



Código
ET-ECS.000.000-PAV/04

REV.
01

Emissão
28/08/2026

Folha
1/12

sistema
ecovias

Resp. Técnico / Elaborador:
Eng. Reginaldo Jesus

Nº CREA:
SP-5063195955

Rodovia:
Geral

Verificador:
Eng. Douglas Mocelin

Trecho:
Geral

Aprovador:
Eng. Claudio Renato Dias

Objeto:
PAVIMENTAÇÃO - ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA PARA MACADAME SECO

Documentos de Referência:

Cópia não controlada

Descrição das Revisões:

Rev. 01 - Atualizado Referencias em todo documento; incluído tabela resumo dos ensaios e controles (item 7.5).

Rev. 00 - Emitida primeira versão do documento.

Observação:

Rev.	Data	Resp. Técnico/ Elaborador	Nº. CREA	Verificador	Aprovador
01	28/08/2026	Eng. Reginaldo Jesus	SP-5070904250	Eng. Douglas Mocelin	Eng. Claudio Renato Dias
00	01/10/2018	Engª. Cecilia Merighi	SP-5063195955	Eng. Paulo Rosa Machado Filho	Eng. Filippo Chiariello

1 OBJETIVO

Definir os critérios que orientam a execução, aceitação e medição de camadas de reforço, sub-base ou base de macadame seco em obras rodoviárias com agregados pétreos britados.

2 DEFINIÇÃO

A camada de reforço, sub-base ou base de macadame seco é constituída por agregados graúdos, naturais ou britados. Seus vazios são preenchidos a seco por agregados miúdos, cuja estabilização é obtida pela ação da energia de compactação.

Camada de bloqueio ou isolamento é a parte inferior da camada de macadame seco, limitada à espessura de 3 a 5 cm a após a compactação, constituídos por finos da britagem.

3 REFERÊNCIAS

- a) ABNT NBR 12052: Solo ou agregado miúdo – Determinação do equivalente de areia – Método de ensaio.
- b) ABNT NBR 16974: Agregado graúdo – Ensaio de abrasão los angeles.
- c) ABNT NBR 17054: Agregados – Determinação da composição granulométrica – Método de ensaio.
- d) DNIT 133–ME: Pavimentação - Determinação das deflexões pela Viga Benkelman - Método de ensaio.
- e) DNIT 425–ME: Pavimentação – Agregado – Determinação do índice de forma com paquímetro - Método de ensaio.
- f) DNIT 446–ME: Agregados – Avaliação da durabilidade pelo emprego de soluções de sulfato de sódio ou magnésio – Método de ensaio.

4 MATERIAIS

4.1 Agregado Graúdo

O agregado graúdo deverá ser constituído por pedra britada, produto da britagem, devendo ser constituído de fragmentos duros, limpos e duráveis, livres de excessos de partículas lamelares ou alongadas, macias ou de fácil desintegração, e de outras substâncias prejudiciais.

O agregado graúdo deve atender os seguintes requisitos:

- a) a perda no ensaio de durabilidade conforme DNIT 446–ME, em cinco ciclos, com solução de sulfato de sódio, deve ser inferior a 20%, e com sulfato de magnésio inferior a 30%;
- b) desgaste no ensaio de abrasão Los Angeles, conforme NBR 16974, deve ser inferior a 50%;
- c) Índice de forma:
- Conforme DNIT 424–ME (método do crivo) deve ser maior que 0,4, ou;
 - Conforme DNIT 425–ME (método do páquimetro) deve ser inferior a 2,5.

O diâmetro máximo do agregado deve estar compreendido entre 1/2 e 2/3 da espessura final da camada. No entanto devido ao processo de obtenção da pedra rachão, admite-se um percentual de até 10% de agregado com granulometria entre 4" e 5".

O agregado graúdo deverá se enquadrar na faixa granulométrica a seguir apresentada:

PENEIRA		
ASMT	(mm)	% passando em peso
5"	127,0	100
4"	101,6	90 - 100
3"	76,2	65 - 80
2"	50,8	15 - 55
1"	25,4	0 - 20
½"	12,7	0 - 10
nº. 4	4,8	0 - 5

4.2 Agregado Miúdo

As camadas de bloqueio e de enchimento deverão ser constituídas de material britado com granulometria entre as peneiras 3/4" e 3/8" ou Nº4, de forma a permitir o travamento da camada de pedra rachão e evitar a subpenetração do material do subleito. Não é permitido a utilização de agregados passante na peneira Nº4.

