

NORMA  
BRASILEIRA

**ABNT NBR  
5564**

Terceira edição  
20.10.2021

---

**Via férrea — Lastro ferroviário — Requisitos e métodos de ensaio**

*Railway — Ballast — Requirements and test methods*



ICS 45.080; 93.100

ISBN 978-85-07-08755-7



Número de referência  
ABNT NBR 5564:2021  
54 páginas

© ABNT 2021

## ABNT NBR 5564:2021



© ABNT 2021

Todos os direitos reservados. A menos que especificado de outro modo, nenhuma parte desta publicação pode ser reproduzida ou utilizada por qualquer meio, eletrônico ou mecânico, incluindo fotocópia e microfilme, sem permissão por escrito da ABNT.

ABNT

Av. Treze de Maio, 13 - 28º andar

20031-901 - Rio de Janeiro - RJ

Tel.: + 55 21 3974-2300

Fax: + 55 21 3974-2346

[abnt@abnt.org.br](mailto:abnt@abnt.org.br)

[www.abnt.org.br](http://www.abnt.org.br)

<b>Sumário</b>	<b>Página</b>
<b>Prefácio</b> .....	<b>vii</b>
<b>1 Escopo</b> .....	<b>1</b>
<b>2 Referências normativas</b> .....	<b>1</b>
<b>3 Termos e definições</b> .....	<b>2</b>
<b>4 Requisitos</b> .....	<b>3</b>
<b>4.1 Material</b> .....	<b>3</b>
<b>4.2 Propriedades físicas</b> .....	<b>4</b>
<b>4.3 Granulometria</b> .....	<b>5</b>
<b>5 Amostragem</b> .....	<b>6</b>
<b>6 Movimentação e estocagem</b> .....	<b>6</b>
<b>Anexo A (normativo) Determinação da forma dos fragmentos de rocha britada por meio do paquímetro</b> .....	<b>7</b>
<b>A.1 Princípio</b> .....	<b>7</b>
<b>A.2 Aparelhagem</b> .....	<b>7</b>
<b>A.3 Preparação dos corpos de prova</b> .....	<b>7</b>
<b>A.4 Procedimento</b> .....	<b>7</b>
<b>A.5 Expressão dos resultados</b> .....	<b>8</b>
<b>A.6 Relatório de ensaio</b> .....	<b>8</b>
<b>Anexo B (normativo) Determinação da massa específica aparente, porosidade aparente e absorção de água</b> .....	<b>10</b>
<b>B.1 Princípio</b> .....	<b>10</b>
<b>B.2 Aparelhagem</b> .....	<b>10</b>
<b>B.3 Preparação dos corpos de prova</b> .....	<b>10</b>
<b>B.4 Procedimento</b> .....	<b>10</b>
<b>B.5 Expressão dos resultados</b> .....	<b>11</b>
<b>B.6 Relatório de ensaio</b> .....	<b>12</b>
<b>Anexo C (normativo) Determinação da resistência à intempérie</b> .....	<b>13</b>
<b>C.1 Princípio</b> .....	<b>13</b>
<b>C.2 Aparelhagem</b> .....	<b>13</b>
<b>C.3 Reagentes</b> .....	<b>13</b>
<b>C.4 Preparação das amostras</b> .....	<b>14</b>
<b>C.5 Procedimento</b> .....	<b>14</b>
<b>C.6 Exame qualitativo</b> .....	<b>14</b>
<b>C.7 Expressão dos resultados</b> .....	<b>15</b>
<b>C.8 Relatório de ensaio</b> .....	<b>15</b>
<b>C.9 Ensaio para rochas básicas (basalto, diabásio e gabro)</b> .....	<b>16</b>
<b>C.9.1 Princípios gerais</b> .....	<b>16</b>
<b>C.9.2 Procedimento e ensaio</b> .....	<b>17</b>
<b>C.9.3 Exames qualitativo e quantitativo</b> .....	<b>18</b>
<b>C.9.4 Relatório de ensaio</b> .....	<b>18</b>
<b>Anexo D (normativo) Determinação da resistência à compressão uniaxial no estado saturado</b> ..	<b>20</b>

**ABNT NBR 5564:2021**

<b>D.1</b>	<b>Princípio .....</b>	<b>20</b>
<b>D.2</b>	<b>Aparelhagem.....</b>	<b>20</b>
<b>D.3</b>	<b>Preparação dos corpos de prova .....</b>	<b>20</b>
<b>D.4</b>	<b>Procedimento .....</b>	<b>20</b>
<b>D.6</b>	<b>Relatório de ensaio .....</b>	<b>21</b>
<b>Anexo E</b>	<b>(normativo) Determinação da resistência ao choque – Ensaio Treton.....</b>	<b>23</b>
<b>E.1</b>	<b>Princípio .....</b>	<b>23</b>
<b>E.2</b>	<b>Aparelhagem.....</b>	<b>23</b>
<b>E.3</b>	<b>Preparação dos corpos de prova .....</b>	<b>23</b>
<b>E.4</b>	<b>Procedimento .....</b>	<b>23</b>
<b>E.5</b>	<b>Expressão dos resultados.....</b>	<b>24</b>
<b>E.6</b>	<b>Relatório de ensaio .....</b>	<b>24</b>
<b>Anexo F</b>	<b>(normativo) Determinação do teor de fragmento macio e friável .....</b>	<b>25</b>
<b>F.1</b>	<b>Princípio .....</b>	<b>25</b>
<b>F.2</b>	<b>Aparelhagem.....</b>	<b>25</b>
<b>F.3</b>	<b>Preparação dos corpos de prova .....</b>	<b>26</b>
<b>F.4</b>	<b>Procedimento .....</b>	<b>27</b>
<b>F.5</b>	<b>Expressão dos resultados.....</b>	<b>27</b>
<b>F.6</b>	<b>Relatório de ensaio .....</b>	<b>27</b>
<b>Anexo G</b>	<b>(normativo) Amostragem de material de lastro para via férrea.....</b>	<b>29</b>
<b>G.1</b>	<b>Princípio .....</b>	<b>29</b>
<b>G.2</b>	<b>Considerações gerais .....</b>	<b>29</b>
<b>G.3</b>	<b>Coleta de material .....</b>	<b>30</b>
<b>G.3.1</b>	<b>Correia transportadora .....</b>	<b>30</b>
<b>G.3.1.2</b>	<b>Com a pausa do circuito.....</b>	<b>31</b>
<b>G.3.2</b>	<b>Silo.....</b>	<b>31</b>
<b>G.3.3</b>	<b>Pilha.....</b>	<b>32</b>
<b>G.3.4</b>	<b>Vagão.....</b>	<b>32</b>
<b>G.3.5</b>	<b>Via férrea .....</b>	<b>32</b>
<b>G.4</b>	<b>Preparação da amostra.....</b>	<b>33</b>
<b>Anexo H</b>	<b>(informativo) Informações do pedido de compra.....</b>	<b>35</b>
<b>Anexo I</b>	<b>(normativo) Determinação da forma dos fragmentos de rocha britada por meio do calibre.....</b>	<b>36</b>
<b>I.1</b>	<b>Princípio .....</b>	<b>36</b>
<b>I.2</b>	<b>Aparelhagem.....</b>	<b>36</b>
<b>I.3</b>	<b>Amostragem .....</b>	<b>38</b>
<b>I.4</b>	<b>Procedimento .....</b>	<b>38</b>
<b>I.4.5.1</b>	<b>Ensaio de partículas lamelares .....</b>	<b>39</b>
<b>I.4.5.2</b>	<b>Ensaio de partículas alongadas .....</b>	<b>39</b>
<b>I.4.5.3</b>	<b>Ensaio de partículas lamelares e alongadas .....</b>	<b>39</b>
<b>I.5</b>	<b>Cálculo .....</b>	<b>40</b>
<b>I.6</b>	<b>Relatório do ensaio .....</b>	<b>40</b>
<b>Anexo J</b>	<b>(normativo) Determinação da resistência ao desgaste – Ensaio Micro-Deval .....</b>	<b>42</b>

J.1	Princípio .....	42
J.2	Resumo do método de ensaio .....	42
J.3	Aparelhagem.....	42
J.4	Amostragem .....	43
J.5	Procedimento .....	44
J.6	Cálculo .....	45
J.7	Uso do agregado de referência.....	45
J.8	Relatório.....	46
<b>Anexo K</b>	<b>(normativo) Determinação do índice de resistência à compressão pontual .....</b>	<b>47</b>
K.1	Princípio .....	47
K.2	Significância e aplicação.....	47
K.3	Aparelhagem.....	48
K.3.1	Geral .....	48
K.3.2	Sistema de carregamento.....	48
K.3.3	Sistema de medição de carga .....	49
K.3.4	Sistema de medição de distância .....	49
K.4	Amostragem .....	49
K.5	Características das amostras .....	50
K.6	Procedimento .....	50
K.6.1	Plano de ensaio .....	50
K.6.2	Ensaio de partículas irregulares.....	50
K.6.3	Teor de umidade.....	51
K.7	Cálculo .....	52
K.7.1	Índice de resistência não corrigido .....	52
K.7.2	Índice de carga pontual corrigido por tamanho.....	52
K.7.3	Cálculo do valor médio.....	53
K.7.4	Estimativa da resistência à compressão uniaxial.....	53
K.8	Relatório de ensaio .....	54

## Figuras

Figura A.1	– Dimensões do corpo de prova a serem medidas .....	8
Figura F.1	– Aparelho para determinação do teor de fragmento macio e friável .....	26
Figura G.1	– Esquema de coleta na descarga de correia transportadora em funcionamento ..	31
Figura G.2	– Esquema de coleta em correia transportadora com pausa no circuito .....	31
Figura G.3	– Esquema de coleta em silo.....	31
Figura G.4	– Esquema de coleta em pilha.....	32
Figura G.5	– Esquema de coleta pelo fundo do vagão .....	32
Figura G.6	– Esquema de coleta na via férrea .....	33
Figura G.7	– Esquema da divisão da amostra em quartos (quarteamento) .....	34
Figura I.1	– Esquema do calibre.....	37
Figura I.2	– Calibre .....	37
Figura I.3	– Dimensões da partícula .....	39

**ABNT NBR 5564:2021**

<b>Figura I.4 – Utilização do calibre .....</b>	<b>40</b>
<b>Figura J.1 – Máquina de abrasão Micro-Deval e recipiente .....</b>	<b>43</b>
<b>Figura J.2 – Gráfico de tendência de abrasão Micro-Deval para agregado de referência .....</b>	<b>46</b>
<b>Figura K.1 – Exemplo de aparelho de ensaio de carga pontual .....</b>	<b>48</b>
<b>Figura K.2 – Dimensões da chapa (ponteira) cônica para carga pontual .....</b>	<b>49</b>
<b>Figura K.3 – Configurações de carga e exigência de forma de amostra para partícula irregular...</b>	<b>50</b>
<b>Figura K.4 – Modos típicos de falha para ensaios válidos e inválidos .....</b>	<b>51</b>

**Tabelas**

<b>Tabela 1 – Ensaos obrigatórios no lastro ferroviário.....</b>	<b>5</b>
<b>Tabela 2 – Ensaos opcionais no lastro ferroviário.....</b>	<b>5</b>
<b>Tabela 3 – Distribuição granulométrica do lastro ferroviário.....</b>	<b>6</b>
<b>Tabela A.1 – Classificação da forma dos fragmentos do corpo de prova .....</b>	<b>8</b>
<b>Tabela C.1 – Peneiras para as partículas .....</b>	<b>15</b>
<b>Tabela F.1 – Composição granulométrica mínima do corpo de prova .....</b>	<b>26</b>
<b>Tabela I.1 – Valores para amostragem mínima.....</b>	<b>38</b>
<b>Tabela J.1 – Massa para amostra entre peneiras de 19,0 mm e 9,5 mm .....</b>	<b>44</b>
<b>Tabela J.2 – Massa para a amostra de 12,5 TMN.....</b>	<b>44</b>
<b>Tabela J.3 – Massa para amostra de 9,5 TMN ou menor .....</b>	<b>44</b>
<b>Tabela K.1 – Índice generalizado para o fator de conversão de resistência (<i>K</i>) .....</b>	<b>54</b>

## Prefácio

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) é o Foro Nacional de Normalização. As Normas Brasileiras, cujo conteúdo é de responsabilidade dos Comitês Brasileiros (ABNT/CB), dos Organismos de Normalização Setorial (ABNT/ONS) e das Comissões de Estudo Especiais (ABNT/CEE), são elaboradas por Comissões de Estudo (CE), formadas pelas partes interessadas no tema objeto da normalização.

Os Documentos Técnicos ABNT são elaborados conforme as regras da ABNT Diretiva 2.

A ABNT chama a atenção para que, apesar de ter sido solicitada manifestação sobre eventuais direitos de patentes durante a Consulta Nacional, estes podem ocorrer e devem ser comunicados à ABNT a qualquer momento (Lei nº 9.279, de 14 de maio de 1996).

Os Documentos Técnicos ABNT, assim como as Normas Internacionais (ISO e IEC), são voluntários e não incluem requisitos contratuais, legais ou estatutários. Os Documentos Técnicos ABNT não substituem Leis, Decretos ou Regulamentos, aos quais os usuários devem atender, tendo precedência sobre qualquer Documento Técnico ABNT.

Ressalta-se que os Documentos Técnicos ABNT podem ser objeto de citação em Regulamentos Técnicos. Nestes casos, os órgãos responsáveis pelos Regulamentos Técnicos podem determinar as datas para exigência dos requisitos de quaisquer Documentos Técnicos ABNT.

A ABNT NBR 5564 foi elaborada no Comitê Brasileiro Metroferroviário (ABNT/CB-006), pela Comissão de Estudo de Dormentes e Lastros (CE-006:100.001). O Projeto de Revisão circulou em Consulta Nacional conforme Edital nº 09, de 14.09.2021 a 13.10.2021.

A ABNT NBR 5564:2021 cancela e substitui a ABNT NBR 5564:2014, a qual foi tecnicamente revisada.

O Escopo em inglês da ABNT NBR 5564 é o seguinte:

## Scope

*This Standard establishes the requirements and test methods for crushed rock (LP) ballast.*



## Via férrea — Lastro ferroviário — Requisitos e métodos de ensaio

### 1 Escopo

Esta Norma estabelece os requisitos e métodos de ensaio para o lastro ferroviário de rocha britada (LP).

NOTA Os parâmetros e valores apresentados nesta Norma são de referência. Cabe ao consumidor adaptá-los às características regionais das jazidas e das condições de aplicação.

### 2 Referências normativas

Os documentos a seguir são citados no texto de tal forma que seus conteúdos, totais ou parciais, constituem requisitos para este Documento. Para referências datadas, aplicam-se somente as edições citadas. Para referências não datadas, aplicam-se as edições mais recentes do referido documento (incluindo emendas).

ABNT NBR 6490, *Rochas – Caracterização de ocorrência – Reconhecimento e amostragem*

ABNT NBR 7218, *Agregados – Determinação do teor de argila em torrões e materiais friáveis*

ABNT NBR 7389-2, *Agregados – Análise petrográfica de agregado para concreto – Parte 2: Agregado graúdo*

ABNT NBR NM ISO 3310-1, *Peneiras de ensaio – Requisitos técnicos e verificação – Parte 1: Peneiras de ensaio com tela de tecido metálico*

ABNT NBR 16915, *Agregados – Amostragem*

ABNT NBR 16972, *Agregados – Determinação da massa unitária e do índice de vazios*

ABNT NBR 16973, *Agregados – Determinação do material fino que passa na peneira de 75 µm por lavagem*

ABNT NBR 16974, *Agregado graúdo – Ensaio de abrasão “Los Angeles”*

ABNT NBR NM 248, *Agregados – Determinação da composição granulométrica*

ABNT NBR 6457, *Amostras de solo – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização*

ASTM D4791, *Standard test method for Flat Particles, Elongated Particles, or Flat and Elongated Particles in Coarse Aggregate*

ASTM D6928, *Standard test method for Resistance of Coarse Aggregate to Degradation by Abrasion in the Micro-Deval Apparatus*

ASTM D5731, *Standard test method for Determinations of the Point Load Strength Index of Rock and Application to Rock Strength Classifications*

## ABNT NBR 5564:2021

### 3 Termos e definições

Para os efeitos deste documento, aplicam-se os seguintes termos e definições.

