



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
Universidade Federal de Ouro Preto
Escola de Minas – Departamento de Engenharia Civil
Curso de Graduação em Engenharia Civil



Victor Antônio Moreira de Faria

**ESTUDO LABORATORIAL DA INFLUÊNCIA DE
PROCESSOS DE INTEMPERISMO NA DEGRADAÇÃO DO
LASTRO FERROVIÁRIO**

Ouro Preto

2021

Estudo Laboratorial da Influência de Processos de Intemperismo na Degradação do
Lastro Ferroviário

Victor Antônio Moreira de Faria

Trabalho Final de Curso apresentado
como parte dos requisitos para obtenção
do Grau de Engenheiro Civil na
Universidade Federal de Ouro Preto.

Data da aprovação: 24/08/2021

Área de concentração: Infraestrutura de Transportes e Materiais de Construção

Orientadores: Prof^a. D.Sc. Daniela Antunes Lessa – UFOP

Eng. M.Sc. Hebert da Consolação Alves – UFOP

Ouro Preto

2021

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

F224e Faria, Victor Antônio Moreira de.
Estudo laboratorial da influência de processos de intemperismo na
degradação do lastro ferroviário. [manuscrito] / Victor Antônio Moreira de
Faria. - 2021.
242 f.: il.: color., gráf., tab..

Orientadores: Profa. Dra. Daniela Antunes Lessa, Me. Hebert da
Consolação Alves.

Coorientador:

Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola
de Minas. Graduação em Engenharia Civil .

1. Ferrovias. 2. Lastro (Ferrovias). 3. Congelamento e degelo. 4.
Escória de aciaria. I. Alves, Hebert da Consolação. II. Lessa, Daniela
Antunes. III. Universidade Federal de Ouro Preto. IV. Título.

CDU 625.141

Bibliotecário(a) Responsável: Sione Galvão Rodrigues - CRB6 / 2526

Estudo Laboratorial da Influência de Processos de Intemperismo na Degradação do
Lastro Ferroviário

Victor Antônio Moreira de Faria

Trabalho Final de Curso apresentado
como parte dos requisitos para obtenção
do Grau de Engenheiro Civil na
Universidade Federal de Ouro Preto.

Data da aprovação: 24/08/2021

Banca examinadora:

Orientadora: Prof^a. D.Sc. Daniela Antunes Lessa – UFOP

Orientador: M.Sc. Hebert da Consolação Alves – UFOP

Membro: Prof. D.Sc. Guilherme Jorge Brigolini Silva – UFOP

Membro: Prof. D.Sc. Gilberto Fernandes – UNICERP

Presidente da banca:



Prof. Daniela Antunes Lessa
DECIV, Escola de Minas/UFOP
SIAPE: 1.280.170

Prof. D.Sc. Daniela Antunes Lessa UF

*Dedico este trabalho aos meus pais, Toninho
e Luciane, por tudo o que representam para mim
e para minha família.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço inicialmente a Deus todo poderoso, pela força e determinação. Aos meus pais, Toninho e Luciane, que tanto lutaram e se esforçaram para que eu pudesse chegar até aqui. O apoio deles foi fundamental na minha caminhada e dedicarei minha vida a sempre honrá-los.

Aos meus irmãos Gabriel e Lara que alcançaram essa etapa da vida mais cedo e foram responsáveis por valiosos conselhos nesse momento.

As pessoas que participaram dessa jornada por aqui, André, Paola, Tamiris, Esther, Vítor, João, Tati, Deberton, Tia Marília, Lincoln, Júlia, Kayran, Bárbara, Kim e Marcos e ao meu grande amigo de sempre Gilmar.

Agradeço ao Laboratório de Ferrovias e Asfalto da UFOP e seus membros por todo o apoio, disponibilidade e ideias fornecidas para a realização desse trabalho.

Aos meus orientadores Daniela e Hebert, que me apoiaram com o tema e o desenvolvimento dessa pesquisa, demonstrando disponibilidade, dedicação, interesse e companheirismo.

Aos professores Marcílio, Fernando Abecê, Vinícius e Hélio, e aos engenheiros César e Richer, que me deram orientações em suas respectivas atividades com extrema dedicação, paciência e compromisso, e cujo conhecimento adquirido foi extremamente importante.

A Ouro Preto, a UFOP e a gloriosa Escola de Minas pelo abrigo, pela formação de excelência e pelos momentos que jamais serão esquecidos.

RESUMO

O uso do modo ferroviário de transporte em larga escala é uma das primeiras opções a se estudar para desafogar as rodovias e diminuir a dependência desse meio de transporte tanto para cargas quanto para passageiros. No Brasil, novas propostas de aumento da malha ferroviária tem aparecido ao longo das últimas décadas, após um longo período de falta de investimento nesse meio de transporte. Uma das principais camadas estruturais da ferrovia é o lastro, normalmente construído com pedra britada de rochas naturais. No Brasil, britas de lastro devem atender as exigências prescritas na norma técnica ABNT NBR 5564 (2011), que estabelece valores limites que parametrizam seu comportamento ideal durante sua vida útil na via. Vários processos podem prejudicar a capacidade de suporte dos materiais do lastro e diminuir sua vida útil na linha. A passagem das composições pode gerar a quebra progressiva dos agregados, aumentando a quantidade de partículas finas. Porém, os agentes de intemperismo também podem provocar a degradação precoce do lastro antes que atinja seu tempo previsto de desguarnecimento. O objetivo desse trabalho foi avaliar o potencial de degradação de intemperismos físico e químico em materiais de lastro ferroviário. Foram analisados lastros de rochas naturais de basalto e gnaisse e um lastro de escória de aciaria LD britada para essa função. Os lastros foram submetidos a ciclos de simulações de intemperismo por congelamento e degelo e imersão em solução salina, tendo sido avaliadas suas propriedades físicas e mecânicas antes e depois desses processos. Em geral, a simulação adotada para o intemperismo químico apresentou maior potencial de degradação dos materiais, em comparação ao congelamento e degelo. O basalto se mostrou bastante vulnerável ao intemperismo químico, apresentando um grande aumento nos índices de contaminação após os ciclos, porém, não apresentou grandes perdas de resistência mecânica. O gnaisse apresentou maiores perdas de massa por choque e abrasão após esse tipo de intemperismo, enquanto a escória apresentou valores muito baixos de resistência à carga pontual ao final dos ciclos. A forma do material apresentou melhoras ao longo dos ciclos, acompanhando o aumento da contaminação.

Palavras-chaves: ferrovias, lastro, congelamento e degelo, cristalização salina, escória de aciaria, resistência.

ABSTRACT

The use of the rail mode of transport in large scale is one of the first options to be studied to relieve the roads and reduce dependence on this means of transport for both cargo and passengers. In Brazil, new proposals to increase the railway network have appeared over the last decades, after a long period of lack of investment in this means of transport. One of the main structural layers of the railway is the ballast, usually built with crushed stone made of natural rocks. In Brazil, ballast stones must meet the requirements prescribed in the technical standard ABNT NBR 5564 (2011), which establishes limit values that parameterize its ideal behavior during its useful life on the railroad. Various processes can impair the bearing capacity of ballast materials and shorten their life in the line. The passage of compositions can generate the progressive breakdown of aggregates, increasing the amount of fines. However, weathering agents can also cause premature decay of the ballast before it reaches its expected substitution time. The objective of this work was to evaluate the potential for degradation of physical and chemical weathering in railway ballast materials. Ballasts of natural basalt and gneiss rocks and a crushed LD steel slag ballast were analyzed for this purpose. The ballasts were subjected to cycles of weathering simulations by freezing and thawing and immersion in saline solution, and their physical and mechanical properties were evaluated before and after these processes. In general, the simulation adopted for chemical weathering showed greater potential for degradation of materials, compared to freezing and thawing. Basalt proved to be more vulnerable to chemical weathering, showing a large increase in contamination indexes after cycles, however, it did not show large losses in mechanical strength. The gneiss showed higher mass losses due to shock and abrasion after this type of weathering, while the slag showed very low values of point load strength at the end of the cycles. The shape of the material got better over the cycles, following the increase in contamination.

Keywords: railways, ballast, freezing and thaw, salt crystallization, steel slag, strength.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Malha ferroviária brasileira e os principais projetos de expansão (SILVEIRA e JULIO, 2017).....	7
Figura 2 – Comparação de matrizes de transporte de carga do Brasil com outros países de mesmo porte territorial (ANTF, 2019).	8
Figura 3 – Perfil típico da via permanente (OLIVEIRA, 2013, adaptado pelo autor). 10	
Figura 4 – Distribuição de tensões da roda na estrutura da linha (SELIG e WATERS, 1994, traduzido pelo autor).....	12
Figura 5 – Esforços nos dormentes de concreto (PORTO, 2004).	14
Figura 6 – Componentes da estrutura ferroviária e divisão do lastro. a) Corte longitudinal da via férrea. b) Corte transversal da via férrea (SELIG e WATERS, 1994, traduzido pelo autor).	16
Figura 7 – Modelo esquemático da aciaria LD com ênfase no fluxo de entrada e saída de materiais (FREITAS, 2018).	22
Figura 8 – Sequência de operação de um conversor a oxigênio na produção do aço (FERNANDES, 2010).	22
Figura 9 – Princípio da quantidade de finos no comportamento de materiais agregados graúdos. (a) Partículas graúdas dominam a estrutura do material. (b) Os grãos graúdos perderam seu contato mútuo e o comportamento do material é praticamente controlado pelos grãos finos (KOLISOJA, 1997) apud (NURMIKOLU, 2005).	29
Figura 10 – Diagrama das fontes de materiais finos no lastro ferroviário (elaborado pelo autor com base em SELIG e WATERS, 1994 e NURMIKOLU, 2005).	30
Figura 11 – Percentual de contribuição de cada fonte na quantidade de finos no lastro nos Estados Unidos (SELIG; WATERS, 1994, traduzido pelo autor).	30
Figura 12 – Variações de volume e densidade da água devido ao seu comportamento anômalo. (a) O volume diminui até 4 °C com a queda de temperatura, assim como qualquer substância convencional, mas aumenta até que se alcance 0°C, representando o comportamento anômalo. (b) Em consequência, a densidade	

aumenta até que a temperatura chegue a 4 °C, mas diminui entre 4 e 0 °C (OLIVEIRA e MIZUKOSHI, 2018, adaptado).	35
Figura 13 – Degradação das rochas por congelamento e descongelamento de água nos poros e fissuras. (a) Água absorvida pelos poros. (b) Água congelada nos poros abertos. (c) Poros submetidos a esforços internos devido ao confinamento da água (ONDRAŠIK e KOPECKÝ, 2014, traduzido pelo autor).	36
Figura 14 – Variação da resistência à compressão uniaxial com o número de ciclos de congelamento e degelo (M – monzogranito, T – tonalito e G – granodiorito) (MOMENI; KEENE <i>et al.</i> , 2015, traduzido pelo autor).....	39
Figura 15 – Esquema da percolação e tensões e fissuras geradas pela cristalização de sal em poros de uma rocha (OLIVEIRA, 2019).	45
Figura 16 – Fluxograma da metodologia utilizada no trabalho (arquivo pessoal).....	48
Figura 17 – Localização das jazidas dos materiais utilizados na pesquisa (arquivo pessoal).....	50
Figura 18 – Agregados utilizados na pesquisa (arquivo pessoal).	51
Figura 19 – Algumas amostras padrão já separadas (arquivo pessoal).....	52
Figura 20 – Peneiras selecionadas para o ensaio de granulometria (arquivo pessoal).	54
Figura 21 – Dimensões do corpo de prova a serem medidas (ABNT, 2011).	56
Figura 22 – Determinação da forma dos fragmentos pelo método do paquímetro (arquivo pessoal).....	56
Figura 23 – Sistema de pesagem hidrostática (arquivo pessoal).	58
Figura 24 – Pesagem dos fragmentos na condição SSS. (a) basalto. (b) gnaisse. (c) escória de aciaria LD (arquivo pessoal).	58
Figura 25 – Pesagem hidrostática dos fragmentos. (a) basalto. (b) gnaisse. (c) escória de aciaria LD (arquivo pessoal).....	59
Figura 26 – Calibração da caixa para o ensaio de massa unitária (arquivo pessoal).	60

