



MINISTÉRIO DA INFRAESTRUTURA

DEPARTAMENTO NACIONAL DE  
INFRAESTRUTURA DE  
TRANSPORTES

DIRETORIA-GERAL

DIRETORIA DE PLANEJAMENTO E  
PESQUISA

INSTITUTO DE PESQUISAS EM  
TRANSPORTES

Setor de Autarquias Norte  
Quadra 03 Lota A

Ed. Núcleo dos Transportes  
Brasília - DF - CEP 70040-902  
Tel./fax: (61) 3315-4831

JANEIRO 2024

NORMA DNIT 446/2024 – ME

## Agregados – Avaliação da durabilidade pelo emprego de soluções de sulfato de sódio ou magnésio – Método de ensaio

**Autor:** Instituto de Pesquisas em Transportes – IPR

**Processo:** 50600.034582/2023-31

**Origem:** Revisão da norma DNER – ME 089/94

**Aprovada pela Diretoria Colegiada do DNIT na reunião de 26/12/2023.**

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

### Palavras-chave:

Agregados, durabilidade, solução salina

### Nº total de páginas

11

### Resumo

Este documento estabelece a sistemática a ser empregada na verificação da durabilidade de agregados pelo emprego de solução de sulfato de sódio ou sulfato de magnésio. Prescreve aparelhagem, soluções para ensaio, execução e condições para obtenção dos resultados.

### Abstract

This document establishes the test methodology for verifying the durability of aggregates by using sodium sulfate or magnesium sulfate saline solution. It prescribes apparatus, test solutions, execution, and conditions for obtaining results.

### Sumário

Prefácio .....	1
1 Objetivo .....	1
2 Referências normativas .....	2
3 Definições .....	2
4 Aparelhagem .....	2
5 Soluções para o ensaio .....	3
6 Amostra .....	3
7 Preparação da amostra .....	4

8 Ensaio .....	4
9 Análise quantitativa .....	5
10 Análise qualitativa .....	5
11 Resultados .....	5
Anexo A (Normativo) – Exemplo de organização dos resultados do ensaio .....	7
Anexo B (Informativo) – Bibliografia .....	10
Índice geral .....	11

### Prefácio

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

Esta publicação cancela e substitui a norma DNER – ME 089/94, a qual foi tecnicamente revisada.

### 1 Objetivo

Esta Norma estabelece a sistemática a ser empregada na verificação da durabilidade, medida pela resistência à desintegração de agregados sujeitos à ação do tempo, pelo ataque de soluções saturadas de sulfato de sódio ou sulfato de magnésio.

## 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 INFRAESTRUTURA E TRANSPORTES. DNIT 412 – ME: Pavimentação – Análise granulométrica de agregados graúdos e miúdos e misturas de agregados por peneiramento – Método de ensaio.

## 3 Definições

### 3.1 Agregado graúdo

Agregado cujos grãos passam pela peneira de 3 polegadas (3”), com abertura de malha de 75 mm, e ficam retidos na peneira nº 4, com abertura de malha de 4,75 mm, em ensaio de determinação da composição granulométrica de agregados ou misturas de agregados por peneiramento.

### 3.2 Agregado miúdo

Agregado cujos grãos passam pela peneira nº 4, com abertura de malha de 4,75 mm, e ficam retidos na peneira nº 200, com abertura de malha de 0,075 mm, em ensaio de determinação da composição granulométrica de agregados ou misturas de agregados por peneiramento.

### 3.3 Solução de Sulfato de Sódio (NaSO<sub>4</sub>)

É a dissolução de sulfato de sódio anidro (NaSO<sub>4</sub>), ou decahidratado (Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> · 10 H<sub>2</sub>O), em água destilada, a ser usada em ensaio de ciclagem com agregados.

### 3.4 Solução de Sulfato de Magnésio (MgSO<sub>4</sub>)

É a dissolução de sulfato de magnésio anidro (MgSO<sub>4</sub>), ou heptahidratado (Mg<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> · 7H<sub>2</sub>O), em água destilada a ser usada em ensaio de ciclagem com agregados.

## 4 Aparelhagem

A aparelhagem necessária é a seguinte:

- a) Balança com capacidade de 5 kg, sensível a 1 g.  
b) Balança com capacidade de 1 kg, sensível a 0,1 g.