#### 3.1

##### **absorção**

aumento da massa do agregado, devido ao preenchimento dos seus poros por água, expresso como porcentagem de sua massa seca

#### 3.2

##### **comprimento**

*a*

maior ou máxima dimensão da partícula

#### 3.3

##### **desagregação**

perda de coesão dos grãos da rocha, associada ou não à alteração

#### 3.4

##### **diâmetro**

*D*

dimensão da amostra entre as placas de ensaio cônicas opostas, quando colocadas no equipamento de ensaio, para ensaios de carga pontual

#### 3.5

##### **espessura**

*c*

menor ou mínima dimensão da partícula entre planos paralelos entre si, em qualquer direção do agregado

#### 3.6

##### **fissuramento**

formação de descontinuidades em uma face do agregado

#### 3.7

##### **índice de força de carga pontual com correção de tamanho**

*I<sub>s</sub>(D)*

valor do índice original de resistência à carga pontual, multiplicado por um fator, para normalizar o valor que teria sido obtido com o ensaio diametral de diâmetro (*D*)

#### 3.8

##### **índice de força de carga pontual não corrigido**

*I<sub>s</sub>*

indicador de resistência, obtido submetendo uma partícula de agregado (lastro) ao aumento de uma carga pontual concentrada, aplicada por meio de um par de placas cônicas até que a falha ocorra

#### 3.9

##### **largura**

*b*

dimensão perpendicular ao comprimento ou intermediária da partícula, que é maior ou igual à espessura

### 3.10

#### massa constante

*n*

condição de uma amostra de ensaio seca a uma temperatura de  $(110 \pm 5)$  °C, de modo a não perder mais que 0,1 % de umidade após 2 h de secagem

NOTA Esta condição de ressecamento pode ser verificada pela determinação da massa da amostra antes e depois de sucessivos períodos de secagem de 2 h. Em vez de tal determinação, pode-se considerar que as amostras atingiram massa constante quando tiverem sido secas a uma temperatura de  $(110 \pm 5)$  °C, em um período igual ou maior do que o previamente encontrado para produzir a condição de massa constante desejada.

### 3.11

#### massa específica aparente

relação entre a massa do agregado seco e o seu volume aparente, excluídos os vazios permeáveis

### 3.12

#### partícula alongada do agregado

partícula cuja taxa de comprimento/largura é maior do que um valor específico

### 3.13

#### partícula lamelar do agregado

partícula de agregado cuja taxa de largura/espessura é maior do que um valor específico

### 3.14

#### partícula lamelar e alongada do agregado

partícula cuja taxa de comprimento/espessura é maior do que um valor específico

### 3.15

#### porosidade aparente

relação entre o volume de vazios e o volume da rocha

### 3.16

#### rachadura

extensão do fissuramento por mais de uma dimensão do fragmento

NOTA Os termos desagregação (ver 3.3) e fissuramento (ver 3.6) foram utilizados considerando-se que fissurações originam rachaduras e, então, lasqueamento e fragmentação.

### 3.17

#### vazios permeáveis

descontinuidades ligadas diretamente à superfície externa do agregado que, na condição saturada de superfície seca, são passíveis de reter água

## 4 Requisitos

### 4.1 Material

4.1.1 O lastro ferroviário deve ser constituído por fragmentos formados pela britagem de material extraído de rocha dura e sã, reconhecida como de característica petrográfica, própria ao uso em lastro na via férrea.

NOTA O comprador pode exigir do fornecedor a comprovação da capacidade técnica de fornecimento do volume de lastro ferroviário.

## ABNT NBR 5564:2021

O comprador deve solicitar ao fornecedor os estudos geológicos das jazidas, realizados por entidades especializadas, de acordo com as ABNT NBR 6490 e ABNT NBR 7389-2.

**4.1.2** A análise da jazida deve compreender, no mínimo:

- a) descrição geológica da pedreira;
- b) estudo das ocorrências de rochas exploráveis entre as rochas existentes;
- c) apreciação quantitativa das ocorrências de rochas provavelmente inadequadas para LP;
- d) exame das possibilidades de produção de LP.

**4.1.3** As jazidas devem produzir partículas:

- a) homogêneas;
- b) livres de materiais orgânicos e outras impurezas;
- c) com resistência à compressão uniaxial no estado saturado, mínima de 100 MPa, devendo ser realizada de acordo com o Anexo D.

**4.1.4** O LP deve ser isento de todo resíduo estéril da pedreira, material vegetal, solo e quaisquer outras impurezas que possam colmatá-lo.

**4.1.5** Sempre que houver mudança na frente de lavra, o fornecedor deve atender ao descrito em 4.1.1 a 4.1.4.

## 4.2 Propriedades físicas

O lastro ferroviário deve apresentar as características relacionadas na Tabela 1. Opcionalmente, a critério do comprador, podem ser solicitados os ensaios relacionados na Tabela 2.

Em regiões com restrições ambientais, as partículas devem ser lavadas com jato de água abundante, para remoção do pó.

Tabela 1 – Ensaios obrigatórios no lastro ferroviário

Característica	Valor					Verificado conforme
	Granito	Basalto	Calcário calcítico	Calcário dolomítico	Outras litologias	
Forma média das partículas – Método do paquímetro ou calibre <sup>a</sup> (máximo)	Cúbica	Cúbica	Cúbica	Cúbica	Cúbica	Anexo A ou Anexo I
Partículas não cúbicas – Método do paquímetro ou calibre <sup>(a)</sup> (máximo), %	15	17	15	15	15	Anexo A ou Anexo I
Massa específica aparente (mínima), kg/m <sup>3</sup>	2 600	2 700	2 600	2 650	2 500	Anexo B
Porosidade aparente (máxima) %	2	2	2	2	2	Anexo B
Absorção de água (máxima) %	1,00	1,00	2,00	2,00	2,00	Anexo B
Resistência à intempérie (máxima), %	10	10	10	10	10	Anexo C
Limite de massa unitária no estado solto (mínimo), kg/m <sup>3</sup>	1 250	1 250	1 250	1 250	1 250	ABNT NBR 16972
Material pulverulento (máximo), %	1	1	1	1	1	ABNT NBR 16973
Torrões de argila (máximo), %	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	ABNT NBR 7218
Resistência ao desgaste (abrasão Los Angeles (máxima), %	35	30	30	30	30	ABNT NBR

<sup>a</sup> Deve ser escolhido um dos dois métodos - paquímetro ou calibre (na relação 1:2) - para execução do ensaio de forma, respeitando os respectivos valores-limites.

Tabela 2 – Ensaios opcionais no lastro ferroviário

Ensaio	Valores de referência <sup>a</sup>	Verificado conforme
Resistência ao choque (índice de tenacidade treton máximo)	25 %	Anexo E
Teor de fragmentos macios e friáveis (máximo)	5 %	Anexo F
Determinação da resistência ao desgaste – ensaio Micro Deval	Não aplicável	Anexo J
Determinação do índice de resistência à compressão pontual – <i>Point load</i>	Não aplicável	Anexo K

<sup>a</sup> O não atendimento aos valores de referência não implica na rejeição do agregado, ficando a critério do comprador a tomada de decisão quanto à sua aceitação.

### 4.3 Granulometria

A distribuição granulométrica do lastro deve ser verificada de acordo com a ABNT NBR NM 248 e deve estar de acordo com a Tabela 3.

**ABNT NBR 5564:2021****Tabela 3 – Distribuição granulométrica do lastro ferroviário**

Lado da malha da peneira conforme a ABNT NBR NM ISO 3310-1 mm	Porcentagem em massa acumulada %	
	Padrão A	Padrão B
76,2	Não aplicável	0 – 0
63,5	0 – 0	0 – 10
50,8	0 – 10	Não aplicável
38,0	30 – 65	40 – 75
25,4	85 – 100	Não aplicável
19,0	Não aplicável	90 – 100
12,5	95 – 100	98 – 100

NOTA Padrão A e Padrão B referem-se, respectivamente, ao lastro para aplicação em linhas principais ou de pátios.

**5 Amostragem**

A amostragem deve ser feita de acordo com a ABNT NBR 6490, para:

- reconhecimento e caracterização da jazida;
- verificação das características relacionadas na Tabela 1.

A amostragem do lastro ferroviário deve ser na proporção acordada entre comprador e fornecedor, e de acordo com o Anexo G, devendo ser apresentada uma amostragem inicial, independentemente da quantidade a ser fornecida.

Quando o lastro ferroviário for fornecido na condição de colocado no veículo, recomenda-se que a amostragem seja realizada no veículo. Caso seja fornecido na condição de colocado em determinado local, recomenda-se que a amostragem seja realizada no local.

Antes de qualquer verificação, todas as amostras de cada lote devem ser submetidas a inspeções visuais de aspecto, forma e dimensão. Somente a amostra e/ou o lote não rejeitados de acordo com estas inspeções devem ser submetidos aos ensaios.

**6 Movimentação e estocagem**

Quanto à movimentação e estocagem do lastro, recomenda-se que:

- o lastro ferroviário seja movimentado e estocado de modo que se mantenha limpo e isento de segregação;
- o lastro seja transportado de modo que a sua granulometria não seja alterada, além de ser mantido livre de alterações de suas características originais;
- seja dada especial atenção quanto à distribuição das partículas de lastro ferroviário no veículo em que for carregado, objetivando a homogeneidade entre elas.

## Anexo A (normativo)

### Determinação da forma dos fragmentos de rocha britada por meio do paquímetro

#### A.1 Princípio

Este Anexo estabelece o método de ensaio para determinação da forma dos fragmentos de rocha britada por meio do paquímetro.

#### A.2 Aparelhagem

Para a execução do ensaio, é necessária a seguinte aparelhagem:

- a) paquímetro com precisão de 0,1 mm, calibrado;
- b) peneiras de malhas quadradas, com caixilhos metálicos e aberturas nominais, em milímetros, inclusive tampa e fundo, de acordo com as ABNT NBR NM ISO 3310-1 e ABNT NBR NM 248;
- c) agitador para peneiras com dispositivo para fixação, desde uma peneira até seis, inclusive tampa e fundo;
- d) balança com precisão de 0,5 % da massa da amostra;
- e) estufa capaz de manter a temperatura em  $(110 \pm 5)$  °C.

#### A.3 Preparação dos corpos de prova

**A.3.1** Quartear a amostra inicial, conforme a ABNT NBR 16915, até alcançar aproximadamente 35 kg. Posteriormente, secar a amostra em estufa a  $(110 \pm 5)$  °C, até massa constante.

**A.3.2** Realizar a análise granulométrica da amostra, de acordo com a ABNT NBR NM 248, nas peneiras de 63 mm, 50 mm, 38 mm, 25 mm, 19 mm e 12,5 mm. Desprezar as frações passantes na peneira de 12,5 mm e aquelas frações que retiverem menos que 10 % em massa.

**A.3.3** Determinar a porcentagem de massa retida em cada peneira.

**A.3.4** Cada fração obtida deve ser quarteada (quando necessário), até que sejam obtidas 100 partículas para cada fração de tamanho a ser avaliado. Caso a fração não alcance a quantidade de 100 partículas e a massa retida seja superior a 10 %, ela deve ser avaliada.

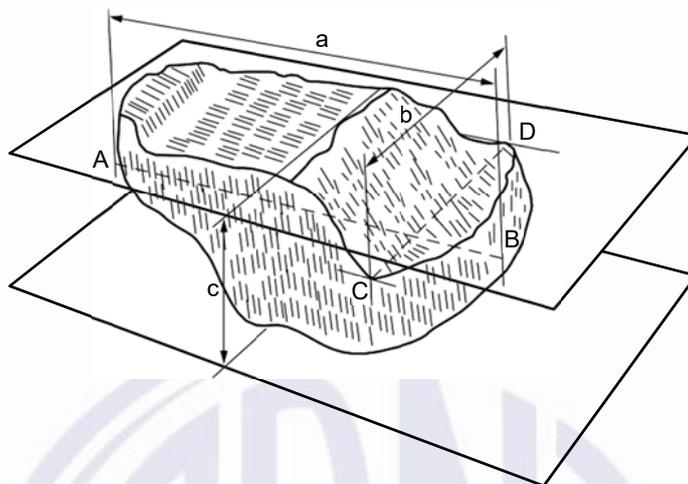
#### A.4 Procedimento

Medir as dimensões a, b e c de cada corpo de prova, com paquímetro, em milímetros, de acordo com a Figura A.1, considerando um paralelogramo onde o fragmento possa ser circunscrito.

NOTA A dimensão a é a distância entre dois pontos A e B do corpo de prova (maior distância); a dimensão b é a distância entre duas retas paralelas à reta que passa por A e B, tangenciando C e D do corpo

**ABNT NBR 5564:2021**

de prova (média distância); a dimensão  $c$  é a maior distância entre dois planos paralelos às retas AB e CD, que tangenciem a superfície do corpo de prova (menor distância).



**Figura A.1 – Dimensões do corpo de prova a serem medidas**

## A.5 Expressão dos resultados

**A.5.1** Calcular as relações  $b/a$  e  $c/b$  para cada fragmento do corpo de prova, arredondadas em um décimo.

**A.5.2** Classificar a forma de cada fragmento do corpo de prova, com base nas relações  $b/a$  e  $c/b$ , de acordo com a Tabela A.1.

**Tabela A.1 – Classificação da forma dos fragmentos do corpo de prova**

Relações $b/a$ e $c/b$	Classificação da forma
$b/a \geq 0,50$ e $c/b \geq 0,50$	Cúbica
$b/a < 0,50$ e $c/b \geq 0,50$	Alongada
$b/a \geq 0,50$ e $c/b < 0,50$	Lamelar
$b/a < 0,50$ e $c/b < 0,50$	Alongada lamelar

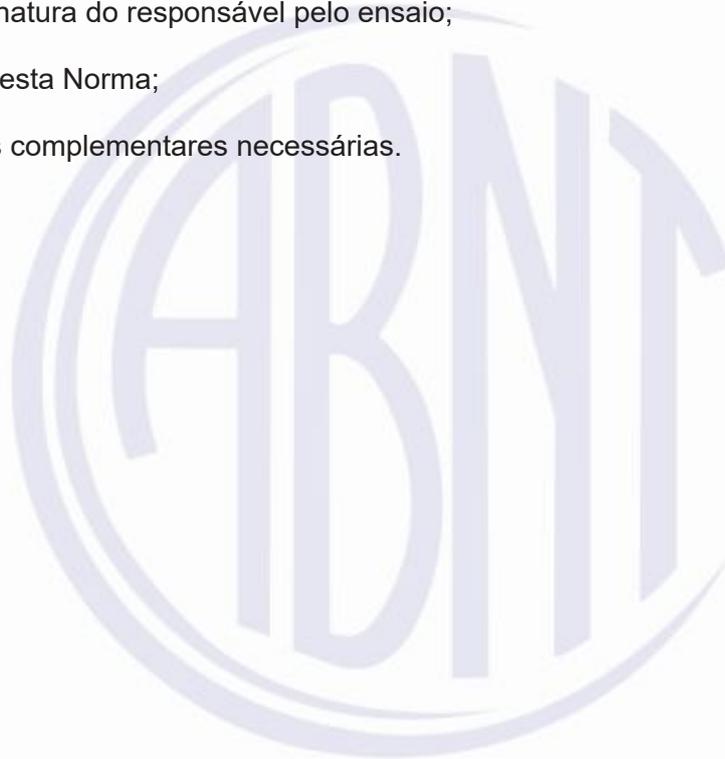
**A.5.3** Calcular a média aritmética das relações  $b/a$  e  $c/b$  do corpo de prova, classificar a forma média, contar os indivíduos classificados como cúbicos e não cúbicos (alongados, lamelares e alongados lamelares) e calcular as suas porcentagens.

## A.6 Relatório de ensaio

O relatório de ensaio deve conter:

- nome e endereço do laboratório responsável pelo ensaio e número do relatório;
- nome e endereço do contratante;
- indicação da procedência da amostra (estado, cidade, mina, local de coleta etc.);

- d) tipo petrográfico presumido e/ou designação da amostra;
- e) dimensões dos fragmentos, em milímetros;
- f) relações  $b/a$  e  $c/b$  individuais e respectivas médias destas;
- g) classes das formas individuais e da forma média;
- h) média aritmética dos resultados, respectivo desvio-padrão e coeficiente de variação;
- i) data da finalização do ensaio;
- j) nome e assinatura do responsável pelo ensaio;
- k) referência a esta Norma;
- l) observações complementares necessárias.



## Anexo B (normativo)

### Determinação da massa específica aparente, porosidade aparente e absorção de água

#### B.1 Princípio

Este Anexo estabelece o método de ensaio para determinação da massa específica aparente, porosidade aparente e absorção de água.