Figura 27 – Pesagem do recipiente mais os agregados na determinação da massa unitária. (a) basalto. (b) gnaisse. (c) escória de aciaria LD (arquivo pessoal).....	60
Figura 28 – Aparelho <i>Treton</i> (arquivo pessoal).....	62
Figura 29 – Corpos de prova do ensaio de determinação da resistência ao choque (arquivo pessoal).....	63
Figura 30 – Materiais dentro do aparelho <i>Treton</i> . (a) basalto. (b) gnaisse. (c) escória de aciaria LD (arquivo pessoal).....	63
Figura 31 – Materiais após os choques sobre a base do aparelho <i>Treton</i> . (a) basalto. (b) gnaisse. (c) escória de aciaria LD (arquivo pessoal).	64
Figura 32 – Máquina “ <i>Los Ángeles</i> ” (arquivo pessoal).....	65
Figura 33 – Carga abrasiva utilizada no ensaio de determinação da resistência à abrasão (arquivo pessoal).....	65
Figura 34 – Materiais dentro do cilindro da máquina “ <i>Los Ángeles</i> ” após 1000 rotações. (a) basalto. (b) gnaisse. (c) escória de aciaria LD (arquivo pessoal).....	66
Figura 35 – Materiais sendo pesados ao final do ensaio de determinação da resistência à abrasão. (a) basalto. (b) gnaisse. (c) escória de aciaria LD (arquivo pessoal).....	66
Figura 36 – Dimensões medidas nos fragmentos para o ensaio de carga pontual. A aplicação de carga, como mostrado, deve ser executada de forma centrada e longe das laterais (ASTM, 2016, traduzido pelo autor).	68
Figura 37 – Equipamento de aplicação de carga pontual (arquivo pessoal).....	68
Figura 38 – Aplicação da carga pontual até a ruptura. (a) basalto. (b) gnaisse. (c) escória de aciaria LD (arquivo pessoal).	69
Figura 39 – Exemplos de modos válidos de ruptura. (a) basalto. (b) gnaisse. (c) escória de aciaria LD (arquivo pessoal).....	69
Figura 40 – Relação entre a resistência à compressão uniaxial σ_c e resistência à carga pontual de rochas anisotrópicas (GREMINGER, 1982) apud (PALMSTRÖM, 1995) traduzido pelo autor.....	73

Figura 41 – Sistema utilizado para o congelamento dos materiais (arquivo pessoal).	75
Figura 42 – Congelamento dos materiais. (a) dentro do freezer. (b) Após extraído (arquivo pessoal).....	76
Figura 43 – Descongelamento e manutenção da saturação dos materiais (arquivo pessoal).....	76
Figura 44 – Sulfato de sódio anidro utilizado no preparo da solução utilizada na simulação do intemperismo químico (arquivo pessoal).....	77
Figura 45 – Materiais imersos na solução de sulfato de sódio (arquivo pessoal).....	78
Figura 46 – Curvas granulométricas do basalto após os ciclos de congelamento e degelo comparadas aos limites do Padrão A (arquivo pessoal).....	81
Figura 47 – Curvas granulométricas do basalto após os ciclos de congelamento e degelo comparadas aos limites do Padrão B (arquivo pessoal).....	82
Figura 48 – Curvas granulométricas do basalto após os ciclos de imersão em solução de sulfato de sódio comparadas aos limites do Padrão A (arquivo pessoal).	82
Figura 49 – Curvas granulométricas do basalto após os ciclos de imersão em solução de sulfato de sódio comparadas aos limites do Padrão B (arquivo pessoal)	83
Figura 50 – Curvas granulométricas do gnaiss após os ciclos de congelamento e degelo comparadas aos limites do Padrão A (arquivo pessoal).....	83
Figura 51 – Curvas granulométricas do gnaiss após os ciclos de congelamento e degelo comparadas aos limites do Padrão B (arquivo pessoal).....	84
Figura 52 – Curvas granulométricas do gnaiss após os ciclos de imersão em solução de sulfato de sódio comparadas aos limites do Padrão A (arquivo pessoal).	84
Figura 53 – Curvas granulométricas do gnaiss após os ciclos de imersão em solução de sulfato de sódio comparadas aos limites do Padrão B (arquivo pessoal).	84
Figura 54 – Curvas granulométricas da escória de aciaria LD após os ciclos de congelamento e degelo comparadas aos limites do Padrão A (arquivo pessoal).	85

Figura 55 – Curvas granulométricas da escória de aciaria LD após os ciclos de congelamento e degelo comparadas aos limites do Padrão B (arquivo pessoal).	85
Figura 56 – Curvas granulométricas da escória de aciaria LD após os ciclos de imersão em solução de sulfato de sódio comparadas aos limites do Padrão A (arquivo pessoal).	86
Figura 57 – Curvas granulométricas da escória de aciaria após os ciclos de imersão em solução de sulfato de sódio comparadas aos limites do Padrão B (arquivo pessoal).	86
Figura 58 – Variação do coeficiente de uniformidade com os ciclos de congelamento e degelo (arquivo pessoal).	87
Figura 59 – Variação do coeficiente de uniformidade com os ciclos de imersão em solução de sulfato de sódio (arquivo pessoal).....	87
Figura 60 – Variação do coeficiente de curvatura com os ciclos de congelamento e degelo (arquivo pessoal)	88
Figura 61 – Variação do coeficiente de curvatura com os ciclos de imersão em solução de sulfato de sódio (arquivo pessoal).....	88
Figura 62 – Variação do Módulo de Finura com os ciclos de congelamento e degelo (arquivo pessoal).....	89
Figura 63 – Variação do Módulo de Finura com os ciclos de imersão em solução de sulfato de sódio (arquivo pessoal).....	89
Figura 64 – Variação da Dimensão Máxima Característica com os ciclos de congelamento e degelo (arquivo pessoal).....	90
Figura 65 – Variação da Dimensão Máxima Característica com os ciclos de imersão em solução de sulfato de sódio (arquivo pessoal).....	90
Figura 66 – Fragmentação de uma partícula de basalto da amostra submetida a 25 ciclos de congelamento e degelo. A fotografia foi tirada com 13 ciclos (arquivo pessoal).....	91
Figura 67 – Fissuração em um fragmento de escória de aciaria LD. A fotografia foi tirada com 22 ciclos de congelamento e degelo (arquivo pessoal).	91

Figura 68 – Variação do índice de contaminação FIP com os ciclos de congelamento e degelo (arquivo pessoal).	92
Figura 69 – Variação do índice de contaminação FIP com os ciclos de imersão em solução de sulfato de sódio (arquivo pessoal).....	92
Figura 70 – Variação do índice de contaminação FID com os ciclos de congelamento e degelo (arquivo pessoal).	93
Figura 71 – Variação do índice de contaminação FID com os ciclos de imersão em solução de sulfato de sódio (arquivo pessoal).....	94
Figura 72 – Variação do índice de contaminação FI com os ciclos de congelamento e degelo (arquivo pessoal).	95
Figura 73 – Variação do índice de contaminação FI com os ciclos de imersão em solução de sulfato de sódio (arquivo pessoal).....	95
Figura 74 – Variação do percentual passante em 12,0 mm com os ciclos de congelamento e degelo (arquivo pessoal).....	96
Figura 75 – Variação do percentual passante em 12,0 mm com os ciclos de imersão em solução de sulfato de sódio (arquivo pessoal).....	97
Figura 76 – Variação do percentual passante em 9,5 mm com os ciclos de congelamento e degelo (arquivo pessoal).....	98
Figura 77 – Variação do percentual passante em 9,5 mm com os ciclos de imersão em solução de sulfato de sódio (arquivo pessoal).....	98
Figura 78 – Variação do percentual passante em 14,0 mm com os ciclos de congelamento e degelo (arquivo pessoal).....	99
Figura 79 – Variação do percentual passante em 14,0 mm com os ciclos de imersão em solução de sulfato de sódio (arquivo pessoal).....	99
Figura 80 – Variação da relação de forma b/a com os ciclos de congelamento e degelo (arquivo pessoal).....	100
Figura 81 – Variação da relação de forma b/a com os ciclos de imersão em solução de sulfato de sódio (arquivo pessoal).....	100

Figura 82 – Variação da relação de forma c/b com os ciclos de congelamento e degelo (arquivo pessoal).....	101
Figura 83 – Variação da relação de forma c/b com os ciclos de imersão em solução de sulfato de sódio (arquivo pessoal).....	101
Figura 84 – Variação do percentual de partículas não cúbicas com os ciclos de congelamento e degelo (arquivo pessoal).....	102
Figura 85 – Variação do percentual de partículas não cúbicas com os ciclos de imersão em solução de sulfato de sódio (arquivo pessoal).....	102
Figura 86 – Variação do <i>shape factor</i> com os ciclos de congelamento e degelo (arquivo pessoal).....	103
Figura 87 – Variação do <i>shape factor</i> com os ciclos de imersão em solução de sulfato de sódio (arquivo pessoal).	103
Figura 88 – Variação da massa específica aparente com os ciclos de congelamento e degelo (arquivo pessoal).	104
Figura 89 – Variação da massa específica aparente com os ciclos de imersão em solução de sulfato de sódio (arquivo pessoal).....	105
Figura 90 – Variação da porosidade aparente com os ciclos de congelamento e degelo (arquivo pessoal).....	106
Figura 91 – Variação da porosidade aparente com os ciclos de imersão em solução de sulfato de sódio (arquivo pessoal).....	106
Figura 92 – Variação da absorção de água com os ciclos de congelamento e degelo (arquivo pessoal).....	107
Figura 93 – Variação da absorção de água com os ciclos de imersão em solução de sulfato de sódio (arquivo pessoal).....	107
Figura 94 – Variação da massa unitária no estado solto com os ciclos de congelamento e degelo (arquivo pessoal).	108
Figura 95 – Variação da massa unitária no estado solto com os ciclos de imersão em solução de sulfato de sódio (arquivo pessoal).....	109

Figura 96 – Variação do índice de volume de vazios com os ciclos de congelamento e degelo (arquivo pessoal).	110
Figura 97 – Variação do índice de volume de vazios com os ciclos de imersão em solução de sulfato de sódio (arquivo pessoal).....	110
Figura 98 – Variação do Índice do Índice de Tenacidade <i>Treton</i> com os ciclos de congelamento e degelo (arquivo pessoal).....	111
Figura 99 – Variação do Índice do Índice de Tenacidade <i>Treton</i> com os ciclos de imersão em solução de sulfato de sódio (arquivo pessoal).....	112
Figura 100 – Variação da resistência ao desgaste por abrasão “ <i>Los Ángeles</i> ” com os ciclos de congelamento e degelo (arquivo pessoal).....	113
Figura 101 – Variação da resistência ao desgaste por abrasão “ <i>Los Ángeles</i> ” com os ciclos de imersão em solução de sulfato de sódio (arquivo pessoal).....	113
Figura 102 – Variação do Índice de Resistência à Carga pontual Corrigido Para o Tamanho com os ciclos de congelamento e degelo (arquivo pessoal).	114
Figura 103 – Variação do Índice de Resistência à Carga pontual Corrigido Para o Tamanho com os ciclos de imersão em solução de sulfato de sódio (arquivo pessoal).	115
Figura 104 – Variação da resistência à compressão uniaxial com os ciclos de congelamento e degelo (arquivo pessoal).....	116
Figura 105 – Variação resistência à compressão uniaxial com os ciclos de imersão em solução de sulfato de sódio (arquivo pessoal).....	116
Figura 106 – Resistência à intempérie dos materiais com 20 e 40 ciclos de imersão em solução de sulfato de sódio (arquivo pessoal).....	117
Figura 107 – Desagregação das camadas do corpo de prova BA-RI-40-CP4. A fotografia foi tirada com 20 ciclos (arquivo pessoal).....	118
Figura 108 – Desagregação das camadas do corpo de prova GN-RI-40-CP5. A fotografia foi tirada com 33 ciclos (arquivo pessoal).....	119