O agregado miúdo deve atender os seguintes requisitos:

- a) a perda no ensaio de durabilidade conforme DNIT 446/2024 – ME, em cinco ciclos, com solução de sulfato de sódio, deve ser inferior a 20%, e com sulfato de magnésio inferior a 30%.
- b) o equivalente de areia, conforme NBR 12052, deve ser igual ou superior a 55%;
- c) desgaste no ensaio de abrasão Los Angeles, conforme NBR 16974, deve ser inferior a 50%;

5 EQUIPAMENTO

São indicados os seguintes equipamentos:

- a) Carregador frontal, 170 HP, ou equipamento equivalente para carga do material;
- b) Trator de lamina para espalhamento do agregado;
- c) Motoniveladora pesada;
- d) Compactador pesado, tipo rolo grelha, para a acomodação da camada do agregado;
- e) Rolo vibratório liso autopropulsado.

6 EXECUÇÃO

Compreendem as operações de execução da camada de bloqueio, agregado graúdo e miúdo realizado na pista devidamente preparado na largura desejada e nas quantidades que permitem, após a compressão, atingir a espessura projetada.

6.1 Segmento Experimental

A execução do primeiro segmento de macadame seco, que deverá ter o mínimo de 100 metros de extensão, será considerado experimental, para obtenção dos objetivos:

- a) Verificar se o material que chega ao campo apresenta características que atendam as indicadas no projeto, com atenção especial para o teor de umidade do material de enchimento;
- b) Definir o processo construtivo da camada (distribuição do material, equipamentos de compactação, número de passadas de cada um deles e espessura da camada executada) para obter uma camada integral de macadame seco;
- c) Verificar se o material de enchimento está presente em toda a espessura da camada executada.
- d) A camada de pedra rachão macadme seco deverá ser executada em camadas de no máximo 25 cm e no mínimo 20 cm de espessura.

6.2 Condições Gerais

Não é permitida a execução dos serviços em dias de chuva.

A camada de reforço, sub-base e base macadame seco só pode ser executada quando a camada subjacente estiver liberada, quanto aos requisitos de aceitação de materiais e execução.

A superfície deve estar perfeitamente limpa, desempenada e sem excessos de umidade antes da execução da camada de reforço, sub-base ou base de macadame seco.

Durante todo o tempo de execução da camada, os materiais e os serviços devem ser protegidos contra a ação destrutiva das águas pluviais, do trânsito e de outros agentes que possam danificá-los. É obrigação da executante a responsabilidade desta conservação.

Não é admitida a complementação da espessura desejada pela adição excessiva de finos, os quais, acumulados sobre o agregado graúdo, possibilitam o aparecimento de trincas, escorregamentos e deformações no revestimento.

Quando se desejar camadas de reforço, bases ou sub-bases de espessura superior a 25 cm, os serviços devem ser executados em mais de uma camada de espessuras iguais.

No caso de construção em meia pista, é obrigatório o uso de formas ao longo do eixo da estrada; as formas devem ser metálicas ou de madeira, tendo estas últimas espessuras de no mínimo 5 cm.

6.3 Preparo da Superfície

A superfície a receber a camada de reforço, sub-base ou base de macadame seco deve estar totalmente concluída, perfeitamente limpa, isenta de lama e demais agentes prejudiciais, desempenada e com as declividades estabelecidas no projeto, além de ter recebido prévia aprovação por parte da fiscalização.

Os eventuais defeitos da superfície da camada subjacente devem ser necessariamente reparados antes da execução da camada de reforço, base ou sub-base.

Caso a execução do macadame seco não seja realizado logo após a camada de apoio subjacente e esta tenha sido exposta a chuvas, para execução do macadame seco é necessário uma nova avaliação de suas características, a saber:

- a) O teor de umidade da camada subjacente deverá estar no máximo 3% acima do teor ótimo de compactação preconizado em seu projeto. Caso o teor de umidade seja superior, a camada deverá secar ou ser retrabalhada, até que sua condição de umidade atenda ao limite;
- b) Após o teor de umidade estar dentro do limite, efetuar a compactação se a camada for retrabalhada e, posteriormente, o controle do grau de compactação, tanto na camada seca ao ar quanto na camada retrabalhada, que deverá atender ao projeto da camada subjacente;
- c) Nas regiões que não atendam o grau de compactação por terem sido danificadas pelas

chuvas, a camada subjacente deverá ser retrabalhada para atender seu projeto, antes da distribuição do macadame seco.

