fração fina por meio da absorção de azul de metileno
36.	NBR 14950:2003	Materiais betuminosos – Determinação da viscosidade Saybolt-Furoil
37.	NBR 15086:2006	Materiais betuminosos – Determinação da recuperação elástica pelo ductilômetro
38.	NBR 15087:2004	Misturas asfálticas – Determinação da resistência à tração por compressão diametral
39.	NBR 15140:2004	Misturas asfálticas – Determinação do desgaste por abrasão Cantabro
40.	NBR 15166:2004	Asfalto modificado – Ensaio de separação de fase
41.	NBR 15184:2004	Materiais betuminosos – Determinação da viscosidade em temperaturas elevadas usando um viscosímetro rotacional
42.	NBR 15235:2009	Materiais asfálticos – Determinação do efeito do calor e do ar em uma película delgada rotacional
43.	NBR 15528:2007	Aditivos orgânicos melhoradores de adesividade para cimento asfáltico de petróleo – Avaliação para recebimento
44.	NBR 15529:2007	Asfalto borracha – Propriedades reológicas de materiais não newtonianos por viscosímetro rotacional
45.	NBR 15573:2008	Misturas asfálticas – Determinação da massa específica aparente de corpos-de-prova compactados
46.	NBR 15617:2008	Misturas asfálticas – Resistência do dano por umidade induzida
47.	NBR 15618:2008	Cimento asfáltico de petróleo – Avaliação por desempenho de aditivos orgânicos melhoradores de adesividade
48.	NBR 15619:2008	Misturas asfálticas – Determinação da massa específica aparente máxima medida em amostras não compactadas
49.	NBR 15694:2009	Emulsões asfálticas – Confirmação da carga de partícula de emulsões catiônicas de ruptura lenta e de ruptura controlada, convencionais e modificadas por polímeros

Relação das especificações de serviços (ES) de pavimentação asfáltica, segundo o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes – DNIT.

1.	ES 306/97	Imprimação
2.	ES 307/97	Pintura de ligação
3.	ES 308/97	Tratamento superficial simples
4.	ES 309/97	Tratamento superficial duplo
5.	ES 310/97	Tratamento superficial triplo
6.	ES 311/97	Macadame betuminoso por penetração
7.	ES 314/97	Lama asfáltica
8.	ES 315/97	Acostamento
9.	ES 316/97	Base de macadame hidráulico
10.	ES 317/97	Pré-misturados a frio
11.	ES 385/99	Concreto asfáltico com asfalto polímero
12.	ES 386/99	Pré-misturado a quente com asfalto polímero – camada porosa de atrito
13.	ES 387/99	Areia asfalto a quente com asfalto polímero
14.	ES 388/99	Micro pré-misturado a quente com asfalto polímero
15.	ES 390/99	Pré-misturado a frio com emulsão modificada por polímero
16.	ES 391/99	Tratamento superficial simples com asfalto polímero
17.	ES 392/99	Tratamento superficial duplo com asfalto polímero
18.	ES 393/99	Tratamento superficial triplo com asfalto polímero
19.	ES 394/99	Macadame por penetração com asfalto polímero
20.	ES 395/99	Pintura de ligação com asfalto polímero
21.	ES 405/00	Reciclagem de pavimento a frio in situ com espuma de asfalto
22.	DNIT 031/2006 – ES	Concreto asfáltico
23.	DNIT 032/2005 – ES	Areia asfalto a quente
24.	DNIT 033/2005 – ES	Concreto asfáltico reciclado a quente na usina
25.	DNIT 034/2005 – ES	Concreto asfáltico reciclado a quente no local
26.	DNIT 035/2005 – ES	Microrrevestimento asfáltico a frio com emulsão modificada por polímero
27.	DNIT 112/2009 – ES	Pavimentos flexíveis - Concreto asfáltico com asfalto-borracha, via úmida, do tipo "Terminal Blending"

## GLOSSÁRIO DOS TERMOS TÉCNICOS PARA EMPREGO DE MATERIAIS ASFÁLTICOS EM PAVIMENTAÇÃO

Consultar o site do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes – [www.dnit.gov.br](http://www.dnit.gov.br), Instituto de Pesquisas Rodoviárias (Normas e Manuais)