#### B.2 Aparelhagem

Para a execução do ensaio, é necessária a seguinte aparelhagem:

- a) estufa capaz de manter a temperatura em  $(110 \pm 5)$  °C, de preferência ventilada;
- b) balança com resolução de 0,01 g, que permita pesagens hidrostáticas;
- c) peneiras de malhas quadradas com caixilhos metálicos e aberturas nominais, em milímetros, inclusive tampa e fundo, de acordo com as ABNT NBR NM ISO 3310-1 e ABNT NBR NM 248;
- d) agitador para peneiras com dispositivo para fixação, desde uma peneira até seis, inclusive tampa e fundo;
- e) bandejas de material não oxidável, com dimensões adequadas para acondicionamento dos corpos de prova;
- f) fio de náilon de 0,20 mm de espessura, para pesagem dos corpos de prova;
- g) recipiente para acondicionamento de água, para pesagem dos corpos de prova na condição submersa;
- h) recipiente que resista à ação de vácuo, que seja capaz de suportar  $(2,0 \pm 0,7)$  kPa ou  $(15 \pm 5)$  mmHg;
- i) dessecador e substância desidratante.

#### B.3 Preparação dos corpos de prova

Selecionar no mínimo dez corpos de prova, com dimensões de aproximadamente 50 mm, em qualquer geometria.

#### B.4 Procedimento

**B.4.1** Lavar os corpos de prova em água corrente e escová-los com escova de cerdas macias.

**B.4.2** Colocar os corpos de prova no dessecador ou na bandeja e adicionar água deionizada ou destilada, até alcançar 1/3 de sua altura; após 4 h, até 2/3 da altura dos corpos de prova; após mais 4 h, completar a submersão dos corpos de prova e deixar pelo tempo total de 48 h. Opcionalmente, deixá-los sob a ação de vácuo por no mínimo 2 h.

**B.4.3** Retirar os corpos de prova da água, enxugar as suas superfícies com um pano levemente úmido e pesar ao ar. Com precisão de 0,01 g, anotar a massa  $M_{\text{sat}}$ .

**B.4.4** Pesar os corpos de prova individualmente, na condição de totalmente submersos, por meio do dispositivo da balança para pesagem hidrostática, e amarrar o corpo de prova com fio de náilon (massa desprezível). Com precisão de 0,01 g, anotar a massa  $M_{\text{sub}}$ .

**B.4.5** Colocar os corpos de prova na estufa à temperatura de  $(110 \pm 5) ^\circ\text{C}$  e secar até obter a constância de massa.

**B.4.6** Retirar os corpos de prova da estufa e deixar resfriar no dessecador por 1 h a 3 h.

**B.4.7** Pesar os corpos de prova individualmente ao ar. Com precisão de 0,01 g, anotar a massa  $M_{\text{sec}}$ .

## B.5 Expressão dos resultados

**B.5.1** Calcular a massa específica aparente pela seguinte equação:

$$\rho_a = \frac{M_{\text{sec}}}{M_{\text{sat}} - M_{\text{sub}}}$$

onde

$\rho_a$  é a massa específica aparente, expressa em gramas por centímetro cúbico ( $\text{g}/\text{cm}^3$ );

$M_{\text{sec}}$  é a massa seca, expressa em gramas (g);

$M_{\text{sat}}$  é a massa saturada, expressa em gramas (g);

$M_{\text{sub}}$  é a massa submersa, expressa em gramas (g).

**B.5.2** Calcular a porosidade aparente pela seguinte equação:

$$\eta_a = \frac{(M_{\text{sat}} - M_{\text{sec}})}{(M_{\text{sat}} - M_{\text{sub}})} \cdot 100$$

onde

$\eta_a$  é a porosidade aparente, expressa em porcentagem (%);

$M_{\text{sec}}$  é a massa seca, expressa em gramas (g);

$M_{\text{sat}}$  é a massa saturada, expressa em gramas (g);

$M_{\text{sub}}$  é a massa submersa, expressa em gramas (g).

## ABNT NBR 5564:2021

**B.5.3** Calcular a absorção de água pela seguinte equação:

$$\alpha_a = \frac{(M_{\text{sat}} - M_{\text{sec}})}{M_{\text{sec}}} \cdot 100$$

onde

$\alpha_a$  é a absorção, expressa em porcentagem (%);

$M_{\text{sec}}$  é a massa seca, expressa em gramas (g);

$M_{\text{sat}}$  é a massa saturada, expressa em gramas (g).

## B.6 Relatório de ensaio

O relatório de ensaio deve conter as seguintes informações:

- a) nome e endereço do laboratório responsável pelo ensaio e número do relatório;
- b) nome e endereço do contratante;
- c) indicação da procedência da amostra (estado, cidade, jazida, local de coleta etc.) e designação comercial da amostra (se fornecidos pelo contratante);
- d) tipo petrográfico presumido e designação da amostra;
- e) quantidade de corpos de prova ensaiados, suas massas e resultados individuais, com aproximação de 0,01 g para massa específica e de duas casas decimais para porosidade e absorção de água;
- f) média aritmética dos resultados, respectivo desvio-padrão e coeficiente de variação;
- g) data da finalização do ensaio;
- h) nome e assinatura do responsável pelo ensaio;
- i) referência a esta Norma;
- j) observações complementares necessárias.

## Anexo C (normativo)

### Determinação da resistência à intempérie

#### C.1 Princípio

Este Anexo estabelece o método de ensaio de determinação da resistência à intempérie com uso do sulfato de sódio e etilenoglicol (para rochas básicas).

#### C.2 Aparelhagem

Para a execução do ensaio, é necessária a seguinte aparelhagem:

- a) peneiras de 63,5 mm, 50 mm, 38 mm, 32 mm, 25 mm, 19 mm, 12,5 mm e 11,2 mm;
- b) balança com capacidade de 5 kg e precisão de 1 g;
- c) balança com capacidade de 1 kg e precisão de 0,1 g;
- d) cestos cilíndricos de tela metálica, para acondicionamento dos corpos de prova;
- e) dispositivo capaz de manter a temperatura a  $(21 \pm 1)^\circ\text{C}$ ;
- f) estufa, de preferência ventilada, com temperatura regulável para  $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$ ;
- g) termômetro com escala de  $0^\circ\text{C}$  a  $50^\circ\text{C}$ , ou  $0^\circ\text{C}$  a  $100^\circ\text{C}$ ;
- h) densímetro com escala de 1,100 a 1,200.

NOTA Outros equipamentos podem ser utilizados, desde que assegurado o atendimento às condições descritas.

#### C.3 Reagentes

A solução de sulfato de sódio deve ser preparada dissolvendo-se uma quantidade de sal tal que, à temperatura entre  $25^\circ\text{C}$  e  $30^\circ\text{C}$ , sejam asseguradas a saturação e também a presença de excesso de cristais na solução, após a preparação. Durante a adição do sal, a solução deve ser vigorosamente agitada. Essa operação deve ser repetida a intervalos frequentes, até a utilização da solução. Depois de pronta, a solução deve ser esfriada à temperatura de  $21^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$ , e mantida nesta temperatura por no mínimo 48 h antes da realização do ensaio.

No momento da utilização a solução saturada de sulfato de sódio deve ser agitada novamente e apresentar densidade entre 1,151 e 1,174.

NOTA Para a solução, 215 g de sulfato de sódio anidro ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) ou 700 g de sulfato de sódio deca-hidratado ( $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ) por litro de água destilada são suficientes para saturação a  $22^\circ\text{C}$ . No entanto, como esses sais não são completamente estáveis e como é desejável a presença de um excesso de cristais,

## ABNT NBR 5564:2021

recomenda-se o uso de pelo menos 350 g do sal anidro ou 750 g do sulfato de sódio deca-hidratado por litro de água.

### C.4 Preparação das amostras

**C.4.1** As frações para os ensaios são as seguintes:

- a) 63,5 mm a 38 mm (3 000 g), consistindo em 50 % de material entre 63,5 mm e 50 mm, e em 50 % de material entre 50 mm e 38 mm;
- b) 38 mm a 19 mm (1 500 g), consistindo em 67 % de material entre 38 mm e 25 mm, e em 33 % de material entre 25 mm e 19 mm; e
- c) 19 mm a 12,5 mm (700 g).

**C.4.2** Se qualquer das frações especificadas em C.4.1 for menor do que 5 % do peso da amostra total, ela não pode ser ensaiada. Para os efeitos de cálculo, ela deve ser considerada como tendo a mesma perda que a fração imediatamente menor ou maior que existir na amostra.

**C.4.3** Deve ser contado o número de partículas existentes em cada fração.

**C.4.4** Escovar e lavar os fragmentos de cada fração em água corrente e deixá-los secar em estufa a  $(100 \pm 5)^\circ\text{C}$  até constância do peso. Determinar o peso de cada uma das frações que em seguida são colocadas em cestos separados para o ensaio.

### C.5 Procedimento

**C.5.1** Cada amostra deve ser imersa na solução de sulfato de sódio por um período de 16 h a 18 h, de modo que o nível da solução fique 1 cm acima da amostra.

**C.5.2** O recipiente que contém as amostras imersas na solução deve ser coberto para reduzir a evaporação e evitar a contaminação. Durante o período de imersão, a temperatura da solução deve ser mantida a  $21^\circ\text{C}$ .

**C.5.3** Após o período de imersão, as amostras devem ser retiradas da solução, drenadas durante  $(15 \pm 5)$  min e colocadas em estufa para secar a  $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$  até a constância do peso, em intervalos de 2 h a 4 h. Em seguida, devem ser deixadas à temperatura ambiente, até que ocorra o resfriamento.

**NOTA** A permanência dos corpos de prova na solução ou na estufa por mais tempo não prejudica o ensaio e não afeta os resultados.

**C.5.4** O processo de imersão e secagem alternadas constitui um ciclo, que deve ser repetido até que se completem no mínimo cinco ciclos.

**C.5.5** As frações devem ser examinadas qualitativamente após cada imersão.

**C.5.6** Recomenda-se que os exames visuais sejam acompanhados de tomada de fotografia.

### C.6 Exame qualitativo

**C.6.1** O exame qualitativo e o seu registro devem consistir em duas partes:

- a) observação do efeito da ação do sulfato de sódio e da natureza da ação;
- b) contagem do número de partículas afetadas.

**C.6.2** É recomendável que a avaliação qualitativa por meio de exames visuais das amostras, após cada ciclo, seja acompanhada de registro fotográfico dos eventuais danos (fissuras, trincas, escamações, oxidação, desagregação etc.).

## C.7 Expressão dos resultados

**C.7.1** Depois de completado o ciclo final e após o resfriamento da amostra, esta deve ser lavada em solução de cloreto de bário a 10 %, para que fique livre de excessos de sulfato de sódio. Em seguida, lavar a amostra em água corrente.

**C.7.2** Livres da solução, as frações da amostra devem ser secadas, a  $(110 \pm 5) ^\circ\text{C}$ , até a constância de peso. O material deve ser peneirado conforme as dimensões das partículas apresentadas na Tabela C.1.

**Tabela C.1 – Peneiras para as partículas**

Dimensão da partícula mm	Peneira para determinar a perda mm
63,5 a 38	32
38 a 19	16
19 a 12,5	11,2

**C.7.3** A resistência à intempérie ( $R_i$ ) é calculada pela relação entre as massas inicial ( $M_i$ ) e final ( $M_f$ ) de cada fração da amostra submetida ao ensaio, expressa em porcentagem de material desagregado (perdas), conforme a seguinte equação:

$$R_i = [(M_i - M_f) / M_i] \times 100$$

onde

$R_i$  é a resistência à intempérie, expressa em porcentagem (%);

$M_i$  é a massa inicial dos corpos de prova, expressa em gramas (g);

$M_f$  é a massa final dos corpos de prova, expressa em gramas (g).

## C.8 Relatório de ensaio

O relatório de ensaio deve conter as seguintes informações:

- nome e endereço do laboratório responsável pelo ensaio e número do relatório;
- nome e endereço do contratante;
- indicação da procedência da amostra (estado, cidade, mina, local de coleta etc.);
- tipo petrográfico presumido e designação da amostra;
- porcentagem em peso de cada fração da amostra que, após o ensaio, passe através da respectiva peneira de controle de perda de massa;

## ABNT NBR 5564:2021

- f) média ponderada, calculada em função da percentagem de perda de cada fração e com base na granulometria da amostra ou, de preferência, na granulometria da porção do material da qual a amostra é representativa;
- g) estado de integridade dos fragmentos (agregado) após os ciclos de saturação em sulfato de sódio e secagem em estufa, considerando desagregação, fissuramento, lascamento e oxidação de minerais;
- h) quantidade de fragmentos eventualmente danificados no ensaio e características desses danos (se possível, ilustrados por fotos);
- i) valor da resistência à intempérie, expressa em percentagem de perdas;
- j) média aritmética dos resultados, respectivo desvio-padrão e coeficiente de variação, se tiverem sido ensaiadas várias amostras do mesmo lote;
- k) data da finalização do ensaio;
- l) nome e assinatura do responsável pelo ensaio;
- m) referência a esta Norma;
- n) observações complementares necessárias.

### C.9 Ensaio para rochas básicas (basalto, diabásio e gabro)

#### C.9.1 Princípios gerais

A determinação deve ser realizada mediante ciclagem acelerada com etilenoglicol.

O etilenoglicol é um dos produtos que reagem com as argilas expansivas do grupo das montmorilonitas, para formar um complexo organoargiloso de maior volume.

Dependendo da quantidade e distribuição de argila expansiva e da capacidade de absorver o etilenoglicol, pode ocorrer a desintegração expansiva da amostra.

Ocorrendo a desintegração do material submetido ao ensaio, é esperado que isto ocorra com as amostras da mesma rocha expostas por longo tempo à molhagem e secagem em uma condição de serviço em meio saturado.

Quanto à interpretação, os resultados deste ensaio devem ser tomados como base para comparação da resistência relativa de diferentes tipos de materiais considerados para o mesmo uso.

Os resultados deste ensaio não fornecem, por si sós, base para conclusão de que o material seja satisfatório ou não satisfatório, a menos que a amostra não tenha sofrido qualquer forma de ataque ou tenha sofrido completa desintegração. As tendências gerais são as seguintes:

- a) rochas com textura e estrutura uniformes, em geral, são afetadas por desagregação, fissuração ou escamação;
- b) rochas com estruturas estratificadas são afetadas principalmente por separação ao longo dos planos, juntas, acamamentos ou xistosidades;

- c) a ocorrência de planos, junta ou fendas pode ser de pequena importância, se a rocha britada for destinada a agregado para concreto, por ficar confinada no interior da massa. Pode ser de grande importância, se for considerado o uso do agregado sem a presença de ligantes (estrutura de proteção, enrocamento e lastro ferroviário). Neste caso, devem ser consideradas as distâncias entre tais planos e as dimensões do material a ser empregado.

## C.9.2 Procedimento e ensaio

**C.9.2.1** O etilenoglicol para ensaio deve atender ao seguinte, quanto à densidade:

- a) 20°C – 1,1151 kg/dm<sup>3</sup> a 1,1156 kg/dm<sup>3</sup>;
- b) 25°C – 1,1129 kg/dm<sup>3</sup> a 1,1134 kg/dm<sup>3</sup>.

**C.9.2.2** Outro reagente que pode ser empregado é o glicerol. Como possui viscosidade mais elevada, ele exige um tempo maior para penetrar na amostra e produzir equivalente desintegração expansiva.

**C.9.2.3** A sala destinada à realização dos ensaios qualitativo e quantitativo, manutenção em imersão e resfriamento da amostra deve possuir dispositivos que permitam manter a temperatura ambiente em  $(23 \pm 2)$  °C e a umidade relativa entre 50 % e 85 %.

**C.9.2.4** Recomenda-se o registro fotográfico da amostra, antes e depois do ensaio, para auxiliar a observação do comportamento do material.

**C.9.2.5** A amostra de ensaio deve ser coletada e reduzida de acordo com a ABNT NBR 16915, constituída por partículas passantes na peneira de 76 mm e retida na de 12,5 mm, e deve pesar  $(5 \pm 0,2)$  kg, com massas proporcionais às porcentagens obtidas na determinação granulométrica.

**C.9.2.6** Em termos da preparação dos materiais, atentar às seguintes condições:

- a) materiais provenientes de jazidas, para emprego como agregado graúdo, devem ser classificados eliminando-se as porções retidas e passantes nas peneiras-limites;
- b) materiais provenientes de escavações devem ser triturados até que se obtenha um produto graduado, do qual se possa coletar uma amostra com a graduação especificada;
- c) antes do peneiramento, os materiais devem ser lavados com jato d'água para eliminação de pó ou outros materiais fracamente aderidos, e pesados com exatidão de 0,1 % de sua massa, em gramas;
- d) as frações entre as peneiras devem ser separadas e ensaiadas individualmente. Todavia, pode ocorrer a inexistência de materiais em uma ou mais destas faixas granulométricas. A amostra de ensaio pode, também, ser constituída por uma única fração entre os tamanhos-limites indicados.