6.4 Camada de Isolamento ou Bloqueio

Deverá ser executada antes do espalhamento do agregado graúdo de forma que cubra toda a largura da plataforma, compreendendo pista e acostamento, tendo espessura de 3 a 5 cm.

A camada de isolamento ou bloqueio deverá ser espalhada com patrol e acomodada com rolo liso estático.

6.5 Camada de Agregado Graúdo

O agregado graúdo, com diâmetro máximo de 5", será espalhado em uma camada de espessura constante, uniformemente solta e disposta de modo que seja obtida a espessura comprimida especificada, atendendo aos alinhamentos e perfis projetados.

Este espalhamento deverá ser feito de maneira a minimizar a segregação entre as frações dos agregados componentes, executando-se, logo após, a primeira operação de compressão com equipamento pesado observando-se a não degradação do agregado graúdo, até que se consiga um bom entrosamento do agregado graúdo e a conformação transversal necessária.

A compressão poderá ser executada com o rolo chapa vibratório.

6.6 Material de Enchimento e Acabamento

O material de enchimento deverá ser espalhado, em quantidade adequada, com motoniveladora, sobre a camada de agregado graúdo, de modo a preencher os vazios do agregado já parcialmente comprimido.

A camada de enchimento e acabamento deverá ser espalhada com patrol e acomodada com rolo liso vibratório, para forçar a penetração do material de enchimento nos vazios do agregado graúdo.

As operações de espalhamento e compressão devem ser repetidas até o completo travamento do agregado graúdo. O rolo deverá recobrir, ao menos, a metade da faixa comprimida na passada anterior.

7 CONTROLE DE QUALIDADE

7.1 Controle dos Materiais

7.1.1 Agregado Graúdo

Devem ser executados os seguintes ensaios:

- a) durabilidade com sulfato de sódio e magnésio, em cinco ciclos, conforme DNIT 446–ME; 1 ensaio por Ano ou sempre que houver variação da natureza do material;
- b) abrasão Los Angeles, conforme NBR 16974, 1 ensaio por ano ou sempre que houver variação da natureza do material;
- c) granulométrica, conforme NBR 17054, com amostras coletadas na pista após espalhamento do material, 1 ensaio a cada 300m de faixa.
- d) Índice de forma, conforme DNIT 425–ME, 1 ensaio por ano ou sempre que houver variação da natureza do material.

7.1.2 Agregado para Enchimento e Camada de Isolamento ou Bloqueio

Devem ser executados os seguintes ensaios nos materiais utilizados para as camadas de enchimento ou isolamento:

- a) durabilidade com sulfato de sódio em cinco ciclos, conforme DNIT 446–ME; 1 ensaio por ano ou sempre que houver variação da natureza do material;
- b) granulometria, conforme NBR 17054, com amostras coletadas na pista após espalhamento do material, sendo 1 ensaio a cada 300 de faixa;

7.2 Controle da Execução

O controle da execução da sub-base ou base de macadame seco deve ser realizado através de inspeção visual, com:

- a) verificação da uniformidade e espessura da camada de bloqueio, em cada faixa compactada;
- b) verificação das condições de compactação do macadame seco é efetuada visualmente, em cada faixa compactada;
- c) constatação de que eventuais pontos fracos, observados após a liberação do tráfego, se foram corrigidos.

7.3 Controle de Geométrico e de Acabamento

7.3.1 Controle de Espessura e Cotas

A relocação e o nivelamento do eixo e das bordas devem ser executados a cada 20 m e, devem ser nivelados os pontos no eixo, bordas e dois pontos intermediários.

A espessura da camada e as diferença de cotas devem ser determinadas pelo nivelamento da seção transversal a cada 20 m, conforme projeto.

7.3.2 Controle da Largura e Alinhamento

A verificação do eixo e bordas deve ser feita durante os trabalhos de locação e nivelamento nas diversas seções correspondentes às estacas da locação. A largura da plataforma acabada deve ser determinada por medidas à trena, executadas pelo menos a cada 20 m.

7.3.3 Controle do Acabamento da Superfície

As condições de acabamento da superfície devem ser verificadas visualmente.

Após a execução da camada, proceder-se-á relocação e nivelamento do eixo e dos bordos, permitindo-se as seguintes tolerâncias:

- Até + 20 cm quanto à largura da plataforma;
- Até 20 % e excesso, para flecha de abaulamento, não se tolerando redução;
- Até ± 2 cm na espessura da camada.