1. Abeda. Manual Básico de Emulsões Asfálticas. Rio de Janeiro: Abeda, 2001.
2. Asphalt Institute. Manual básico de emulsiones asfálticas (MS 19). USA, s/d.
3. \_\_\_\_\_. The asphalt handbook. Manual Series MS-4. USA, 1989.
4. Augusto Junior, Fernando et al. Manual de pavimentação urbana. IPT, 1992.
5. Bernucci, Liedi B.; Motta, Laura M. G. da; Ceratti, Jorge A. P.; Soares, Jorge B. Pavimentação asfáltica. Rio de Janeiro: Abeda, 2006.
6. Camacho, Fernando J. Micro revestimento asfáltico usinado a frio – aplicação alternativa: camada de rolamento de vias e rodovias de baixo a médio volume de tráfego. Novas Técnicas de Asfaltos – NTA, 2001.
7. DNIT/DNER. Manual de pavimentação. Rio de Janeiro, 1996.
8. \_\_\_\_\_ – Rio de Janeiro. Especificações gerais para obras rodoviárias. V. III/IV – DNER/IPR – 2000.
9. IBP – Comissão de Asfalto. Informações básicas sobre materiais asfálticos. 7. ed. rev. Rio de Janeiro: IBP/Comissão de Asfalto, 2010.
10. ISSA – International Slurry Surfacing Association. Recommended performance guidelines for micro-surfacing – A143. Washington: ISSA, 2010.
11. Moraes, Eurico. Manual técnico de pavimentação. Rio de Janeiro: Betunel, 1994.
12. Oliveira, J.A.; David, D.; Ceratti, J.A.P. Estudo comparativo entre os revestimentos delgados TSD e cape seal. In: ENCONTRO DE ASFALTO, 17., 2004, Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro: IBP, 2004.
13. Read, J.; Whiteoak, D. The Shell bitumen handbook. 5. ed. Shell UK Oil Products Limited, 2003.
14. Reis, Rafael M.M.; Santo, Nelson R.E. Micro revestimento asfáltico à frio – uma inovação tecnológica para tratamentos de superfícies. 3. ed. Ipiranga Asfaltos, 1999.
15. Reis, Rafael M.M.; Santo, Nelson R.E. Tratamento de superfície com emulsões especiais para revestimentos asfálticos. Fortaleza: ABPV, 1999.
16. Santana, Humberto. Manual de pré-misturado a frio. Rio de Janeiro: IBP, 1993.
17. Tuchumantel Junior, Osvaldo. Reciclagem de pavimentos – conceitos, interpretações e controle. In: ENCONTRO DE ASFALTO. 9., 1988. Anais... IBP.



# Índice de figuras

<b>III Asfaltos de petróleo</b>	<b>31</b>
Figura III.1 – Lago de asfalto de Trinidad	31
Figura III.2 – Rendimento em CAP de diferentes petróleos	40
Figura III.3 – Processamento petróleos pesados (asfálticos)	41
Figura III.4 – Processamento de petróleos médios	42
Figura III.5 – Processamento de petróleos intermediários ou leves	43
<b>IV Emulsão asfáltica catiônica</b>	<b>45</b>
Figura IV.1 – Aplicação de emulsão asfáltica no início do século passado	45
Figura IV.2 – Dispersão de querosene em água	47
Figura IV.3 – Esquema básico de produção de emulsão asfáltica catiônica	49
Figura IV.4 – Moinho coloidal	50
Figura IV.5 – A emulsão entra em contato com o agregado	51
Figura IV.6 – Adsorção do agente emulsificante livre e atração das partículas de asfalto	51
Figura IV.7 – Formação do filme de asfalto sobre o agregado	51
Figura IV.8 – Principais aplicações das emulsões asfálticas	56
<b>V Imprimação com emulsões asfálticas</b>	<b>61</b>
Figura V.1 – Aplicação da emulsão tipo EAI	62
Figura V.2 – Serviço de imprimação com EAI	62
Figura V.3 – Textura da base imprimada após 48 h	62
<b>VI Pintura de ligação</b>	<b>63</b>
Figura VI.1 – Detalhe da barra espargidora	64
Figura VI.2 – Aplicação de pintura de ligação com caneta espargidora	65
Figura VI.3 – Aplicação de pintura de ligação com caminhão espargidor	65
Figura VI.4 – Colocação de faixas de papel não poroso para pintura de ligação	66
Figura VI.5 – Determinação da taxa de pintura de ligação	67
<b>VII Tratamentos de superfícies (TS)</b>	<b>69</b>
Figura VII.1 – Equipamento multi distribuidor para tratamento superficial	71
Figura VII.2 – Distribuidor de agregado para tratamento superficial	72
Figura VII.3 – Aplicação da taxa de emulsão asfáltica com caminhão espargidor	73
Figura VII.4 – Aplicação da taxa de agregado com distribuidor	73
Figura VII.5 – Acomodação do tratamento superficial com rolo pneumático	73
Figura VII.6 – Tratamento superficial executado em rodovia	73
Figura VII.7 – Tratamento superficial triplo com capa selante, em rodovia	73
Figura VII.8 – Aplicação simultânea de emulsão asfáltica elastomérica e agregados através do equipamento multidistribuidor	74
<b>VIII Tratamento para eliminação de poeira</b>	<b>77</b>
Figura VIII.1 – Sequência de aplicação do tratamento para eliminação de poeira	78
Figura VIII.2 – Aspecto final do tratamento para eliminação de poeira	78
<b>IX Lama asfáltica (LA)</b>	<b>79</b>
Figura IX.1 – Aplicação de lama asfáltica	81

