



**MT - DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM
DIRETORIA DE DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO - IPR
DIVISÃO DE CAPACITAÇÃO TECNOLÓGICA**

Rodovia Presidente Dutra km 163 - Centro Rodoviário, Parada de Lucas
Rio de Janeiro, RJ - CEP 21240-330

**Norma rodoviária
Especificação de Serviço
DNER-ES 394/99
p. 01/11**

Pavimentação - macadame por penetração com asfalto polímero

RESUMO

Este documento define a sistemática empregada na execução da base ou revestimento do pavimento utilizando camadas de ligante betuminoso e de material pétreo do tipo macadame. Neste documento encontram-se definidos os requisitos concernentes a material, equipamento, execução e inspeção dos materiais empregados e da execução, além dos critérios para aceitação e rejeição dos serviços de medição.

ABSTRACT

This document presents procedures for bituminous macadam construction with polymer asphalt. It presents requirements concerning materials, equipment, execution, environmental preserving, quality control and the criteria for acceptance and rejection of the services.

SUMÁRIO

- 0 Prefácio
- 1 Objetivo
- 2 Referências
- 3 Definição

- 4 Condições gerais
- 5 Condições específicas
- 6 Manejo ambiental
- 7 Inspeção
- 8 Critérios de medição
- 9 Recomendação

0 PREFÁCIO

Esta Norma estabelece a sistemática empregada na execução e no controle da qualidade do serviço em epígrafe.

1 OBJETIVO

Fixar a sistemática empregada na execução de base e de camada subjacente ao revestimento, aplicada sobre uma superfície imprimada ou pintada, utilizando agregados minerais e ligante asfáltico modificado por polímero, de acordo com os alinhamentos, greide e seções transversais de projeto.

Macrodescriptores MT : pavimentação

Microdescriptores DNER : macadame por penetração, asfalto polímero

Palavras-chave IRRD/ IPR : macadame por penetração (4921), material betuminoso (4955), material asfáltico, asfalto polímero

Descriptores SINORTEC : asfalto polímero, pavimento

Aprovada pelo Conselho Administrativo em 09/03/99, Resolução nº 06/99, Sessão nº CA/03/99

Autor: DNER/DrDTc (IPR)

Processo nº 51100009011/98-08

2 REFERÊNCIAS

Para entendimento desta Norma deverão ser consultados os documentos seguintes:

- a) DNER-EM 204/95 - Cimentos asfálticos de petróleo;
- b) DNER-EM 369/97 - Emulsões asfálticas catiônicas;
- c) DNER-ME 002/98 - Emulsão asfáltica - carga da partícula;
- d) DNER-ME 003/94 - Material betuminoso - determinação da penetração;
- e) DNER-ME 004/94 - Material betuminoso - determinação da viscosidade “**Saybolt-Furol**” a alta temperatura;
- f) DNER-ME 005/94 - Emulsão asfáltica - determinação da peneiração;
- g) DNER-ME 035/98 - Agregados - determinação da abrasão “**Los Angeles**”;
- h) DNER-ME 053/94 - Misturas betuminosas - percentagem de betume;
- i) DNER-ME 063/94 - Emulsões asfálticas cationicas - determinação da desemulsibilidade;
- j) DNER-ME 078/94 - Agregado graúdo - adesividade a ligante betuminoso;
- l) DNER-ME 079/94 - Agregado - adesividade a ligante betuminoso;
- m) DNER-ME 083/98 - Agregados - análise granulométrica;
- n) DNER-ME 086/94 - Agregado - determinação do índice de forma;
- o) DNER-ME 089/94 - Agregados - avaliação da durabilidade pelo emprego de soluções de sulfato de sódio ou de magnésio;
- p) DNER-ME 148/94 - Material betuminoso - determinação dos pontos de fulgor e de combustão (vaso aberto **Cleveland**);
- q) DNER-PRO 277/97 - Metodologia para controle estatístico de obras e serviços;
- r) DNER-ISA 07 - Instrução de Serviço Ambiental;
- s) ABNT NBR-6560/85 - Materiais betuminosos - determinação de ponto de amolecimento;
- t) ABNT NBR-6568/84 - Determinação do resíduo de destilação de emulsão asfáltica;
- u) Pesquisa de asfaltos modificados por polímeros - Divisão de Pesquisas e Desenvolvimento, IPR/DNER - 1998.