Figura 109 – Fissuração do corpo de prova ES-RI-40-CP2. A fotografia foi tirada com 36 ciclos (arquivo pessoal).	119
Figura 110 – Abertura de trincas em um fragmento de escória de aciaria LD da amostra submetida a 40 ciclos de imersão em solução de sulfato de sódio. A fotografia foi tirada com 40 ciclos (arquivo pessoal).	120
Figura 111 – Quebra do corpo de prova BA-RI-40-CP6. A fotografia foi tirada com 5 ciclos (arquivo pessoal).	121
Figura 112 – Quebra do corpo de prova GN-RI-40-CP2. A fotografia foi tirada com 20 ciclos (arquivo pessoal).	121
Figura 113 – Quebra do corpo de prova BA-RI-40-CP6. A fotografia foi tirada com 36 ciclos (arquivo pessoal).	121
Figura 114 – Abertura de trinca no corpo de prova GN-RI-40-CP3. A fotografia foi tirada com 40 ciclos (arquivo pessoal).	122
Figura 115 – Avanço da degradação do corpo de prova GN-RI-40-CP7. (a) fotografia da fissuração avançada com 33 ciclos. (b) fotografia da quebra com 36 ciclos (arquivo pessoal).	122
Figura 116 – Quebra do corpo de prova BA-20-IQ-ME-CP11 (corpo de prova reserva) antes da pesagem na condição SSS (arquivo pessoal).	123
Figura 117 – Eflorescência de sulfato de sódio no corpo de prova BA-RI-40-CP5. A fotografia foi tirada com 40 ciclos (arquivo pessoal).	124
Figura 118 – Eflorescências observadas em alguns corpos de prova retidos na peneira de 38mm do ensaio de determinação da forma dos fragmentos da amostra de escória de aciaria submetida a 40 ciclos de imersão em solução de sulfato de sódio (arquivo pessoal).	124
Figura 119 – Oxidação observada no gnaïsse após o intemperismo químico. (a) GN-00-NA-CP2. (b) GN-20-IQ-AB (arquivo pessoal).	125
Figura 120 – Obtenção de $P_{m\acute{a}x.(50)}$ para o BA-00-PL (arquivo pessoal).	221
Figura 121 – Obtenção de $P_{m\acute{a}x.(50)}$ para o BA-25-IF-PL (arquivo pessoal).	222

Figura 122 – Obtenção de $P_{m\acute{a}x.(50)}$ para o BA-50-IF-PL (arquivo pessoal).....	223
Figura 123 – Obtenção de $P_{m\acute{a}x.(50)}$ para o BA-75-IF-PL (arquivo pessoal).....	224
Figura 124 – Obtenção de $P_{m\acute{a}x.(50)}$ para o BA-20-IQ-PL (arquivo pessoal).....	225
Figura 125 – Obtenção de $P_{m\acute{a}x.(50)}$ para o BA-40-IQ-PL (arquivo pessoal).....	226
Figura 126 – Obtenção de $P_{m\acute{a}x.(50)}$ para o GN-00-PL (arquivo pessoal).	227
Figura 127 – Obtenção de $P_{m\acute{a}x.(50)}$ para o GN-25-IF-PL (arquivo pessoal).....	228
Figura 128 – Obtenção de $P_{m\acute{a}x.(50)}$ para o GN-50-IF-PL (arquivo pessoal).....	229
Figura 129 – Obtenção de $P_{m\acute{a}x.(50)}$ para o GN-75-IF-PL (arquivo pessoal).....	230
Figura 130 – Obtenção de $P_{m\acute{a}x.(50)}$ para o GN-20-IQ-PL (arquivo pessoal).	231
Figura 131 – Obtenção de $P_{m\acute{a}x.(50)}$ para o GN-40-IQ-PL (arquivo pessoal).	232
Figura 132 – Obtenção de $P_{m\acute{a}x.(50)}$ para a ES-00-PL (arquivo pessoal).....	233
Figura 133 – Obtenção de $P_{m\acute{a}x.(50)}$ para a ES-25-IF-PL (arquivo pessoal).....	234
Figura 134 – Obtenção de $P_{m\acute{a}x.(50)}$ para a ES-50-IF-PL (arquivo pessoal).....	235
Figura 135 – Obtenção de $P_{m\acute{a}x.(50)}$ para a ES-75-IF-PL (arquivo pessoal).....	236
Figura 136 – Obtenção de $P_{m\acute{a}x.(50)}$ para a ES-20-IQ-PL (arquivo pessoal).....	237
Figura 137 – Obtenção de $P_{m\acute{a}x.(50)}$ para a ES-40-IQ-PL (arquivo pessoal).....	238
Figura 138 – Curvas de Talbot (BRINA, 1988).....	241
Figura 139 – Síntese das principais características do basalto (VICTORIA, 201?).	242
Figura 140 – Síntese das principais características do gnaiss (VICTORIA, 201?).	242

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Custo de construção e manutenção da infraestrutura e vida útil por modal. (PÊGO, 2016, adaptado).....	9
Tabela 2 – Principais ligações entre trilhos e dormentes (RODRIGUES, 2019 e CAVA, 2018).....	13
Tabela 3 – Composição mineralógica típica das escórias de aciaria LD (MACHADO, 2000).....	23
Tabela 4 – Gerações e composições típicas de escória LD (PEREIRA, 1994).....	24
Tabela 5 – Características necessárias ao lastro (ABNT, 2011).....	27
Tabela 6 – Distribuição granulométrica do lastro ferroviário (ABNT, 2011).....	28
Tabela 7 – Critério de classificação para lastro contaminado (IONESCU, 2004, adaptado).....	32
Tabela 8 – Índice de potencial de intemperismo (WPI) dos minerais. Trata-se nesse caso apenas do intemperismo químico (REICHE, 1950, traduzido pelo autor).....	42
Tabela 9 – Estabilidade relativa dos minerais mais comuns sob ação do intemperismo químico (PRESS, SIEVER, <i>et al.</i> , 2006).....	44
Tabela 10 – Peneiras selecionadas para o ensaio baseadas nas normas NBR NM 248 (ABNT; AMN, 2003) e NBR 5564 (ABNT, 2011).....	53
Tabela 11 – Classificação da forma dos fragmentos do corpo de prova (ABNT, 2011).....	57
Tabela 12 – Valores sugeridos do fator K variando com a resistência da rocha (PALMSTRÖM, 1995, traduzido pelo autor).....	71
Tabela 13 – Valor de K em função do diâmetro do núcleo equivalente (ASTM, 2016; BIENIAWSKI, 1975, traduzido pelo autor).....	72
Tabela 14 – Identificação dos corpos de prova dos ensaios (arquivo pessoal).....	80
Tabela 15 – Massa de material retida nas peneiras do ensaio de determinação da composição granulométrica do basalto.....	141

Tabela 16 – Massa de material retida nas peneiras do ensaio de determinação da composição granulométrica do gnaisse.	142
Tabela 17 – Massa de material retida nas peneiras do ensaio de determinação da composição granulométrica da escória de aciaria LD.	143
Tabela 18 – Dados do ensaio de determinação da forma do BA-00-DF (arquivo pessoal).....	144
Tabela 19 – Dados do ensaio de determinação da forma do BA-25-IF-DF (arquivo pessoal).....	147
Tabela 20 – Dados do ensaio de determinação da forma do BA-50-IF-DF (arquivo pessoal).....	150
Tabela 21 – Dados do ensaio de determinação da forma do BA-75-IF-DF (arquivo pessoal).....	153
Tabela 22 – Dados do ensaio de determinação da forma do BA-20-IQ-DF (arquivo pessoal).....	156
Tabela 23 – Dados do ensaio de determinação da forma do BA-40-IQ-DF (arquivo pessoal).....	160
Tabela 24 – Dados do ensaio de determinação da forma do GN-00-DF (arquivo pessoal).....	163
Tabela 25 – Determinação da forma do GN-25-IF-DF (arquivo pessoal).....	166
Tabela 26 – Dados do ensaio de determinação da forma do GN-50-IF-DF (arquivo pessoal).....	169
Tabela 27 – Dados do ensaio de determinação da forma do GN-75-IF-DF (arquivo pessoal).....	172
Tabela 28 – Dados do ensaio de determinação da forma do GN-20-IQ-DF (arquivo pessoal).....	176
Tabela 29 – Dados do ensaio de determinação da forma do GN-40-IQ-DF (arquivo pessoal).....	179

Tabela 30 – Dados do ensaio de determinação da forma da ES-00-DF (arquivo pessoal).....	182
Tabela 31 – Dados do ensaio de determinação da forma da ES-25-IF-DF (arquivo pessoal).....	185
Tabela 32 – Dados do ensaio de determinação da forma da ES-50-IF-DF (arquivo pessoal).....	188
Tabela 33 – Dados do ensaio de determinação da forma da ES-75-IF-DF (arquivo pessoal).....	192
Tabela 34 – Dados do ensaio de determinação da forma da ES-20-IQ-DF (arquivo pessoal).....	195
Tabela 35 – Dados do ensaio de determinação da forma da ES-40-IQ-DF (arquivo pessoal).....	198
Tabela 36 – Dados dos ensaios de determinação da massa específica aparente, porosidade aparente e absorção de água do BA-00-ME (arquivo pessoal).	202
Tabela 37 – Dados dos ensaios de determinação da massa específica aparente, porosidade aparente e absorção de água do BA-25-IF-ME (arquivo pessoal).....	202
Tabela 38 – Dados dos ensaios de determinação da massa específica aparente, porosidade aparente e absorção de água do BA-50-IF-ME (arquivo pessoal).....	203
Tabela 39 – Dados dos ensaios de determinação da massa específica aparente, porosidade aparente e absorção de água do BA-75-IF-ME (arquivo pessoal).....	203
Tabela 40 – Dados dos ensaios de determinação da massa específica aparente, porosidade aparente e absorção de água do BA-20-IQ-ME (arquivo pessoal).	204
Tabela 41 – Dados dos ensaios de determinação da massa específica aparente, porosidade aparente e absorção de água do BA-40-IQ-ME (arquivo pessoal).	204
Tabela 42 – Dados dos ensaios de determinação da massa específica aparente, porosidade aparente e absorção de água do GN-00-ME (arquivo pessoal).	205
Tabela 43 – Dados dos ensaios de determinação da massa específica aparente, porosidade aparente e absorção de água do GN-25-IF-ME (arquivo pessoal).	205

Tabela 44 – Dados dos ensaios de determinação da massa específica aparente, porosidade aparente e absorção de água do GN-50-IF-ME (arquivo pessoal).	206
Tabela 45 – Dados dos ensaios de determinação da massa específica aparente, porosidade aparente e absorção de água do GN-75-IF-ME (arquivo pessoal).	206
Tabela 46 – Dados dos ensaios de determinação da massa específica aparente, porosidade aparente e absorção de água do GN-20-IQ-ME (arquivo pessoal).	207
Tabela 47 – Dados dos ensaios de determinação da massa específica aparente, porosidade aparente e absorção de água do GN-40-IQ-ME (arquivo pessoal).	207
Tabela 48 – Dados dos ensaios de determinação da massa específica aparente, porosidade aparente e absorção de água da ES-00-ME (arquivo pessoal).	208
Tabela 49 – Dados dos ensaios de determinação da massa específica aparente, porosidade aparente e absorção de água da ES-25-IF-ME (arquivo pessoal).	208
Tabela 50 – Dados dos ensaios de determinação da massa específica aparente, porosidade aparente e absorção de água da ES-50-IF-ME (arquivo pessoal).	209
Tabela 51 – Dados dos ensaios de determinação da massa específica aparente, porosidade aparente e absorção de água da ES-75-IF-ME (arquivo pessoal).	209
Tabela 52 – Dados dos ensaios de determinação da massa específica aparente, porosidade aparente e absorção de água da ES-20-IQ-ME (arquivo pessoal).	210
Tabela 53 – Dados dos ensaios de determinação da massa específica aparente, porosidade aparente e absorção de água da ES-40-IQ-ME (arquivo pessoal).	210
Tabela 54 – Calibração da caixa do ensaio de determinação da massa unitária no estado solto (arquivo pessoal).	211
Tabela 55 – Dados dos ensaios de determinação da massa unitária no estado solto e do índice de volume de vazios do basalto (arquivo pessoal).	211
Tabela 56 – Dados dos ensaios de determinação da massa unitária no estado solto e do índice de volume de vazios do gnaisse (arquivo pessoal).	212
Tabela 57 – Dados dos ensaios de determinação da massa unitária no estado solto e do índice de volume de vazios da escória de aciaria LD (arquivo pessoal).	213

