DNIT

MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES

DIRETORIA-GERAL

DIRETORIA DE PLANEJAMENTO E PESQUISA

INSTITUTO DE PESQUISAS EM TRANSPORTES
Setor de Autarquias Norte
Quadra 03 Lote A
Ed. Núcleo dos Transportes
Brasília – DF – CEP 70040-902
Tel./fax: (61) 3315-4831

NOVEMBRO 2026

PROJETO DE REVISÃO DE NORMA DNIT 166 – ES

Pavimentação – Reciclagem de pavimento asfáltico *in situ* a frio com adição de espuma de asfalto – Especificação de serviço

Autor: Instituto de Pesquisas em Transportes – IPR

Processo: 50600.027639/2026-99

Origem: Revisão da norma DNIT 166/2013 – ES

Aprovação pela Diretoria Colegiada do DNIT na Reunião de / / 2026.

Direitos autorais exclusivos do DNIT, sendo permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte (DNIT), mantido o texto original e não acrescentado nenhum tipo de propaganda comercial.

Palavras-chave:

Pavimentação, reciclagem *in situ* a frio, espuma de asfalto, material fresado

Total de páginas:

19

Resumo

Este documento estabelece a sistemática a ser empregada na execução de reciclagem profunda de pavimento a frio *in situ*, com a utilização de material fresado da pista (revestimento + base), agregado mineral (quando necessário), fíler ativo, água e cimento asfáltico de petróleo na condição de espuma. Também são apresentados os requisitos referentes a materiais, equipamentos, execução, condicionantes ambientais, controle da qualidade, plano de amostragem, condições de conformidade e não conformidade e os critérios de medição dos serviços.

Abstract

This document establishes the procedure to be used in the execution of in situ cold pavement recycling, using milled material from the roadway (surface course + base layer), mineral aggregate, when necessary, active fíler, water, and petroleum asphalt cement in the form of foam. It also presents requirements regarding materials, equipment, execution, environmental conditions, quality control, sampling plan, acceptance and nonconformity conditions, and criteria for measuring the services.

Sumário

Prefácio 1

1 Objetivo 1

2 Referências normativas 2

3 Termos e definições 3

4 Condições gerais 4

5 Condições específicas 4

6 Condicionantes ambientais 12

7 Inspeções 12

8 Critérios de medição 16

Anexo A (Normativo) – Amostragem Variável 17

Anexo B (Informativo) – Sistema de geração e injeção de espuma de asfalto e aplicação de água em recicladora a frio *in situ* 18

Anexo C (Informativo) – Bibliografia 19

Prefácio

A presente Norma foi preparada pelo Instituto de Pesquisas em Transportes – IPR/DPP, conforme a Instrução Normativa nº 20/DNIT SEDE, de 1º de novembro de 2022, e a norma DNIT 001/2023 – PRO.

Esta publicação cancela e substitui a norma DNIT 166/2013 – ES.

1 Objetivo

Esta Norma estabelece as condições exigíveis para execução e controle de reciclagem a frio *in situ* de pavimento, de forma a se obter uma camada de base ou sub-base reciclada, com espuma de asfalto como agente estabilizador.

PROJETO DE REVISÃO DE NORMA

2 Referências normativas

Os documentos relacionados a seguir são indispensáveis à aplicação desta Norma. Para referências datadas aplicam-se somente as edições citadas. Para referências não datadas, aplicam-se as edições mais recentes do referido documento (incluindo emendas):

a) DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. DNER-EM 036/95: Cimento Portland – Recebimento e aceitação – Especificação de material.

b) _____. DNER-ME 053/94: Misturas Betuminosas – Percentagem de Betume.

c) _____. DNER-PRO 273/96: Determinação de deflexões utilizando deflectômetro de impacto tipo "*Falling Weight Deflectomer* – FWD".

d) _____. DNER-PRO 277/97: Metodologia para controle estatístico de obras e serviços – Procedimento.

e) DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. DNIT 011–PRO: Gestão da qualidade em obras rodoviárias – Procedimento.

f) _____. DNIT 070 – PRO: Condicionantes ambientais das áreas de uso de obras – Procedimento.

g) _____. DNIT 095 – EM: Cimentos asfálticos de petróleo – Especificação de material.

h) _____. DNIT 128 – EM: Emulsões asfálticas catiônicas modificadas por polímeros elastoméricos – Especificação de material.

i) _____. DNIT 179 – IE: Pavimentação – Solos – Determinação da deformação permanente – Instrução de ensaio.

j) _____. DNIT 133 – ME: Pavimentação – Determinação das deflexões pela Viga Benkelman - Método de ensaio.

k) _____. DNIT 134 – ME: Pavimentação - Solos - Determinação do módulo de resiliência - Método de ensaio.

l) _____. DNIT 136 – ME: Pavimentação asfáltica – Misturas asfálticas – Determinação da resistência à tração por compressão diametral – Método de ensaio.

m) _____. DNIT 155 – ME: Material asfáltico – Determinação da penetração – Método de ensaio.

n) _____. DNIT 158 – ME: Mistura asfáltica – Determinação da porcentagem de betume em mistura asfáltica utilizando o extrator Soxhlet – Método de ensaio.

o) _____. DNIT 164 – ME: Solos – Compactação utilizando amostras não trabalhadas – Método de ensaio.

p) _____. DNIT 165 – EM: Emulsões asfálticas para pavimentação – Especificação de material.

q) _____. DNIT 412 – ME: Agregados – Análise granulométrica de agregados graúdos e miúdos e misturas de agregados por peneiramento – Método de ensaio.

r) _____. DNIT 418 – EM: Pavimentação – Solo-cal – Cal virgem e cal hidratada – Especificação de material.

s) _____. DNIT 424 – ME: Pavimentação – Agregado – Determinação do índice de forma com crivos – Método de ensaio.

t) _____. DNIT 425 – ME: Pavimentação – Agregado – Determinação do índice de forma com paquímetro – Método de ensaio.

u) _____. DNIT 428 – ME: Pavimentação – Misturas Asfálticas – Determinação da densidade relativa aparente e da massa específica aparente de corpos de prova compactados – Método de ensaio.

v) _____. DNIT 429 – ME: Agregados – Determinação da porcentagem de partículas achatadas e alongadas em agregados graúdos - Método de ensaio.

w) _____. DNIT 430 – ME: Agregados – Determinação da porcentagem de partículas fraturadas em agregados graúdos – Método de ensaio.

x) _____. DNIT 435 – PRO: Materiais rochosos usados em rodovias – Análise petrográfica – Procedimento.

y) _____. DNIT 446 – ME: Agregados – Avaliação da durabilidade pelo emprego de soluções de sulfato de sódio ou magnésio – Método de ensaio.

z) ____. DNIT 450 – ME Equivalente de areia – Método de ensaio.

aa) ____. DNIT 451 – ME Agregados – Determinação do

PROJETO DE REVISÃO DE NORMA

desgaste por abrasão e impacto no equipamento "Los Angeles" – Método de ensaio.

bb) _____. DNIT 454 – EM: Água para argamassa e concreto de cimento Portland" – Especificação de material.

cc) _____. DNIT 456 – ME: Determinação do teor de umidade de solos e agregados: métodos expeditos e de laboratório- Método de ensaio.

dd) _____. DNIT 458 – ME: Solos – Determinação da massa específica aparente, *in situ*, com emprego do frasco de areia – Método de ensaio.

ee) _____. Publicação IPR – 738. Manual de sinalização de obras e emergências em rodovias. 2. ed. Rio de Janeiro, 2010.

ff) ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 6471 – Cal virgem e cal hidratada – Retirada e preparação de amostra – Procedimento.

gg) _____. ABNT NBR 11341 – Derivados de petróleo – Determinação dos pontos de fulgor e de combustão em vaso aberto Cleveland.

hh) _____. ABNT NBR 11579 – Cimento Portland - Determinação do índice de finura por meio da peneira 75 µm (nº. 200).

ii) _____. ABNT NBR 14950 – Materiais betuminosos - Determinação da viscosidade Saybolt Furol.

jj) _____. ABNT NBR 15184 – Materiais betuminosos - Determinação da viscosidade em temperaturas elevadas usando um viscosímetro rotacional.

kk) _____. ABNT NBR 16697 – Cimento Portland – Requisitos.

ll) _____. ABNT NM 137 – Argamassa e concreto – Água para amassamento e cura de argamassa e concreto de cimento Portland.

mm) AGÊNCIA NACIONAL DE PETRÓLEO – ANP – Resolução Nº 897, DE 18 DE NOVEMBRO DE 2022.