Os serviços executados são aceitos, quanto à geometria, desde que:

- a) não se obtenham valores individuais da semilargura da plataforma inferiores as de projeto;
- b) a variação máxima da largura seja no máximo de +15 cm;
- c) as variações individuais das cotas obtidas estejam compreendidas no intervalo de -2 a
- d) +1 cm em relação à de projeto;
- e) não se obtenham diferenças nas espessuras superiores a 10% em relação à espessura de projeto, em qualquer ponto da camada;
- f) a espessura determinada estatisticamente através de controle bilateral, conforme anexo B, situe-se no intervalo de $\pm 5\%$ em relação à espessura prevista em projeto;
- g) o abaulamento transversal esteja compreendido na faixa de $\pm 0,5\%$ em relação ao valor de projeto, não se admitindo depressões que propiciem o acúmulo de água.

7.4 Controle Deflectométrico

Deverá ser feita a determinação das deflexões elásticas sobre a superfície acabada, segundo o Método DNIT 133-ME, com o auxílio de viga Benkelman ou FWD (*Falling Weight Deflectometer*).

Deverá ser executada pelo menos uma medida da deflexão máxima a cada 20 metros, alternando-se, aleatoriamente, entre os bordos (direito e esquerdo) e o eixo da pista.

As deflexões obtidas sobre esta camada deverão atender as especificações do projeto de pavimento.

7.5 Resumo Dos Controle

ENSAIO	MÉTODO	FREQUÊNCIA	CÁLCULOS ESTATÍSTICOS OU VALORES INDIVIDUAIS	ACEITAÇÃO
1. CONTROLE DOS MATERIAIS				
1.1 AGRAGADO GRAÚDO				
Durabilidade sulfato de sódio e magnésio	DNIT 446-ME	1 ensaio por ano ou sempre que houver variação da natureza do material	Individual	Sulfato de sódio $\leq 20\%$ Sulfato de magnésio $\leq 30\%$
Abrasão Los Angeles	NBR 16974	1 ensaio por ano ou sempre que houver variação da natureza do material	Individual	$< 50\%$
Granulometria	NBR 17054	1 ensaio a cada 300m de faixa	Individual	Conforme Faixa granulométrica (Tabela 1)
Índice de Forma	DNIT 425-ME	1 ensaio por ano ou sempre que houver variação da natureza do material	Individual	$\leq 0,5$
1.2 AGREGADO PARA ENCHIMENTO E CAMADA DE ISOLAMENTO OU BLOQUEIO				
Durabilidade sulfato de sódio e magnésio	DNIT 446-ME	1 ensaio por ano ou sempre que houver variação da natureza do material	Individual	Sulfato de sódio $\leq 20\%$ Sulfato de magnésio $\leq 30\%$
Granulometria	NBR 17054	1 ensaio a cada 300m de faixa	Individual	A granulometria deve se manter constante, e atender ao item 4.2.
2 CONTROLE DE EXECUÇÃO				
Verificação da uniformidade e espessura da camada de bloqueio conforme projeto	Visual	Em cada faixa compactada	Individual	verifique-se uniformidade e espessura da camada de bloqueio em conformidade com o projeto
Verificação das condições de compactação	Visual	Em cada faixa compactada	Individual	Quando não existirem sulcos ou ondulações a frente do rolo compactador, a compactação será considerada finalizada
Correção de defeitos	Visual	Pontos localizados, detectados após abertura do tráfego.	Individual	A correção dos defeitos seja considerada satisfatória

Determinação das deflexões	DNIT 133-ME	A cada 20 m por faixa alternada, a cada 40 m na mesma faixa, determinar D0;	Controle unilateral pelo limite superior.	Conforme Projeto
3. CONTROLE GEOMÉTRICO E ACABAMENTO				
Espessuras e cotas	Relocação e nivelamento topográfico Medidas de trena	A cada 20m, no eixo, bordas e dois pontos intermediários	Individual	Projeto
Largura e alinhamentos da plataforma	Relocação e nivelamento topográfico Medidas de trena	A cada 20 m	Individual	Projeto
Acabamento da superfície	Duas réguas, uma de 1,20m e outra 3,0m de comprimento, colocadas em ângulo reto e paralelamente ao eixo da estrada.	A cada 20 m	Individual	Projeto