**C.9.2.7** O ensaio é constituído pelas etapas a seguir:

- a) secar a amostra em estufa, até atingir a constância de massa;

NOTA 1 A constância de massa é obtida quando a perda entre duas pesagens sucessivas, realizadas em intervalos iguais ou superiores a 4 h, não exceder 0,1 % da pesagem anterior.

Sob certas condições, pode ser desejável começar o ensaio da amostra com umidade diferente daquela obtida por secagem até massa constante, sendo que, neste caso, esta deve ser dispensada tanto no início como no fim do ensaio.

**ABNT NBR 5564:2021**

- b) resfriar a amostra durante  $(60 \pm 5)$  min, na sala com temperatura e umidade controladas;
- c) pesar cada fração da amostra com precisão de 0,1 %, registrando as massas iniciais, em gramas, separadamente, por fração;
- d) imergir a amostra em etilenoglicol, de forma que as partículas sejam cobertas pelo reagente com 1 cm acima do seu topo. Cada ciclo de imersão tem duração de  $(72 \text{ h} \pm 1) \text{ h}$ ;
- e) retirar a amostra do recipiente de imersão, escoando o excesso de reagente por 20 min  $\pm$  5 min e seguir as etapas de C.9.2.6 a) a c);
- f) finalizando o ciclo inicial, realizar os ensaios quantitativos e qualitativos do material retido nas peneiras que limitam o menor tamanho de cada fração. Calcular as perdas de massa, por fração, e a perda média ponderada da amostra;

NOTA Os materiais passantes nas peneiras-limites inferiores de cada faixa, ao final do ensaio, não devem ser adicionados aos materiais das faixas menores e sim considerados como perdas.

- g) para os demais ciclos, seguir os procedimentos descritos em C.9.2.6 de a) a f);
- h) a duração do ensaio deve ser de cinco ciclos .

NOTA O ensaio deve ser encerrado quando a intensidade do ataque for tal que, ao final de qualquer ciclo, nenhuma partícula fique retida na peneira de 12,5 mm.

Em casos que justifiquem informações adicionais sobre o comportamento e a evolução das perdas de massa, recomenda-se a realização de outros dois ciclos, totalizando, desta forma, um período de ensaio com 21 dias de duração

**C.9.3 Exames qualitativo e quantitativo**

O exame qualitativo consiste em examinar visualmente as partículas, registrando o número de partículas afetadas e os tipos de ataque observados. Os tipos de ataque mais comuns são desintegração, rachadura, fissuração e lasqueamento.

O exame quantitativo consiste em determinar a perda de massa em relação à massa inicial da amostra de ensaio, calculada pela seguinte equação:

$$R_i = [(M_i - M_f) / M_i] \times 100$$

onde

$R_i$  é a resistência à intempérie, expressa em porcentagem (%);

$M_i$  é a massa inicial da amostra, expressa em gramas (g);

$M_f$  é a massa final da amostra retida na peneira de 12,5 mm, ao final de cada ciclo, expressa em gramas (g).

**C.9.4 Relatório de ensaio**

No relatório de ensaio, devem constar as informações de C.8 e as seguintes:

- a) tipo e procedência do agregado;

- b) número de ciclos, se diferente do especificado em C.9.2;
- c) análise qualitativa do efeito da ciclagem sobre a amostra;
- d) perda média ponderada por ciclo, em porcentagem (%);
- e) informações adicionais sobre o estado físico, estrutura e textura do material, se disponíveis.



## Anexo D (normativo)

### Determinação da resistência à compressão uniaxial no estado saturado

#### D.1 Princípio

Este anexo estabelece o método de ensaio de resistência à compressão uniaxial no estado saturado.

#### D.2 Aparelhagem

**D.2.1** Prensa com capacidade de no mínimo 2 000 kN e precisão de 2 kN, que deve dispor de um prato rígido e de outro, oposto a ele, solidário ao dispositivo de aplicação de força, munido de rótula para permitir pleno contato com os topos do corpo de prova. Deve possuir, ainda, sistema de aplicação de força que permita um carregamento progressivo e contínuo.

**D.2.2** Equipamento para serragem de rocha, capaz de cortar superfícies planas e paralelas.

**D.2.3** Paquímetro com curso de no mínimo 100 mm e resolução de 0,05 mm, para medição dos corpos de prova.

**D.2.4** Bandejas de material não oxidável, para saturação dos corpos de prova em água.

**D.2.5** Estufa, de preferência ventilada, regulável para  $(70 \pm 5)$  °C.

**D.2.6** Torno mecânico munido de rebolo diamantado, ou outro equipamento, capaz de assegurar planeza e paralelismo às superfícies dos corpos de prova.

#### D.3 Preparação dos corpos de prova

**D.3.1** Preparar um mínimo de cinco corpos de prova com formato cúbico, com dimensões das arestas de 70 mm a 80 mm, ou cilíndrico, com diâmetro de 70 mm a 80 mm e relação entre base e altura entre 1:2,5 e 1:3.

**D.3.2** No caso de rochas com estrutura gnáissica, acamada, foliada, xistosa etc., preparar no mínimo três corpos de prova para ensaio na direção paralela e no mínimo três corpos de prova para ensaio na direção perpendicular à estrutura. Assinalar previamente as faces que representem o topo e a base adjacentes, no caso dos corpos de prova cúbicos.

**D.3.3** Nos casos de corpos de prova com formato cúbico, as faces devem ser ortogonais entre si. Nos corpos de prova cilíndricos, as bases devem ser ortogonais em relação à geratriz.

**D.3.4** As bases e os topos dos corpos de prova devem ter rugosidade que não ultrapasse  $(0,02 \pm 0,01)$  mm.

#### D.4 Procedimento

**D.4.1** Submergir os corpos de prova em água limpa por pelo menos 48 h e ensaiá-los logo após a retirada do banho.

**D.4.2** Adotar como dimensões dos topos dos corpos de prova a média aritmética de quatro medidas tomadas à meia altura do eixo dos corpos de prova.

**D.4.3** Colocar o corpo de prova no centro do prato da prensa.

**D.4.4** Movimentar o prato oposto até obter ajuste com o corpo de prova.

**D.4.5** Aplicar força a uma taxa menor que 0,7 MPa/s ou 1,3 mm/min, até que ocorra a ruptura do corpo de prova.

**D.4.6** Anotar a força de ruptura máxima registrada no ensaio.

## **D.5 Expressão dos resultados**

Calcular a tensão de ruptura da rocha por compressão uniaxial pela seguinte equação:

$$\sigma_{cs} = \frac{P}{A}$$

onde

$\sigma_{cs}$  é a tensão de ruptura na compressão uniaxial, na condição saturada, expressa em megapascals (MPa);

$P$  é a força máxima de ruptura, expressa em newtons (N);

$A$  é a área do topo do corpo de prova, expressa em milímetros quadrados (mm<sup>2</sup>).

## **D.6 Relatório de ensaio**

O relatório de ensaio deve conter as seguintes informações:

- a) nome e endereço do laboratório responsável pelo ensaio e número do relatório;
- b) nome e endereço do contratante;
- c) indicação da procedência da amostra (estado, cidade, jazida, local de coleta etc.) e designação comercial da amostra (se fornecidos pelo contratante);
- d) tipo petrográfico presumido e designação da amostra;
- e) quantidade de corpos de prova ensaiados, dimensões e resultados individuais de tensão de ruptura, com aproximação de uma casa decimal;
- f) média aritmética dos resultados, respectivo desvio-padrão e coeficiente de variação;
- g) condições de ensaio dos corpos de prova:
  - saturados em água;
  - direção de carregamento em relação à estrutura da rocha (paralela, perpendicular ou oblíqua);
- h) data da finalização do ensaio;

## ABNT NBR 5564:2021

- i) nome e assinatura do responsável pelo ensaio;
- j) referência a esta Norma;
- k) observações complementares necessárias.



## Anexo E (normativo)

### Determinação da resistência ao choque – Ensaio Treton

#### E.1 Princípio

Este anexo estabelece o método de ensaio para determinação da resistência ao choque.

#### E.2 Aparelhagem

**E.2.1** Estufa capaz de manter a faixa térmica de trabalho entre 100 °C e 110 °C.

**E.2.2** Balança com capacidade de pelo menos 10 kg e sensibilidade de 0,1 g.

**E.2.3** Peneiras de malhas quadradas, com abertura de 16 mm, 19 mm e 1,7 mm (ver ABNT NBR NM ISO 3310-1).

**E.2.4** Vasilhas.

**E.2.5** Aparelho Treton, para determinação da resistência ao choque do material destinado ao lastro-padrão.

#### E.3 Preparação dos corpos de prova

A amostra deve ser peneirada nas peneiras de 19 mm e de 16 mm. Os corpos de prova devem ser retirados da fração passante na peneira de 19 mm e retidos na peneira de 16 mm, compostos por 60 fragmentos, divididos em três conjuntos de 20 fragmentos cada, coletados entre os mais cúbicos.

#### E.4 Procedimento

**E.4.1** Lavar o corpo de prova e posteriormente secá-lo em estufa, entre 105 °C e 110 °C, por 24 h. Depois de resfriado, verificar a sua massa até se manter constante, com precisão de 0,1 g.

**E.4.2** No aparelho Treton, o corpo de prova deve ser submetido a dez choques provocados por queda livre de 380 mm, de uma massa de 16 kg.

**E.4.3** O material obtido no aparelho Treton deve ser lavado em água corrente na peneira de 1,7 mm, até que fique livre de pó, e secado em estufa entre 105 °C e 110 °C, por 24 h. Depois de resfriado, verificar a sua massa, até se manter constante, com precisão de 0,1 g.

## ABNT NBR 5564:2021

### E.5 Expressão dos resultados

A resistência ao choque deve ser calculada pela seguinte equação:

$$T = \frac{m_i - m_f}{m_f} \times 100$$

onde

$T$  é a resistência ao choque, expressa em porcentagem (%);

$m_i$  é a massa inicial, expressa em gramas (g);

$m_f$  é a massa final, expressa em gramas (g).

O resultado é a média aritmética da resistência ao choque dos três conjuntos de fragmentos da amostra.

### E.6 Relatório de ensaio

O relatório de ensaio deve conter as seguintes informações:

- a) identificação da jazida;
- b) identificação da amostra;
- c) massa medida para cada conjunto de fragmentos da amostra;
- d) resistência ao choque para cada conjunto de fragmentos da amostra;
- e) média aritmética da resistência ao choque de três conjuntos de fragmentos da amostra;
- f) alguma anormalidade verificada.

## **Anexo F** (normativo)

### **Determinação do teor de fragmento macio e friável**

#### **F.1 Princípio**

Este anexo estabelece o método de ensaio para determinação do teor de fragmento macio e friável.

#### **F.2 Aparelhagem**

- F.2.1** Estufa capaz de manter a faixa térmica de trabalho entre 105 °C e 110 °C.
- F.2.2** Balança com capacidade de pelo menos 15 kg e precisão de 0,1 g.
- F.2.3** Peneiras de malhas quadradas de 9,5 mm, 12,5 mm, 19 mm, 25,0 mm, 37,5 mm e 50 mm.
- F.2.4** Recipientes de dimensões e formas que permitam que o corpo de prova fique espalhado no fundo, em camada delgada.
- F.2.5** Aparelho para determinação do teor de fragmento macio e friável, conforme a Figura F.1.

## ABNT NBR 5564:2021

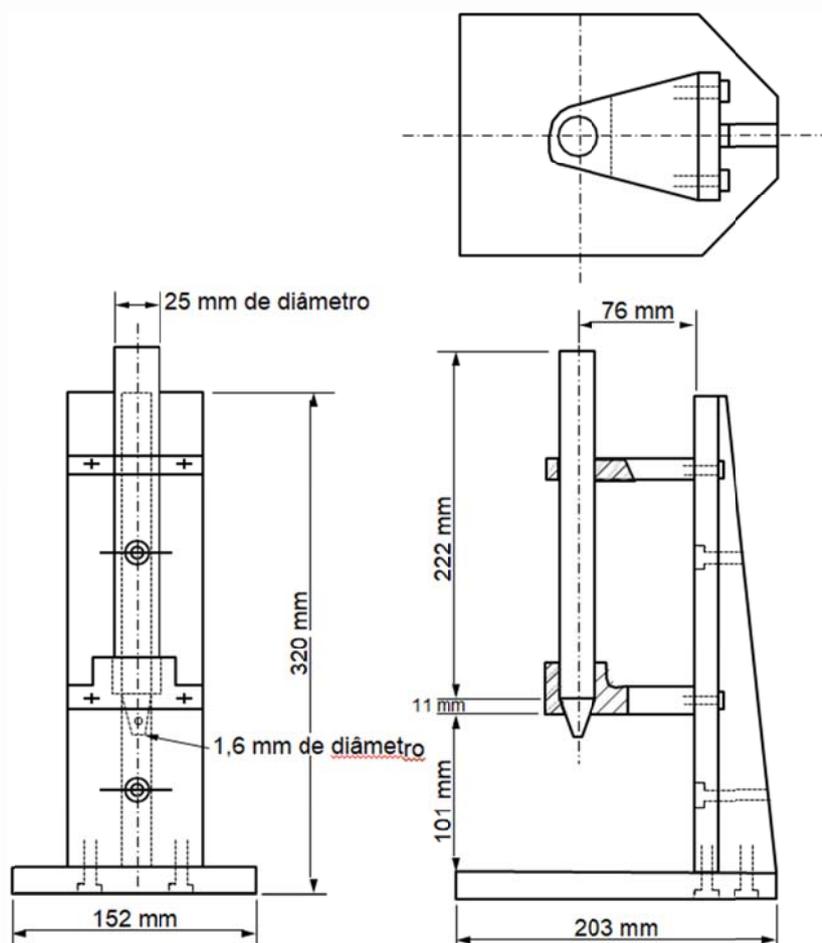


Figura F.1 – Aparelho para determinação do teor de fragmento macio e friável

### F.3 Preparação dos corpos de prova

A amostra deve ser seca, em estufa, a uma temperatura não superior a 110 °C, até apresentar massa constante. O corpo de prova deve ser obtido pelo peneiramento da amostra, de tal forma que não apresente valor inferior ao indicado na Tabela F.1.

Quando a massa de um corpo de prova representar menos de 10 % de sua massa total da amostra, ele não pode ser ensaiado.

Tabela F.1 – Composição granulométrica mínima do corpo de prova

Tamanho do fragmento mm	Massa mínima g
9,5 a 12,5	200
12,6 a 19,0	600
19,1 a 25,0	1 500
25,1 a 37,5	4 500
37,6 a 50,0	12 000

NOTA Cada faixa de tamanhos desta Tabela corresponde a um corpo de prova. Esta Tabela é específica para o material composto por mistura de diferentes rochas. Quando o material for composto por um tipo apenas de rocha, a quantidade desta Tabela pode ser reduzida.

## F.4 Procedimento

**F.4.1** Determinar a massa e a quantidade de partícula constituinte de cada corpo de prova (faixa de tamanho do fragmento), obtendo-se a massa ( $MCP_{faixa-xx}$ ) para cada faixa.

**F.4.2** No aparelho, submeter cada partícula do corpo de prova ao movimento esclerométrico da vareta de bronze, de uma altura de queda de 101 mm de distância entre a base do aparelho e a vareta, conforme a Figura F.1.

**F.4.3** A partícula constituinte de cada corpo de prova que apresentar sulco, sem o depósito do metal da vareta ou a partícula separada do corpo da rocha, deve ser considerada do grupo macia e friável ( $G_{mf}$ ). Aquela que não apresentar sulco deve ser considerada do grupo não macia e não friável ( $G_{nmf}$ ). Determinar a massa por faixa de tamanho considerada macia e friável ( $MG_{mf-faixa-xx}$ ), assim como a quantidade de partículas.

## F.5 Expressão dos resultados

O cálculo da porcentagem em massa de partículas macias e friáveis para cada corpo de prova (faixa de tamanho do fragmento) é realizado pela seguinte equação:

$$MF_{xx} = \frac{MG_{mf-faixa-xx}}{MCP_{faixa-xx}} \cdot 100$$

onde

$MF_{xx}$  é a porcentagem em massa de partículas macias e friáveis, na faixa de tamanho xx, expressa em porcentagem (%);

$MG_{mf-faixa-xx}$  é a massa do grupo macia e friável, na faixa de tamanho xx, expressa em gramas (g);

$MCP_{faixa-xx}$  é a massa do corpo de prova, composto pela faixa de tamanho xx, expressa em gramas (g).

Devem ser calculadas:

- a porcentagem de massa e a quantidade de partículas macias e friáveis de cada corpo de prova;
- a porcentagem média ponderada das partículas macias e friáveis, em relação ao total dos corpos de prova.