3 DEFINIÇÃO

Para os efeitos desta Norma é adotada a definição seguinte:

Macadame por penetração - consiste em duas aplicações de ligante asfáltico modificado por polímero do tipo SBS, e três aplicações de agregados de tamanhos e quantidades especificadas, espalhadas, niveladas e comprimidas.

4 CONDIÇÕES GERAIS

4.1 O macadame por penetração pode ser empregado como base, ou camada subjacente ao revestimento do pavimento.

4.2 Não deve ser permitida a execução dos serviços, objeto desta Especificação, sob condições climáticas adversas, tais como chuva, ou temperaturas inferiores a 10°C.

4.3 Todo carregamento de ligante asfáltico modificado por polímero que chegar à obra deve apresentar certificado de análise além de trazer indicação clara da procedência, do tipo e da

quantidade do seu conteúdo e da distância de transporte entre a refinaria ou fábrica e o canteiro de serviço.

5 CONDIÇÕES ESPECÍFICAS

5.1 Material

Os constituintes das camadas do macadame devem ser o ligante asfáltico modificado por polímero e o agregado mineral, os quais devem satisfazer às especificações aprovadas pelo DNER.

5.1.1 Ligante asfáltico modificado por polímero

Podem ser empregados:

- a) cimentos asfálticos modificados por polímero do tipo SBS;
- b) emulsões asfálticas, tipos RR-1C e RR-2C modificadas por polímero do tipo SBS.

5.1.2 Melhoradores de adesividade

Não havendo boa adesividade entre o agregado e o ligante betuminoso (asfalto modificado) deve ser empregado melhorador de adesividade, na quantidade fixada no projeto.

5.1.3 Agregado

Os agregados devem ser pedra, cascalho ou seixo rolado, britados. Devem consistir de partículas limpas, duras, duráveis, isentas de cobertura e torrões de argila e apresentarem as características seguintes:

- a) desgaste Los Angeles igual ou inferior a 40% (DNER-ME 035), admitindo-se agregados com valores maiores, no caso de desempenho satisfatório em utilização anterior;
- b) índice de forma superior a 0,5 (DNER-ME 086);
- c) durabilidade, perda inferior a 12% (DNER-ME 089);
- d) granulometria dos agregados (DNER-ME 083), obedecendo às faixas do quadro seguinte com as respectivas tolerâncias.

Peneira de malha quadrada		Porcentagem passando, em peso (faixas)							Tolerância na curva de projeto, (%)
		I					II	III	
ABNT	mm	A	B	C	D	E	A	A	
3 1/2"	88,9	100							-
3"	76,2	95-100	100						± 5
2 1/2"	63,5	70-90	95-100	100					± 5
2"	50,8	50-70	60-80	95-100	100				± 5
1 1/2"	38,1	30-50	40-60	55-75	95-100	100			± 5
1"	25,4	10-30	15-35	25-45	35-55	95-100			± 5
3/4"	19,1	5-25	5-25	10-30	10-30	35-55	100		± 5
1/2"	12,7	0-15	0-15	0-15	0-15	0-15	90-100		± 5
3/8"	9,5	0-5	0-5	0-5	0-5	0-5	40-70	100	± 5
nº 4	4,8	-	-	-	-	-	0-15	85-100	± 5
nº 10	2,0	-	-	-	-	-	0-3	8-32	± 5
nº 40	0,42	-	-	-	-	-	-	0-6	± 5
nº 200	0,075	0-3	0-3	0-3	0-3	0-3	-	-	± 2
Espessura da camada compactada (cm)		7,5-10	6,5-7,5	5-6,5	4-5	2,5-4	-	-	
Quantidades especificadas									
Agregados kg/m ²		160-210	135-160	110-135	80-110	55-80	6	5-8	
CAP, l/m ² 1ª aplicação		4,5-8,2	4,1-5,4	3,2-5,0	2,7-4,1	1,9-3,6			
CAP, l/m ² 2ª aplicação		5,4-6,8	3,2-6,8	3,6-4,5	1,8-4,5	1,3-2,7			

5.1.3.1 A faixa granulométrica empregada deve ser aquela cujo diâmetro máximo seja igual ou inferior a 2/3 da espessura da camada do macadame betuminoso.