3 Termos e definições

Para os efeitos desta Norma, aplicam-se os seguintes termos e definições:

3.1 Camada reciclada *in situ* com espuma de asfalto

Mistura realizada no local, com aproveitamento total ou parcial de camada de revestimento asfáltico e base existentes, incorporação de fíler ativo (cimento Portland ou cal hidratada), água, espuma de asfalto como agente estabilizante e, quando necessário, agregados adicionais, em proporções previamente determinadas por processo próprio de dosagem, espalhada e compactada, de forma a compor uma nova camada do pavimento.

3.2 Cimento asfáltico de petróleo (CAP)

Derivado de petróleo de alta viscosidade, semissólido à temperatura ambiente (25 ºC) e de cor preta. O CAP é obtido por refino de petróleo e apresenta consistência e propriedades próprias para o uso direto na construção de pavimentos.

3.3 Espuma de asfalto

É o estado temporário do CAP, que quando aquecido em temperaturas geralmente superiores a 160 ºC e limitadas a 175 ºC, se expande por meio da injeção simultânea de água e ar em temperatura ambiente, obtido em câmaras de expansão específicas.

3.4 Fíler ativo

Para os fins desta Norma, o termo "fíler ativo" refere-se ao material (cimento Portland ou cal hidratada) capaz de alterar quimicamente as propriedades da mistura, objetivando a melhoria de suas características.

3.5 Material fresado

O material resultante do processo de fresagem de camadas de pavimentos asfálticos, devendo ser isento de materiais contaminantes (plásticos, madeiras, vidros e demais resíduos não integrantes da estrutura de pavimento).

3.6 RAP (*Reclaimed Asphalt Pavement*)

Para os fins desta Norma, o termo "RAP" refere-se ao material proveniente exclusivamente de fresagem de camada de revestimento asfáltico, composto por agregados e ligante remanescente.

PROJETO DE REVISÃO DE NORMA

3.7 Taxa de expansão (TE)

Razão entre o volume máximo da espuma em relação ao volume original do ligante asfáltico.

3.8 Tempo de meia-vida (MV)

É o tempo, em segundos, necessário para a espuma reduzir pela metade o volume máximo alcançado durante a expansão.

3.9 Relação de resistência à tração indireta retida

Relação entre a resistência à tração indireta dos corpos de prova Marshall condicionados em água e a resistência à tração indireta dos corpos de prova secos, ambas determinadas por ensaio de compressão diametral a 25 °C, expressa em porcentagem.

4 Condições gerais

a) A mistura reciclada *in situ* com espuma de asfalto como agente estabilizador pode ser empregada como camada de base ou de sub-base.

b) Não deve ser permitida a execução dos serviços em dias de chuva.

c) Todo carregamento de CAP que chegar à obra deve estar acompanhado de um certificado emitido pelo fabricante/fornecedor com os resultados dos ensaios de caracterização de acordo com a norma DNIT 095 – EM, além de outros ensaios, se especificados para a obra. Tais resultados devem corresponder à data de produção do CAP, ou ao dia de carregamento para transporte com destino à obra, caso o intervalo entre os dois eventos ultrapasse 10 dias. Deve também conter indicação clara da origem e tipo de ligante asfáltico, quantidade do conteúdo da carreta e distância de transporte entre o fabricante/fornecedor e o canteiro de obra.

d) É responsabilidade da empresa executora a proteção dos serviços e materiais contra a ação destrutiva das águas pluviais, do tráfego e de outros agentes que possam danificá-los.

e) Para correta execução da camada e adequado acompanhamento dos serviços, deverá ser executado previamente um segmento experimental, conforme a subseção 5.4.1.

f) Antes da execução dos serviços, deve ser implantada a sinalização da obra, visando à segurança do tráfego. Essa sinalização deverá ser objeto de manutenção contínua, durante a execução dos serviços. Uma atenção especial deve ser dada à segurança do tráfego na operação do sistema siga/pare.

NOTA 1: Deve-se seguir obrigatoriamente o Manual de sinalização de obras e emergências em rodovias (Publicação IPR – 738).

5 Condições específicas

5.1 Materiais

Os materiais constituintes da camada reciclada *in situ* com espuma de asfalto são: material fresado, agregado mineral (quando necessário), fíler, cimento Portland ou cal hidratada, água e CAP, incorporado à mistura na forma de espuma. Esses materiais devem ser avaliados na fase de dosagem e só podem ser utilizados se atenderem às especificações indicadas nesta Norma.

5.1.1 Cimento Portland

Todo carregamento de cimento que chegar à obra deve vir acompanhado do certificado de fabricação, com informações dos resultados de análise dos ensaios de caracterização exigidos na norma DNER-EM 036/95, ou na norma DNIT que venha a substituí-la, do prazo de validade e data de fabricação, da indicação clara de sua procedência, do tipo e quantidade do seu conteúdo. O tipo de cimento deve ser o mesmo utilizado na dosagem, e sua incorporação está limitada a 1 % em massa.

O ensaio de finura, conforme a ABNT NBR 11579, deve ser realizado sempre que houver dúvida sobre a sanidade ou a conformidade do cimento, ou por determinação da fiscalização.

NOTA 2: Não é recomendado o emprego de cimento Portland de alta resistência inicial, como fíler ativo na mistura reciclada.

PROJETO DE REVISÃO DE NORMA

5.1.2 Cal hidratada

Todo carregamento de cal hidratada que chegar à obra deve vir acompanhado do certificado de fabricação, com informações sobre o produto, seu manuseio e estocagem e os ensaios realizados, conforme os requisitos gerais e específicos prescritos na norma DNIT 418 – EM. O tipo de cal hidratada deve ser o mesmo utilizado na dosagem, e sua incorporação está limitada a 1 % em massa.

5.1.3 Água

Deve ser utilizada água potável, isenta de materiais nocivos, como sais solúveis, ácidos, álcalis ou matéria orgânica e outras substâncias prejudiciais.

5.1.4 CAP

Podem ser empregados os seguintes tipos de CAP na produção de espuma:

a) CAP-30/45;

b) CAP-50/70;

c) CAP-85/100.

O CAP deve atender aos requisitos da especificação da norma DNIT 095 – EM, e ainda aos critérios de Taxa de expansão (TE) e Tempo de meia-vida (MV) mínimos indicados na Tabela 2.

NOTA 3: Outros tipos de ligantes podem ser empregados desde que comprovado o atendimento às especificações de projeto e após aceitação pela Fiscalização do DNIT.

5.1.5 Agregados

Poderão ser empregados agregados adicionais (graúdos e miúdos), caso seja necessária a correção granulométrica da mistura. Estes devem atender às especificações a seguir.