Tabela 58 – Dados dos ensaios de determinação da resistência ao choque do basalto (arquivo pessoal).....	214
Tabela 59 – Dados dos ensaios de determinação da resistência ao choque do gnaisse (arquivo pessoal).....	215
Tabela 60 – Dados dos ensaios de determinação da resistência ao choque da escória de aciaria LD (arquivo pessoal).....	216
Tabela 61 – Dados dos ensaios de determinação da resistência à abrasão do basalto (arquivo pessoal).....	217
Tabela 62 – Dados dos ensaios de determinação da resistência à abrasão do gnaisse (arquivo pessoal).....	217
Tabela 63 – Dados dos ensaios de determinação da resistência à abrasão da escória de aciaria LD (arquivo pessoal).....	218
Tabela 64 – Quantidade de partículas retidas nas peneiras para o ensaio de determinação da resistência à carga pontual do basalto (arquivo pessoal).	219
Tabela 65 – Quantidade de partículas retidas nas peneiras para o ensaio de determinação da resistência carga pontual do gnaisse (arquivo pessoal).	219
Tabela 66 – Quantidade de partículas retidas nas peneiras para o ensaio de determinação da resistência carga pontual da escória de aciaria LD (arquivo pessoal).	220
Tabela 67 – Dados do ensaio de determinação da resistência à carga pontual do BA-00-PL (arquivo pessoal).	221
Tabela 68 – Dados do ensaio de determinação da resistência à carga pontual do BA-25-IF-PL (arquivo pessoal).	222
Tabela 69 – Dados do ensaio de determinação da resistência à carga pontual do BA-50-IF-PL (arquivo pessoal).	223
Tabela 70 – Dados do ensaio de determinação da resistência à carga pontual do BA-75-IF-PL (arquivo pessoal).	224

Tabela 71 – Dados do ensaio de determinação da resistência à carga pontual do BA-20-IQ-PL (arquivo pessoal).	225
Tabela 72 – Dados do ensaio de determinação da resistência à carga pontual do BA-40-IQ-PL (arquivo pessoal).	226
Tabela 73 – Dados do ensaio de determinação da resistência à carga pontual do GN-00-PL (arquivo pessoal).	227
Tabela 74 – Dados do ensaio de determinação da resistência à carga pontual do GN-25-IF-PL (arquivo pessoal).	228
Tabela 75 – Dados do ensaio de determinação da resistência à carga pontual do GN-50-IF-PL (arquivo pessoal).	229
Tabela 76 – Dados do ensaio de determinação da resistência à carga pontual do GN-75-IF-PL (arquivo pessoal)	230
Tabela 77 – Dados do ensaio de determinação da resistência à carga pontual do GN-20-IQ-PL (arquivo pessoal)	231
Tabela 78 – Dados do ensaio de determinação da resistência à carga pontual do GN-40-IQ-PL (arquivo pessoal).	232
Tabela 79 – Dados do ensaio de determinação da resistência à carga pontual da ES-00-PL (arquivo pessoal).	233
Tabela 80 – Dados do ensaio de determinação da resistência à carga pontual da ES-25-IF-PL (arquivo pessoal)	234
Tabela 81 – Dados do ensaio de determinação da resistência à carga pontual da ES-50-IF-PL (arquivo pessoal).	235
Tabela 82 – Dados do ensaio de determinação da resistência à carga pontual da ES-75-IF-PL (arquivo pessoal).	236
Tabela 83 – Dados do ensaio de determinação da resistência à carga pontual da ES-20-IQ-PL (arquivo pessoal).	237
Tabela 84 – Dados do ensaio de determinação da resistência à carga pontual da ES-40-IQ-PL (arquivo pessoal).	238

Tabela 85 – Dados dos ensaios de determinação da resistência à intempérie do basalto (arquivo pessoal).	239
Tabela 86 – Dados dos ensaios de determinação da resistência à intempérie do gnaisse (arquivo pessoal).	239
Tabela 87 – Dados dos ensaios de determinação da resistência à intempérie da escória de aciaria LD (arquivo pessoal).	240

LISTA DE SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ASTM – *American Society for Testing And Materials* (Sociedade Americana para Testagem e Materiais)

AMN – *Asociación Mercosur de Normalización* (Associação de Mercosul de Normalização)

CNT – Confederação Nacional do Transporte

CP – Corpo de prova

DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes

DMC – Dimensão Máxima Característica

EFC – Estrada de Ferro Carajás

EFVM – Estrada de Ferro Vitória a Minas

FNS – Ferrovia Norte-Sul

LD – *Linz e Donawitz* (modelo de forno de refino em usinas de fabricação de aço)

MF – Módulo de Finura

NBR – Norma Brasileira

NM – Norma Mercosur (Norma Mercosul)

PIB – Produto Interno Bruto

RFFSA – Rede Ferroviária Federal S.A.

SSS – Condição saturada com superfície seca do agregado

TKU – Tonelada x Quilometragem útil

WPI – *Wheathering Potential Index* (Índice de Potencial de Intemperismo)

WWF – *World Wildlife Found* (Fundo Mundial da Vida Selvagem) – Nome oficial em curso nos EUA e Canadá

LISTA DE SÍMBOLOS

α_a – Absorção de água

A ou a – Maior dimensão de um grão

B ou b – Segunda maior dimensão de um grão

C ou c – Menor dimensão de um grão

D – Distância entre as ponteiras de aplicação de carga pontual n ensaio de determinação da resistência à carga pontual

D_e – Diâmetro equivalente a um corpo de prova de rocha cilíndrico com 50 mm de diâmetro

D_{10} – Diâmetro correspondente a 10% de material passante

D_{30} – Diâmetro correspondente a 30% de material passante

D_{60} – Diâmetro correspondente a 60% de material passante

D_{90} – Diâmetro correspondente a 90% de material passante

D_e – Diâmetro do núcleo equivalente de um corpo de prova não-cilíndrico no ensaio de carga pontual

d_1 – Massa específica relativa dos agregados

E_v – Índice de volume de vazios

F_1 – Índice de contaminação do lastro

FI_P – Índice de contaminação da norma AS 2758.7

FI_D – Índice de contaminação do lastro em função de D_{90} e D_{10}

I_s – Índice de Resistência à Carga Pontual Não-Corrigido

$I_{s(D)}$ – Índice de Resistência à Carga Pontual Corrigido para o Tamanho

$I_{s(50)}$ – Índice de Resistência à Carga Pontual Corrigido para o diâmetro de 50 mm

K – Fator de conversão empírica da resistência à carga pontual em resistência à compressão uniaxial

K_e – Coeficiente de enfraquecimento da rocha após o ensaio de congelamento e degelo

L – Distância entre a extremidade da maior dimensão do corpo de prova e o ponto de aplicação da carga pontual

M_i – Massa do corpo de prova antes do ensaio de resistência à intempérie

M_f – Massa do corpo de prova após o ensaio de resistência à intempérie

M_{sat} – Massa do grão medida na condição saturada com superfície seca

M_{sub} – Massa do grão medida na condição submersa

M_{sec} – Massa do grão medida na condição seca

m – Massa inicial do corpo de prova antes do ensaio de abrasão

m_{ar} – Massa do recipiente mais os agregados no ensaio de massa unitária

m_r – Massa do recipiente no ensaio de massa unitária

m_1 – Massa do corpo de prova retida na peneira de 1,7 mm após o ensaio de abrasão

m_i – Massa inicial do corpo de prova antes do ensaio de choque

m_f – Massa do corpo de prova retida na peneira de 1,68 mm após o ensaio de choque

η_a – Porosidade aparente

n – *Shape factor* (fator de forma)

ρ_a – Massa específica aparente

ρ_{ap} – Massa unitária

ρ_w – Massa específica da água;

P – Resistência à abrasão

$P_{0,075}$ – Percentual em massa de material passante na peneira de 0,075 mm

$P_{4,75}$ – Percentual em massa de material passante na peneira de 4,75 mm

$P_{13,2}$ – Percentual em massa de material passante na peneira de 13,2 mm

$P_{m\acute{a}x.}$ – Carga de ruptura do corpo de prova do ensaio de carga pontual

$P_{m\acute{a}x.(50)}$ – Carga de ruptura equivalente a um corpo de prova cilíndrico de 50 mm de diâmetro

σ_c – Resistência à compressão uniaxial estimada através de $I_{s(50)}$

σ_{cd} – Valor médio da resistência mecânica dos corpos de prova após o ensaio de congelamento e degelo

σ_{nat} – Valor médio da resistência mecânica dos corpos de prova não submetidos ao ensaio de congelamento e degelo

R_i – Resistência à intempérie

s_c – Resistência à compressão uniaxial

T – Índice de tenacidade *Treton*

W – Largura do corpo de prova prismático no ensaio de determinação da resistência à carga pontual

W_1 – Primeira medida de largura em um corpo de prova irregular no ensaio de determinação da resistência à carga pontual

W_2 – Segunda medida de largura em um corpo de prova irregular no ensaio de determinação da resistência à carga pontual

SUMÁRIO

1	Introdução	1
1.1	Objetivo	5
1.1.1	Objetivos Específicos.....	5
1.2	Estrutura do Texto	6
2	Revisão Bibliográfica.....	7
2.1	Transporte ferroviário e sua importância no contexto brasileiro	7
2.2	Infra e superestrutura ferroviária.....	9
2.3	Materiais utilizados como lastro ferroviário	18
2.3.1	Pedras britadas de rochas naturais.....	19
2.3.2	Escórias de aciaria.....	21
2.4	Exigências para o lastro ferroviário.....	26
2.5	Degradação do lastro ferroviário.....	28
2.5.1	A influência da quantidade de finos	28
2.5.2	Degradação do lastro ferroviário por intemperismo	33
3	Metodologia.....	48
3.1	Determinação dos parâmetros físicos iniciais.....	52
3.1.1	Determinação da composição granulométrica	52
3.1.2	Avaliação da contaminação	55
3.1.3	Determinação da forma dos fragmentos	55
3.1.4	Determinação da massa específica aparente, absorção de água e porosidade aparente	57
3.1.5	Determinação da massa unitária em estado solto	59
3.2	Determinação dos parâmetros de resistência mecânica iniciais	61

3.2.1	Resistência ao choque.....	62
3.2.2	Resistência à abrasão.....	64
3.2.3	Resistência à carga pontual e resistência à compressão uniaxial ..	67
3.3	Ensaio de simulação dos intemperismos físico e químico	73
3.3.1	Intemperismo físico por congelamento e descongelamento no estado saturado	73
3.3.2	Intemperismo químico por imersão em solução de sulfato de sódio	77
3.4	Determinação das características pós intemperismo e comparação com os valores prescritos na NBR 5564 (ABNT, 2011)	79
4	Resultados	80
4.1	Parâmetros físicos	81
4.1.1	Composição granulométrica.....	81
4.1.2	Contaminação	91
4.1.3	Forma dos fragmentos	100
4.1.4	Massa específica aparente, porosidade aparente e absorção de água	104
4.1.5	Massa unitária em estado solto.....	108
4.2	Parâmetros de resistência mecânica.....	111
4.2.1	Resistência ao choque.....	111
4.2.2	Resistência à abrasão.....	113
4.2.3	Resistência à carga pontual e resistência à compressão uniaxial	114
4.3	Resistência à intempérie e análise visual	117
4.3.1	Resistência à intempérie	117
4.3.2	Análise visual	118

5	Conclusão	126
5.1	Sugestões para trabalhos futuros	128
	Referências.....	129
	APÊNDICE A – DADOS DOS ENSAIOS DE DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS FÍSICOS	141
A.1	Determinação da composição granulométrica.....	141
A.2	Determinação da forma dos fragmentos.....	144
A.3	Determinação da massa específica aparente, porosidade aparente e absorção de água	202
A.4	Determinação da massa unitária no estado solto	211
	APÊNDICE B – DADOS DOS ENSAIOS DE DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS DE RESISTÊNCIA MECÂNICA.....	214
B.1	Determinação da resistência ao choque.....	214
B.2	Determinação da resistência à abrasão	217
B.3	Determinação da resistência à carga pontual.....	219
	APÊNDICE C – DADOS DOS ENSAIOS DE DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À INTEMPÉRIE	239
	ANEXO A – CURVAS DE TALBOT	241
	ANEXO B – PROPRIEDADES GERAIS DAS ROCHAS ESTUDADAS.....	242

1 INTRODUÇÃO

Os sistemas de transporte são responsáveis por grande parte do funcionamento e da logística das cidades, envolvendo o deslocamento de pessoas e cargas, e o suporte à prestação de serviços e ao consumo e acesso à saúde, educação cultura e informações. Na segunda metade do século XIX, e também como efeito da Primeira e da Segunda Revolução Industrial, os sistemas de transportes passaram por uma grande transformação, ganhando alternativas de tração com o desenvolvimento do motor e da eletricidade, saindo da dependência da tração humana, animal ou da energia eólica como força motriz (SOUZA, 2020).