## F.6 Relatório de ensaio

O relatório de ensaio deve conter as seguintes informações:

- identificação da jazida;
- identificação da amostra;
- massa medida para cada corpo de prova;
- quantidade de partículas de cada corpo de prova;

## ABNT NBR 5564:2021

- e) porcentagem retida em cada peneira na determinação da granulometria;
- f) massa medida das partículas consideradas macias e friáveis;
- g) quantidade de partículas consideradas macias e friáveis;
- h) porcentagem calculada por meio da média ponderada das partículas macias e friáveis;
- i) resultado do ensaio;
- j) anormalidade verificada.



## Anexo G (normativo)

### Amostragem de material de lastro para via férrea

#### G.1 Princípio

Este anexo estabelece os critérios para determinação da amostragem de material de lastro para via férrea.

Os procedimentos descritos neste Anexo devem ser seguidos focando na obtenção de amostras representativas de lastro para a realização de ensaios com a finalidade de caracterizar o material ou de verificar se as características do material estão de acordo com os dados de caracterização fornecidos.

A amostragem de lastro para caracterização é normalmente obtida de diversas formas, por exemplo: correias transportadoras em pedreiras, silos, pilhas de material, vagões de trens ou da via férrea. Neste processo, o cuidado para obter amostras de composição homogênea é fundamental, visando assegurar representatividade nos ensaios de caracterização. Uma amostra com características diferentes das fornecidas pela pedreira, obtida em uma coleta inadequada, pode levar a divergências entre os ensaios de caracterização e o desempenho do material de fato aplicado na via permanente.

#### G.2 Considerações gerais

**G.2.1** O tamanho do lote e da amostra é de acordo com a especificação do material. Na ausência dessa especificação, recomenda-se que a quantidade de material esteja entre 600 kg e 800 kg, objetivando assegurar a representatividade.

**G.2.2** Quando identificadas variações litológicas no material, é necessária a realização de um número maior na amostragem (no mínimo 3 amostras), coletadas em locais diversos, a fim de verificar se as proporções dos litotipos são mantidas e qual é a sua influência na variabilidade dos resultados de caracterização. Para o controle técnico de materiais compostos por diversas litologias, deve-se reduzir o intervalo entre as coletas de amostras para caracterização.

**G.2.3** Para assegurar que a amostra seja representativa do lote, especial cuidado é dado à sua inspeção, de modo a verificar se ele apresenta mistura homogênea, tanto quanto à natureza do material como quanto ao tamanho do fragmento e quanto à impureza.

**G.2.4** Caso o lote não apresente mistura homogênea, proceder à sua mistura convenientemente.

**G.2.5** Na impossibilidade de se proceder à mistura do material de um lote, é preferível dividi-lo em lotes homogêneos, tantos quantos forem necessários, deles extraindo-se parcelas de amostras proporcionais ao seu tamanho.

**G.2.6** Quando houver a certeza de que o material pode ser depois convenientemente misturado para a sua utilização, as parcelas obtidas devem ser misturadas de forma que a mistura resultante seja representativa do lote.

## **ABNT NBR 5564:2021**

**G.2.7** Na hipótese contrária ao descrito em G.2.6, cada parcela representa apenas o material do qual foi extraída e assim tem de ser tratada em toda a verificação.

**G.2.8** Proceder à amostragem no mínimo em um dos locais a seguir:

- a) local de produção e/ou beneficiamento do material;
- b) carregamento do material;
- c) descarga do material;
- d) via férrea.

**G.2.9** A amostragem pode ser feita em qualquer dos seguintes locais:

- a) correia transportadora;
- b) silo;
- c) pilha;
- d) vagão.

**G.2.10** Proceder à coleta da amostra sob a orientação direta de pessoal qualificado, que tenha pleno conhecimento não apenas da sua técnica, mas também da finalidade dela, e também das condições de produção, beneficiamento, armazenamento e transporte do material.

**G.2.11** Dar preferência à coleta com o material em movimento, quando é feita por tomada parcial, em intervalo de tempo conveniente.

**G.2.12** Coletar a amostra de várias partes do lote.

**G.2.13** Acondicionar a amostra em recipiente que a proteja contra qualquer modificação e/ou adulteração.

**G.2.14** Marcar a embalagem, de forma a assegurar a sua perfeita identificação com o lote do qual se originou.

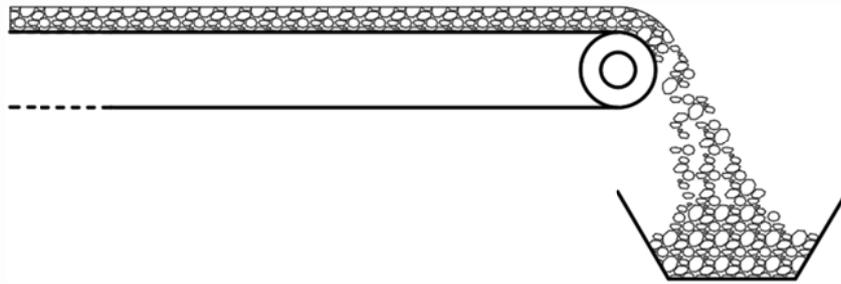
**G.2.15** É importante que o material amostrado não passe por qualquer tipo de britagem posterior à sua coleta na jazida ou em outro local, de modo que as características granulométricas, de forma e de resistência das partículas não sejam modificadas.

## **G.3 Coleta de material**

### **G.3.1 Correia transportadora**

#### **G.3.1.1 Em funcionamento**

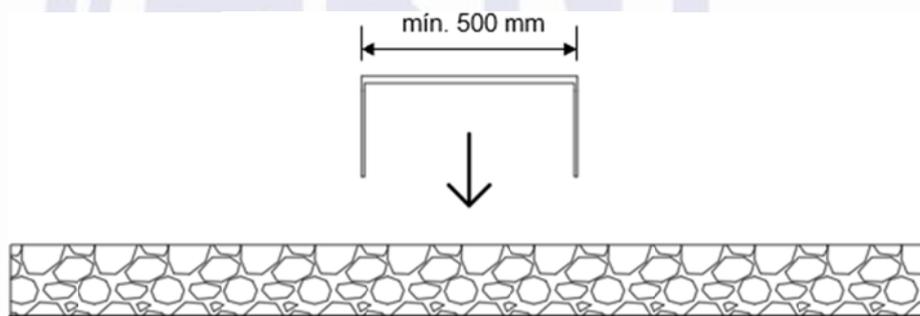
Na correia transportadora, proceder à coleta em recipiente capaz de assegurar o recolhimento do jato em toda a sua largura, durante a operação normal de transporte, e sem interrupção dela (ver Figura G.1). A amostragem deve ser feita no maior número de partes possível, com o maior intervalo de tempo possível, porém assegurando a homogeneidade.



**Figura G.1 – Esquema de coleta na descarga de correia transportadora em funcionamento**

### G.3.1.2 Com a pausa do circuito

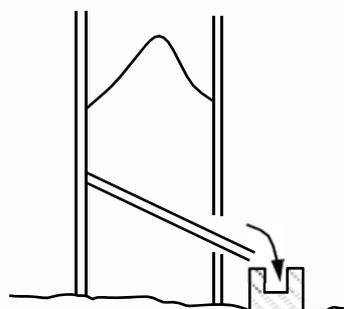
Caso seja possível realizar a pausa do beneficiamento, o material pode ser coletado de cima da correia transportadora. Para esta finalidade, é necessário utilizar chapas rígidas para delimitar a área de coleta (ver Figura G.2). É importante que seja possível travar as chapas na vertical e que estas não possam se deformar facilmente, de modo que não seja coletado o material externo à delimitação. O volume delimitado pelas chapas deve ser completamente coletado, utilizando uma escova ou pincel de cerdas para retirar o material fino sobre a correia. A distância mínima entre as chapas deve ser de 500 mm, e a coleta deve ser repetida até se obter a quantidade de materiais necessários para os ensaios.



**Figura G.2 – Esquema de coleta em correia transportadora com pausa no circuito**

### G.3.2 Silo

Proceder à coleta em silo, após escoado o mínimo de 2 t do material. A coleta deve ser feita, também, por partes e com o maior intervalo de tempo possível (ver Figura G.3).



**Figura G.3 – Esquema de coleta em silo**

## ABNT NBR 5564:2021

### G.3.3 Pilha

Em pilha, uma das melhores maneiras de fazer a coleta é utilizando a pá carregadeira. Para tanto, o operador deve posicionar a máquina com a pá na direção da pilha, posicionada a uma altura de 150 mm do chão. Em seguida, o operador deve levar a máquina em direção à pilha e inserir nela a pá, sem subir com os pneus na pilha. Sem mover a pá carregadeira, o operador deve erguer a pá e em seguida virá-la para baixo, deixando o material cair novamente no local da pilha de onde foi retirado, assim misturando o material deste local da pilha. Em seguida realizar uma inspeção visual para verificar se o material ainda está bastante segregado e repetir o procedimento, se necessário.

Após misturar o material, o operador deve novamente inserir a pá na pilha, seguindo o mesmo procedimento, porém desta vez se afastando da pilha, com a pá levantada e carregada de material. Em seguida, o material deve ser derrubado no chão, formando uma pilha menor do que a pilha inicial. Por fim, o material da nova pilha deve ser quarteado (ver Figura G.4), de modo a se obter a quantidade necessária. É desejável que este procedimento seja realizado em diferentes pontos da pilha, para obter maior representatividade da amostra.

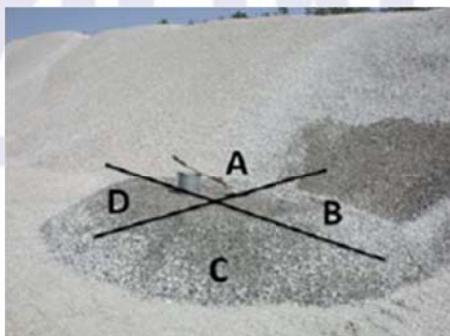


Figura G.4 – Esquema de coleta em pilha

### G.3.4 Vagão

No carregamento de vagão, recomenda-se a coleta de acordo com G.3.5.

Quando isto não for possível, a coleta deve ser feita sem que o vagão tenha sofrido movimento importante, visando manter a homogeneidade aparente do material, deve-se coletar em diferentes posições de descarga do vagão, especialmente das partes superior e inferior.

Na descarga do vagão, proceder à coleta durante toda a fase da operação de descarga, por recolhimento de partes ao acaso e a intervalos de tempo uniformes, se possível (ver Figura G.5).

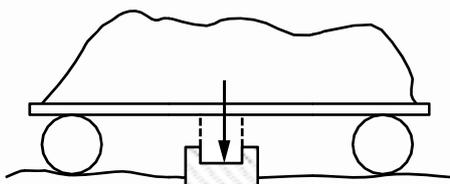


Figura G.5 – Esquema de coleta pelo fundo do vagão

### G.3.5 Via férrea

Na via férrea, a coleta deve ser feita por partes e de acordo com a homogeneidade aparente do material.

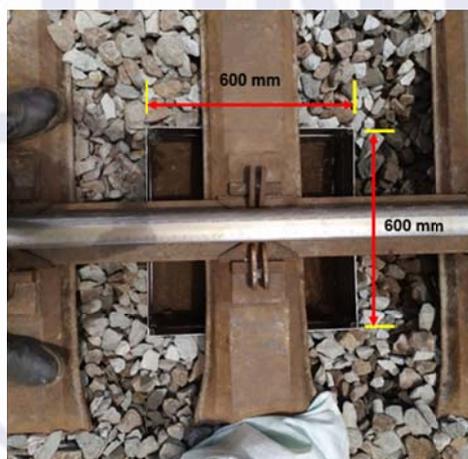
Deve ser adotado o maior intervalo possível entre os dormentes, porém não inferior a quatro dormentes.

Uma parcela deve ser extraída no eixo da via, entre dois dormentes, e até a profundidade da plataforma.

A parcela seguinte deve ser extraída sob a zona de socaria do dormente, também até a profundidade da plataforma.

Nas parcelas seguintes, deve-se repetir o ciclo descrito nesta subseção.

Objetivando padronizar a amostragem, recomenda-se coletar o material em uma área quadrada de no mínimo 360 000 mm<sup>2</sup> (600 mm x 600 mm), tomando a interseção entre o trilho e o dormente como o centro desta área (ver Figura G.6). O material deve ser coletado na projeção desta delimitação, até o fundo da camada de lastro, de preferência utilizando uma caixa especialmente projetada para esta finalidade. Ao chegar na plataforma, deve-se utilizar escova ou pincel de cerdas para auxiliar a coleta do material fino com uma pá pequena. O processo deve ser repetido em outros dormentes da via, para assegurar a representatividade da amostra, seguindo o intervalo de pelo menos quatro dormentes entre as coletas.



**Figura G.6 – Esquema de coleta na via férrea**

Especial cuidado deve ser tomado para que os dormentes de via não fiquem desguarnecidos em tráfego.

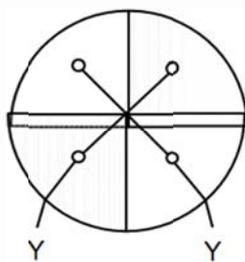
#### **G.4 Preparação da amostra**

O material coletado deve ser convenientemente misturado e espalhado em local inerte e plano, formando uma camada delgada, com altura uniforme, e tão circular quanto possível.

Deve-se fazer uma divisão em quartos e tomar os dois quartos opostos, que devem ser novamente misturados, e pela repetição do ciclo novamente separados, até que se obtenha o tamanho final da amostra desejada (ver Figura G.7).

A fim de aproveitar ao máximo a amostra coletada, recomenda-se que a sequência de ensaios se inicie por ensaios não destrutivos (por exemplo, composição granulométrica, forma dos fragmentos etc.), em que as partículas podem ser reutilizadas e, posteriormente, realizados os ensaios destrutivos (por exemplo, resistência à intempérie, ao desgaste, ao choque, à compressão axial etc.), cujas partículas não podem ser reutilizadas.

## ABNT NBR 5564:2021



Cada Y indica os quartos opostos a serem misturados.

**Figura G.7 – Esquema da divisão da amostra em quartos (quarteamento)**



## **Anexo H** (informativo)

### **Informações do pedido de compra**

Recomenda-se que o pedido de compra contenha no mínimo as seguintes informações:

- a) quantidade;
- b) designação;
- c) características petrográficas;
- d) cronograma de entrega;
- e) destino e transporte a ser utilizado;
- f) local dos ensaios de recebimento.

A critério do comprador, também podem ser solicitados ensaios não obrigatórios no pedido.

NOTA A unidade de medida do lastro é a tonelada (t).

## Anexo I (normativo)

### Determinação da forma dos fragmentos de rocha britada por meio do calibre

#### I.1 Princípio

Este método de ensaio cobre a determinação das porcentagens de partículas lamelares, alongadas ou lamelares e alongadas em agregados graúdos, conforme a ASTM D4791, objetivando avaliar a forma dos fragmentos de rocha britada a serem utilizados na camada de lastro ferroviário, por meio do dispositivo calibre.

Partículas individuais do agregado de tamanhos específicos de peneiras devem ser medidas para determinar as taxas de largura/espessura, comprimento/largura ou comprimento/espessura.

Este método de ensaio fornece um meio para verificar a conformidade com as especificações que limitam tais partículas ou para determinar as características relativas da forma dos agregados.

#### I.2 Aparelhagem

**I.2.1** Aparelho adequado para ensaiar partículas de agregado em conformidade com o descrito em I.2, nas proporções dimensionais desejadas.

**I.2.2** O calibre (ver Figuras I.1 e I.2) é um exemplo de dispositivo adequado para este método de ensaio. O dispositivo ilustrado na Figura I.1 consiste em uma placa de base com duas hastes fixas e um braço oscilante montado entre elas, de modo que as aberturas entre os braços e as hastes mantenham uma relação constante. A posição do eixo pode ser ajustada para fornecer a proporção desejada das dimensões de abertura. A Figura I.1 ilustra um dispositivo no qual as relações de 1:2, 1:3, 1:4 e 1:5 podem ser determinadas. O dispositivo ilustrado na Figura I.2 contém vários pontos fixos e tem a capacidade de medir várias razões simultaneamente.

As configurações quanto à taxa no calibre devem ser verificadas pelo uso de um micrômetro ou outro dispositivo apropriado.