- c) Cestos com tela metálica de abertura de 4,8 mm e de 0,15 mm, que permitam a acomodação da amostra e, quando submergidas, permitam a circulação da solução empregada por toda a amostra. Peneiras circulares com malha quadrada convencionais, também podem ser utilizadas, desde que atendam aos requisitos especificados nesta alínea.
- d) Recipiente para manter a solução com as amostras.
- e) Dispositivo capaz de manter a temperatura a 21 °C ± 1 °C.
- f) Agitador magnético e barra magnética cilíndrica (“peixinho”).
- g) Água destilada.
- h) Estufa capaz de manter a temperatura em 110 °C ± 5 °C e uma razão de evaporação média de no mínimo 25 g por hora, durante 4 (quatro) horas. Esta razão é determinada pela perda de água contida em bécheres de forma baixa, com capacidade de 1 (um) litro, tendo cada um 500 g de água a 21 °C ± 1 °C, e colocados no centro e nos cantos de cada prateleira da estufa. A estufa não deverá conter outros objetos e permanecer fechada durante a operação.
- i) Peneiras segundo a Tabela 1, inclusive tampa e fundo, de acordo com norma DNIT 412 – ME e que podem de ser levadas em estufa.

**Tabela 1 – Abertura das peneiras utilizadas**

Peneira de Malha Quadrada	
ASTM	Abertura (mm)
Valores superiores com incrementos de 1/2”	Valores superiores com incrementos de 12,5 mm
2 1/2”	63 mm
2”	50 mm
1 1/2”	37,5 mm
1 1/4”	31,5 mm
1”	25 mm
3/4”	19 mm
5/8”	16 mm
1/2”	12,5 mm
3/8”	9,5 mm
5/16”	8 mm
Nº4	4,75 mm
Nº5	4 mm
Nº8	2,36 mm
Nº16	1,18 mm
Nº30	0,6 mm
Nº50	0,3 mm
Nº100	0,15 mm

NOTA 1: A norma DNIT 412 – ME não descreve a utilização de peneiras com aberturas superiores a 63 mm, pois são pouco usuais e adotadas em casos específicos. No caso da utilização das peneiras com aberturas superiores a 63 mm, deve-se adotar o procedimento descrito na norma DNIT 412 – ME, acrescentando-se, quando necessário, as peneiras com incrementos de 12,5 em relação à abertura de 63 mm.

## 5 Soluções para o ensaio

5.1 As soluções a serem usadas de sulfato devem ser preparadas de acordo com a Tabela 2.

**Tabela 2 – Soluções que podem ser usadas no ensaio e suas concentrações**

Solução	Concentração
Sulfato de Sódio (NaSO <sub>4</sub> )	350 g/L
Sulfato de Sódio decahidratado (Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> .10 H <sub>2</sub> O)	750g/L
Sulfato de Magnésio (MgSO <sub>4</sub> )	350 g/L
Sulfato de Magnésio heptahidratado (MgSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O)	1400 g/L
Cloreto de Bário	50g/L

5.2 Durante a adição do sal, as soluções devem ser vigorosamente agitadas, operação que se deve repetir a intervalos frequentes, até o momento de sua utilização. Depois de prontas, as soluções devem ser esfriadas à temperatura de 21 °C ± 1 °C, e mantidas nesta temperatura por, no mínimo, 48 horas antes da realização do ensaio.

5.3 Ao preparar a solução saturada de sulfato de magnésio, os cristais dissolverão mais rápido se forem adicionados em pequenas quantidades e em água com temperatura de 35 °C (95 °F) com auxílio de um agitador magnético e barra magnética cilíndrica (“peixinho”).

5.4 No momento da utilização, as soluções devem ser mais uma vez agitadas e apresentar, conforme o caso, as seguintes densidades:

- Solução saturada de sulfato de sódio – densidade entre 1,151 g/cm<sup>3</sup> e 1,171 g/cm<sup>3</sup>.
- Solução saturada de sulfato de magnésio – densidade entre 1,295 g/cm<sup>3</sup> e 1,308 g/cm<sup>3</sup>.

5.5 A solução de cloreto de bário deve ser usada ao final da ciclagem para verificação da presença de sulfatos na limpeza das amostras.

## 6 Amostra

- A análise granulométrica do agregado para a definição das frações deve seguir os procedimentos descritos na norma DNIT 412 – ME.
- O limite entre as amostras de agregado miúdo e graúdo é a peneira de abertura 4,75 mm. O passante é o miúdo e o retido é o graúdo.
- Para o agregado miúdo a massa de amostra deve ser de, no mínimo, 100 g para cada uma das frações estudadas. A fração deve compor pelo menos 5 % em massa da amostra total de agregado miúdo. Caso esse valor seja inferior a 5 %, a fração não é ensaiada. As frações devem ser consideradas segundo a sequência de peneiras descrita na Tabela 3.