5.1.6 Agregado graúdo adicional

O agregado graúdo poderá ser de rocha britada ou seixo rolado (britado) ou outro material indicado nas especificações complementares. Deve ser constituído por fragmentos sãos, duráveis e livres de torrões de argila, matéria orgânica e outras impurezas.

Recomenda-se a análise petrográfica da rocha (DNIT 435 – PRO), para definir seus constituintes minerais e principais propriedades.

O agregado graúdo deve apresentar as seguintes características:

a) Abrasão Los Angeles ≤ 50 % (DNIT 451 – ME); pode-se admitir valores superiores a 50 %, quando o agregado tiver apresentado, em utilização anterior, desempenho comprovadamente satisfatório ou quando submetido a ensaios tecnológicos específicos.

b) Percentual de partículas fraturadas ≥ 90 %, em massa, dos fragmentos retidos na peneira nº 4 (4,8 mm), devendo apresentar, pelo menos, uma face fragmentada pela britagem (DNIT 430 – ME).

c) Índice de forma ≥ 0,5 (DNIT 424 – ME) ou ≤ 2 (DNIT 425 – ME).

d) Percentual de partículas chatas e alongadas ≤ 40 %, (DNIT 429 – ME).

e) Durabilidade pelo emprego de soluções de sulfato de sódio com perda < 20 % ou de sulfato de magnésio com perda < 30 % (DNIT 446 – ME).

5.1.7 Agregado miúdo adicional

O agregado miúdo deverá ser pó de pedra, ou outro material indicado nas especificações do DNIT. Suas partículas individuais devem ser resistentes, estando livres de torrões de argila, matéria orgânica e outras impurezas.

O agregado miúdo deve apresentar as seguintes características:

a) Equivalente de areia ≥ 55 % (DNIT 450 – ME);

b) Durabilidade pelo emprego de soluções de sulfato de sódio com perda < 20 % ou de sulfato de magnésio com perda < 30 % (DNIT 446 – ME).

NOTA 4: As fontes de agregados graúdos e miúdos devem ser validadas durante a dosagem da mistura, e, se possível, mantidas durante toda a obra. Qualquer alteração da fonte de

PROJETO DE REVISÃO DE NORMA

fornecimento dos agregados deve ser previamente comunicada à Fiscalização e implicará a realização de nova dosagem da mistura, devendo ser atendidos os requisitos de caracterização estabelecidos nesta Norma.

5.1.8 Material fresado da pista (revestimento + base)

Deve ser feito um poço de sondagem a cada 500 metros de extensão de pista para verificação das seguintes características do material fresado da pista:

a) Espessura das camadas existentes.

b) Granulometria (DNIT 412 – ME).

c) Teor de umidade (DNIT 456 – ME).

d) Teor de CAP (DNIT 158 – ME ou DNER-ME 053/94, ou norma que venha substituir esta última).

e) Para análise do material proveniente exclusivamente da fresagem do revestimento asfáltico (RAP), devem-se verificar o teor e o grau de atividade do ligante asfáltico remanescente. Caso o RAP apresente coloração cinzenta, infere-se que o ligante asfáltico remanescente presente na camada a ser reciclada encontra-se com baixa ou nenhuma atividade. Caso contrário, deve-se verificar o grau de atividade do ligante, pois poderá afetar a dosagem da camada reciclada.

f) O teor e o grau de atividade do ligante remanescente devem ser verificados através da seguinte metodologia:

- Ensaio de resistência à tração por compressão diametral (DNIT 136 – ME) sob condição saturada, em corpos de prova de RAP com 100 mm de diâmetro, compactados a 70 ºC com 75 golpes em cada face utilizando soquete Marshall, ou com 30 giros quando usado o compactador giratório *Superpave* (SGC) em ângulo de 1,25 º, e pressão de 600 kPa, tendo passado por um período de condicionamento de 24 horas em banho de imersão com água a 25 ºC. Para valores de resistência à tração abaixo de 100 kPa considera-se o ligante como inativo, enquanto, para os valores acima de 100 kPa entende-se que o ligante se apresenta ativo.

5.2 Composição da mistura reciclada

A composição da mistura reciclada deve satisfazer o que foi estabelecido na dosagem quanto à combinação do material fresado, agregados adicionais quando necessários, fíler ativo, água, e CAP.

O projeto da mistura deve ser definido e submetido à aprovação da Fiscalização do DNIT antes do início da execução dos serviços. Qualquer alteração significativa nas características ou proporções dos materiais considerados na dosagem, ou nas condições das camadas abrangidas pelo processo de reciclagem, deve ser previamente comunicada à Fiscalização. Caso a alteração descaracterize a homogeneidade do material ou possa afetar a composição ou o desempenho da mistura reciclada, deve ser elaborado e aprovado novo projeto de dosagem antes da continuidade dos serviços no segmento afetado.

No projeto de dosagem, a mistura reciclada *in situ* com asfalto espuma, deverá se enquadrar em uma das faixas granulométricas especificadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Composição granulométrica

Peneira de malha quadrada		(%) passando Faixa I	(%) passando Faixa II	Tolerância da faixa de projeto (%)
ABNT	Abertura (mm)			
2”	50,8	100	-	±7
1 ½	38,1	87 - 100	-	±7
1”	25,4	74 - 100	100	±7
3/4”	19,1	65 - 99	93 - 100	±7
1/2"	12,7	51 - 87	74 - 100	±7
3/8”	9,5	43 - 74	65 - 92	±7
1/4"	6,3	40 - 62	53 - 75	±7
N° 4	4,75	35 - 56	45 - 66	±5
N° 8	2,36	21 - 42	31 - 49	±5
N° 16	1,18	16 - 33	23 - 37	±5
N° 30	0,600	12 - 26	17 - 29	±5
N° 40	0,425	10 - 22	14 - 25	±5
N° 50	0,300	8 - 19	11 - 22	±5
N° 100	0,150	5 - 14	7 - 17	±2
N° 200	0,075	4 - 11	4 - 14	±2

Os limites das faixas de trabalho são obtidos a partir dos percentuais passantes em cada peneira da curva granulométrica do projeto de dosagem, somando e subtraindo os respectivos valores da tolerância individual. A faixa de trabalho não deve extrapolar os valores da faixa granulométrica escolhida, conforme a Tabela 1. Na determinação da curva granulométrica da mistura de

PROJETO DE REVISÃO DE NORMA

agregados, recomenda-se utilizar a equação de Talbot para definição e ajuste dos percentuais correspondentes a cada fração granulométrica, proporcionando uma distribuição contínua dos tamanhos de partículas e adequado empacotamento do esqueleto mineral, e contribuindo para a estabilidade da mistura e para sua resistência à ocorrência de deformações permanentes.