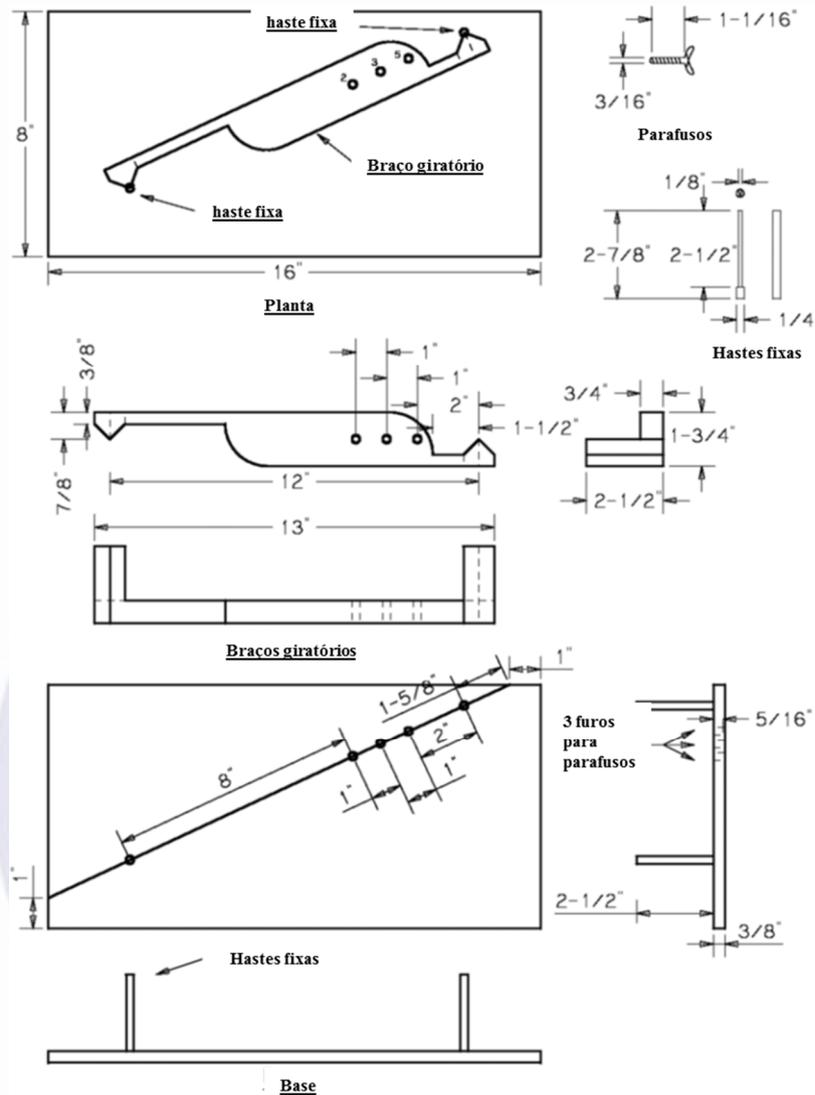


Figura I.1 – Esquema do calibre



Figura I.2 – Calibre

- I.2.3 Balança com precisão de 0,5 % da massa da amostra.
- I.2.4 Estufa capaz de manter a temperatura em  $(110 \pm 5) ^\circ\text{C}$ .

**ABNT NBR 5564:2021****I.3 Amostragem**

**I.3.1** A amostragem de agregados graúdos e a redução da massa da amostra de campo para ensaios laboratoriais devem ser realizadas de acordo com a ABNT NBR 16915.

**I.3.2** Deve-se misturar completamente a amostra e reduzir para uma quantidade adequada para ensaio. A massa da amostra de ensaio deve estar em conformidade com a Tabela I.1.

**Tabela I.1 – Valores para amostragem mínima**

<b>Tamanho de abertura nominal máxima</b> pol (mm)	<b>Massa mínima de amostragem para o ensaio</b> lb (kg)
3/8 (9,5)	2 (1)
1/2 (12,5)	4 (2)
3/4 (19,0)	11 (5)
1 (25,0)	22 (10)
1 1/2 (37,5)	33 (15)
2 (50)	44 (20)
2 1/2 (63)	77 (35)
3 (75)	130 (60)
3 1/2 (90)	220 (100)
4 (100)	330 (150)
4 1/2 (112)	440 (200)
5 (125)	660 (300)
6 (150)	1100 (500)

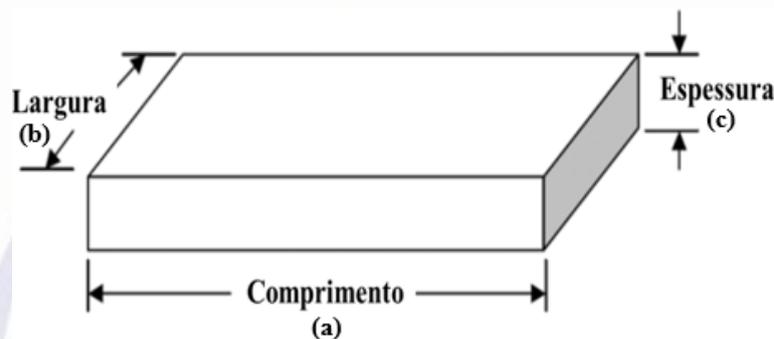
**I.4 Procedimento**

**I.4.1** Se for necessária a determinação em massa, uma estufa deve ser utilizada para secar a amostra a uma massa constante a uma temperatura de  $110 \text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ . Se a determinação for por contagem de partículas, a secagem não é necessária.

**I.4.2** Realizar a análise granulométrica da amostra, de acordo com a ABNT NBR NM 248, nas peneiras de 63 mm, 50 mm, 38 mm, 25 mm, 19 mm e 12,5 mm. Desprezar as frações passantes na peneira de 12,5 mm e aquelas frações que retiverem menos que 10 % em massa. Determinar a porcentagem de massa retida em cada peneira. Posteriormente, de cada fração obtida, a amostra deve ser quarteada (quando necessário), até que sejam obtidas 100 partículas para cada fração de tamanho a ser avaliado. Caso a fração não alcance a quantidade de 100 partículas e a massa retida seja superior a 10 %, a fração granulométrica deve ser avaliada.

**I.4.3** Ensaiar cada uma das partículas em cada fração de tamanho, classificando-as em um dos quatro grupos: (1) partículas lamelares, (2) partículas alongadas, (3) partículas que atendem aos critérios do grupo (1) e do grupo (2); (4) partículas não lamelares e alongadas, que não atendem aos critérios do grupo (1) ou do grupo (2).

**1.4.4** Cada partícula deve ser submetida ao ensaio de partículas lamelares e ao ensaio de partículas alongadas, de acordo com 1.4.5.1 a 1.4.5.3. Se for determinado que a partícula é lamelar, mas não é alongada, ela é colocada no grupo “lamelar”. Se for determinado que a partícula não é lamelar, mas é alongada, ela é colocada no grupo “alongado”. Em alguns casos, pode ser possível que uma partícula atenda aos critérios de uma partícula lamelar e de uma partícula alongada. Nestes casos, a partícula é colocada no grupo “partículas que atendem aos critérios do grupo (1) e do grupo (2)”. Se a partícula não for lamelar nem for alongada, ela é colocada no grupo “partículas que não atendem aos critérios do grupo (1) ou do grupo (2)”. Ao final deve ser obtida a quantidade de partículas que compõem as classificações C1 (lamelares; alongadas; lamelares e alongadas) e C2 (não lamelares e alongadas). A Figura 1.3 mostra as dimensões da partícula.



**Figura 1.3 – Dimensões da partícula**

**1.4.5** Usar o dispositivo calibre posicionado na proporção adequada, como mostrado na Figura 1.4, conforme 1.4.5.1 a 1.4.5.3.

#### **1.4.5.1 Ensaio de partículas lamelares**

Especificar a abertura maior ou igual à largura máxima da partícula. A partícula é considerada lamelar se a espessura máxima puder ser colocada pela abertura menor.

#### **1.4.5.2 Ensaio de partículas alongadas**

Especificar a abertura maior ou igual ao comprimento máximo da partícula. A partícula é considerada alongada se a largura máxima puder ser colocada pela abertura menor.

#### **1.4.5.3 Ensaio de partículas lamelares e alongadas**

Especificar a abertura maior ou igual ao comprimento máximo da partícula. A partícula é considerada lamelar e alongada se a espessura máxima puder ser colocada pela abertura menor.

**1.4.6** Depois de cada uma das partículas terem sido classificadas em um dos grupos descritos em 1.4.5, determinar a proporção da amostra em cada grupo por contagem ou massa, conforme necessário.

## ABNT NBR 5564:2021

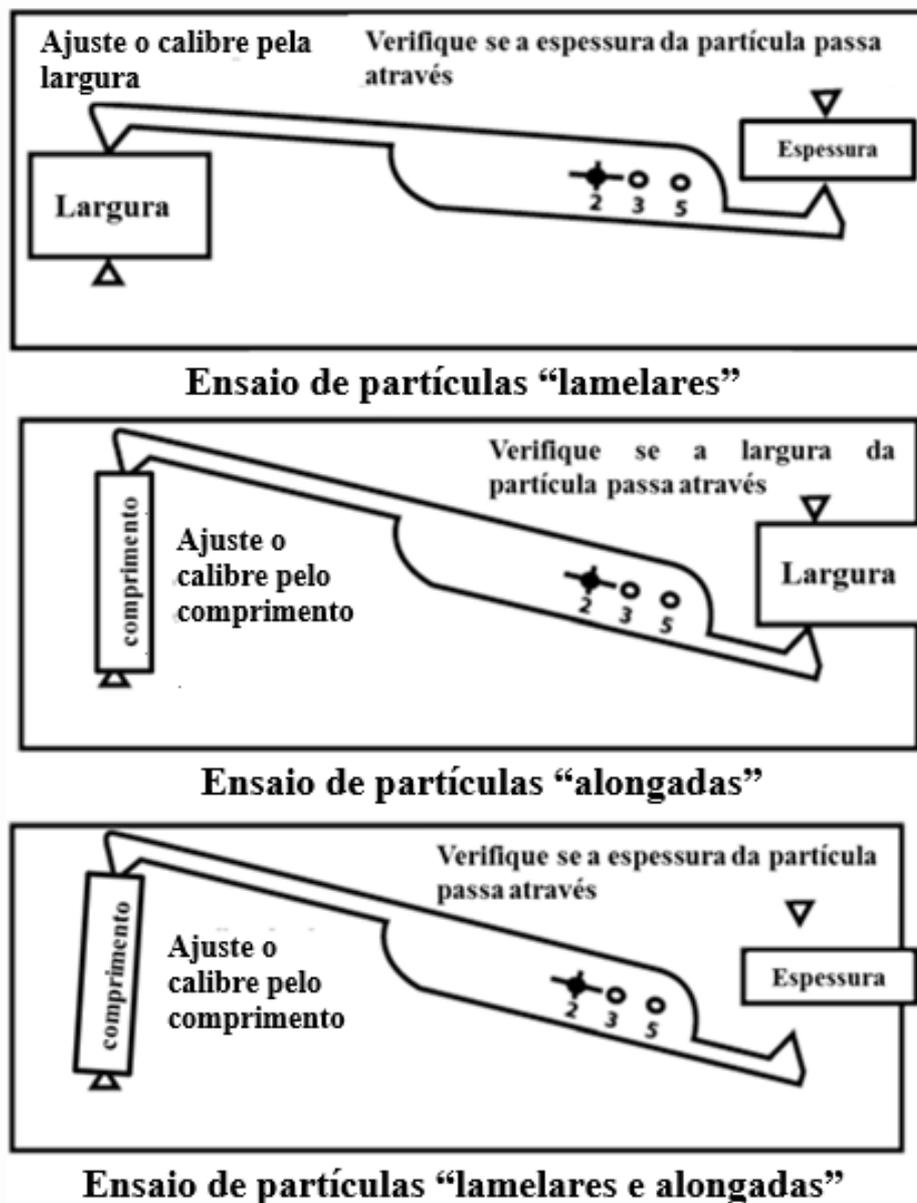


Figura I.4 – Utilização do calibre

## I.5 Cálculo

Calcular por contagem ou massa a quantidade de partículas que compõem as classificações C1 (lamelares; alongadas; lamelares e alongadas) e C2 (não lamelares e alongadas). Calcular a porcentagem de partículas em cada classificação para o 1 % mais próximo de cada fração de tamanho ensaiada.

## I.6 Relatório do ensaio

O relatório deve conter as seguintes informações:

- identificação dos agregados graúdos;
- classificação granulométrica da amostra, mostrando a porcentagem retida em cada peneira;

- c) número de partículas ensaiadas em cada tamanho de peneira;
- d) porcentagens calculadas por número ou massa, ou por ambas, para cada grupo: (1) partículas lamelares, (2) partículas alongadas; (3) partículas que atendem aos critérios do grupo (1) e do grupo (2); (4) partículas que não atendem aos critérios do grupo (1) ou do grupo (2);
- e) porcentagens obtidas nas classificações C1 (lamelares; alongadas; lamelares e alongadas) e C2 (não lamelares e alongadas);
- f) relação dimensional utilizada nos ensaios;
- g) quando necessário, porcentagens médias ponderadas com base nas proporções reais ou assumidas dos vários tamanhos de peneira ensaiados. Informar também a classificação usada para a média ponderada.



## Anexo J (normativo)

### Determinação da resistência ao desgaste – Ensaio Micro-Deval

#### J.1 Princípio

Este método de ensaio consiste na determinação da resistência à abrasão para o ensaio em agregado graúdo usando o equipamento Micro-Deval, com base na ASTM D6928.

O ensaio de abrasão Micro-Deval é um ensaio de agregado para determinar a perda de abrasão na presença de água e uma carga abrasiva. Muitos agregados são mais suscetíveis à abrasão quando molhados do que secos, e o uso de água neste ensaio incorpora essa redução na resistência à degradação em contraste com alguns outros ensaios, que são conduzidos em agregados secos. Os resultados do ensaio são úteis na avaliação da resistência à dureza/abrasão do agregado graúdo sujeito a abrasão.

O ensaio de abrasão Micro-Deval é útil para detectar alterações nas propriedades do agregado produzidas a partir de uma fonte de agregado, como parte de um processo de controle ou garantia de qualidade.

#### J.2 Resumo do método de ensaio

O ensaio Micro-Deval é uma medida de resistência à abrasão e durabilidade dos agregados minerais resultantes de uma combinação de ações, incluindo abrasão e esmagamento com bolas de aço na presença de água. Uma amostra com classificação-padrão é inicialmente embebido em água por não menos de 1 h. A amostra é, em seguida, colocada em um recipiente específico com 2,0 L de água e uma carga abrasiva composta por 5 000 g, constituída por esferas de aço com 9,5 mm de diâmetro.

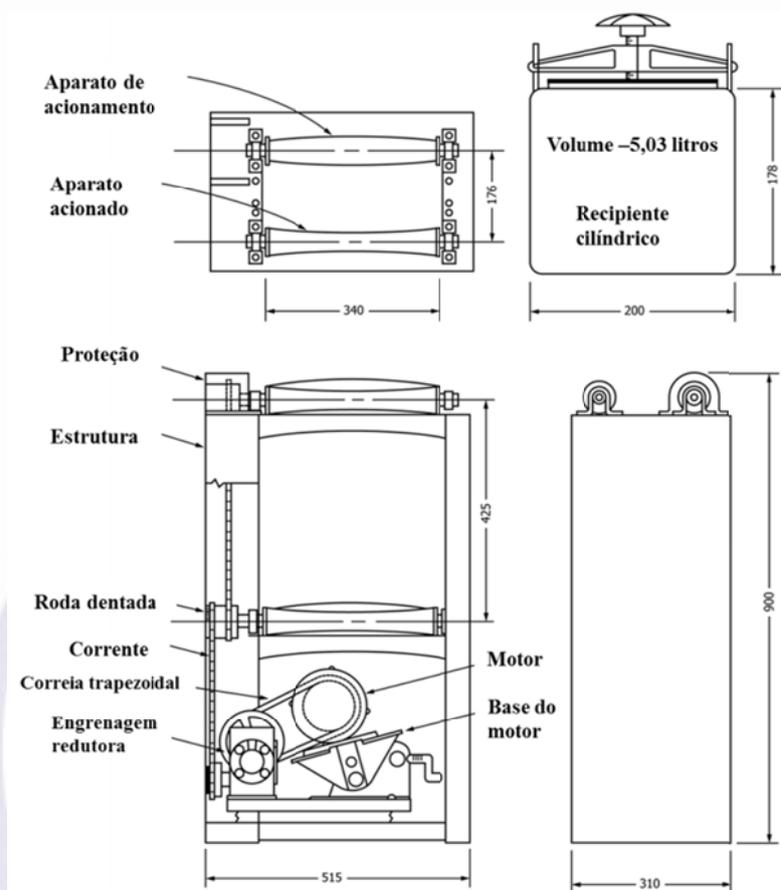
O frasco, o agregado, a água e a carga são revolvidos a 100 r/min por até 2 h, dependendo do tamanho da partícula. A amostra é então lavada e secada. A perda é a quantidade de material passando pela peneira de 1,18 mm, expressa em porcentagem em massa da amostra original.