**Tabela 3 – Frações consideradas para o agregado miúdo**

Passante	Retido
4,75 mm (Nº 4)	2,36 mm (Nº 8)
2,36 mm (Nº 8)	1,18 mm (Nº 16)
1,18 mm (Nº 16)	0,6 mm (Nº 30)
0,6 mm (Nº 30)	0,3 mm (Nº 50)

- Para o agregado graúdo a parcela graúda do agregado deve consistir em material totalmente retido na peneira com abertura de 4,75 mm (Nº 4). Quaisquer partículas com diâmetros inferiores devem ser removidas. As amostras devem ser compostas segundo as frações e subfrações contidas na Tabela 4. Caso a subfração se apresente em quantidade inferior a 5 % em massa da amostra total de agregado graúdo, esta não deve ser considerada para compor a fração principal. Se as duas subfrações possuírem percentuais inferiores a 5 %, a fração não deve ser ensaiada.

NOTA 2: Nos casos em que uma das subfrações que compõem a fração principal analisada apresente percentual inferior a 5 % em massa, a respectiva massa dessa subfração deve ser deduzida da massa total da fração. Então, considera-se para o ensaio apenas a massa da subfração com percentual superior a 5 %.

**Tabela 4 – Frações de subfrações consideradas para o agregado graúdo**

Abertura das peneiras	Massa (g)
a) 100 mm a 90 mm	7000 ± 1000
b) 90 mm a 75 mm	7000 ± 1000
c) 75 mm a 63 mm	7000 ± 1000
d) 63 mm a 37,5 mm consistindo de:	5000 ± 300
Material entre 63 mm e 50 mm	3000 ± 300
Material entre 50 mm e 37,5 mm	2000 ± 200
e) 37,5 mm a 19 mm consistindo de:	1500 ± 50
Material entre 37,5 mm e 25 mm	1000 ± 50
Material entre 25 mm e 19 mm	500 ± 30
f) 19,5 mm a 9,5 mm consistindo de:	1000 ± 10
Material entre 19,5 mm e 12,5 mm	670 ± 10
Material entre 12,5 mm e 9,5 mm	330 ± 5
g) 9,5 mm a 4,75 mm	300 ± 5

e) A análise da durabilidade deve ser feita separadamente para o agregado graúdo e miúdo.

## 7 Preparação da amostra

### 7.1 Agregado miúdo

A amostra deve ser lavada na peneira com abertura de 0,3 mm (N° 50) e seca em estufa à temperatura de 110 °C ± 5 °C até a constância de massa. As frações devem então ser separadas por peneiramento segundo os intervalos descritos na seção 6, alínea c. Então, para cada fração entre peneiras, deve-se tomar ao menos 100 g de amostra (usualmente, uma amostra de 110 g é suficiente). Não se devem utilizar as partículas presas na malha das peneiras.

### 7.2 Agregado graúdo

A amostra deve ser lavada e seca em estufa à temperatura de 110 °C ± 5 °C até a constância de massa. As subfrações devem então ser separadas por peneiramento, obtendo-se as quantidades descritas na seção 6, alínea d. Então, são compostas as frações totais, segundo o descrito na mesma alínea. As massas das amostras e o percentual em massa da composição das frações devem ser registradas. Para diâmetros superiores a 19 mm, para cada fração, deve-se registrar o número de partículas.

## 8 Ensaio

- a) Após pesadas as amostras devem ser imersas na solução de sulfato de sódio ou de magnésio por um período de 16 horas, de modo que o nível da solução fique 1 cm acima da amostra.
- b) O recipiente que contém a amostra imersa na solução deve ser coberto para reduzir a evaporação e evitar contaminação. De preferência, recomenda-se o uso de um termômetro digital tipo espeto conectado constantemente à solução.
- c) Durante o período de imersão a temperatura da solução deve ser mantida a 21 °C ± 1 °C.
- d) Após o período de imersão, a amostra deve ser retirada da solução, drenada durante 15 min ± 5 min.
- e) Após os 15 min de drenagem, o conjunto de amostra deverá ser acomodado em estufa à temperatura de 110 °C ± 5 °C até atingir massa constante.
- f) Será considerada Massa Constante quando sua variação de massa estiver abaixo de 0,1 % da amostra total.
- g) O tempo necessário para atingir a massa constante não é fixo e deve ser estabelecido de modo que a perda de massa das amostras seja verificada pela remoção e direta pesagem (sem resfriar) em intervalos de 2 horas até que a constância de massa seja atingida.
- h) Após a secagem, a amostra deve ser esfriada, até atingir a temperatura ambiente, entre 20 °C e 25 °C. Para auxiliar no resfriamento, podem ser usados ventiladores ou ar condicionado.