A composição final da mistura reciclada *in situ* com espuma de asfalto deverá satisfazer aos requisitos do projeto, e ao estabelecido a seguir:

a) Deve haver um mínimo de 4 % de finos passante na peneira nº 200, para que a espuma se disperse de forma adequada na mistura, conforme já indicado na Tabela 1.

b) A faixa de trabalho da curva granulométrica de projeto não deve extrapolar os limites da faixa granulométrica selecionada. Quando isso ocorrer, os percentuais das peneiras que extrapolarem a faixa devem ser ajustados, fazendo com que os limites da faixa de trabalho coincidam com os limites da faixa selecionada.

c) O teor máximo de fíler ativo (cimento Portland ou cal hidratada) adicionado à mistura deverá ser de 1 %.

d) O teor de CAP adicionado à mistura deve ficar entre 2 % e a 3 %.

e) A propriedade da espuma de asfalto, expressa pela Taxa de expansão (TE) e pelo Tempo de meia-vida (MV), deve atender aos valores mínimos estabelecidos em função da temperatura dos agregados adicionais e do RAP no momento da reciclagem, conforme indicado na Tabela 2:

Tabela 2 – Taxa de expansão e tempo de meia- vida da espuma de asfalto

	Temperatura dos agregados e do RAP	
	> 15 °C	**entre 10 °C e 15 °C**
TE	≥ 8	≥ 10
MV	≥ 6 segundos	≥ 8 segundos

f) Recomenda-se que a temperatura dos agregados adicionais e do RAP, previamente à reciclagem, seja ≥ 15 °C. A produção de mistura reciclada em temperaturas entre 10 °C e 15 °C é condicionada ao atendimento aos requisitos mínimos de TE e MV da Tabela 2, não devendo ser inferior a 10 °C.

g) O teor de água para a espumação, expresso em % em relação à massa do CAP, deve ser definido e ajustado, de modo que os valores indicados na Tabela 2 sejam atendidos. Devem ser registrados o teor de água adotado, a temperatura do CAP na espumação e os valores medidos de TE e MV. Recomenda-se traçar um gráfico que represente a relação de expansão em função do tempo de meia--vida, para as diferentes taxas de injeção de água, no mesmo sistema de eixos. O teor ótimo de água deve ser selecionado como a média dos dois teores de água necessários para cumprir esses critérios mínimos.

h) Para uso da mistura em camadas de base, a mistura reciclada deverá satisfazer aos requisitos do projeto e apresentar:

- Resistência à tração indireta seca ≥ 225 KPa, em amostras condicionadas a 25 ºC pelo período mínimo de 2 horas antes do ensaio, após terem passado pelo período de cura em estufa a 40 ºC por 72 h, em conformidade com a norma DNIT 136 – ME;

- Resistência à tração indireta saturada ≥ 125 KPa, em amostras que passaram pelo período de cura em estufa a 40 ºC por 72 h e mais 24 h submersas em água a temperatura de 25 ºC, em conformidade com a norma DNIT 136 – ME.

- Relação obtida entre a resistência à tração indireta saturada e a resistência à tração indireta seca ≥ 50 %.

i) Para uso da mistura em camadas de sub-base, a mistura reciclada deverá satisfazer aos requisitos do projeto e apresentar:

- Resistência à tração indireta seca ≥ 175 KPa, em amostras condicionadas a 25 ºC pelo período mínimo de 2 horas antes do ensaio, após terem passado pelo período de cura em estufa a 40 ºC por 72 h, em conformidade com a norma DNIT 136 – ME.

- Resistência à tração indireta saturada ≥ 100 KPa, em amostras que passaram pelo período de cura em estufa a 40 ºC por 72 h e

PROJETO DE REVISÃO DE NORMA

mais 24 h submersas em água a temperatura de 25 ºC, em conformidade com a norma DNIT 136 – ME.

- Relação obtida entre a resistência à tração indireta saturada e a resistência à tração indireta seca ≥ 50 %.

NOTA 5: Outros ensaios mecânicos poderão ser realizados, quando previstos em projeto, no contrato, ou ainda a critério da fiscalização, visando verificar o comportamento do material sob condições de serviço, tais como o módulo de resiliência (DNIT 134 – ME), e o ensaio de deformação permanente (DNIT 179 – IE).

5.3 Equipamentos

Os equipamentos necessários à execução dos serviços devem ser adequados aos locais de instalação das obras, atendendo às especificações descritas em seus respectivos itens desta Norma.

Devem ser utilizados, no mínimo, os seguintes equipamentos:

5.3.1 Equipamentos para espalhamento

Para o espalhamento de materiais adicionais, tais como agregados, podem ser utilizados equipamentos específicos dotados de controle eletrônico ou do tipo *spreader*, para melhor controle das taxas de aplicação e garantia de distribuição homogênea.

No caso da cal hidratada ou do cimento, em estado seco, estes devem ser espalhados na superfície do pavimento asfáltico antes da recicladora, utilizando de preferência equipamento espalhador dotado de controle eletrônico ou caminhão espalhador.

5.3.2 Equipamentos para reciclagem *in situ* com espuma de asfalto

As recicladoras são equipamentos empregados no processo síncrono de fresagem, mistura e estabilização do pavimento, promovendo o corte do pavimento simultaneamente à injeção de espuma de asfalto e, quando necessário, de água, seguida da homogeneização dos materiais. O equipamento para reciclagem *in situ* com espuma de asfalto deve ter as seguintes características e dispositivos:

a) Recicladora autopropelida com tração nas quatro rodas e potência do motor mínima de 600 HP com capacidade para operar continuamente integrada ao trem de reciclagem, assegurando o avanço do conjunto e a alimentação contínua de CAP e água, sem comprometer a profundidade de corte, as taxas de aplicação dos insumos e a homogeneidade da mistura reciclada.

b) Tambor fresador de largura efetiva mínima de 2,0 m, equipado com diferentes velocidades de rotação e dotado de ferramenta de corte que permita variações na espessura de fresagem, bem como meios de ajustes para compensação das inclinações transversais, sendo capaz de cortar em uma única passada, em profundidades entre 150 mm e 300 mm.

c) Dispositivo eletrônico para ajustar com precisão a taxa de aplicação do CAP, independentemente da velocidade de avanço.

d) Sistema controlado por microprocessador, destinado à injeção de CAP, água, e ar para a geração de espuma de asfalto, de modo a assegurar precisão e uniformidade nas taxas de aplicação e promover a adequada dispersão da espuma.

e) Bico de teste, para obtenção das amostras de espuma de asfalto.

f) Deve possuir acessórios específicos para injeção e dosagem da água destinada ao ajuste da umidade de compactação, em sistema independente daquele utilizado para a formação da espuma de asfalto, de modo a assegurar o adequado umedecimento da mistura reciclada.

5.3.3 Equipamentos para transporte de materiais

Caminhões basculantes e tanques para transporte dos materiais (agregados adicionais, ligante, água, cimento Portland, cal hidratada, quando indicados).

PROJETO DE REVISÃO DE NORMA

5.3.4 Equipamento para nivelamento

Motoniveladora para corte, espalhamento e nivelamento do material reciclado, autopropelida, com largura mínima de lâmina de 3,6 m e potência de motor suficiente para as atividades citadas.

Precauções devem ser tomadas a fim de evitar processos de segregação da mistura reciclada.

As motoniveladoras devem ser capazes de espalhar e conformar a mistura no alinhamento, cotas e abaulamento definidos no projeto, possuindo preferencialmente, sistema de controle eletrônico de forma a garantir o nivelamento adequado.

5.3.5 Equipamentos para compactação

A compactação da mistura deve ser efetuada por rolos vibratórios autopropelidos do tipo pé de carneiro, rolos lisos do tipo tandem com raspadores operando corretamente e com sistema de pulverização de água e rolos autopropelidos pneumáticos, devendo seus pesos serem compatíveis com a espessura da camada a ser reciclada. Para camadas com espessuras de até 20 cm, deverão ser empregados rolos compactadores com massa estática mínima de 15 toneladas, e para camadas com espessuras superiores a 20 cm, deverão ser empregados rolos compactadores com massa estática mínima de 22 toneladas.

O equipamento em operação deve ser suficiente para compactar a mistura de forma a atingir o grau de compactação especificado em projeto, em toda a espessura da camada reciclada, enquanto se encontrar em condições de trabalhabilidade.