5.1.4 Quantidades

5.1.4.1 A escolha do tipo de ligante betuminoso a ser empregado será baseada na porosidade, textura superficial e natureza mineralógica do agregado. As condições climáticas também deverão ser levadas em conta.

5.1.4.2 Utilizar para a segunda aplicação de agregado o material da faixa II-A, para qualquer espessura.

5.1.4.3 No caso de emulsão considerar o asfalto residual.

5.1.4.4 As quantidades a serem aplicadas são as indicadas no Quadro, mas valores exatos devem ser fixados no projeto.

5.2 Equipamento

Todo equipamento, antes do início da execução do serviço, deve atender as recomendações desta Especificação. Os equipamentos requeridos devem ser os seguintes:

- carros distribuidores de ligante asfáltico, providos de dispositivos de aquecimento, tacômetro, calibradores e termômetros com precisão de $\pm 1^\circ\text{C}$, em locais de fácil acesso para verificação, e, ainda, de espargidor manual para o tratamento de pequenas superfícies e correções localizadas. As barras de distribuição devem ser do tipo de circulação plena, com dispositivo que possibilite ajustamentos verticais e larguras variáveis de aplicação do ligante e permitam uma aplicação homogênea;
- distribuidores de agregados, rebocáveis ou automotrizes possuindo dispositivos que permitam uma distribuição homogênea da quantidade dos agregados, fixada no projeto;

- c) rolos compressores do tipo tandem, liso vibratório ou rolos pneumáticos, autopropulsores. Os rolos compressores dos tipos tandem ou de três rodas devem ter uma carga de 10 toneladas. Os rolos pneumáticos, autopropulsores devem ser dotados de pneus que permitam a calibragem de 2,5 kgf/cm² (30 psi) a 8,4 kgf/cm² (120 psi).

5.3 Execução

5.3.1 Cimento asfáltico modificado por polímero

5.3.1.1 Inicialmente, proceder varredura da pista imprimada ou pintada para eliminar todo e qualquer material solto.

5.3.1.2 O agregado especificado para a 1ª camada do macadame com ligante asfáltico deve ser uniformemente espalhado na quantidade indicada no projeto. Quando necessário para garantir cobertura uniforme, a distribuição pode ser complementada por processo manual adequado. Excesso de agregado deve ser removido antes da compressão.

5.3.1.3 A compressão do agregado espalhado é feita no sentido longitudinal, começando pelos bordos e progredindo para o eixo. Nos trechos em tangente e nas curvas, a compressão deve progredir sempre de bordo mais baixo para o bordo mais alto. Cada passada deve ser recoberta, na vez subsequente de, pelo menos, a metade da largura da área anteriormente compactada. A compressão deve ser interrompida quando aparecerem sinais de esmagamento do agregado ou quando atingido o mínimo de passadas do equipamento determinado em trechos experimentais.

5.3.1.4 A primeira aplicação do ligante asfáltico deve ser feita em seguida, de modo uniforme, pelo carro distribuidor, na quantidade e temperatura determinada.

5.3.1.5 O ligante asfáltico, não deve ser aplicado em superfícies molhadas.

5.3.1.6 A temperatura de aplicação do ligante asfáltico deve ser:

- a) cimento asfáltico com polímero SBS, 150°C acrescido de 3°C para cada 1% de polímero: 150°C + 3°C / 1% Polímero. A temperatura máxima deve ser de 180°C.

5.3.1.7 Nas juntas transversais deve ser empregada uma faixa de papel, para evitar a superposição de banhos adjacentes. As áreas não alcançadas pelo ligante devem ser completadas com espalhamento manual.

5.3.1.8 Imediatamente após a 1ª aplicação do ligante asfáltico dá-se início ao espalhamento e compressão da 2ª camada de agregado de modo exatamente igual ao da 1ª camada. Em seguida, dá-se o banho da 2ª camada e espalha-se a 3ª camada de agregado.