NOTA 3: Devem ser tomadas precauções durante a secagem que evitem a perda de partículas retidas na peneira de menor abertura na qual a amostra foi preparada.

- i) Após o resfriamento, as amostras devem ser novamente submergidas na solução de sulfato.

NOTA 4: É importante verificar se há formação de grumos de sal no fundo do recipiente usado para imersão. Caso haja, mexer para dissolver e verificar a densidade da solução. Caso a densidade esteja fora do especificado na seção 4, preparar nova solução.

- j) O processo de imersão e secagem alternadas constitui um ciclo.
- k) Deve ser realizado um total de 5 (cinco) ciclos.
- l) Depois de completado último ciclo, lavar as amostras em água corrente e quente ( $43^{\circ}\text{C} \pm 6^{\circ}\text{C}$ ).

NOTA 5: Durante o processo final de lavagem, a presença dos sulfatos pode ser confirmada adicionando-se 10 ml da solução de cloreto de bário (50 g/L) à água lavada. Se a água apresentar turbidez, ainda há sulfato.

- m) As frações maiores que 19 mm devem ser examinadas qualitativamente após cada imersão.

## 9 Análise quantitativa

- a) Após a lavagem para a remoção de sulfatos, as frações devem ser aquecidas em estufa, a  $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ , até a constância de massa.
- b) Cada uma das frações do agregado miúdo deve ser peneirada nas mesmas peneiras em que foram retidas inicialmente.
- c) Para o agregado miúdo a metodologia e o tempo de peneiramento devem ser os mesmos empregados durante a preparação das amostras para o ensaio. Já para o agregado graúdo, deve-se realizar o peneiramento manual, suficiente apenas para garantir que o material desagregado passe pela peneira. O material não deve ser manipulado de forma a promover quebra de partículas ou forçar sua passagem pela peneira.
- d) Determinar as massas retidas em cada peneira (Tabela 5), registrando-as para cada fração. A diferença entre a massa retida e a massa inicial da fração corresponde à perda após o ensaio, que deve ser expressa como percentual da massa inicial da fração.

**Tabela 5 – Peneiras para determinação da perda.**

Tamanho do agregado		Peneira para determinação da perda
Passante	Retido	
100 mm	90 mm	75 mm
90 mm	75 mm	63 mm
75 mm	63 mm	50 mm
63 mm	37,5 mm	31,5 mm
37,5 mm	19 mm	16 mm
19 mm	9,5 mm	8 mm
9,5 mm	4,75 mm (N° 4)	4 mm (N° 5)

## 10 Análise qualitativa

Para as partículas com diâmetros superiores a 19 mm, deve-se adotar os procedimentos:

- a) Separar as partículas de cada fração segundo as ações verificadas após o ensaio (desintegração, fendilhamento, esmagamento, quebra, laminagem, etc.).
- b) Registrar o número de partículas que apresentou cada um dos tipos de danos.

NOTA 6: Diferentes tipos de danos podem surgir nas partículas após o ensaio. Usualmente, podem ser classificadas como as descritas na seção 10. Embora a análise seja limitada às partículas com tamanhos superiores a 19 mm, recomenda-se o exame das partículas com menores diâmetros, a fim de verificar evidências de desintegração excessiva.

## 11 Resultados

Os seguintes resultados devem ser apresentados:

### 11.1 Análise quantitativa

- a) Registrar as massas de cada fração para cada tipo de agregado antes do ensaio.
- b) Percentual de perda obtido pela equação:

$$\%Perda = \frac{m_i - m_f}{m_i} \cdot 100 \quad (1)$$

Onde:

$m_f$  é a massa de material retida nas peneiras descritas na seção 9 alínea d após o ensaio, expressa em gramas (g);

$m_i$  é a massa inicial da respectiva amostra da fração, expresso em gramas (g).

- c) Os resultados do ensaio de durabilidade devem ser apresentados separadamente para a parcela graúda e para a parcela miúda, acompanhado dos percentuais em massa de cada uma das frações, obtidas na análise inicial.