#### J.3 Aparelhagem

**J.3.1** Máquina de abrasão Micro-Deval, é um recipiente para rotação com funcionamento a  $(100 \pm 5)$  r/min (ver Figura J.1).

A máquina de abrasão Micro-Deval equipada com um contador pode ser utilizada se o ensaio for realizado com base no número de rotações.

Dimensões em milímetros



**Figura J.1 – Máquina de abrasão Micro-Deval e recipiente**

**J.3.2** Recipientes em geral, frascos de aço inoxidável Micro-Deval com capacidade de 5 L aproximadamente, uma tampa de travamento e uma junta capaz torná-lo hermético. O diâmetro externo do frasco de abrasão deve ser de 194 mm a 202 mm e a altura interna deve ser de 170 mm a 177 mm. As superfícies interna e externa dos frascos devem ser lisas e não podem apresentar sulcos ou recortes significativos (ver Figura J.1).

**J.3.3** Carga abrasiva representada por esferas magnéticas de aço inoxidável, com diâmetro de  $9,5 \text{ mm} \pm 0,5 \text{ mm}$ . Cada recipiente requer uma carga de  $5\,000 \pm 5 \text{ g}$  destas esferas.

**J.3.4** Peneiras, com aberturas quadradas, dos seguintes tamanhos: 19,0 mm, 16,0 mm, 12,5 mm, 9,5 mm, 6,7 mm, 6,3 mm, 4,75 mm e 1,18 mm.

**J.3.5** Forno, capaz de manter a temperatura de  $110 \text{ }^\circ\text{C} \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$ .

**J.3.6** Balança com precisão de 1,0 g.

## J.4 Amostragem

**J.4.1** A amostra de ensaio deve ser lavada e secada em forno a  $110 \text{ }^\circ\text{C} \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$ , para obtenção da massa, separada em tamanho das frações individuais.

**J.4.2** O agregado para a amostra de ensaio deve ser constituído por material passante na peneira de 19,0 mm e retida na peneira de 9,5 mm. A amostra seca em estufa de  $1\,500 \text{ g} \pm 5 \text{ g}$  deve ser preparada conforme a Tabela J.1.

**ABNT NBR 5564:2021****Tabela J.1 – Massa para amostra entre peneiras de 19,0 mm e 9,5 mm**

Passante mm	Retida mm	Massa g
19,0	16,0	375
16,0	12,5	375
12,5	9,5	750

**J.4.3** No caso em que o tamanho nominal máximo (TNM) do agregado é de 12,5 mm, uma amostra de 1 500 g  $\pm$  5 g deve ser preparada conforme a Tabela J.2.

**Tabela J.2 – Massa para a amostra de 12,5 TMN**

Passante mm	Retida mm	Massa g
12,5	9,5	750
9,5	6,3	375
6,3	4,75	375

**J.4.4** No caso em que o tamanho nominal máximo do agregado for de 9,5 mm ou menor, uma amostra de 1 500 g  $\pm$  5 g deve ser preparada conforme a Tabela J.3.

**Tabela J.3 – Massa para amostra de 9,5 TMN ou menor**

Passante mm	Retida mm	Massa g
9,5	6,3	750
6,3	4,75	750

**J.5 Procedimento**

**J.5.1** Preparar uma amostra de ensaio representativa de 1 500 g  $\pm$  5 g. Pesar a amostra e registrar a massa (A), até o valor mais próximo de 1,0 g.

**J.5.2** Mergulhar a amostra de ensaio em 2,0 L  $\pm$  0,05 L de água, a uma temperatura de 20 °C  $\pm$  5 °C, durante no mínimo 1 h, no recipiente Micro-Deval ou em algum outro recipiente adequado.

**J.5.3** Colocar a amostra de ensaio no recipiente de abrasão Micro-Deval com 5 000 g  $\pm$  5 g esferas de aço e a água utilizada em J.5.2, para imergir a amostra. Instalar a tampa e colocar o recipiente Micro-Deval na máquina.

**J.5.3.1** Operar a máquina a 100 r/min  $\pm$  5 r/min, por 120 min  $\pm$  1 min, para a classificação mostrada em J.4.2. Para a classificação mostrada em J.4.3, operar a máquina em 105 min  $\pm$  1 min. Para a classificação mostrada em J.4.4, considerar 95 min  $\pm$  1 min.

**J.5.3.2** Se um contador de revoluções estiver disponível, ligar a máquina por (12 000  $\pm$  100) revoluções para a classificação indicada em J.4.2. Para a classificação mostrada em J.4.3, operar

a máquina para  $(10\ 500 \pm 100)$  revoluções. Para a classificação mostrada em J.4.4, considerar a máquina por  $(9\ 500 \pm 100)$  revoluções.

**J.5.4** Esvaziar cuidadosamente a amostra de ensaio e as esferas de aço em peneira de 4,75 mm, sobreposta a uma peneira de 1,18 mm, com cuidado, para remover toda a amostra de ensaio do pote de aço inoxidável até que o material menor que 1,18 mm passe por esta peneira. Descartar o material menor que 1,18 mm. Remover as esferas de aço inoxidável.

**J.5.5** Remover as esferas de aço usando uma das seguintes opções:

- a) Opção 1 - método molhado para remoção de bolas de aço da amostra: remover as esferas de aço inoxidável da amostra imediatamente após a lavagem, utilizando um ímã ou outro meio, tomando cuidado para não perder material algum. Misturar os materiais retidos nas peneiras de 4,75 mm e 1,18 mm. Secar a amostra a uma massa constante a  $110\ ^\circ\text{C} \pm 5\ ^\circ\text{C}$ ;
- b) Opção 2 - método seco para remoção de bolas de aço da amostra: misturar os materiais retidos nas peneiras de 4,75 mm e 1,18 mm e as esferas de aço, tomando cuidado para não perder material. Secar no forno a amostra do ensaio e as esferas de aço a uma massa constante de  $110\ ^\circ\text{C} \pm 5\ ^\circ\text{C}$ . Remover as bolas de aço da amostra seca usando um ímã ou outro meio adequado.

Tomar cuidado ao usar o método úmido para remover as bolas de aço. A tensão superficial da água pode causar a adesão de pequenos pedaços do agregado às esferas.

**J.5.6** Secar a amostra a uma massa constante a  $110\ ^\circ\text{C} \pm 5\ ^\circ\text{C}$ .

**J.5.7** Pesar a amostra com aproximação de 1,0 g (massa B).

## J.6 Cálculo

Calcular a perda de abrasão Micro-Deval, conforme a seguir, para o 0,1 % de precisão mais próximo:

$$\text{Perda percentual} = (A-B) / A \times 100$$

## J.7 Uso do agregado de referência

**J.7.1** Estabelecer um fornecimento adequado de material para uso na verificação da consistência do método de ensaio, sendo um material adequado com uma perda entre 10 % e 25 %. Deste material, dez amostras devem ser tomadas aleatoriamente e ensaiadas. À medida que se identifique a necessidade de um novo fornecimento do agregado de referência, este procedimento deve ser realizado.

**J.7.1.1** O valor médio é o alcance ( $\pm 2$  do desvio-padrão) obtido a partir do fornecimento do agregado de referência determinado a partir das dez amostras.

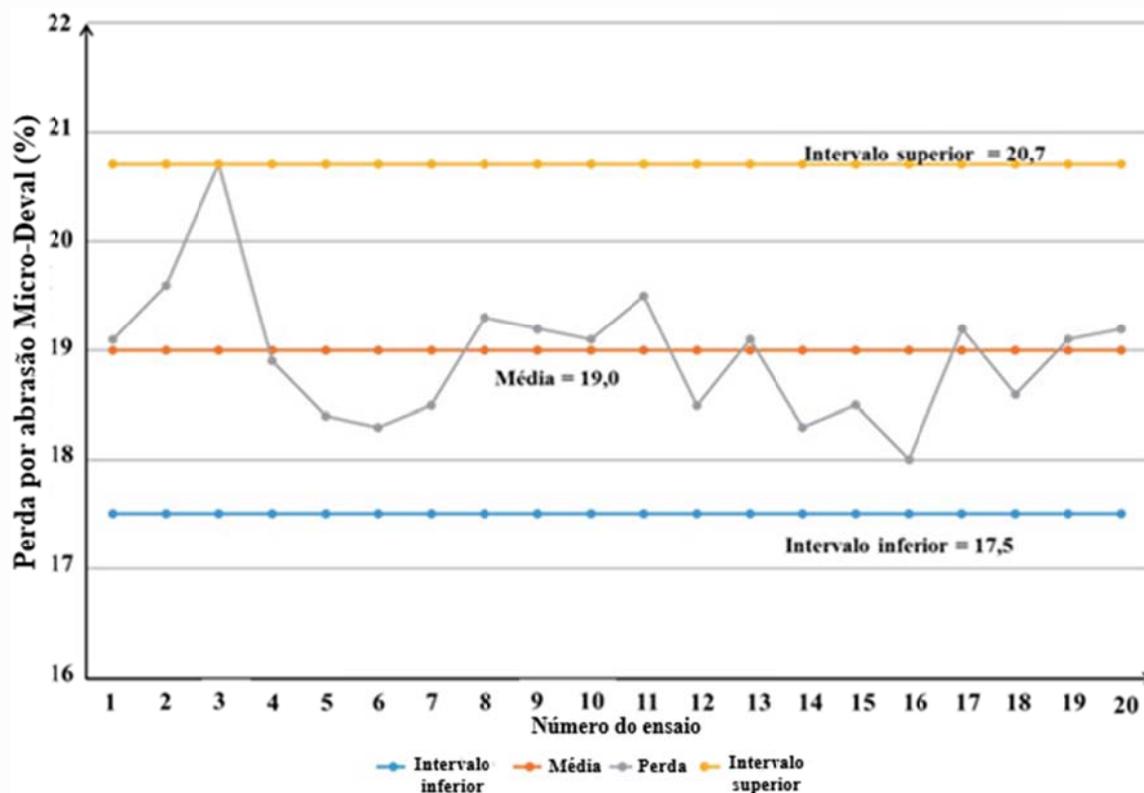
**J.7.1.2** Quando os dados de ensaio do agregado de referência estiverem fora do intervalo, uma investigação sobre a causa provável deve ser conduzida. O equipamento deve ser recalibrado e a técnica reexaminada para detectar a não conformidade com o ensaio de procedimento.

**J.7.2** A cada dez amostras, ou ao menos todas as semanas em que as amostras forem ensaiadas, uma amostra do agregado de referência deve ser ensaiada. Quando 20 amostras de calibração forem

**ABNT NBR 5564:2021**

ensaiadas, e os resultados mostrarem resultados de variação satisfatória, a frequência dos ensaios pode ser alterada para o mínimo de uma amostra por mês.

**J.7.3** Na utilização de gráfico de tendências, a porcentagem de perda das últimas 20 amostras de material de referência deve ser plotada em um gráfico de tendência, a fim de monitorar a variação nos resultados (ver Figura J.2).



**Figura J.2 – Gráfico de tendência de abrasão Micro-Deval para agregado de referência**

## J.8 Relatório

O relatório deve incluir as seguintes informações:

- tamanho máximo do agregado ensaiado e a classificação usada;
- perda percentual da amostra de ensaio para uma casa decimal;
- perda percentual do agregado de calibração ensaiado, o mais próximo do momento em que o agregado foi ensaiado, com 0,1 % de aproximação;
- perda percentual das últimas 20 amostras de calibração do agregado em um gráfico de tendência.

## Anexo K (normativo)

### Determinação do índice de resistência à compressão pontual

#### K.1 Princípio

Este método de ensaio cobre as diretrizes, requisitos, e procedimentos para determinar o índice de resistência ao carregamento pontual com base na ASTM D5731. Este é um ensaio destinado a ser utilizado para classificar a resistência de uma partícula de lastro.

Amostras com diâmetro entre 25 a 85 mm podem ser avaliadas por este método. Dessa forma, podem ser utilizados para ensaios em partículas referentes ao material a ser utilizado como lastro ferroviário.

Este método de ensaio não abrange o tipo de amostra que deve ser ensaiada nem avalia se os fatores anisotrópicos devem ser considerados. As especificidades do programa de ensaio de carga pontual precisam ser desenvolvidas antes do ensaio e, possivelmente, mesmo antes da amostragem. O método usado para especificar como os dados são coletados e calculados não está diretamente relacionado à precisão com que os dados podem ser aplicados em projetos. A forma como se aplicam os resultados obtidos usando este método-padrão está além do seu princípio.

Os valores indicados nas unidades do SI devem ser considerados padrão.

Este ensaio é realizado submetendo uma amostra de rocha a uma carga pontual crescente até a falha, dividindo a amostra. A carga concentrada é aplicada por meio de placas cônicas troncais coaxiais. A carga de ruptura deve ser usada para calcular o índice de resistência à carga pontual.

O índice de resistência à carga pontual pode ser usado para classificar rochas formadoras do lastro. Um método comum usado é por meio da estimativa da resistência de compressão uniaxial.

#### K.2 Significância e aplicação

O ensaio de compressão uniaxial é usado para a determinação da resistência à compressão de amostras de rochas formadoras das partículas de lastro.

O ensaio de resistência à carga pontual é usado para classificação de resistência de materiais de rocha. Os resultados do ensaio podem ser utilizados para comparação entre diferentes litologias.

As amostras de partículas irregulares são ensaiadas pela aplicação de carga concentrada por um par de placas cônicas. Pouca ou nenhuma preparação de amostra é necessária e, portanto, a amostra pode ser ensaiada logo após ser obtida, sendo minimizada qualquer influência da condição de umidade. No entanto, os resultados podem ser altamente influenciados pela forma como a amostra é tratada, desde o momento em que é obtida até o momento em que é ensaiada.

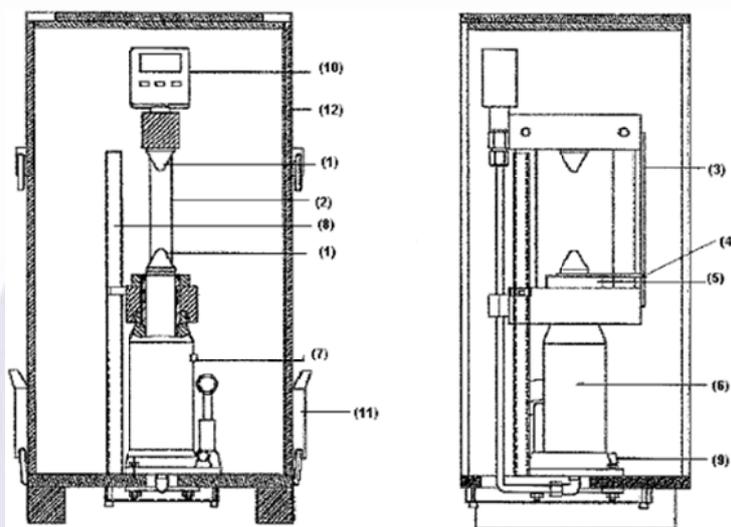
**NOTA** A qualidade do resultado produzido depende da execução e da adequação do equipamento, bem como das instalações utilizadas.

## ABNT NBR 5564:2021

### K.3 Aparelhagem

#### K.3.1 Geral

Um equipamento básico de carga pontual (ver Figura K.1) consiste em um sistema de carregamento normalmente composto por uma estrutura de carregamento, placas, um sistema de medição para indicar a carga  $P$  (necessária para levar a amostra à ruptura) e um meio para medir a distância  $D$  entre os dois pontos de contato do cilindro, no início do ensaio e depois do rompimento. O equipamento deve ser resistente a choques e vibrações, de modo que a precisão das leituras não seja prejudicada por ensaios repetidos.



**Figura K.1 – Exemplo de aparelho de ensaio de carga pontual**

A carga é aplicada às amostras por meio de dois pontos rígidos. (1) Duas colunas fixas (2) Medida (3) Ponteiro de escala/medida (4) Preso por um parafuso (5) ao corpo da bomba hidráulica (6) tampa de enchimento de óleo (7) conjunto do pistão hidráulico incorporado ao reservatório de óleo, uma bomba de ação única, válvula de alívio de pressão (9) e uma alça (8) alavanca da bomba (8) válvula de liberação de pressão (9) tranca para a tampa superior (10) leitura de pressão digital (11) cobertura do equipamento de carga pontual (12).