5.3.1.9 O tráfego não deve ser permitido quando aplicado o ligante asfáltico ou agregado. Só é liberado após terminada a compressão. Entretanto, em caso de necessidade de abertura do tráfego antes de completar a compressão deve ser feito controle para que os veículos não ultrapassem a velocidade de 10km/hora. Decorridas 24 horas do término da compressão o trânsito ainda deve ser controlado, com velocidade máxima de 40km/hora. De 5 a 10 dias, após a abertura ao tráfego deve ser feita varredura dos agregados não fixados pelo ligante.

5.3.2 Emulsão asfáltica modificada por polímero

5.3.2.1 Inicialmente, proceder a uma varredura da pista imprimada ou pintada para eliminar todo e qualquer material solto.

5.3.2.2 O agregado especificado para a 1ª camada do macadame com emulsão asfáltica, deve ser uniformemente espalhado na quantidade indicada no projeto. Quando necessário, para garantir uma cobertura uniforme, a distribuição pode ser complementada por processo manual adequado. Excesso de agregado deve ser removido antes da compressão.

5.3.2.3 A compressão do agregado espalhado deve ser feita no sentido longitudinal, começando pelos bordos e progredindo para o eixo. Nos trechos em tangente e, nas curvas, a compressão progredirá sempre de bordo mais baixo para o bordo mais alto. Cada passada deve ser recoberta, na vez subsequente de, pelo menos, a metade da largura da área anteriormente compactada. A compressão deve ser interrompida quando do aparecimento de sinais de esmagamento do agregado, ou quando estiver sido atingido o mínimo de passadas do equipamento determinado em trechos experimentais.

5.3.2.4 A primeira aplicação de emulsão asfáltica deve ser feita em seguida, de modo uniforme com o carro distribuidor de ligante, empregando-se aproximadamente a metade da quantidade de emulsão determinada no projeto. (O restante da emulsão, deve ser aplicada após o espalhamento e compressão da segunda camada do agregado - camada de bloqueio, definido no projeto). Observar a seqüência do item 5.3.1.8.

5.3.2.5 A temperatura de aplicação da emulsão asfáltica modificada por polímero, deve ser determinada em função da relação temperatura-viscosidade. Deve ser escolhida a que proporcionar a melhor viscosidade para o espalhamento. Recomenda-se uma viscosidade entre 20 segundos e 100 segundos "Saybolt Furol".

5.3.2.6 Nas juntas transversais deve ser empregada uma faixa de papel, para evitar a superposição de banhos adjacentes. As áreas que não forem alcançadas pelo ligante deverão ser completadas com espalhamento manual.

6 MANEJO AMBIENTAL

Os cuidados com a preservação do meio ambiente, nos serviços de execução de base ou revestimentos de macadame por penetração superior, envolvem a obtenção e aplicação de agregado pétreo e o estoque e aplicação de ligante betuminoso.

6.1 Agregados

Quando for obtido mediante exploração de ocorrência indicada no projeto considerar os aspectos seguintes:

6.1.1 Autorizar a aceitação dos agregados somente após aprovação da licença ambiental para a exploração da pedreira.

6.1.2 Evitar a localização da pedreira e das instalações de britagem em área de preservação ambiental.

6.1.3 Planejar adequadamente a exploração da pedra para minimizar os danos inevitáveis e possibilitar a recuperação ambiental, após a retirada de todos os materiais e equipamentos.

6.1.4 Não provocar queimadas como forma de desmatamento.

6.1.5 Construir junto às instalações de britagem, bacias de sedimentação para a retenção do pó de pedra, eventualmente produzido em excesso ou por lavagem de brita, evitando seu carreamento para cursos d'água.

6.1.6 Quanto ao agregado pétreo fornecido por terceiros, exigir documentação atestando regularidade das instalações, bem como, sua operação junto ao órgão ambiental competente.

6.2 Ligante betuminoso

6.2.1 Instalar depósitos em locais afastados dos cursos d'água.

6.2.2 Vedar o lançamento de refugo de materiais usados na faixa de domínio e áreas lindeiras onde possam causar prejuízos ambientais.

6.2.3 Ao desmobilizar o canteiro proceder à remoção de tanques, limpeza e recuperação da área afetada pela operação de construção/execução.