5.4 Execução

A execução consiste na reciclagem do pavimento asfáltico, abrangendo operações simultâneas de fresagem, mistura e homogeneização do material fresado. Durante o processo de reciclagem, há a incorporação de fíler ativo (cimento Portland ou cal hidratada), água, espuma de asfalto e agregados adicionais para correção granulométrica, se necessário. Com a mistura resultante, é realizado o espalhamento sobre a pista e compactação, em conformidade com os alinhamentos e cotas definidos no projeto de engenharia.

A reciclagem deverá ser realizada em uma única camada.

5.4.1 Segmento experimental

Para correta execução da camada e adequado acompanhamento dos serviços, deverá ser previamente executado um segmento experimental de no mínimo 150 m, visando verificar os procedimentos a serem seguidos desde o início da reciclagem até a compactação, acabamento, e proteção da base reciclada estabilizada com espuma de asfalto. A realização dos serviços deverá ser assistida pelos profissionais responsáveis pela execução da obra e pelos responsáveis da fiscalização.

Devem ser definidos, durante a execução do trecho experimental, os tipos de equipamentos, a técnica de compactação mais adequada e o número de coberturas necessárias à obtenção do grau de compactação. Adicionalmente, deve ser monitorado o comportamento inicial da camada, visando identificar eventuais anomalias e subsidiar os critérios operacionais de liberação ao tráfego.

Após comprovação, pela fiscalização, acerca do atendimento aos limites definidos nesta especificação e no projeto (se houver), a reciclagem poderá ser iniciada.

5.4.2 Reciclagem do pavimento

A reciclagem profunda *in situ* do pavimento deve ser executada nas seguintes condições e sequência:

a) Espalhamento do agregado adicional sobre o pavimento a ser reciclado, quando previsto no projeto da mistura reciclada, na taxa especificada e de forma uniforme em toda a largura a ser processada. O espalhamento deve ser realizado, preferencialmente, com distribuidor de agregados. Admite-se o emprego de caminhão basculante para distribuição em leiras, seguida do espalhamento com motoniveladora ou equipamento mecânico adequado, desde que seja assegurada a distribuição uniforme do material antes da passagem da recicladora.

b) Espalhamento do fíler ativo sobre o pavimento a ser reciclado, de preferência com o emprego de equipamento distribuidor dotado de controle

PROJETO DE REVISÃO DE NORMA

eletrônico, na quantidade necessária, de forma a garantir a taxa prevista, quando indicado no projeto da mistura reciclada. Pode ser utilizado também caminhão basculante para a distribuição, seguida da motoniveladora ou espalhador mecânico. O espalhamento deve ser realizado de maneira uniforme, imediatamente antes da passagem da recicladora e, preferencialmente, limitado à largura de corte a ser processada.

c) Na reciclagem da seção, a profundidade de corte e sua inclinação transversal devem atender ao estabelecido em projeto. Durante o avanço da recicladora, o pavimento existente deve ser fresado e o material recuperado conduzido à câmara de mistura, onde deve ser continuamente homogeneizado com o agregado adicional e o fíler ativo previamente distribuídos sobre a superfície, quando previstos no projeto da mistura reciclada, juntamente com a espuma de asfalto e a água para compactação. Na incorporação de água, tolera-se na mistura teor de umidade compreendido entre 0,9 e 1,1 vezes a umidade ótima determinada na etapa de dosagem.

d) A mistura deve ocorrer em toda a profundidade de reciclagem, de forma a assegurar a distribuição uniforme dos constituintes. O tanque de CAP deve ser posicionado imediatamente à frente da recicladora, enquanto o caminhão-tanque de água deve ser disposto de modo a permitir a alimentação contínua do equipamento, conforme a configuração do trem de reciclagem.

NOTA 6: Devem ser atendidas todas as exigências especificadas no projeto, no que se refere à qualidade da espuma e teor de água para espumação, medidas pela taxa de expansão e meia-vida.

5.4.3 Compactação, cura e proteção da base

O processo deve ser executado nas seguintes condições e sequência:

a) A rolagem deve ser iniciada imediatamente após a distribuição da mistura reciclada *in situ* com espuma de asfalto.

b) A compactação deve ser feita longitudinalmente, iniciando-se pela borda mais baixa da faixa e prosseguindo até a borda mais elevada da faixa, sobrepondo-se às passadas sucessivas, de modo que a faixa em execução seja uniformemente compactada em toda a sua largura.

c) Durante a rolagem, não são permitidas mudanças de direção, inversões bruscas da marcha, nem o estacionamento do equipamento sobre o revestimento recém-rolado.

d) A camada compactada deve ter espessura de no mínimo, 10 cm e de, no máximo, 30 cm, devendo essa ser realizada como camada única sem estratificação. Nesta fase, devem ser tomados os cuidados necessários para evitar a necessidade da adição de material na fase de acabamento.

e) Durante as operações finais de compactação devem ser tomadas as medidas necessárias para que a camada superficial seja mantida na umidade ótima ou ligeiramente acima. Se necessário, podem ser realizadas pequenas adições de água, seguidas de nova homogeneização com equipamento adequado e da continuidade da compactação, de modo a atender ao grau de compactação especificado e aos critérios de controle estabelecidos na subseção 7.2.3.

f) A compactação deve ser executada com a energia modificada, correspondente à massa específica aparente seca máxima.

g) Durante o processo de compactação, deve ser observado se há formação de trincas, o que pode ocorrer devido à vibração excessiva durante a compactação. Deve-se, então, utilizar a rolagem estática. Se as trincas ainda aparecerem sob compactação estática, deve-se interromper o processo de compactação para avaliação das condições da mistura reciclada e identificação da causa. Caso seja constatado excesso de umidade, acompanhado de instabilidade ou deformação da camada sob a ação dos rolos, deve-se permitir que ocorra a redução de umidade com a cura da camada. Posteriormente, seguir a compactação com rolo pneumático e, em seguida, com o rolo chapa para corrigir irregularidades.

PROJETO DE REVISÃO DE NORMA

h) Concluída a compactação, deve ser efetuado o acerto final da superfície, de modo a satisfazer ao projeto, pela eliminação de saliências, com o emprego da motoniveladora. Não é permitida a correção de depressões pela adição de material. A superfície da camada executada deve apresentar-se lisa e isenta de partes soltas ou sulcadas.

i) Admite-se a compactação de camadas com espessuras superiores a 20 cm, limitadas a 30 cm, desde que seja aceito pela fiscalização, e que sejam empregados rolos compactadores com massa estática de 22 toneladas ou superior, devendo seu peso ser compatível com a espessura da camada a ser compactada.

j) A camada reciclada deve permanecer em cura, com ganho progressivo de coesão e rigidez associado principalmente à redução de umidade e à estabilização do ligante, não sendo permitida a passagem de qualquer tráfego nas primeiras 2 horas, no mínimo, contadas do término da compactação.

k) Passado esse período, pode ser admitida a circulação de tráfego público, em baixa velocidade, sob controle de pare/siga, devendo-se evitar paradas prolongadas e formação de filas sobre trechos recém-executados. Neste caso a camada reciclada deverá receber um tratamento de proteção superficial contra intempéries, conforme previsto na subseção 5.4.5.

l) Após a cura da camada reciclada (pelo menos 48 horas e quando a umidade na espessura total da camada for inferior a 2 %), poderá ser executada a camada de revestimento determinada em projeto (ex. concreto asfáltico, tratamento superficial etc.), devendo ser observado, quando aplicável, o disposto na subseção 7.2.4, referente ao controle deflectométrico. Quando exigido o controle de deflexão, a execução da camada posterior somente poderá ocorrer após a realização desse controle e a aceitação dos resultados pela fiscalização.

NOTA 7: Em caso de necessidade, o período de 48 h poderá ser reduzido, a critério da fiscalização, e desde que já executada camada de proteção superficial mínima e que a umidade da camada não seja superior a 70 % da umidade ótima.