NOTA 7: O procedimento de seleção das frações e cálculo dos percentuais de perda são exemplificados no Anexo A.

- d) A média ponderada em função dos percentuais de perda para cada fração deve ser calculada se considerando o percentual em massa da fração obtido na avaliação da granulometria.
- e) No caso do agregado miúdo, deve-se considerar para as frações com tamanho inferior a 0,3 mm, um percentual de perda igual a 0 %.
- f) De forma geral, adota-se o procedimento padrão para a avaliação e cálculo da durabilidade das duas parcelas de agregados, exceto nos seguintes casos:
- Para agregados que tenham mais de 90 % de material passante na peneira de 4,75 mm (Nº 4), não se realiza o ensaio de durabilidade para a parcela graúda. Nesse caso, a perda do agregado graúdo será considerada igual ao valor de perda obtido para a primeira fração de agregado miúdo em que se tenha resultado de ensaio.
  - Para agregados que tenham menos de 10 % de material passante na peneira com abertura de 4,75 mm (Nº 4), não se deve realizar o ensaio de durabilidade na parcela miúda. Nesse caso, adota-se como valor de perda do agregado miúdo aquele da fração de agregado graúdo mais próxima da peneira Nº 4 (4,75 mm) em que se tenha resultado de ensaio.
- e) As massas totais de amostra da parcela graúda e da parcela miúda devem ser consideradas

individualmente como 100 %. O resultado deve ser apresentado separadamente para cada um dos dois casos, onde:

- Para o cálculo das médias ponderadas, deve-se considerar para as frações com percentuais em massa inferiores a 5 % o percentual de perda igual à média das frações imediatamente superior e inferior. Inexistindo umas dessas frações, considerar o mesmo percentual de perda da fração imediatamente superior ou inferior que possuir resultado de ensaio.
- f) A média ponderada deve ser expressa pelo inteiro mais próximo.
- g) No caso das partículas com diâmetros superiores a 19 mm, antes do ensaio, deve-se:
- Registrar o número de partículas em cada fração;
  - Classificar o efeito do ensaio nas partículas, de acordo com os danos descritos na seção 9, como apresentado na Tabela A3.
  - Especificar qual o tipo de solução empregada no ensaio e se ela foi preparada ou reutilizada.

NOTA 8: Ressalta-se que os resultados do ensaio, podem diferir, conforme o sal utilizado, e assim as especificações que utilizem os referidos resultados, devem levar em conta essa diferença.

### Anexo A (Normativo) – Exemplo de organização dos resultados do ensaio

Esta seção apresenta um exemplo para organizar os dados de ensaio e calcular os percentuais de perda após ensaio.

#### Agregado graúdo

Inicialmente, deve-se realizar uma análise para o material retido na peneira de 4,75 mm (Nº 4), a fim de verificar a composição granulométrica em massa das frações e subfrações descritas na Tabela 4 da alínea d da seção 6 da norma, tomando-se uma amostra representativa de material, cujo exemplo pode ser visto na Tabela A1. Após a obtenção dos dados da composição granulométrica do agregado graúdo, deve-se prosseguir com a definição das frações que serão ensaiadas. Para isso, só serão consideradas para o ensaio as frações e subfrações (quando houver essa divisão) que possuem percentual em massa superior a 5 %.

Por exemplo, a Fração 5 possui duas subfrações que são combinadas proporcionalmente para formar uma fração. A subfração de material entre 37,5 mm e 25 mm apresentou percentual em massa de 16,5 %, superior aos 5 % requeridos, logo, o material será considerado para compor a fração correspondente. Entretanto, a subfração entre 25 mm e 19 mm não atendeu ao requisito, então, não deve ser considerada para compor a respectiva fração. Nesse caso, a massa total da fração a ser separada para o ensaio deve ser deduzida proporcionalmente da massa correspondente à subfração que não atendeu ao critério dos 5 %.

No exemplo dado, a massa de material teórica a ser tomada para a fração (37,5 mm a 19 mm), como descrito na norma, é de 1500 g ± 50 g, composta de 1000 g ± 50 g de material entre 37,5 mm e 25 mm; e 500 g ± 30 g de material entre 25 mm e 19 mm. Como a segunda subfração não atendeu ao requisito mínimo dos 5 % em massa, sua respectiva massa teórica é desconsiderada, tomando-se 1000 g ± 50 g de material entre 37,5 mm e 25 mm como massa de ensaio total para a fração. Caso as duas subfrações não atendessem o critério dos 5 %, a fração seria totalmente desconsiderada para o ensaio. Nos casos em que não há subdivisão da fração, realiza-se normalmente a avaliação da fração, seguindo o critério dos 5 %.