Com isso, modais modernos e eficientes de transporte são um dos pilares do crescimento e consolidação da globalização e das atividades industriais e comerciais contemporâneas. Contudo, a globalização exige uma otimização do transporte, envolvendo a execução de uma logística eficiente, que segundo Pêgo (2016), demanda por parte dos transportadores economias de escala e distância. A economia de escala, conforme Pêgo (2016), refere-se à redução do custo por unidade de peso com o aumento do tamanho da carga, diluindo o custo fixo de carregamentos com o aumento do peso. Já a economia de distância refere-se à diminuição do custo de transporte por unidade de peso à medida que a distância aumenta, diluindo o custo fixo por uma quantidade maior de quilômetros (PÊGO, 2016).

Buscando garantir tal logística eficiente, o estudo do transporte de mercadorias tomou o cunho sistêmico de especialização científica, buscando-se entender e analisar todas as variáveis envolvidas para melhor atender às complexas necessidades decorrentes das transações comerciais locais, regionais e internacionais (PÊGO, 2016). As matrizes de transporte norteamericana e europeia possuem um sistema eficiente de movimentação de cargas, englobando sistemas avançados de hidrovias e conexões das mesmas com linhas férreas, abaixando o custo dos transporte por conseguirem conectar grandes quantidades de carga entre duas regiões distantes com bastante fluidez, e de forma balanceada entre os modos de transporte.

O transporte de cargas no Brasil apresenta uma alta dependência do sistema rodoviário, sobrecarregando as rodovias, e promovendo ineficiência e alto custo de transporte de bens e insumos. Devido à extensa área territorial do país, seria de fundamental importância a garantia do equilíbrio da matriz modal de transportes, permitindo uma maior abrangência dos sistemas ferroviário e hidroviário, de forma a garantir uma rede mais eficiente, menos onerosa e com menor impacto ambiental. Apesar de apresentar um custo maior de implantação, a ferrovia é um modo mais eficiente do que a rodovia no que tange ao transporte de carga, devido à uma maior vida útil e maior volume de carga transportado por unidade veicular, representando em geral economia de combustível.

Com relação ao transporte de pessoas, a ferrovia é um dos sistemas adotados por grandes cidades como Nova York, Londres e Xangai para o transporte urbano, possuindo imensas malhas de linhas metroviárias (RAMALHOSO, 2016). Ademais, é importante citar alguns países da Ásia e Europa, que já possuem linhas férreas de alta velocidade como meio de locomoção consolidado para médias e longas distâncias conforme mostrado por Lacerda (2008). No Brasil, existem algumas linhas isoladas que transportam pessoas, cujo objetivo de transporte é predominantemente turístico, com exceção das ferrovias Estrada de Ferro Vitória a Minas (EFVM) e Estrada de Ferro Carajás (EFC), que chegaram a transportar 1,2 milhão de passageiros no ano de 2017 (BRASIL, 2018).

O investimento em ferrovias no Brasil teve início nas últimas décadas dos anos 1800, com incentivos do governo imperial. Porém, a falta de um órgão regulador trouxe como consequência um crescimento desordenado da malha, e com uma grande variabilidade de bitolas, o que inviabilizou a integração (CNT, 2013). Ainda segundo a CNT (2013), no início do século XX, mesmo com a construção de rodovias pavimentadas, a malha ferroviária brasileira continuou em ampliação até o final dos anos 1950, quando as ferrovias passaram, então, a enfrentar grandes obstáculos.

O plano de investimento do governo Juscelino Kubitschek em rodovias, seguido de algumas décadas da crise fiscal do país, contribuíram para um sucateamento do sistema ferroviário nacional. No final do século, o governo optou por iniciar o processo de concessão de ferrovias pertencentes à Rede Ferroviária Federal S.A. (RFFSA).

Somente a partir dos anos 2000 começaram a aparecer grandes projetos e investimentos em construção e integração da malha ferroviária.

Um exemplo claro é expansão da Ferrovia Norte-Sul (FNS), com a intenção de ligar os dois extremos longitudinais do país sem interrupção do transporte em linhas (VALEC, 2020). Contudo, em 2019, dos 4500 quilômetros de linhas previstas no projeto da ferrovia, que já possui 30 anos, apenas 1575 quilômetros estavam construídos e são ainda pouco utilizados (UOL, 2019). Em 2021, foram inaugurados 172 quilômetros da ferrovia, localizados entre São Simão (GO) e Estrela D'Oeste (SP) (GOVERNO FEDERAL, 2021).

De acordo com o Brasil (2020), existem 30,6 mil quilômetros de ferrovias implantadas no país, de um total de 47,7 mil quilômetros do Plano Nacional de Viação. A função majoritária das ferrovias implantadas é o transporte de cargas. Conforme dados da CNT (2018), no ano de 2017, 74,2% do total de carga x distância transportado em ferrovias é de minério de ferro, com o restante se dividindo entre insumos agrícolas, combustíveis, insumos industriais, entre outros.

A via férrea ou ferrovia é apenas uma das partes que compõe o patrimônio de uma empresa prestadora de serviços de transporte ferroviário de cargas e passageiros, constituindo-se em última análise, no “suporte físico” para o modal terrestre ferroviário (BORGES NETO, 2012). Normalmente, as estruturas das ferrovias são compostas pelo lastro, que é uma camada granular de suporte das partes superiores das linhas. Porém, existem estruturas sem lastro, assentadas sobre concreto, que têm ganhado espaço nas construções dos últimos anos. Como observado por Esveld (2001), esse tipo de composição possui menor peso e menor altura em comparação às linhas tradicionais munidas de lastro, além de terem se mostrado competitivas em relação ao custo e vantajosas para alta velocidade. Neste trabalho, serão abordadas apenas as linhas que possuem lastro, sendo, portanto, associado aos termos “ferrovias” e “linhas férreas” esse tipo de composição.

A norma NBR 5564 (ABNT, 2011) especifica condições físicas e mecânicas a serem atendidas para um material natural britado ser utilizado como lastro. Devido ao aumento substancial e contínuo que o setor ferroviário passou nos últimos vinte anos, novas metodologias, métodos e normas se fazem necessários (GOMES, COSME, *et*

al., 2016). A norma NBR 5564 (ABNT, 2011) por exemplo, além de apresentar uma metodologia restrita a pedras britadas naturais, não contempla avaliações da degradação das propriedades do lastro ferroviário sob grandes variações de temperatura, incluindo casos de congelamento e descongelamento.

Geadas são recorrentes em países frios e países de climas temperados. No caso do Brasil, eventualmente, as regiões Sudeste, Centro-Oeste e principalmente a região Sul apresentam baixas temperaturas durante o período de inverno, o que pode favorecer a formação de geadas em superfícies expostas (ALGARVE, 2005). Conforme Santos e Pereira *et al.* (2018), o congelamento de água nos poros dos fragmentos de lastro podem causar aumentos significativas nas tensões no interior desses poros, proporcionando deformações e fissurações que comprometem a função estrutural do lastro e a durabilidade do material.

Uma das avaliações da norma NBR 5564 (ABNT, 2011) é a resistência do lastro ao intemperismo químico, fenômeno ao qual ele está sujeito ao longo de sua vida útil na ferrovia. A avaliação apresentada na norma constitui-se do cálculo da perda de massa de fragmentos do lastro após uma simulação desse intemperismo. Ao levar em conta a aplicação de lastro em linhas próximas a regiões industrializadas, como São Paulo, Rio de Janeiro e a Zona Franca de Manaus (REDAÇÃO PENSAMENTO VERDE, 2013), os materiais constituintes da plataforma ferroviária estão sujeitos à chuva ácida. Esse fenômeno segundo Sevá Filho (1991) é causado pelo acúmulo de gases carregados de nitratos e sulfatos na atmosfera devido à queima de combustíveis. Esses gases, de acordo com o autor, ao combinarem com a água da chuva diminuem o pH da água ao formarem ácidos e ao precipitar, degradam florestas, edifícios e rochas expostas.

A chuva ácida é, então, prejudicial ao material constituinte do lastro ferroviário, e a norma NBR 5564 (ABNT, 2011) não avalia a alteração de seus parâmetros físicos e mecânicos ao ser exposto a tal intemperismo. A degradação química conforme Nurmiolu (2005), também é responsável pela deterioração do lastro, apesar de em geral contribuir menos que outros intemperismos e solicitações mecânicas.

A avaliação correta das condições ambientais do local de implantação da ferrovia contribui para a escolha correta do material a ser utilizado, desde que se conheça bem

seu comportamento diante das condições impostas. O estudo da alteração das propriedades do lastro submetido a intempéries se inclui nesse escopo. Dessa forma, para viabilizar investimentos nacionais iminentes no transporte ferroviário, se torna necessário o estudo de qualidade e comportamento dos materiais utilizados na via férrea, como é o caso do lastro. O domínio sobre as propriedades e características dos materiais permite uma utilização estratégica e otimização dos processos de fabricação, compra e destinação. Os resultados tendem a diminuir os custos de implantação e manutenção da via, bem como prover uma maior durabilidade.

1.1 Objetivo

O objetivo deste trabalho foi avaliar a alteração das características físicas e mecânicas de lastros de basalto, gnaisse e escória de aciaria LD após serem submetidos à ação de intemperismos físicos e químicos, bem como estimar a quantidade de ciclos de intemperismos que os materiais podem sofrer até perderem sua capacidade de suporte e não atenderem mais aos requisitos de resistência e durabilidade da norma NBR 5564 (ABNT, 2011).

1.1.1 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos a seguir visam estruturar e embasar o desenvolvimento do estudo para que o propósito principal seja alcançado:

- Identificar estudos já realizados sobre os causadores de degradação do lastro ferroviário e entendê-los;
- Avaliar as características físicas e mecânicas iniciais dos materiais analisados;
- Entender os efeitos de intemperismos nas propriedades do lastro;
- Avaliar e parametrizar a deterioração do lastro devido a simulações de intemperismos físicos por congelamento e degelo e intemperismo químico por imersão em solução salina;
- Avaliar em especial o comportamento da escória de aciaria LD, pelo fato de seu reaproveitamento na construção civil ser uma opção sustentável.

1.2 Estrutura do Texto

Para apresentar os resultados deste estudo, este trabalho foi estruturado e desenvolvido ao longo de cinco capítulos:

No Capítulo 1, representado por esta Introdução, apresenta-se o contexto em que se insere o problema proposto, seus objetivos, justificativa, e contribuições do trabalho.

No Capítulo 2 é apresentada a revisão bibliográfica, abordando os conceitos centrais da pesquisa e os principais e mais recentes trabalhos que avaliaram a degradação do lastro ferroviário e a perda de resistência de agregados e amostras rochosas sob ação de intemperismos por congelamento e descongelamento e ataque de soluções salinas.

No Capítulo 3 a metodologia de pesquisa é detalhada, com a descrição das etapas de amostragem, determinação dos parâmetros físicos e mecânicos iniciais dos materiais, ciclos de intemperismo e determinação dos parâmetros pós intemperismo. As normas utilizadas para reger os ensaios são devidamente citadas.

Os resultados obtidos na pesquisa são expostos e analisados no Capítulo 4, e os dados obtidos são comparados com os resultados de pesquisas executadas anteriormente e com exigências normativas.