NOTA 8: As condições de drenagem devem ser asseguradas, de maneira a garantir a saída de água presente na camada.

5.4.4 Juntas

As juntas transversais e longitudinais devem ser homogêneas em relação ao conjunto da mistura e executadas de forma a assegurar condições adequadas de acabamento.

Para reciclagem nas rodovias em operação, devem ser evitados degraus longitudinais muito extensos, sendo permitido, no máximo, o equivalente a uma jornada de trabalho.

A cada jornada de trabalho, a execução da operação de reciclagem deve começar no início do degrau remanescente da jornada de trabalho anterior. Deve ser realizada a compactação da emenda, com o rolo na direção transversal ao eixo da pista, estando o rolo posicionado com um terço sobre o pano já compactado e os outros dois terços sobre a mistura recém-aplicada.

Nas juntas longitudinais entre passadas adjacentes da recicladora, deve ser realizado transpasse mínimo de 15 cm sobre a faixa anteriormente executada, de modo a assegurar a continuidade do tratamento em toda a seção. Caso esse transpasse seja realizado na mesma jornada de trabalho, não devem ser reaplicados fíler ativo nem espuma de asfalto na região transpassada, devendo ser ajustada a largura de distribuição do fíler e a operação dos bicos de injeção da recicladora para evitar a duplicação das taxas de aplicação.

Nas misturas que utilizam cimento Portland como fíler ativo, caso o transpasse seja executado em jornada posterior deve-se reprocessar a região de transpasse, com largura mínima de 15 cm, e aplicar cimento em toda a largura processada na nova passada, incluindo a região transpassada. O teor de cimento adicionado na nova passada, inclusive na região de transpasse, deve atender à taxa estabelecida no projeto de dosagem.

Nas misturas que utilizam cal hidratada como fíler ativo, caso o transpasse seja executado em jornada posterior, dispensa-se nova aplicação de cal na região

PROJETO DE REVISÃO DE NORMA

anteriormente tratada, desde que sejam verificadas condições que permitam o reprocessamento e a compactação do material. Na largura ainda não tratada, a aplicação de cal deve atender à taxa estabelecida no projeto de dosagem.

Independentemente da utilização de fíler ativo, a espuma de asfalto deve ser aplicada somente na largura ainda não tratada, sem reaplicação na região de transpasse, mediante o desligamento dos bicos de injeção correspondentes a essa região.

5.4.5 Abertura ao tráfego

Conforme já descrito na subseção 5.4.3, alínea j, após a compactação da mistura, nenhum tráfego deverá ser permitido sobre a camada reciclada por pelo menos duas horas.

Para que haja a liberação do tráfego, a camada reciclada deverá receber um tratamento de superfície, compreendido por uma pintura de proteção, devendo ser utilizada emulsão descrita nas normas DNIT 165 – EM ou DNIT 128 – EM, com a taxa que atenda ao ligante residual de 500 g/m^2, seguida da aplicação de areia ou pó de pedra, na taxa de 1,2 kg/m^2 (*Fog Spray*). A liberação ao tráfego somente deverá ocorrer em pelo menos 30 minutos após a realização desse procedimento.

Após o tratamento de superfície, de acordo com a subseção 5.4.3, alínea k, o tráfego poderá ser permitido de forma controlada, verificando-se se não há desprendimento de material, devendo ser mantida a superfície em condições adequadas para a passagem de veículos. Em caso de desprendimento de material, o tráfego deve ser suspenso até que ocorra a cura suficiente da camada reciclada. A nova liberação deve ser efetuada de modo controlado.

NOTA 9: Permitir que o tráfego circule sobre a camada reciclada tem a vantagem de evidenciar defeitos de construção. Trechos com aplicação insuficiente de ligante betuminoso tendem a se desagregar excessivamente quando expostos às cargas do tráfego, chamando a atenção para qualquer área que exija medidas corretivas antes da aplicação do revestimento final. A superfície deve ser mantida limpa de material solto. Caso após a liberação ao tráfego ocorra a degradação da capa selante e a exposição da base, deve ser aplicada nova camada de *Fog Spray*, após varredura do material solto existente.

6 Condicionantes ambientais

Devem ser observados e adotados as soluções e os procedimentos relacionados ao tema ambiental, especificados nas normas vigentes do DNIT, especialmente a norma DNIT 070 – PRO, e na documentação técnica vinculada à execução das obras. Essa documentação compreende o Componente Ambiental do Projeto de Engenharia, os estudos, os planos e as recomendações e exigências dos órgãos ambientais**.**

Os cuidados observados para fins de preservação do meio ambiente envolvem a produção, a estocagem e a aplicação dos insumos, assim como a operação da recicladora e demais equipamentos utilizados na execução da reciclagem com espuma de asfalto. Os procedimentos de controle ambiental referem-se à proteção de cursos d'água, da vegetação lindeira, do solo e da segurança viária, buscando técnicas mais sustentáveis de forma a aproveitar recursos e reduzir as emissões de CO_2.

7 Inspeções

7.1 Controle de insumos

Os materiais utilizados na produção da mistura reciclada *in situ* com espuma de asfalto devem ser examinados na fase de dosagem e de forma rotineira, para atender às especificações apresentadas na seção 5, conforme as normas indicadas pelo DNIT. Caso alguma especificação não seja atendida, o insumo em questão não deve ser aceito. Em campo, os insumos devem ser rotineiramente examinados no laboratório do canteiro de obras, realizando os ensaios especificados a seguir.

7.1.1 Cimento Portland ou cal hidratada

a) A adição de cimento ou cal tem a função de auxiliar a coesão da mistura reciclada, e de atuar na melhoria da resistência à ação deletéria da água.

PROJETO DE REVISÃO DE NORMA

b) A definição do material a ser utilizado dependerá de estudo de laboratório, visando obter melhor relação da estabilidade úmida com a estabilidade seca quanto à resistência à ação da água.

c) Caso empregado na obra, o cimento deve ser obrigatoriamente do mesmo tipo utilizado na dosagem, possuir certificado que ateste a qualidade do material e a conformidade com o disposto nas normas DNER-EM 036/95 (ou norma DNIT que venha a substituí-la), e ABNT NBR 16697.

d) Se utilizada a cal, esta deve atender às especificações da norma DNIT 418 – EM e ser do mesmo tipo da utilizada na dosagem.

e) No caso de utilização de cimento, deve ser realizado um ensaio do índice de finura (ABNT NBR 11579) sempre que houver dúvida sobre a sanidade ou a conformidade do cimento.

f) No caso de utilização de cal hidratada, havendo suspeita de alteração do produto, deve ser retirada amostra de acordo com a norma ABNT NBR 6471 e realizados os ensaios exigidos na norma DNIT 418 – EM.

NOTA 10: Para cimentos Portland de alto forno (CP III) o resíduo retido na peneira de nº 200 deve ser ≤ 10 %, e para cimentos Portland comum (CP I) deve ser ≤ 15 %.

7.1.2 Agregados adicionais

O controle da qualidade dos agregados deve ser feito pelos seguintes ensaios:

a) Ensaios eventuais – realizados no início da utilização dos agregados na obra e quando houver dúvidas ou variações quanto à origem e natureza dos materiais:

- 01 ensaio de abrasão Los Angeles no agregado graúdo (DNIT 451 – ME);
- 01 ensaio de índice de forma no agregado graúdo (DNIT 424 – ME ou DNIT 425 – ME);
- 01 ensaio de durabilidade pelo emprego de soluções de sulfato de sódio ou pelo emprego de sulfato de magnésio no agregado graúdo (DNIT 446 – ME);
- 01 ensaio de percentual de partículas chatas e alongadas (DNIT 429 – ME);
- 01 ensaio de percentual de partículas fraturadas em massa, dos fragmentos retidos na peneira nº 4 (DNIT 430 – ME).

b) Ensaios de rotina – realizados por jornada de 8 horas de trabalho:

- 01 ensaio de equivalente de areia do agregado miúdo (DNIT 450 – ME);
- 01 ensaio de granulometria do agregado adicional (DNIT 412 – ME).