**Tabela A1 – Exemplo da avaliação granulométrica do agregado graúdo**

	Agregado Graúdo				
	Passante	Retido	Massa Retida	Percentual em Massa (%)	> 5 %?
Fração 1	100 mm	90 mm	0	0,0	Não
Fração 2	90 mm	75 mm	0	0,0	Não
Fração 3	75 mm	63 mm	781	15,2	Sim
Fração 4	63 mm	50 mm	419	8,2	Sim
	50 mm	37,5 mm	1743	34,0	Sim
Fração 5	37,5 mm	25 mm	847	16,5	Sim
	25 mm	19 mm	218	4,2	Não
Fração 6	19 mm	12,5 mm	371	7,2	Sim
	12,5 mm	9,5 mm	461	9,0	Sim
Fração 7	9,5 mm	4,8 mm	292	5,7	Sim
Amostra Total			5132	100,0	-

A Tabela A2 exemplifica a tomada de amostras para cada fração, segundo as tolerâncias estabelecidas nesta norma. As massas iniciais de cada fração devem ser registradas para o posterior cálculo da perda após o ensaio. Após a realização do ensaio, lavagem e secagem das amostras, prossegue-se com a determinação da massa do material perdido, determinado segundo o descrito na seção 9 e alínea d. Esses valores devem ser registrados para cada fração. Então, deve-se realizar a média ponderada, utilizando os percentuais em massa para cada fração, obtidos na análise granulométrica inicial, e seus respectivos percentuais de perda. O valor resultante será então o percentual de perda da amostra total de agregado graúdo e deve ser arredondado para o inteiro mais próximo. O procedimento para o cálculo do percentual de perda para o agregado graúdo também é apresentado na Tabela A2.

Salienta-se que o material para o ensaio não é coletado durante a análise granulométrica e, sim, posteriormente, obtidas por peneiramento livre após se determinar quais frações serão ensaiadas.

**Tabela A2 – Exemplo de cálculo dos percentuais de perda para as frações de agregado graúdo**

	Passante	Retido	Massa das frações antes do Ensaio (g)		Percentual em massa (%)	Percentual de Perda após o Ensaio (%)	Média Ponderada da Perda
Fração 1	100 mm	90 mm	Não ensaiada		0,0	-	-
Fração 2	90 mm	75 mm	Não ensaiada		0,0	-	-
Fração 3	75 mm	63 mm	7814		15,2	6,7	1,0
Fração 4	63 mm	50 mm	2941	5097 <sup>a</sup>	42,2	10,1	4,3
	50 mm	37,5 mm	2156				
Fração 5	37,5 mm	25 mm	987		20,7	9,2	1,9
	25 mm	19 mm	Não Ensaída				
Fração 6	19 mm	12,5 mm	668		16,2	10,1	1,6
	12,5 mm	9,5 mm	331				
Fração 7	9,5 mm	4,75 mm	301		5,7	12,8	0,7
Amostra Total			15198		100	Perda (%)	10

a – Massa total da fração, somadas as massas das duas subfrações correspondentes.

Adicionalmente à análise do percentual de perda de massa do agregado graúdo, deve-se avaliar os danos ocasionados às partículas com diâmetros superiores a 19 mm após o ensaio. O percentual de partículas afetadas, de acordo com cada tipo de dano observado, deve ser calculado em relação ao número de partículas inicial total para cada fração. A Tabela A3 demonstra um exemplo de aplicação para quatro diferentes tipos de danos observados. É importante salientar que esse é só um exemplo, sendo que outros tipos de danos podem ser observados e devem ser igualmente registrados e ter seu percentual correspondente calculado.