7 INSPEÇÃO

7.1 Controle de qualidade do material

7.1.1 Ligante asfáltico

Todo carregamento de ligante asfáltico deve ser submetido aos seguintes ensaios:

7.1.1.2 Cimento asfáltico modificado por polímero:

O controle de qualidade do ligante asfáltico consta dos seguintes ensaios:

a) Para todo o carregamento que chegar à obra:

- 01 ensaio de penetração a 25°C (DNER-ME 003);
- 01 ensaio de ponto de fulgor (DNER-ME 148);
- 01 ensaio de ponto de amolecimento (ABNT NBR-6560);
- 01 ensaio de recuperação elástica a 25°C (DNER-ME 382);
- 01 ensaio de espuma;
- 01 ensaio de estabilidade ao armazenamento (DNER-ME 384).

b) Para cada 500t:

- 01 ensaio de infra-vermelho para determinação do teor de polímero, sendo permitida uma tolerância de $\pm 0,4\%$ do teor de projeto.

7.1.1.3 Emulsões asfálticas modificadas por polímero:

a) Para todo carregamento que chegar à obra:

- 01 ensaio de viscosidade “**Saybolt-Furol**”, (ABNT-MB 581);
- 01 ensaio de resíduo (ABNT NBR-6568);
- 01 ensaio de peneiramento, (DNER-ME 005);
- 01 ensaio de carga de partícula, (DNER-ME 002);
- 01 ensaio de recuperação elástica a 25°C, no resíduo da emulsão, (DNER-ME 382).

b) Para cada 100t:

- 01 ensaio de sedimentação, (DNER-ME 006);
- 01 ensaio de desemulsibilidade (DNER-ME 063);
- 01 ensaio de destilação, (ABNT NBR-6568);

c) Para cada 500t:

- 01 ensaio de infra-vermelho no resíduo da emulsão para determinação do teor de polímero, sendo permitida uma tolerância de $\pm 0,4\%$ do teor de projeto.

7.1.2 Agregado

- a) 02 ensaios de granulometria dos agregados para cada jornada de 8 horas de trabalho (DNER-ME 083) com amostras coletadas de uma maneira aleatória;
- b) 01 ensaio de índice de forma, para cada 900m³ (DNER-ME 086);
- c) 01 ensaio de adesividade, para todo carregamento de ligante asfáltico que chegar à obra e sempre que houver variação da natureza do material (DNER-ME 078, DNER-ME 079);
- d) 01 ensaio de desgaste Los Angeles, por mês, ou quando houver variação da natureza do material (DNER-ME 035).

7.2 Controle da execução

7.2.1 Taxa de espalhamento dos agregados

O controle da quantidade de agregados espalhados longitudinal e transversalmente (Taxa de Espalhamento) deve ser aleatório, mediante a colocação de bandejas de peso e área conhecidos na pista onde estiver sendo feito o espalhamento. Por intermédio de pesagens, após a passagem do dispositivo espalhador tem-se a quantidade de agregados espalhada.

A tolerância admitida para as taxas de espalhamento dos agregados é a constante dos quadros do item 5.1.3.

7.2.2 Temperatura de aplicação do ligante asfáltico

A temperatura do ligante betuminoso deve ser medida no caminhão distribuidor, imediatamente antes da aplicação, a fim de verificar se satisfaz a definida nesta especificação.

7.2.3 Taxa de aplicação do ligante asfáltico

O controle da quantidade do ligante asfáltico aplicado, obtido através do ligante residual será aleatório, mediante a colocação de bandejas de peso e área conhecidos, na pista onde está sendo feita a aplicação do mesmo. Por intermédio de pesagens, após a passagem do carro distribuidor, tem-se a quantidade de material asfáltico aplicada no caso do cimento asfáltico. Para as emulsões considerar o asfalto residual, após peso constante.

A tolerância admitida para a taxa de aplicação do ligante asfáltico deve ser constante dos quadros do item 5.1.3.