8 MANEJO AMBIENTAL

Observar os seguintes cuidados visando à preservação do meio ambiente no decorrer das operações destinadas à execução da camada da camada de pedra pulmão:

8.1 Na Exploração das Ocorrências de Materiais

Adotar os seguintes cuidados na exploração das ocorrências de materiais:

- Apresentar a licença ambiental de operação da pedreira, para arquivamento da cópia da licença junto ao Livro de Ocorrências da obra;
- Evitar a localização de pedreira e instalações de britagem em área de preservação ambiental;
- Planejar adequadamente a exploração da pedreira, de modo a minimizar os danos inevitáveis durante a exploração e possibilitar a recuperação ambiental, após a retirada de todos os materiais e equipamentos;
- Impedir queimadas como forma de desmatamento;
- Construir, junto às instalações de britagem, bacias de sedimentação para retenção do pó de pedra eventualmente produzido em excesso ou por lavagem da brita, evitando seu carreamento para cursos d'água;
- Exigir documentação atestando a regularidade das instalações, assim como, sua operação, junto ao órgão ambiental competente, caso a brita seja fornecida por terceiros.

8.2 Na Execução

Os cuidados para a preservação ambiental referem-se à disciplina do tráfego e do estacionamento dos equipamentos:

- Proibir o tráfego desordenado dos equipamentos fora do corpo estradal, para evitar danos

desnecessários à vegetação e interferências na drenagem natural;

- b) As áreas destinadas ao estacionamento e aos serviços de manutenção dos equipamentos devem ser localizadas de forma que, resíduos de lubrificantes e/ou combustíveis, não sejam levados até cursos d'água.

9 MEDIÇÃO E PAGAMENTO

A camada de Macadame Seco será medida em volume (metros cúbicos), executada conforme a seção transversal do projeto.

O pagamento será feito pelo preço unitário contratual, e este pagamento consistirá a remuneração única do serviço, incluindo o fornecimento, o transporte e a aplicação dos materiais, ensaios especificados dos materiais e das camadas executadas, toda a mão-de-obra e encargos sociais incidentes, os equipamentos, as ferramentas, as despesas indiretas, as despesas fiscais e eventuais necessários à sua execução.

10 CONTROLE ESTATISTICO

Tabela B-1 – Controle Estatístico

Parâmetro		
1 - Média aritmética da amostra ($\bar{X}$)	$\bar{X} = \frac{\sum X_i}{N}$	Onde: Xi = valor individual da amostra; N = nº de determinações efetuadas; K = coeficiente unilateral tabelado em função do número de amostras; K1 = coeficiente bilateral tabelado em função do número de determinações; LSE = limite superior especificado; LIE = limite inferior especificado.
2 - Desvio-padrão da amostra (S)	$S = \sqrt{\frac{\sum (\bar{X} - X_i)^2}{N - 1}}$	
Controle Unilateral		
3 - Controle pelo limite inferior	$X = \bar{X} - KS \geq LIE$	
4 - Controle pelo limite superior	Ou $X = \bar{X} + KS \leq LIE$	
Controle Bilateral		
5 - Controle pelo limite inferior e superior	$X = \bar{X} - K_1 S \geq LIE$ E $X = \bar{X} + K_1 S \leq LIE$	

Tabela B-2 – Valores K – Tolerância Unilateral e K1 Tolerância Bilateral

N	K	K1	N	K	K1	N	K	K1
4	0,95	1,34	10	0,77	1,12	25	0,67	1,00
5	0,89	1,27	12	0,75	1,09	30	0,66	0,99
6	0,85	1,22	14	0,73	1,07	40	0,64	0,97
7	0,82	1,19	16	0,71	1,05	50	0,63	0,96
8	0,80	1,16	18	0,70	1,04	100	0,60	0,92
9	0,78	1,14	20	0,69	1,03	∞	0,52	0,84

- a) Os resultados do controle estatístico devem ser registrados em relatórios periódicos, na frequência previamente definida, de acordo com a Norma DNIT 011/2004-PRO, a qual prescreve que o executante da obra deve estabelecer e manter procedimentos documentados para implementar as ações corretivas e preventivas na execução da obra, com o objetivo de detectar e eliminar as causas das não conformidades.
- b) Os serviços só devem ser aceitos se atenderem às prescrições desta Especificação.
- c) Qualquer serviço corrigido só deve ser aceito se as correções efetuadas o colocarem em conformidade com o disposto nesta Especificação; caso contrário deve ser rejeitado.

Cópia não controlada