<b>X Microrrevestimento asfáltico (MRAF)</b>	<b>83</b>
Figura X.1 – Pavimento asfáltico a ser restaurado (fresagem e recomposição) antes da aplicação de microrrevestimento	84
Figura X.2 – Usina móvel para aplicação de MRAF e detalhe de sua caixa distribuidora	88
Figura X.3 – Aplicação de MRAF para o preenchimento de trilhas de roda	89
Figura X.4 – Aplicação de microrrevestimento asfáltico em rodovia de alto tráfego	90
Figura X.5 – Aplicação de microrrevestimento asfáltico em rodovia rural	90
Figura X.6 – Aplicação de microrrevestimento asfáltico em via urbana expressa	91
Figura X.7 – Microrrevestimento asfáltico a frio em vias urbanas	91
Figura X.8 – Aspecto da textura superficial do MRAF antes e após a cura	91
<b>XI Cape seal</b>	<b>95</b>
Figura XI.1 – Execução do <i>cape seal</i> – Aplicação conjunta de TS e MRAF	96
Figura XI.2 – Constituintes do <i>cape seal</i>	97
Figura XI.3 – Sequência de aplicação do <i>cape seal</i>	98
Figura XI.4 – Aplicação da camada de TSS	98
Figura XI.5 – Aplicação do MRAF	99
Figura XI.6 – <i>Cape seal</i> – Rodovia Castelo Branco (1 ano de tráfego)	99
Figura XI.7 – Textura final do <i>cape seal</i>	99
<b>XII Macadame betuminoso com capa selante</b>	<b>101</b>
Figura XII.1 – Macadame betuminoso com capa selante em via urbana. Execução: 1993	103
Figura XII.2 – Detalhe da macrotextura do macadame betuminoso com capa selante em via urbana Execução: 1993	103
<b>XIII Pré-misturado a frio (PMF)</b>	<b>105</b>
Figura XIII.1 – Produção de PMF em usina de asfalto	106
Figura XIII.2 – Usina de solos/PMF de baixa capacidade de produção	107
Figura XIII.3 – Usina de solo/PMF móvel	108
Figura XIII.4 – Aplicação de PMF denso com vibroacabadora	109
Figura XIII.5 – Revestimento asfáltico tipo PMF em via urbana	109
<b>XIV Serviço de tapa-buracos</b>	<b>111</b>
Figura XIV.1 – Preparação e execução de PMF para tapa-buracos	114
Figura XIV.2 – Compactação de tapa-buracos	114
<b>XV Areia asfalto (AA)</b>	<b>117</b>
Figura XV.1 – Revestimento areia asfalto a frio	119
<b>XVI Estabilização de solo – emulsão</b>	<b>121</b>
Figura XVI.1 – Estabilização de solos no local, com emulsão asfáltica	123
<b>XVII Reciclagem a frio</b>	<b>125</b>
Figura XVII.1 – Reciclagem de capa	126
Figura XVII.2 – Reciclagem de capa e camadas de base	127
Figura XVII.3 – Reciclagem a frio no local, em via urbana	128
Figura XVII.4 – Reciclagem a frio no local, em rodovia	128
Figura XVII.5 – Detalhe da reciclagem a frio em seção do pavimento da SP-333	128