Por fim, no Capítulo 5 são apresentadas as conclusões obtidas e sugestões a trabalhos futuros.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Transporte ferroviário e sua importância no contexto brasileiro

Mesmo devido às falhas e problemas históricos apresentados na Introdução deste trabalho, as ferrovias no Brasil ainda apresentam um grande impacto na economia do país. Além da participação existente no transporte de cargas, o funcionamento desse meio de transporte é responsável pelo emprego de aproximadamente 80 mil pessoas (VALE, 2017) e é responsável por 33% do total de cargas que chegam ao Porto de Santos, maior porto do país, total que a autoridade portuária busca aumentar para 40% nos próximos 20 anos (VARGAS, 2020). Na Figura 1, é mostrado um mapa de distribuição das ferrovias no Brasil.

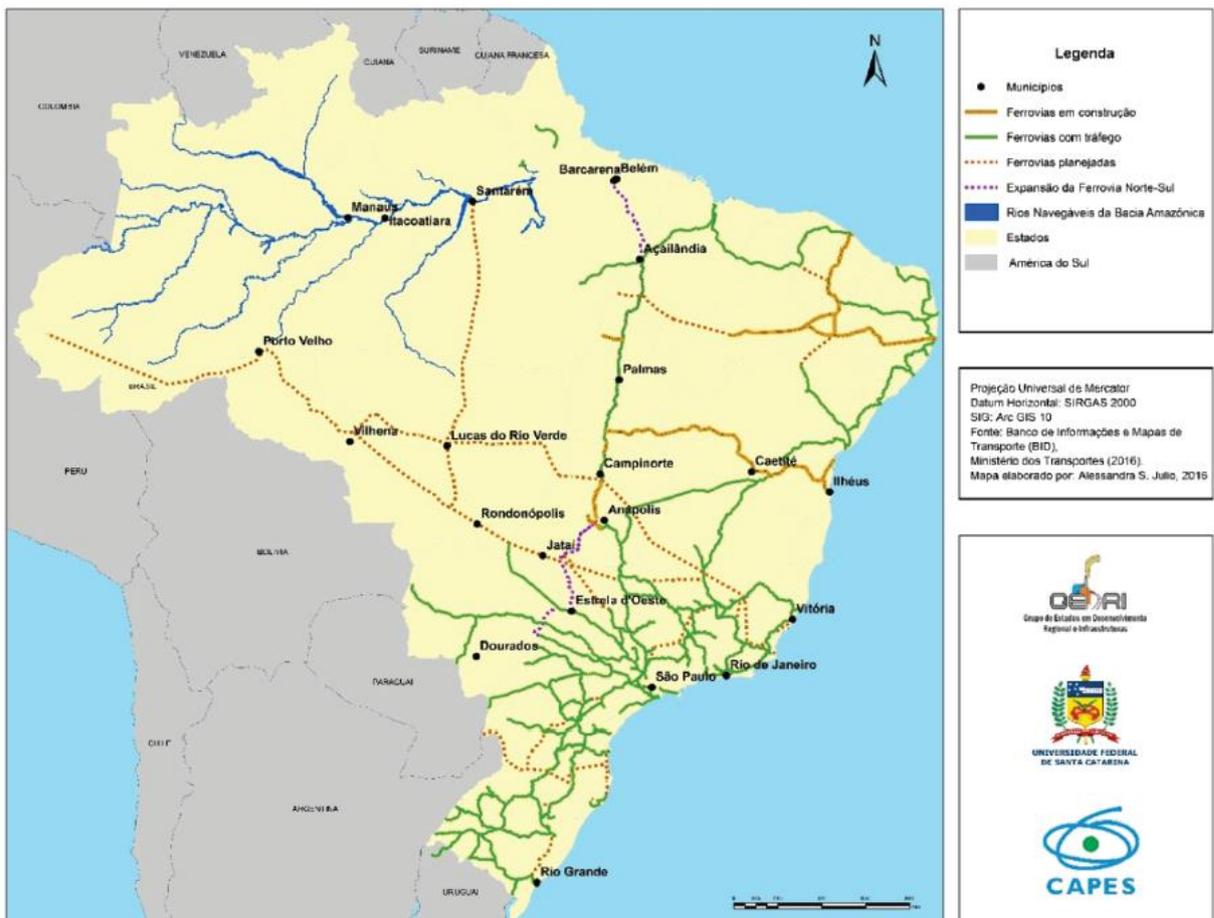


Figura 1 – Malha ferroviária brasileira e os principais projetos de expansão (SILVEIRA e JULIO, 2017)

Como pode ser visto na Figura 1, a malha ferroviária brasileira é pequena e concentrada nas regiões Sul e Sudeste, o que encarece o transporte de cargas das regiões Centro-Oeste e Norte para o litoral, que passam a depender quase que exclusivamente do modo rodoviário. A Figura 2 apresenta um comparativo dos meios de transportes de carga do Brasil e de outros países de extensão territorial semelhante.

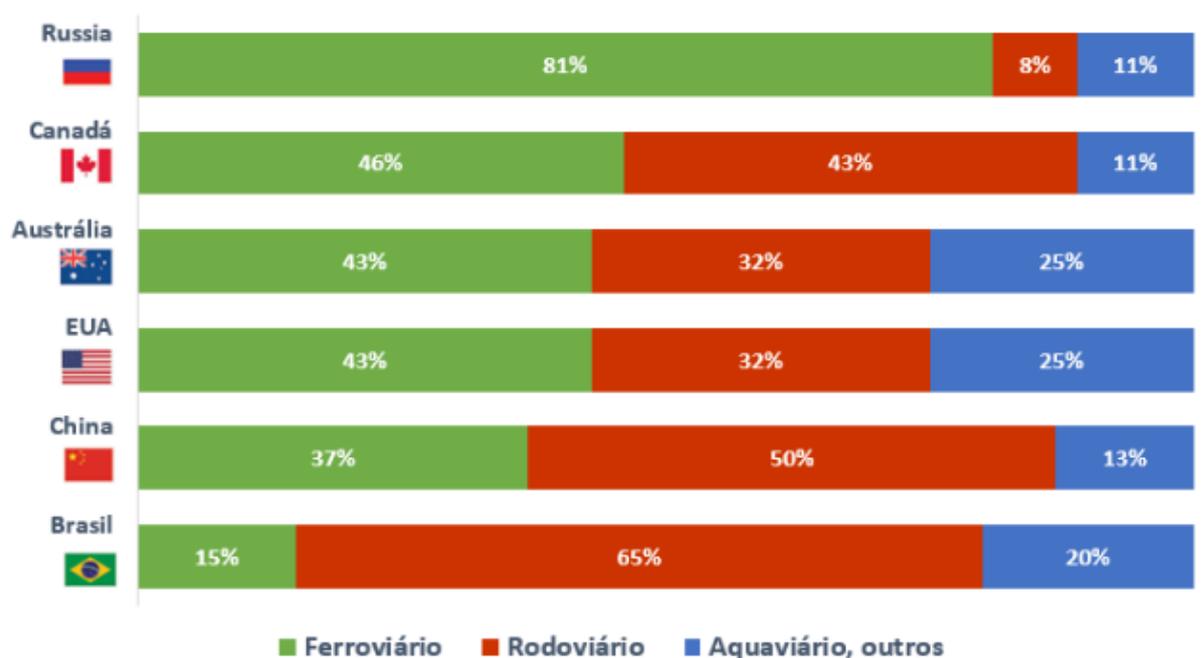


Figura 2 – Comparação de matrizes de transporte de carga do Brasil com outros países de mesmo porte territorial (ANTF, 2019).

Dado o desequilíbrio entre os modos de transporte no Brasil apresentado na Figura 2, é importante que se estude novas estratégias que permitam o alívio da pressão sobre o transporte rodoviário no país. Se terminada a construção da Ferrovia Norte-Sul, com parte do projeto em estudo de viabilidade (VALEC, 2020), será proporcionado um enorme incentivo econômico em regiões agrícolas e de cerrado brasileiras.

Falcão (2013) apresentou um estudo sobre a situação atual do transporte de cargas por ferrovias no Brasil, apresentando relações diretas do crescimento do

transporte ferroviário de cargas com o aumento do PIB e das exportações. A autora fez projeções de crescimento econômico do país em proporcionalidade ao crescimento do transporte ferroviário, porém, ela pontua sobre a necessidade de investimentos na ampliação desse modo de transporte, que caso não aconteça, pode fazer com que a falta de estrutura do sistema ferroviário nacional se torne um gargalo desse crescimento econômico levantado. Na Tabela 1, é apresentado um comparativo entre os custos dos transportes hidroviário, rodoviário e ferroviário.

Tabela 1 – Custo de construção e manutenção da infraestrutura e vida útil por modal. (PÊGO, 2016, adaptado)

Indicador	Hidroviário	Rodoviário	Ferrovário
Custo médio de construção (US\$/km)	34.000	440.000	1.400.000
Custo relativo de manutenção	Baixo	Alto	Alto
Vida útil relativa	Alta	Baixa	Alta
Vida útil dos equipamentos e veículos (anos)	50	10	30

*OBS.: 1 Barcaça de 1.500 toneladas de capacidade corresponde a 15 vagões de 100 toneladas cada e a 60 caminhões de 25 toneladas cada.

2.2 Infra e superestrutura ferroviária

A divisão estrutural linha férrea é feita em dois subgrupos: infraestrutura e superestrutura. De acordo com Borges Neto (2012), a infraestrutura ferroviária abrange: obras de terraplanagem (cortes e aterros), obras de arte corrente (obras do sistema de drenagem da plataforma e pontilhões) e obras de arte especiais (i.e., pontes, túneis, contenções de talude, passagens, entre outros). A superfície resultante das obras de infraestrutura ferroviária chama-se leito ou plataforma (BRINA, 1988).

A superestrutura ferroviária é constituída pela plataforma e pela via permanente, que se apoia sobre o leito e é composta pelos elementos sublastro, lastro, dormentes e trilhos. A Figura 3 mostra a divisão da superestrutura ferroviária. O sublastro, mesmo ligado as camadas finais da infraestrutura, possui características que justificam sua inclusão na superestrutura ferroviária (BRINA, 1988).

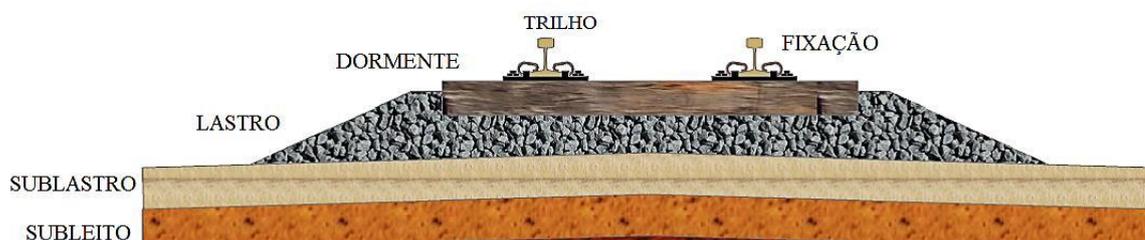


Figura 3 – Perfil típico da via permanente (OLIVEIRA, 2013, adaptado pelo autor).

Os dormentes recebem os esforços de apoio do trilho, os transmitindo ao lastro. O lastro é o material predominantemente graúdo que fixa e recebe os esforços dos dormentes, transmitindo-os para as camadas inferiores da estrutura da ferrovia. O lastro deve apresentar características necessárias ao cumprimento adequado de suas funções de suporte e possuir uma vida útil que viabilize sua aplicação e investimento.

O dimensionamento do lastro sob os dormentes segundo Brina (1988) depende da distribuição de tensões transmitidas pelos dormentes e a pressão admissível do sublastro. No Brasil, o dimensionamento do lastro e do sublastro devem seguir a norma ISF-212: Projeto de superestrutura da via permanente – Lastro e sublastro (DNIT, 2015) e os materiais utilizados no lastro devem atender os requisitos prescritos na norma NBR 5564: Via férrea – Lastro ferroviário – Requisitos e métodos de ensaio (ABNT, 2011).

Conforme Borges Neto (2012), pouca importância era dada aos componentes da infraestrutura ferroviária e seus materiais na construção das primeiras ferrovias. Somente na metade do século XX começaram a aparecer os primeiros estudos da plataforma ferroviária, no que tange à forma, constituição e tensões sob as quais pode estar sujeita. Ainda, conforme Borges Neto (2012) pela técnica moderna de construção de ferrovias, o corpo dos aterros até um metro abaixo da superfície da plataforma deve ser compactado em camadas com no mínimo 95% do peso específico obtido nesse último metro, sendo um método de estruturação bem similar ao de construção de camadas de rodovias.