7.1.3 Cimento asfáltico de petróleo

O controle da qualidade do CAP, para todo carregamento que chegar à obra, deve ser feito pelos seguintes ensaios:

- 01 ensaio de ponto de fulgor (ABNT NBR 11341).
- 01 ensaio de penetração, a 25 °C (DNIT 155 – ME);
- 01 ensaio de viscosidade com viscosímetro Saybolt Furol (ABNT NBR 14950) ou viscosímetro rotacional (ABNT NBR 15184).

Para todo carregamento de CAP que chegar ao canteiro de obras deve-se retirar uma amostra que será identificada e armazenada, para possíveis ensaios posteriores.

7.1.4 Água

Deve ser isenta de teores nocivos de sais, ácidos, álcalis, de matéria orgânica e outras substâncias prejudiciais. Deve ser examinada sempre que houver dúvida sobre sua qualidade, conforme ABNT NM 137 ou norma DNIT 454 – EM.

PROJETO DE REVISÃO DE NORMA

7.2 Controle da execução

O controle da execução da reciclagem de pavimento asfáltico *in situ* com espuma de asfalto, deve ser efetuado mediante a realização de ensaios laboratoriais e medições feitas em campo.

7.2.1 Controle da espuma de asfalto

Devem ser realizados os ensaios da taxa de expansão e meia-vida da espuma de asfalto a cada passagem de 100 litros de CAP, pelo bocal de pulverização da espuma de asfalto, da recicladora.

A Figura B1 do Anexo B apresenta, esquematicamente, o processo de reciclagem *in situ* com espuma de asfalto, destacando o sistema de injeção da espuma de asfalto e da água para controle de umidade, bem como as etapas de mistura, distribuição e compactação.

7.2.2 Controle da mistura reciclada

A recicladora deve estar calibrada após sua instalação e de maneira que as etapas de espalhamento de material, de mistura e de homogeneização sejam monitoradas durante a operação para evitar a ausência de algum dos materiais na composição da mistura. O controle das características da mistura reciclada deve abranger os seguintes ensaios:

a) Controle de espessura, logo após a execução da camada, serão feitos locação e nivelamento do eixo e dos bordos a cada 20 m, envolvendo, no mínimo, cinco pontos da seção transversal;

b) Ensaio de compactação para determinação da massa específica aparente seca máxima, com a energia modificada (DNIT 164 – ME);

c) Determinação do teor de umidade (DNIT 456 – ME), após a adição de água e homogeneização da mistura, a cada 700 m^2 de pista, alternando bordo direito, eixo, bordo esquerdo;

d) Ensaios de granulometria (DNIT 412 – ME) e determinação do teor de CAP (DNIT 158 – ME ou DNER-ME 053/94 ou norma que venha substituir esta última), incorporado à mistura, coletados através da diferença entre o teor obtido no ensaio de extração e o teor encontrado na fase de dosagem;

e) Coleta de material solto na saída da recicladora e moldagem, em laboratório, de no mínimo seis corpos de prova Marshall (75 golpes/face), condicionados a 72 horas de cura em estufa a 40 ºC, para determinação da resistência à tração indireta por compressão diametral, sendo três corpos de prova na condição seca e três na condição saturada, em conformidade com a norma DNIT 136 – ME; e moldagem de no mínimo, dois corpos de prova Marshall (75 golpes/face), condicionados a 72 horas de cura em estufa a 40 ºC para determinação da massa específica aparente, em conformidade com a norma DNIT 428 – ME.

f) Determinação da densidade *in situ* após compactação na pista, em conformidade com a norma (DNIT 458 – ME);

g) Extração de corpos de prova com sonda rotativa, para análise visual da integridade e homogeneidade da camada. Uma extração a cada 1.800 m², após a compactação da camada.

7.2.3 Compactação

O grau de compactação deve ser verificado a cada 250 m de faixa de tráfego, através da relação entre a massa específica *in situ* (DNIT 458 – ME) e a massa específica aparente seca máxima obtida conforme na subseção 7.2.2, alínea b.

Para camadas de base, o grau de compactação deve ser de, no mínimo, 100 % em relação à massa específica aparente seca obtida (DNIT 458 – ME), decorrente dos procedimentos de compactação com a energia modificada, devendo-se evitar compactação em excesso que possa vir a prejudicar a qualidade da camada.

Para camadas de sub-base, o grau de compactação deve ser de, no mínimo, 98 % em relação à massa específica aparente seca obtida (DNIT 458 – ME), decorrente dos procedimentos de compactação com a energia modificada.

NOTA 11: O controle do grau de compactação também poderá ser realizado por meio de equipamentos calibrados tipo GeoGauge ou densímetros não nucleares, a cada 250 metros de extensão de faixa de tráfego.

PROJETO DE REVISÃO DE NORMA

7.2.4 Controle construtivo por deflexão

Deverá ser realizado o controle construtivo por deflexão, para verificar o atendimento aos valores previstos, quando definidos em contrato ou no projeto de dimensionamento. As deflexões podem ser medidas com a Viga Benkelman (DNIT 133 – ME) ou com o FWD (DNER-PRO 273/96 ou norma DNIT que venha a substituí-la).

A deflexão máxima (D0) deve ser determinada após 5 dias, no mínimo, a cada 20 m por faixa alternada e a cada 40 m na mesma faixa. A bacia deflectométrica deve ser determinada, no mínimo, a cada 100 m por faixa alternada e a cada 200 m na mesma faixa. O controle estatístico unilateral deve ser aplicado, conforme a subseção 7.4.

NOTA 12: O equipamento a ser empregado na medição das deflexões deve ser o indicado no projeto de dimensionamento da estrutura de pavimento ou no contrato para casos de restaurações.

NOTA 13: Caso o controle de deflexão não tenha sido previsto nos contratos, a aplicação desta subseção poderá ser dispensada, se autorizada pela fiscalização.

7.3 Verificação do produto

Após a execução da camada reciclada, proceder o nivelamento e locação, de maneira que a camada reciclada estabilizada com espuma de asfalto apresente:

a) Superfície bem desempenada, não possuindo marcas indesejáveis do equipamento de compactação, e que esteja protegida por um *fog spray*.

b) Limite de até +10 cm, quanto à largura da plataforma;

c) Limite de até 20 % para flecha de abaulamento ou até 0,5 % para a declividade transversal, não se tolerando falta nos dois casos;

d) Valores de espessura individuais limitados no intervalo de ± 10% em relação à espessura de projeto;

e) A tolerância de conformação da superfície acabada deve ser verificada regularmente durante a execução da camada. As deformações que se fizerem presentes deverão ser corrigidas por meio de retrabalho, com fresagem e posterior preenchimento do afundamento, imediatamente antes da aplicação do *fog spray*.

7.4 Plano de amostragem

O número e a frequência de determinações correspondentes aos diversos ensaios para o controle tecnológico dos insumos, da execução e do produto devem ser estabelecidos segundo um Plano de Amostragem, previamente apresentado pela executante e aprovado pela Fiscalização, elaborado de acordo com os preceitos da norma DNER-PRO 277/97, ou norma que venha a substituí-la. O tamanho das amostras deve ser documentado e previamente informado à Fiscalização.