# Índice de tabelas

<b>III Asfaltos de petróleo</b>	<b>31</b>
Tabela 1 – Especificações dos Cimentos Asfálticos de Petróleo (CAP) – Classificação por Penetração – Resolução ANP nº 19, de 11 de julho de 2005 e anexo	33
Tabela 2 – Especificações para Asfaltos Diluídos de Cura Rápida – Resolução ANP nº 30, de 9 de outubro de 2007 e anexo	34
Tabela 3 – Especificações para Asfaltos Diluídos de Cura Média – Resolução ANP nº 30, de 9 de outubro de 2007 e anexo	34
Tabela 4 – Especificação ANP para Agentes Rejuvenescedores e para Mistura a Quente – Regulamento Técnico DNC nº 4/97, Portaria nº 44, de 29 de setembro de 1997	35
Tabela 5 – Proposta da Comissão de Asfalto do IBP-ABNT de Especificação de Emulsões Asfálticas para Pavimentação	36
Tabela 6 – Proposta da Comissão de Asfalto do IBP-ABNT de Especificação para Agentes de Reciclagem Emulsionados (ARE)	37
Tabela 7 – Proposta da Comissão de Asfalto do IBP-ABNT de Especificação para Asfalto Modificado por Polímeros Elastoméricos (AMP-E)	37
Tabela 8 – Tabela 8 – Especificações de Asfalto Modificado por Borracha Moída de Pneu Industrializado, Tipo “Terminal Blend” – Resolução ANP nº 39, de 24 de dezembro de 2008 e anexo	38
Tabela 9 – Especificações para Emulsões Asfálticas Catiônicas Modificadas por Polímeros Elastoméricos – Resolução ANP nº 32, de 14 de outubro de 2009 e anexo	39
Tabela 10 – Análise Elementar de CAPs Provenientes de Petróleos	44
<b>IV Emulsão asfáltica catiônica</b>	<b>45</b>
Tabela 11 – Produção de Emulsão em 2006 em Alguns Países	46
Tabela 12 – Sugestões para Emprego de Materiais Asfálticos em Pavimentação	57
Tabela 13 – Temperaturas de Armazenamento para as Emulsões Asfálticas	60
<b>VI Pintura de ligação</b>	<b>63</b>
Tabela 14 – Consumo Teórico de Materiais	68
<b>VII Tratamentos de superfícies (TS)</b>	<b>69</b>
Tabela 15 – Consumo Teórico de Materiais no TSS	75
Tabela 16 – Consumo Teórico de Materiais no TSD	75
Tabela 17 – Consumo Teórico de Materiais no TST	75
<b>IX Lama asfáltica (LA)</b>	<b>79</b>
Tabela 18 – Consumo Teórico de Materiais	81
<b>X Microrrevestimento asfáltico (MRAF)</b>	<b>83</b>
Tabela 19 – Faixas Granulométricas da Norma DNIT 035/2005-ES	93
Tabela 20 – Faixas da Especificação ABNT NBR 14948:2003	93
Tabela 21 – Consumo Teórico de Materiais	94
<b>XI Cape seal</b>	<b>95</b>
Tabela 22 – Consumo de Materiais do <i>Cape Seal</i>	100
<b>XII Macadame betuminoso com capa selante</b>	<b>101</b>
Tabela 23 – Faixas Granulométricas para Macadame Betuminoso	102

Tabela 24 – Consumo Teórico de Materiais	104
<b>XIII Pré-misturado a frio (PMF)</b>	<b>105</b>
Tabela 25 – Classificação dos Tipos de PMF em Função dos Vazios	105
Tabela 26 – Consumo Teórico de Materiais	110
<b>XIV Serviço de tapa-buracos</b>	<b>111</b>
Tabela 27 – Composição para Mistura de PMF	113
Tabela 28 – Consumo Teórico de Materiais	115
<b>XV Areia asfalto (AA)</b>	<b>117</b>
Tabela 29 – Composição Granulométrica da Areia	118
Tabela 30 – Composição Granulométrica	118
Tabela 31 – Consumo Teórico de Materiais	119
<b>XVI Estabilização de solo – emulsão</b>	<b>121</b>
Tabela 32 – Consumo Teórico de Materiais	124
<b>XVII Reciclagem a frio</b>	<b>125</b>
Tabela 33 – Consumo Teórico de Materiais	130



ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS  
DISTRIBUIDORAS DE ASFALTOS

Rua da Ajuda 35 • grupo 1106 • Centro  
Rio de Janeiro • RJ • CEP 20040-915

Tel./Fax: 21 2533-2803

abeda@abeda.org.br  
www.abeda.org.br