#### K.3.2 Sistema de carregamento

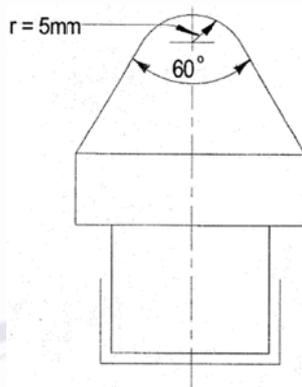
**K.3.2.1** O sistema de carregamento deve ter uma estrutura com uma folga de placa a placa, permitindo o ensaio de amostras de rocha na faixa de tamanho requerida. Normalmente, esse intervalo está entre 25 mm e 100 mm, ou no tamanho máximo de abertura do quadro de reação, de modo que uma distância ajustável esteja disponível para acomodar as amostras de partículas de lastro.

**K.3.2.2** A capacidade de carga deve ser suficiente para romper as amostras maiores e mais fortes a serem ensaiadas.

**K.3.2.3** A estrutura de carga deve ser projetada e construída de modo a não distorcer permanentemente durante as aplicações repetidas da carga de ensaio máxima, e de modo que as placas permaneçam coaxiais dentro de  $\pm 0,2$  mm durante o ensaio. Nenhum componente não rígido é permitido no sistema de carregamento. A rigidez do sistema de carregamento é essencial para evitar o escorregamento, quando amostras de geometria irregular forem ensaiadas.

**K.3.2.4** As placas cônicas, conforme mostrado na Figura K.2, devem ser usadas. O cone esférico de  $60^\circ$  e a ponta do cilindro esférico de 5 mm do raio devem se encontrar tangencialmente. As placas

devem ser de material rígido, como carboneto de tungstênio ou aço temperado, para que permaneçam não danificadas durante o ensaio.



**Figura K.2 – Dimensões da chapa (ponteira) cônica para carga pontual**

### **K.3.3 Sistema de medição de carga**

**K.3.3.1** Um sistema de medição de carga deve ser utilizado, por exemplo, uma célula de carga ou um medidor de pressão hidráulica, que indica carga de ruptura  $P$ , necessária para quebrar a amostra. O sistema deve estar em conformidade com K.3.3.2 a K.3.3.4.

**K.3.3.2** As medições de carga de ruptura,  $P$ , devem ter precisão mínima de  $\pm 5\%$  do sistema de medição de carga em escala total, independentemente do tamanho e da resistência da amostra ensaiada.

**K.3.3.3** A ruptura ocorre frequentemente de forma repentina, portanto, um indicador/valor de carga de pico é necessário para que a carga de ruptura possa ser registrada após cada ensaio.

**K.3.3.4** Se necessário, o sistema deve ser capaz de usar dispositivos de medição de carga intercambiáveis, mecânicos ou eletrônicos, a fim de ser consistente com a resistência estimada da rocha e ter a precisão de leitura desejada.

### **K.3.4 Sistema de medição de distância**

**K.3.4.1** O sistema de medição de distância é um sistema eletrônico de leitura direta, que deve se conectar ao quadro de carga para medir a distância,  $D$ , entre os pontos de contato da amostra no início do ensaio e pouco antes da falha, em conformidade com K.3.4.2 e K.3.4.3.

**K.3.4.2** As medições de  $D$  devem ter precisão mínima de  $\pm 2\%$  da distância entre os pontos de contato, independentemente do tamanho e da resistência da amostra que é ensaiada.

**K.3.4.3** O sistema de medição deve permitir uma verificação do valor de deslocamento quando os dois pratos estiverem em contato e deve incluir um ajuste zero e um meio para gravar ou medir qualquer penetração da amostra pela placa da carga pontual durante o ensaio.

**K.3.4.4** Um instrumento, como um paquímetro, por exemplo, é necessário para medir a largura,  $W$ , (com precisão de  $\pm 5\%$ ).

## **K.4 Amostragem**

**K.4.1** As amostras de rochas devem ser agrupadas com base no tipo de rocha e na resistência estimada.

## ABNT NBR 5564:2021

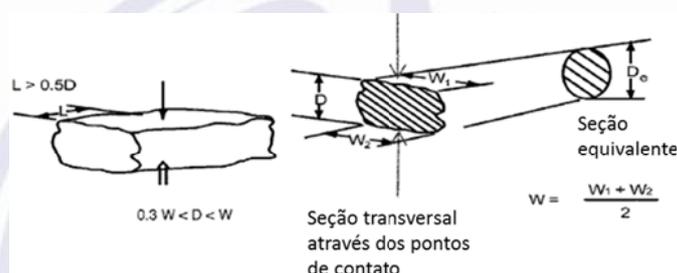
**K.4.2** Ao ensaiar partículas de forma irregular, pelo menos 20 amostras devem ser selecionadas para amostragem.

**K.4.3** Os tamanhos das amostras precisam ser maiores, se a rocha for anisotrópica ou heterogênea.

### K.5 Características das amostras

**K.5.1** O diâmetro externo do ensaio da amostra não pode ser inferior a 25 mm nem superior a 85 mm, com o diâmetro de ensaio preferido entre 25 mm e 63 mm.

**K.5.2** Os requisitos de tamanho e forma devem estar de acordo com a Figura K.3. Nenhuma preparação de amostra é necessária.



**Figura K.3 – Configurações de carga e exigência de forma de amostra para partícula irregular**

**K.5.3** O teor de umidade da amostra pode afetar o valor da força da carga pontual. Portanto, o plano de ensaio deve incluir como o conteúdo de água deve ser incluído no programa de ensaio de carga pontual. Isso pode incluir o registro, o controle e a medição do teor de água.

**K.5.4** As amostras devem ser marcadas e medidas para a realização do ensaio.

**K.5.4.1** A orientação de ensaio desejada da amostra deve ser indicada por linhas de marcação na amostra. Essas linhas devem ser usadas para centralizar a amostra na máquina de ensaio e para assegurar a orientação adequada durante o ensaio, incluindo quaisquer problemas envolvendo rochas anisotrópicas (ver Figura K.4). Essas linhas também podem ser usadas como linhas de referência para medir largura, comprimento e diâmetro.

**K.5.4.2** Realizar a medição de cada dimensão de uma amostra em três locais diferentes e calcular as médias.

### K.6 Procedimento

#### K.6.1 Plano de ensaio

Desenvolver um plano de ensaios e, se necessário, um plano de amostragem para fornecer amostras para o ensaio de carga pontual de acordo com as características indicadas em K.5, para a forma específica da amostra.

#### K.6.2 Ensaios de partículas irregulares

**K.6.2.1** Partículas de rocha, de 25 mm a 85 mm, e da forma mostrada na Figura K.3, são adequadas para o ensaios em bloco e para os ensaios de irregularidade. A relação,  $D/W$ , deve estar entre  $1/3$

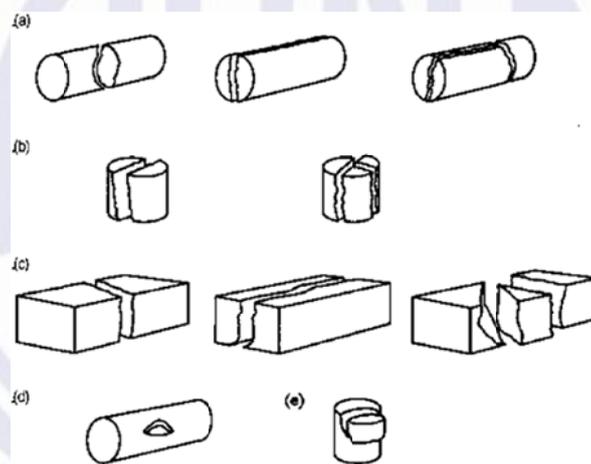
e 1, preferivelmente perto de 1. A distância  $L$  deve ser de pelo menos  $0,5 W$ . Os espécimes adequados podem ser obtidos por amostras maiores ou por espécimes de corte de serra ou cinzelamento, se necessário.

**K.6.2.2** Inserir uma amostra na máquina de ensaio e fechar as platinas para fazer contato com a menor dimensão do pedaço ou bloco, longe das bordas e cantos (ver Figura K.3).

**K.6.2.3** Registrar a distância  $D$  entre os pontos de contato da placa. Registrar a menor largura de amostra,  $W$ , perpendicularmente à direção de carregamento. Se os lados não estiverem paralelos, calcular  $W$  como  $(W_1 + W_2)/2$ , conforme mostrado na Figura K.3. Esta largura,  $W$ , é usada no cálculo do índice de força de carga pontual, independentemente do modo de falha (ver Figura K.4).

**K.6.2.4** Aumentar a carga constantemente, de modo que a falha ocorra dentro de 10 s a 60 s, e registrar a carga de falha,  $P$ . O ensaio deve ser rejeitado se a superfície da fratura passar por apenas um ponto de carregamento (ver Figuras K.4).

**K.6.2.5** Repetir as etapas de K.6.2.2 a K.6.2.4 para cada amostra de ensaio.



#### Legenda

- (a) ensaios diametrais válidos
- (b) ensaios axiais válidos
- (c) ensaios de bloqueio válidos
- (d) ensaio do núcleo inválido
- (e) ensaio axial inválido (ensaio do índice de força de carga pontual)

**Figura K.4 – Modos típicos de falha para ensaios válidos e inválidos**

### K.6.3 Teor de umidade

**K.6.3.1** Para as medições do teor de umidade, realizar o procedimento de medida de teor de umidade conforme a ABNT NBR 6457, para certa porção de material de lastro.

**K.6.3.2** No mínimo o conteúdo de água deve ser registrado como seco ao ar, em estufa, como recebido etc.

**ABNT NBR 5564:2021****K.7 Cálculo****K.7.1 Índice de resistência não corrigido**

A resistência à carga pontual não corrigida é calculada conforme a seguinte equação:

$$I_s = \frac{P}{D_e^2}$$

onde

$P$  é a carga de ruptura, expressa em newtons (N);

$D_e$  é o diâmetro equivalente da amostra cilíndrica (ver Figura K.3), fornecido por:

$D_e^2 = D^2$  para amostras diametrais sem penetração, expresso em milímetros quadrados (mm<sup>2</sup>), ou

$D_e^2 = 4A/\pi$  para axiais, blocos, expresso em milímetros quadrados (mm<sup>2</sup>);

$A$  é a mínima área da seção transversal de um plano pelos pontos de contato do cilindro (ver Figura K.3), expressa em milímetros quadrados (mm<sup>2</sup>).

Se ocorrer penetração significativa na placa durante o ensaio, como no ensaio de arenitos fracos, o valor de  $D$  deve ser o valor final da separação dos pontos de carga,  $D'$ . As medições do diâmetro do núcleo,  $D$  ou da largura da amostra,  $W$ , feitas perpendicularmente à linha que une os pontos de carga, não são afetadas por essa penetração na placa e devem ser retidas nos valores originais. Os valores modificados de  $D_e$  podem ser calculados a partir da seguinte equação:

$$D_e^2 = D \cdot D' \text{ para amostras } = \left(\frac{4}{n}\right) W \cdot D' \text{ para outros formatos}$$

**K.7.2 Índice de carga pontual corrigido por tamanho**

**K.7.2.1** O índice de carga pontual,  $I_s$ , varia em função de  $D$  no ensaio diametral e em função dos ensaios de amostras axiais e blocos, de modo que uma correção de tamanho deve ser aplicada, se os valores de  $D$  para todos os espécimes não forem os mesmos, para obter um valor único de força de carga pontual para as amostras de lastro e um que pode ser usado para fins de classificação de resistência das partículas.

**K.7.2.2** O índice de força de carga pontual com tamanho corrigido,  $I_s(D)$ , de uma amostra de rocha é determinado neste procedimento como o valor de  $I_s$  que teria sido medido, por exemplo, em um ensaio diametral com  $D = 50$  mm e dado o símbolo  $I_s(50)$ . O diâmetro de 50 mm tem sido o diâmetro preferido, desde que o diâmetro esteja associado com designações de qualidade de rocha (DQR).

**K.7.2.3** Quando uma classificação precisa de rochas é essencial, o método mais confiável para se obter  $I_s(50)$  é conduzir os ensaios diametrais em  $D$  ou próximo a 50 mm. A correção de tamanho é desnecessária. Por exemplo, no caso de ensaios diametrais, o diâmetro do núcleo = 54 mm e a correção do tamanho para  $D = 50$  mm não são necessários. A maioria dos ensaios de força de carga pontual é executada usando outros tamanhos ou formas de amostra. Em tais casos, a correção de tamanho descrita em K.7.2.4 ou K.7.2.5 deve ser aplicada.

**K.7.2.4** O método mais confiável de correção de tamanho é ensaiar a amostra em uma faixa de valores  $D$  ou  $D_e$  e plotar graficamente a relação entre  $P$  e  $D_e$ .

**K.7.2.5** Quando o indicado em K.7.2.3 e K.7.2.4 não for prático (por exemplo, ao ensaiar um núcleo com tamanho único com um diâmetro diferente de 50 mm ou se apenas alguns pequenos fragmentos estiverem disponíveis), a correção de tamanho pode ser realizada usando a seguinte equação:

$$I_s(50) = F \cdot I_s$$

O fator de correção de tamanho ( $F$ ) pode ser obtido pela equação:

$$F = \left(\frac{D_e}{50}\right)^{0,45}$$

onde

$F$  é o fator de correção de tamanho.

Para os ensaios próximos do tamanho-padrão de partículas de 50 mm, apenas um pequeno erro é introduzido, usando uma expressão aproximada, a saber:  $F = \left(\frac{D_e}{50}\right)$ , ao invés de usar o procedimento descrito em K.7.2.4.

### K.7.3 Cálculo do valor médio

**K.7.3.1** Os valores médios de  $I_s(50)$ , conforme determinado em K.8.3.2, devem ser usados para classificar as amostras com relação aos seus índices de força de carga pontual.

**K.7.3.2** O valor médio de  $I_s(50)$  deve ser calculado excluindo-se os dois valores mais altos e os dois valores mais baixos de dez valores, ou mais ensaios válidos, e calculando-se a média dos valores restantes. Se um número significativamente menor de amostras for ensaiado, apenas os valores mais altos e mais baixos devem ser excluídos e a média deve ser calculada a partir dos restantes.

### K.7.4 Estimativa da resistência à compressão uniaxial

A resistência à compressão uniaxial estimada pode ser obtida pela seguinte equação:

$$S_c = K \cdot I_s$$

onde

$S_c$  é a resistência à compressão uniaxial, expressa em megapascals (MPa);

$K$  é o índice para o fator de conversão de força que depende da correlação específica entre  $S_c$  e  $I_s$  para uma amostra específica com um diâmetro de ensaio ( $D$ ), expresso em megapascals (MPa);

$I_s$  é o índice de força de carga pontual não corrigido de uma amostra com diâmetro de ensaio específico ( $D$ ).

Se o fator de correlação específico do local  $K$  não estiver disponível, os valores generalizados da Tabela K.1 podem ser usados.

**ABNT NBR 5564:2021****Tabela K.1 – Índice generalizado para o fator de conversão de resistência (*K*)**

<b>Tamanho da amostra mm</b>	<b>Valores de <i>K</i> generalizados</b>
21,5	18
30	19
42	21
50	23
54	24
60	23,5

Se qualquer amostra em um tipo de rocha fornecer um valor de 20 % abaixo da média, esta amostra deve ser ensaiada para possíveis singularidades e deve ser avaliada sobre a validade dos resultados.

**K.8 Relatório de ensaio**

O relatório de ensaio deve conter as seguintes informações:

- a) fonte da amostra, incluindo nome do projeto, localização, forma de coleta e, se conhecido, ambiente de armazenamento. Por exemplo, a localização pode ser especificada em termos de localização e profundidade da amostra;
- b) descrição física da amostra, incluindo o tipo de rocha e a localização e orientação de descontinuidades, como, por exemplo, planos de fraqueza, planos de cama, xistosidade ou grandes inclusões, se houver;
- c) data e pessoal envolvido com a amostragem, preparação da amostra e ensaio;
- d) aparelhos de ensaio usados, número do modelo e calibrações;
- e) no mínimo uma indicação geral da umidade, condição das amostras de ensaio no momento do ensaio, como saturado, conforme recebido, em laboratório, seco ao ar ou em estufa. Em alguns casos, especialmente onde os resultados são sensíveis à água, pode ser necessário informar o teor real de água conforme determinado em conformidade com o método de ensaio.
- f) espessura média e diâmetro médio das amostras de ensaio;
- g) carga máxima aplicada *P*;
- h) distância *D*;
- i) método de preparação e quantidade de amostras ensaiadas;
- j) calculado não corrigido ( $I_s$ ) e corrigido ( $D = 50$  mm),  $I_s(50)$ , valores de índice de força de carga pontual;
- k) valor estimado da compressão uniaxial força ( $\sigma_c$ ) e classificação de força;
- l) tipo e localização da falha, incluindo fotografias das amostras utilizadas antes e depois do ensaio.