7.5 Condições de conformidade e não conformidade

Todos os ensaios de controle e determinações relativos aos insumos, à execução e ao produto, realizados de acordo com o Plano de Amostragem, citado na subseção 7.4, devem cumprir as Condições gerais e específicas desta Norma e estar de acordo com os critérios descritos a seguir.

Quando especificado um valor mínimo e/ou máximo a ser(em) atingido(s), devem ser verificadas as seguintes condições:

a) Condições de conformidade:

$\bar{X} - ks \geq$ valor mínimo especificado;

$\bar{X} + ks \leq$ valor máximo especificado.

b) Condições de não conformidade:

$\bar{X} - ks <$ valor mínimo especificado;

$\bar{X} + ks >$ valor máximo especificado.

PROJETO DE REVISÃO DE NORMA

Sendo:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^{n} x_i}{n} \quad (1)$$

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

Onde:

x_i são os valores individuais;

$\bar{X}$ é a média da amostra;

s é o desvio padrão da amostra;

k é o coeficiente em função do número de determinações, conforme a Tabela A1 do Anexo A;

n é o número de determinações (tamanho da amostra).

Os resultados do controle estatístico devem ser registrados em relatórios periódicos de acompanhamento de acordo com a norma DNIT 011 – PRO que estabelece providências para tratamento das “não conformidades”.

Os serviços só devem ser aceitos se atenderem às prescrições desta Norma. Os serviços não conformes (ou rejeitados) deverão ser refeitos, às expensas da empresa executora.

Qualquer serviço corrigido só deve ser aceito se as correções executadas o colocarem em conformidade com o disposto nesta Norma; caso contrário deve ser rejeitado.

8 Critérios de medição

Os serviços considerados conformes devem ser medidos de acordo com os critérios estabelecidos no Edital de Licitação dos Serviços, ou na falta desses critérios, de acordo com as seguintes disposições gerais:

a) A camada reciclada estabilizada com espuma de asfalto deve ser medida em metros cúbicos, considerando o volume compactado na pista.

b) No cálculo dos volumes da camada reciclada com espuma de asfalto, deve ser considerada a área da seção transversal (larguras e as espessuras médias da camada obtidas no controle geométrico) multiplicada pela extensão obtida no estaqueamento.

c) A medição é realizada conforme preço unitário contratual, incluindo: fornecimento, carga, transporte, equipamentos, encargos sociais, BDI, mão de obra, serviços e materiais.

d) Não devem ser considerados quantitativos de serviço superiores aos indicados no projeto.

e) Nenhuma medição deve ser processada, se junto a ela não estiver anexado um relatório de controle da qualidade, contendo os resultados dos ensaios e as determinações devidamente interpretados, caracterizando a qualidade do serviço executado.

PROJETO DE REVISÃO DE NORMA

_____/Anexo A

Anexo A (Normativo) – Amostragem Variável

Tabela A1 – Amostragem Variável

n	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**	**14**	**15**	**16**	**17**	**19**	**21**
k	1,55	1,41	1,36	1,31	1,25	1,21	1,19	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	0,13	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

_____/Anexo B

PROJETO DE REVISÃO DE NORMA

Anexo B (Informativo) – Sistema de geração e injeção de espuma de asfalto e aplicação de água em recicladora a frio *in situ*

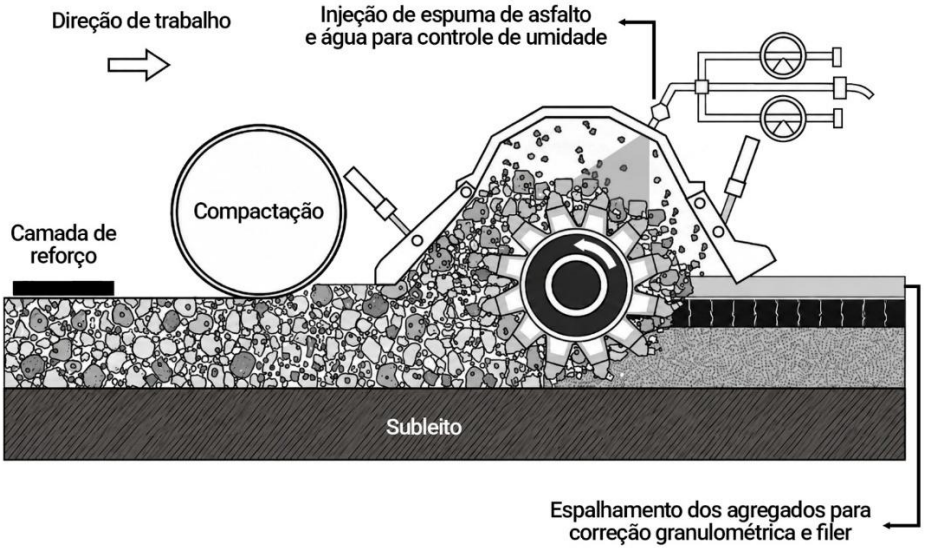


Figura B1 – Representação esquemática do sistema de geração e injeção de espuma de asfalto e aplicação de água em recicladora a frio *in situ* (Adaptado de Bonfim, 2021)

_____/Anexo C

PROJETO DE REVISÃO DE NORMA

Anexo C (Informativo) – Bibliografia

American Association of State Highway and Transportation Officials (2024). AASHTO T 170-24: Standard Method of Test for Recovery of Asphalt Binder from Solution by Abson Method.

American Society for Testing and Materials (2010). ASTM D5404-03. Standard Practice for Recovery of Asphalt from Solution Using the Rotary Evaporator.

ASPHALT ACADEMY, Technical Guideline: Bitumen Stabilized Materials, A Guideline for Design and Construction of Bitumen Emulsion and Foamed Bitumen Stabilized Materials. Petroria, South Africa, 2009.

AGÊNCIA NACIONAL DE PETRÓLEO – ANP – Resolução Nº 897, DE 18 DE NOVEMBRO DE 2022.

Bonfim, Valmir. Pavimento Sustentável, 1 ed., São Paulo: Exceção Editorial e Eventos, 2021.

Departamento de estradas de rodagem de São Paulo. DER/SP (2024). Reciclagem *in situ* a frio com espuma de asfalto. Especificação Técnica ET-DE-P00/033. São Paulo. Brasil. 2024.

Departamento de estradas de rodagem de São Paulo. DER/SP (2024). Reciclagem de pavimento asfáltico em usina com adição de espuma de asfáltico. Especificação Técnica ET-DE-P00/049. São Paulo. Brasil. 2024

Departamento de estradas de rodagem do Paraná. DER/PR (2023). Reciclagem de pavimento a frio *in situ* com espuma de asfalto. Especificação de Serviço DER/ PR-ES-PA-32/23. Paraná. Brasil. 2023.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. DNIT 166 – ES: Pavimentação – Reciclagem de pavimento a frio "*in situ*" com adição de espuma de asfalto - Especificação de serviço

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. DNIT 169 – ES: Pavimentação – Reciclagem de pavimento em usina com espuma de asfalto - Especificação de serviço.

GUATIMOSIM, F. V. Mechanical Behaviour and Structural Performance of Recycled Foamed Bitumen Stabilized Materials. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2015.

PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO PAULO. PMSP (2009). ETS-02/2009. Base de material fresado com espuma de asfalto. Especificação Técnica de Serviço.

Technical Guideline (2020): Bitumen Stabilized Materials – A Guideline for the Design and Construction of Bitumen Emulsion and Foamed Bitumen Stabilized Materials, TG2, Third Edition.

PROJETO DE REVISÃO DE NORMA