No que tange ao subleito, este é considerado como a camada mais importante da infraestrutura em termos de suporte, sendo o material constituinte da plataforma e oferecendo suporte aos elementos da superestrutura. A influência das tensões induzidas pelo tráfego se estende para baixo na ordem de cinco metros sob a face inferior dos dormentes, consideravelmente abaixo das profundidades do lastro e do sublastro (SELIG e WATERS, 1994). Dessa forma, conforme Selig e Waters (1994), o subleito é o componente mais importante na resiliência da linha, sendo que contribui para a deflexão elástica do trilho e é creditado à sua rigidez uma influência nas deteriorações do lastro, trilhos e dormentes.

O subleito pode ser composto unicamente por solo natural local, cortado, trabalhado e compactado ou ainda pode ser complementado com outro solo com função de regularização de superfície, aterro e/ou reforço estrutural. O uso de reforço depende da capacidade de suporte do material frente às solicitações do tráfego e alturas do lastro e sublastro. Alguns modos de falha do subleito, apresentados por Selig e Waters (1994) são: adensamento e recalque excessivos devidos às solicitações tráfego, falha excessiva por cisalhamento, mudança significativa de volume devido à umidade, deformações e amolecimento por congelamento e descongelamento e atrito das partículas.

A superestrutura deve oferecer resposta estrutural às solicitações do transporte. Com isso, para se escolher os materiais e dimensionar os elementos da superestrutura, é necessário que se conheça tais solicitações e como as tensões causadas por ela se distribuem em toda a estrutura. A Figura 4 apresenta o princípio básico de distribuição da carga aplicada pela roda do trem, onde a função de cada camada é receber e absorver as solicitações da camada superior, transferindo à camada inferior valores de tensão admissíveis a ela.

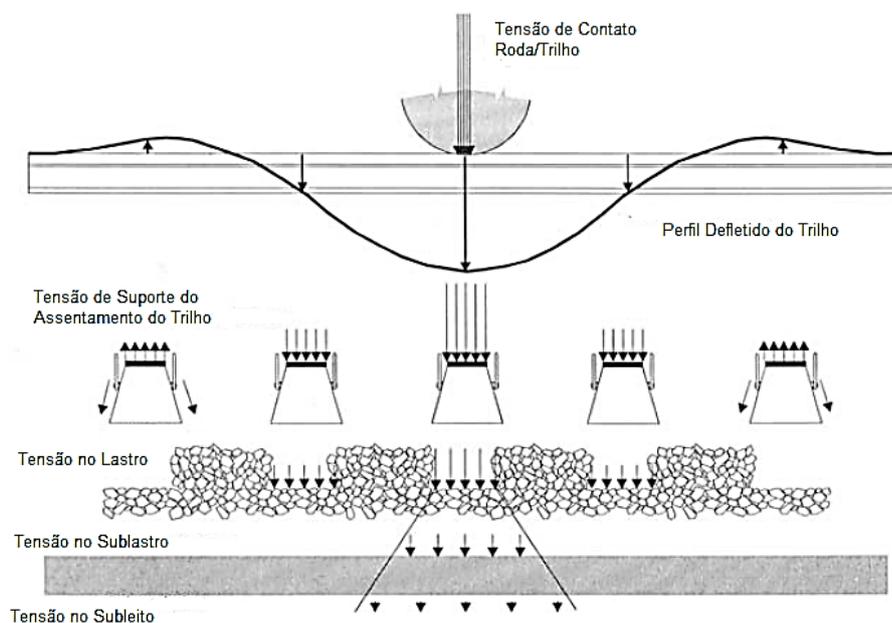


Figura 4 – Distribuição de tensões da roda na estrutura da linha (SELIG e WATERS, 1994, traduzido pelo autor).

O mecanismo de suporte da ferrovia então, começa com a tensão entre as rodas dos vagões e os trilhos de aço. Os trilhos são os elementos da via que ficam em contato direto com as rodas das composições do comboio, sendo responsável por guiá-lo. De acordo com Selig e Waters (1994), os trilhos devem ter rigidez suficiente para trabalharem como vigas ao transferirem as cargas concentradas dos trilhos para os dormentes sem deflexão excessiva entre esses apoios.

Os trilhos são ligados aos dormentes por fixações rígidas (pregos/grampos e *Tirefronds*) ou elásticas (placas GEO/K, fixação *Pandrol* ou fixação *Deenik*). As ligações fixas, mesmo não possuindo graus de liberdade, não impedem o deslocamento longitudinal dos trilhos, enquanto as elásticas permitem um mínimo movimento dos trilhos e absorvem as vibrações, aumentando a vida útil dos componentes da via (CAVA, 2018). O tipo de ligação depende bastante do tipo de dormente escolhido. As ligações mais usuais são mostradas na Tabela 2.

Tabela 2 – Principais ligações entre trilhos e dormentes (RODRIGUES, 2019 e CAVA, 2018).

Tipo de ligação	Ligação	Imagem
Rígida	Pregos/Grampos	
	<i>Tirefronds</i>	
Elástica	Placa GEO/K	
	Fixação <i>Pandrol</i>	
	Fixação <i>Deenik</i>	

Os dormentes recebem e transmitem ao lastro os esforços oriundos das cargas dos veículos nos trilhos, suportando-os e mantendo a distância entre eles (bitola) fixa (BRINA, 1988). Os principais materiais de fabricação de dormentes são madeira, aço e concreto. De acordo com Brina (1988), além de rigidez e durabilidade, é desejável que os dormentes permitam, com certa facilidade, o nivelamento do lastro na base. Na Figura 5, é apresentada os tipos de esforços atuantes nos dormentes e uma patologia típica em dormentes de concreto.

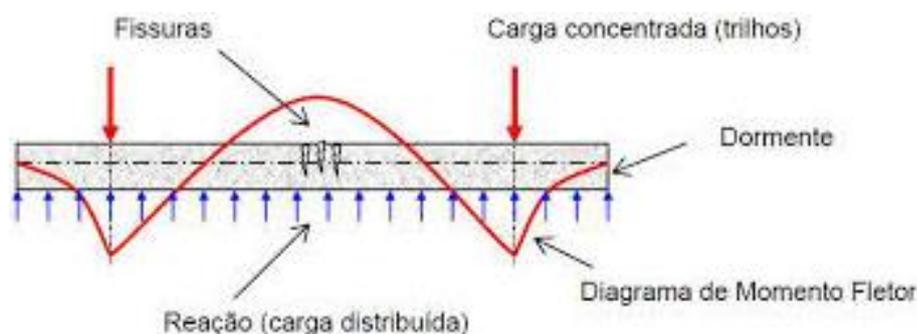


Figura 5 – Esforços nos dormentes de concreto (PORTO, 2004).

O lastro é composto de material graúdo, com uma distribuição adequada de tamanho das partículas (granulometria), que deve transmitir os esforços dos dormentes ao sublastro em valores menores que sua tensão admissível. Deve oferecer apoio contínuo e sólido aos dormentes como já visto na Figura 5. De acordo com Selig e Waters (1994) as principais funções do lastro são:

- Resistir vertical (inclusive levantamento), lateral e longitudinalmente às forças aplicadas pelos dormentes;
- Prover resiliência e absorção de energia à linha;
- Possuir vazios para armazenamento de impurezas e movimento de partículas pelo lastro;

- Facilitar a manutenção superficial e operações de alinhamento pela habilidade de rearranjar as partículas do lastro por socaria¹;
- Prover drenagem imediata da água que cair sobre a linha;
- Reduzir as pressões da área de suporte dos dormentes para tensões admissíveis às camadas inferiores.

Enquanto as funções secundárias são:

- Aliviar problemas de congelamento não sendo vulnerável a problemas causados por esse fenômeno e proporcionar uma camada isolante de proteção das camadas inferiores;
- Inibir o crescimento de vegetação, proporcionando uma camada de cobertura não adequada ao crescimento vegetal;
- Absorver ruídos;
- Proporcionar resistência elétrica adequada entre os trilhos;
- Facilitar readequações e reconstruções da linha.

A Figura 6 apresenta novamente a divisão da estrutura ferroviária, porém com as divisões do lastro.

¹ Processo de manutenção geométrica da linha executado através da compactação e nivelamento do lastro sob os dormentes por meio da vibração. De acordo com Brina (1988), se feita mecanicamente, é executada através de uma máquina denominada socadeira, provida de lâminas vibratórias que são inseridas entre os agregados.

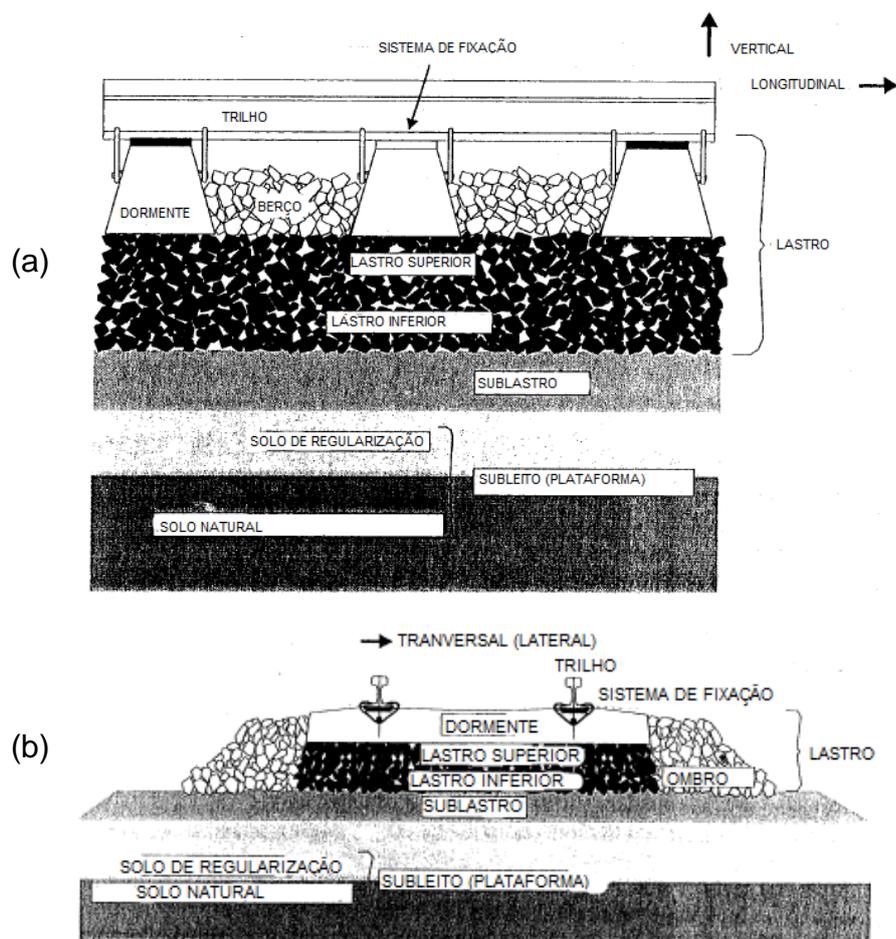


Figura 6 – Componentes da estrutura ferroviária e divisão do lastro. a) Corte longitudinal da via férrea. b) Corte transversal da via férrea (SELIG e WATERS, 1994, traduzido pelo autor).

O lastro é dividido em:

- Berço: Parte que fica entre os dormentes, contribui para imobilizá-los longitudinalmente e não recebe esforços dos veículos;
- Lastro superior: Porção que absorve a maior parte dos esforços dos veículos transmitidos pelos dormentes;
- Lastro inferior: Porção que recebe os esforços provenientes da parte superior, os absorve e aplica valores inferiores de tensão no sublastro;

- Ombros/ombreiras: Porções que praticamente não recebem esforços dos dormentes, mas contribui para imobilizá-los transversalmente e proteger as camadas estruturais de lastro localizadas entre eles.