7.2.4 O número de determinações utilizadas nos ensaios controle das taxas deve ser definido em função do risco de rejeição de um serviço de boa qualidade a ser assumido pelo executante, conforme a tabela seguinte:

Tabela de amostragem variável														
n	5	6	7	8	9	10	12	13	14	15	16	17	19	21
k	1,55	1,41	1,36	1,31	1,25	1,21	1,16	1,13	1,11	1,10	1,08	1,06	1,04	1,01
α	0,45	0,35	0,30	0,25	0,19	0,15	0,10	0,08	0,06	0,05	0,04	0,03	0,02	0,01
n = nº de amostras				k = coeficiente multiplicador					α = risco do executante					

O número mínimo de determinações das taxas por segmentos (área inferior a 3.000 m²) é de cinco.

7.3 Verificação final da qualidade

7.3.1 Acabamento da superfície

O acabamento da superfície dos diversos segmentos concluídos deve ser verificado com duas régua, uma de 1,20m e outra de 3,00m de comprimento, colocadas em ângulo reto e paralelamente ao eixo da estrada, nas diversas seções correspondentes às estacas da locação. A variação da superfície, entre dois pontos quaisquer de contato não deve exceder 0,5cm, quando verificada com qualquer das duas régua.

7.3.2 Alinhamentos

Os alinhamentos do eixo e bordo devem ser verificados através da relocação da camada. Os desvios verificados não devem exceder \pm 5cm.

7.3.3 Espessuras

As espessuras do eixo e bordos da camada executada devem ser verificadas mediante nivelamento geométrico da locação. Os desvios verificados não devem exceder à \pm 10% da espessura do projeto.

7.4 Critérios de aceitação e rejeição

7.4.1 Todos os ensaios dos materiais indicados em 7.1 devem atender aos requisitos especificados em 5.1.

7.4.2 Para o controle estatístico da granulometria dos agregados das taxas de aplicação do ligante asfáltico e de espalhamento do agregado em que são especificados intervalos de valores máximos e mínimos devem atender a condição seguinte:

$\bar{X} - ks < \text{valor mínimo de projeto}$ ou $\bar{X} + ks > \text{valor máximo de projeto} \Rightarrow \text{rejeitar o serviço};$

$\bar{X} - ks \geq \text{valor mínimo de projeto}$ e $\bar{X} + ks \leq \text{valor máximo de projeto} \Rightarrow \text{aceitar o serviço}.$

Sendo:

$$\bar{X} = \frac{\sum Xi}{n}$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum (Xi - \bar{X})^2}{n - 1}}$$

Onde:

X_i - valores individuais.

\bar{X} - média da amostra.

s - desvio padrão da amostra.

k - coeficiente tabelado em função do número de determinações.

n - número de determinações.

7.4.3 Os serviços rejeitados devem ser corrigidos, complementados ou refeitos.

7.4.4 Os resultados do controle estatístico da execução devem ser registrados nos relatórios periódicos de acompanhamento e associados à medição dos serviços.

8 CRITÉRIOS DE MEDIÇÃO

Os serviços aceitos são medidos de acordo com os critérios seguintes:

8.1 O macadame deve ser medido através do volume de material compactado na pista, em metros cúbicos, atendendo à seção transversal constante no projeto. Neste estão incluídos todas as operações e encargos necessários à execução do macadame, abrangendo a produção e transporte dos agregados, armazenamento, perdas e transporte do ligante asfáltico, dos tanques de estocagem à pista.

8.2 Nos cálculos dos volumes, obedecidas às tolerâncias especificadas, devem ser consideradas as médias das espessuras medidas por diferença de nivelamento. No caso de espessura maior do que a do projeto considerar apenas a constante do projeto.

8.3 A quantidade de ligante asfáltico aplicada deve ser obtida através da média aritmética dos valores medidos no canteiro de serviço.

8.4 O transporte do ligante asfáltico efetivamente aplicado tem sua distância medida entre a refinaria e o canteiro de serviço.

9 RECOMENDAÇÃO

9.1 Os serviços rejeitados poderão ser corrigidos de acordo com as proposições das Instruções para Controle Tecnológico de Serviços de Pavimentação, resolução 1715/87 do Conselho Administrativo do DNER, com as devidas adaptações onde couber.

9.2 Recomenda-se $\alpha = 0,10$ da Tabela de amostragem variável do item 7.2.4. A frequência das determinações de campo poderá ser realizada a cada 700m^2 de pista.