**Tabela A3 – Determinação dos danos nas partículas**

Frações		Partículas que apresentaram danos								Nº de partículas antes do ensaio
		Fendilhamento		Esmagamento		Quebra		Laminagem		
Passante	Retido	Nº de Partículas	%	Nº de Partículas	%	Nº de Partículas	%	Nº de Partículas	%	
100 mm	90 mm	-	-	-	-	-	-	-	-	-
90 mm	75 mm	-	-	-	-	-	-	-	-	-
75 mm	63 mm	-	-	-	-	2	15	1	7	15
63 mm	37,5 mm	2	7	-	-	2	7	-	-	29
37,5 mm	19 mm	5	10	1	2	4	8	-	-	50

**Agregado miúdo**

A obtenção do percentual de perda do agregado miúdo segue procedimento semelhante ao descrito para o agregado graúdo. Deve-se realizar a análise granulométrica do material passante na peneira Nº 4 (4,75 mm), de forma a verificar quais frações serão ensaiadas. Novamente, deve-se avaliar se os percentuais das frações apresentam valores superiores a 5 % em massa. No caso do agregado miúdo, todos os intervalos de peneiras correspondem a frações inteiras, não se falando nesse caso, em subfrações.

No exemplo demonstrado na Tabela A4, a Fração 1 não atingiu o mínimo de 5 % necessário para ser considerado para ensaio, atingindo um percentual de apenas 4,4 %, logo, não será considerado para o ensaio. Todas as outras frações atingiram o mínimo de 5 %, logo, serão consideradas para o ensaio.

**Tabela A4 – Exemplo do procedimento de análise inicial da amostra de agregado miúdo**

	<b>Agregado Miúdo</b>				
	<b>Passante</b>	<b>Retido</b>	<b>Massa da Fração</b>	<b>Percentual em Massa (%)</b>	<b>Maior que 5 %?</b>
Fração 1	4,75 mm (N°4)	2,36 mm (N°8)	71	4,4	Não
Fração 2	2,36 mm (N°8)	1,18 mm (N°16)	318	19,9	Sim
Fração 3	1,18 mm (N°16)	0,6 mm (N°30)	427	26,8	Sim
Fração 4	0,6 mm (N°30)	0,3 mm (N°50)	413	25,9	Sim
-	0,3 mm (N°50)	0,15 mm (N°100)	210	13,2	-
-	0,15 mm (N°100)	Fundo	157	9,8	-
Amostra Total			3041	100,0	1596

A coleta das amostras das frações segue o mesmo procedimento empregado para o agregado graúdo e segue o descrito na Tabela 3 da alínea c da seção 6. O material passante na peneira com abertura de 0,3 mm é desconsiderado e não deve ser ensaiado. Recomenda-se a tomada de, aproximadamente, 110 g para cada fração, seguindo o critério dos 5 % em massa. A Tabela A5 indica o procedimento de coleta das amostras das frações, que deve ser feita livremente por peneiramento.

A média ponderada dos percentuais de perda de massa deve levar em consideração os percentuais em massa de cada fração, obtidos na análise granulométrica inicial da amostra total de agregado miúdo (Tabela A4). Para as frações de materiais passantes na peneira de abertura de 0,3 mm, deve-se considerar percentual de perda igual a 0 %, pois não são ensaiadas.

Em relação à Fração 1, que apresentou percentual em massa inferior a 5 % e não foi ensaiada, deve-se adotar como valor de percentual de perda o valor correspondente à fração imediatamente inferior. Caso essa fração estivesse em uma região central (Fração 3, por exemplo), adotar-se-ia a média das perdas das frações imediatamente superior e inferior, como descrito na alínea e da seção 11. A média ponderada corresponderá ao percentual de perda do agregado miúdo e deve ser arredondado para o inteiro mais próximo.

**Tabela A5 – Exemplo de cálculo dos percentuais de perda para as frações de agregado miúdo**

	<b>Passante</b>	<b>Retido</b>	<b>Massa da fração (g)</b>	<b>Percentual em massa (%)</b>	<b>Percentual de Perda após o Ensaio (%)</b>	<b>Média Ponderada da Perda</b>
Fração 1	4,75 mm (N° 4)	2,36 mm (N° 8)	-	4,4	12,8	0,6
Fração 2	2,36 mm (N° 8)	1,18 mm (N° 16)	110	19,9	12,8	2,6
Fração 3	1,18 mm (N° 16)	0,6 mm (N° 30)	113	26,8	9,1	2,4
Fração 4	0,6 mm (N° 30)	0,3 mm (N° 50)	111	25,9	4,5	1,2
-	0,3 mm (N° 50)	0,15 mm (N° 100)	-	13,2	0	0
-	Menor que	0,15 mm (N° 100)	-	9,8	0	0
Amostra Total			-	100	Perda (%)	7

**Anexo B (Informativo) – Bibliografia**

- a) AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS. AASHTO T 104 – 99: Soundness of Aggregate by use of Sodium Sulfate or Magnesium Sulfate, 2003.
- b) AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM C88/C88M – 18, Standard Test Method for Soundness of Aggregates by Use of Sodium Sulfate or Magnesium Sulfate.
- c) BRITISH STANDARD. BS NA 1367-2:2009, Tests for proper and weathering properties of aggregates. Part 2: Magnesium sulfate test.
- d) DEPARTAMENTO AUTÔNOMO DE ESTRADAS E RODAGEM. DAER/RS-EL 104/01. Determinação da sanidade de agregados pelo uso de sulfato de sódio. Unidade de Normas e Pesquisas. Manual de Ensaios, Volume II. 2001.
- e) E-VIAS – EMPRESA LATINO-AMERICANA DE CONSULTORIA VIÁRIA LTDA. RELATÓRIO TÉCNICO Nº 34.1.2019: Recuperação do Pavimento, Implantação de Áreas de Giro, Reforma da Sinalização Vertical e Luminosa, Implantação de Resas e Serviços Complementares na Pista de Pouso e Decolagem 06 – 24 do Aeroporto Internacional de Belém-SBBE – Júlio César / Val-de-Cans, 2019.
- f) FRAZÃO, Ely Borges. Tecnologia das rochas na construção civil. São Paulo. Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental (ABGE). 2002.
- g) IOANNOU, I; FOURNARI, R; PETROU, M.F. Testing the soundness of aggregates using different methodologies. Construction and Building Materials 40 (2013) 604–610, 2013.
- h) KÖKEN, E.; ÖZARSLAN, A. & BACAK, G. An experimental investigation on the durability of railway ballast material by magnesium sulfate soundness. Granular Matter, 20:29. Springer Nature, 2018.
- i) LIU, J.; ZHAO, S. & MULLIN, A. Laboratory assessment of Alaska aggregates using Micro-Deval test. Front. Struct. Civ. Eng. 2017, 11(1): 27–34, 2017.
- j) PHILLIPS, W. F. Comparative analysis between the magnesium sulfate soundness and micro-deval tests in the evaluation of bituminous aggregates. Masters thesis. Submitted to the Graduate Faculty of Texas Tech University, 2000.
- k) RANGARAJU, P.R. & EDLINSKI, J. Comparative Evaluation of Micro-Deval Abrasion Test with Other Toughness/Abrasion Resistance and Soundness Tests. Journal of Materials in Civil Engineering, Vol. 20, p343 -351. No. 5, May 1, 2008.
- l) STEWART, E. T. & MCCULLOUGH, L. M. The Use of the Methylene Blue Test to Indicate the Soundness of Road Aggregates. J. Chem. Tech. Biotechnol. 35A, 161-16, 1985.
- m) TABATABAI, H.; QAMHIA, I.I; TITI, H., FALLA, G. P. Investigation of Testing Methods to Determine Long-Term Durability of Wisconsin Aggregates. University of Wisconsin-Milwaukee College of Engineering & Applied Science. Department of Civil Engineering and Mechanics, 2013.
- n) TEXAS DEPARTMENT OF TRANSPORTATION. TxDOT, Tex-411-A. Soundness of aggregate using sodium sulfate or magnesium sulfate. Test procedure, 2004.
- o) USBERCO, João & SALVADOR, Edgard. Química. Volume único. 5ª edição reformulada. São Paulo. Saraiva, 2002.
- p) WILLIAM, S. G & CUNNINGHAM, J. B. Evaluation of Aggregate Durability Performance Test Procedures. Transportation Research Committee, 2012.

**Índice geral**

Abstract.....	1	índice geral.....	11		
Agregado graúdo.....	3.1,7.2.....	2,4	Objetivo.....	1.....	1
Agregado miúdo.....	3.2.,7.1.....	2,4	Prefácio.....	1	
Amostra.....	6.....	3	Preparação da amostra.....	7.....	4
Análise quanlitativa.....	10.....	5	Referências normativas.....	2.....	2
Análise quantitativa.....	9.,11.1.....	5	Resultados.....	11.....	5
Anexo A (Normativo) – Exemplo de organização dos resultados.....	7		Resumo.....	1	
Anexo B (Informativo) – Bibliografia.....	10		Solução de sulfato de Magnésio(MgSO4).....	3.4.....	2
Aparelhagem.....	4.....	2	Solução de sulfato de sódio (NaSO4).....	3.3.....	2
Definições.....	3.....	2	Soluções para o ensaio.....	5.....	3
Ensaio.....	8.....	4	Sumário.....	1	

---