Brina (1988) afirma que a altura do lastro sob os dormentes depende da distribuição de tensões transmitidas pelos dormentes e da pressão admissível no sublastro. A pressão sob os dormentes normalmente é obtida pelas curvas de Talbot² (ANEXO A) que são adaptações das teorias da mecânica dos solos para os casos de pedra britada. Em algumas operações de manutenção, área de lastro sob os dormentes é submetida ao fenômeno de socaria, que, conforme Borges Neto (2012) consiste na vibração do lastro sob os dormentes a fim de compactá-lo sob a região mais solicitada sob os dormentes, o que melhora a capacidade de suporte e mitiga deformações excessivas.

A socaria é o método mais utilizado em manutenções de desvios geométricos na via férrea. Contudo, o objetivo desejado é acompanhado por eventuais danos, causando a perda de material, inicial diminuição da resistência ao deslocamento lateral do trilho e flambagem (SELIG e WATERS, 1994). Segundo Selig e Waters (1994), no que tange ao sublastro, algumas de suas funções, comuns ao lastro são: a redução da tensão na base da camada superior para uma tensão admissível à camada inferior e o aumento da proteção contra o congelamento do subleito. Contudo, algumas das funções únicas do sublastro de acordo com os autores são: impedimento da interpenetração entre subleito e lastro e migração de material do subleito para o lastro; prevenir o atrito entre o lastro e o subleito e a formação de lama; direcionar a

² Como mostrado em Brina (1988), é caracterizada por uma malha quadriculada de 25 milímetros em que está impresso um ábaco com curvas de valores de percentuais de tensão em relação ao valor da tensão na interface entre a base do dormente e o lastro.

água drenada do lastro para as canaletas laterais de drenagem da plataforma e drenar a água que eventualmente pode fluir do subleito de forma ascendente.

Além disso, sendo o lastro um material até certo ponto caro e de grande consumo (cerca de 1,5m³ por metro corrente) e às vezes de difícil obtenção, a utilização do sublastro, com material mais barato e encontrado nas proximidades do local de emprego traz grande economia à superestrutura ferroviária, além de melhorar consideravelmente o padrão técnico da via permanente e baratear a manutenção da mesma (BRINA, 1988). O lastro deve transferir as cargas na base do dormente até o sublastro respeitando sua tensão admissível. No Brasil, a medição da capacidade de suporte do sublastro é obtida através do Índice de Suporte Califórnia (ISC)³, parâmetro comum em projetos de pavimentos rodoviários.

2.3 Materiais utilizados como lastro ferroviário

Existem vários materiais utilizados para lastro, como solo, areia, cascalho, escória e pedras britadas. Segundo Brina (1988), solo e areia não são ideais, ao contrário dos outros três, que, em condições normais são bons tipos de lastro. Brina (1988) afirma que algumas escórias de usinas metalúrgicas apresentam propriedades suficientes para o emprego como lastro e, normalmente, são aplicadas em linhas próximas às usinas. Segundo Fernandes (2010), a utilização de escórias de aciaria como pavimentação ferroviária se trata de uma solução técnica, rentável e sustentável, por utilizar materiais alternativos que proporcionam redução da demanda de extração e britagem de rochas. Por serem materiais que foram utilizados nesse trabalho, serão tratadas com detalhes em seguida apenas as propriedades das pedras naturais e das escórias de aciaria.

³ De acordo com Bernucci e Motta *et al.* (2008), é o índice que parametriza a capacidade de suporte de um solo através da comparação percentual de sua resistência à penetração de uma ponteira metálica com a resistência apresentada por uma brita padrão graduada.

2.3.1 Pedras britadas de rochas naturais

As pedras britadas de rochas naturais são os agregados mais utilizados como lastro, e são classificadas por Brina (1988) como o melhor tipo de lastro, permitindo um bom nivelamento por socaria. As principais rochas britadas utilizadas como lastro, de acordo com Brina (1988) e Borges Neto (2012) são: arenito, calcário, mármore, dolomito, granito, micaxisto, quartzito, diorito, diabásio e gnaisse, sendo que as quatro primeiras nem sempre atendem aos requisitos exigidos para lastro pelas normas de regulamentação vigentes atualmente. No Brasil, cerca de 85% da brita produzida vem de granito/gnaisse, 10% de calcário/dolomito e 5% de basalto/diabásio (QUARESMA, 2009).

O granito é uma rocha ígnea intrusiva, isto é, formada a partir do resfriamento do magma vulcânico no interior da Terra, e félsica (pobre em ferro e magnésio e rica em minerais de muita sílica). De acordo com Press e Siever *et al.* (2006) o granito é uma das rochas ígneas mais abundantes e contém 70% de sílica, incluindo quartzo e ortoclásio em abundância, quantidades menores de plagioclásio e pequenas quantidades de mica e anfíbolito. Segundo Branco (2014), o quartzo é um dos minerais mais resistentes ao intemperismo, o que confere ao granito alta resistência a esse fenômeno. Essa propriedade confere ao granito alto interesse em seu uso na construção civil por implicar em um baixo teor de degradação quando comparado à outras rochas.

Já o gnaisse, conforme Menezes (2013) é uma rocha metamórfica de origem granítica com estrutura orientada. Nele, a estrutura bandeada é caracterizada pela alternância de faixas claras (quartzofeldspáticas) e escuras (com biotita e anfíbólio) (MENEZES, 2013). O bandamento dos gnaisses em camadas claras e escuras resulta da segregação de quartzo e feldspato, de coloração clara, e anfibólitos e outros minerais máficos (rochas ricas em piroxênios e olivinas, possuindo ferro e magnésio em abundância e pobres em sílica), de coloração escura (PRESS, SIEVER, *et al.*, 2006). Ainda segundo Press e Siever *et al.* (2006), os gnaisses possuem grãos

grossos e alta razão entre minerais granulares e placoides (como em ardósias e xistos), sendo esse o motivo de apresentarem uma foliação⁴ fraca.

De acordo com Press e Siever *et al.* (2006), o calcário é a rocha sedimentar bioquímica litificada a partir de sedimentos carbonáticos mais comum. Segundo Victoria (201?), essa rocha é formada pela compactação de material precipitado de carbonato de cálcio - CaCO_3 , sendo então a calcita seu principal mineral constituinte. Por apresentar alta porosidade e ser constituído por um mineral carbonático, que o torna bastante vulnerável à ataques ácidos, o uso do calcário *in natura* na construção civil é limitado.

A dolomita (ou dolomito), de acordo com Suguio (2003) é uma rocha muito semelhante ao calcário composta basicamente por dolomita [$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$], um mineral que resulta da transformação da calcita a partir de reações com soluções hipersalinas, ricas em magnésio, marinhas ou de origem magmática. Por também apresentar uma estrutura carbonática, o dolomito apresenta vulnerabilidades semelhantes às do calcário.

O basalto por sua vez é uma rocha ígnea extrusiva, sendo a rocha ígnea mais abundante na crosta terrestre como afirmado por Press e Siever *et al.* (2006). Apresenta coloração escura devido à sua formação abundante em minerais máficos. A lava de basalto possui baixa viscosidade, podendo percorrer longas distâncias. (GEOLOGY ROCKS & MINERALS, 2005). A composição química aproximada do basalto é de 43 a 47% de SiO_2 , 11 a 13% de Al_2O_3 , 10 a 12% de CaO e 8 a 13% de MgO , além de outros óxidos que estão presentes em porcentagens inferiores a 5% (SCHIAVON, REDONDO e YOSHIDA, 2007).

O diabásio apresenta uma estrutura semelhante à do basalto e à do gabro, sendo frequentemente confundida com eles por possuir menor abrangência e apresentar

⁴ A foliação pode ser usada para se referir ao acamamento/estratificação rítmica em rochas sedimentares, para bandamento composicional ígneo, para estruturas de fluxo magmático ou para xistosidade, clivagem ou outras estruturas planares em rochas metamórficas (UNESP, 2020).

dificuldades de identificação. De acordo com Leinz (1949), o diabásio representa todos os termos intrusivos do magma basáltico, tais como diques, e *skills*. No ANEXO B, são apresentadas tabelas resumo das propriedades e aplicações do basalto e do gnaisse na construção civil, rochas utilizadas nessa pesquisa.

2.3.2 Escórias de aciaria

As escórias mais comuns de acordo com Fernandes (2010) são as de alto-forno (processadas na fusão dos minérios) e as de aciaria (processadas na obtenção do ferro-gusa). Pereira (1994) aponta que a geração de resíduos pela siderurgia gira em torno de 70 a 170 kg por tonelada líquida de aço produzido. Esses valores são motivos de várias pesquisas de reaproveitamento e aplicação desses resíduos na construção civil. De acordo com Polese e Carreiro *et al.* (2006), as escórias podem ser utilizadas como agregados em concretos, lastro ferroviário, revestimento asfáltico (juntamente com a escória de alto forno, produção de drenos, canaletas, pavimentos pré-moldados de concreto, proteção de taludes, construção de estacionamentos e pátios industriais e pavimentos e estradas vicinais.

De acordo com Freitas (2018), a escória de aciaria do tipo LD é gerada nas usinas integradas, que em termos gerais possuem as etapas de redução, refino e laminação. Basicamente existem três processos, caracterizados pelo emprego de diferentes tipos de fornos de refino: o *Siemens-Martin (Open Heart – OH)*; o convertedor (*Linz e Donawitz – LD* ou *Basic Oxygen Furnace – BOF*) utilizado no processo integrado; e, o forno elétrico a arco (*Electric Arc Furnace - EAF*), utilizado nas usinas semi-integradas (FREITAS, 2018). Segundo Rohde (2002), fornos do tipo *Siemens-Martin* entraram em desuso, e não ocorrem no Brasil.

De acordo com Freitas (2018), a escória de aciaria é gerada durante o refino primário do aço, que consiste na transformação da matéria-prima sólida ou líquida em um produto base para a etapa de refino secundário. Conforme Fernandes (2010), após a inserção de oxigênio no ferro gusa líquido, juntamente com cal, a escória se separa do aço devido a diferenças de densidade, e nessa etapa, é recolhida e levada a um pátio para se dar início ao processo de resfriamento. A Figura 7 representa de forma esquemática o processo de refino primário do aço, onde é possível verificar a

etapa de retirada da escória. A Figura 8 também representa esse processo, com imagens de cada etapa.

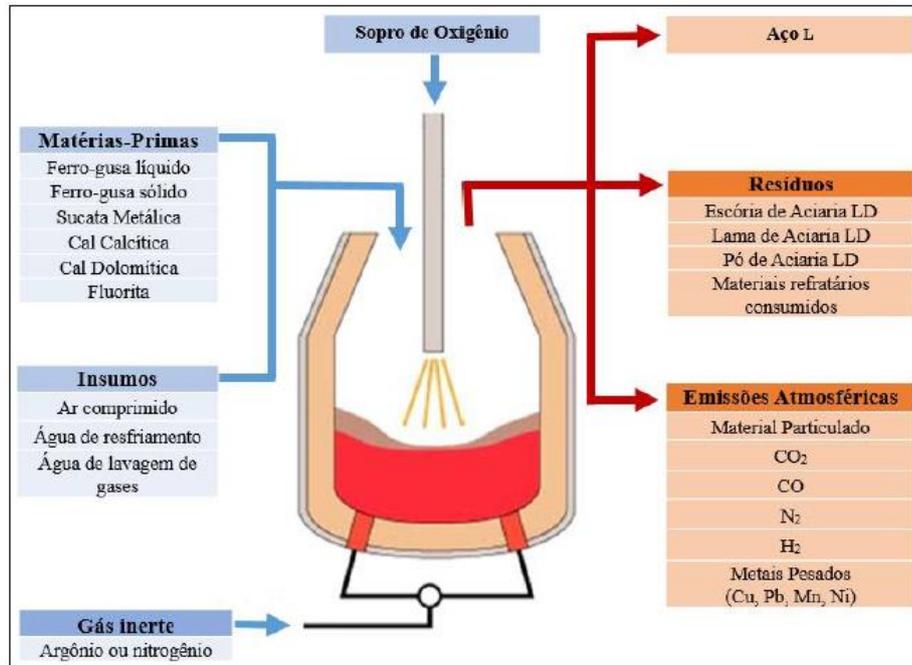


Figura 7 – Modelo esquemático da aciaria LD com ênfase no fluxo de entrada e saída de materiais (FREITAS, 2018).

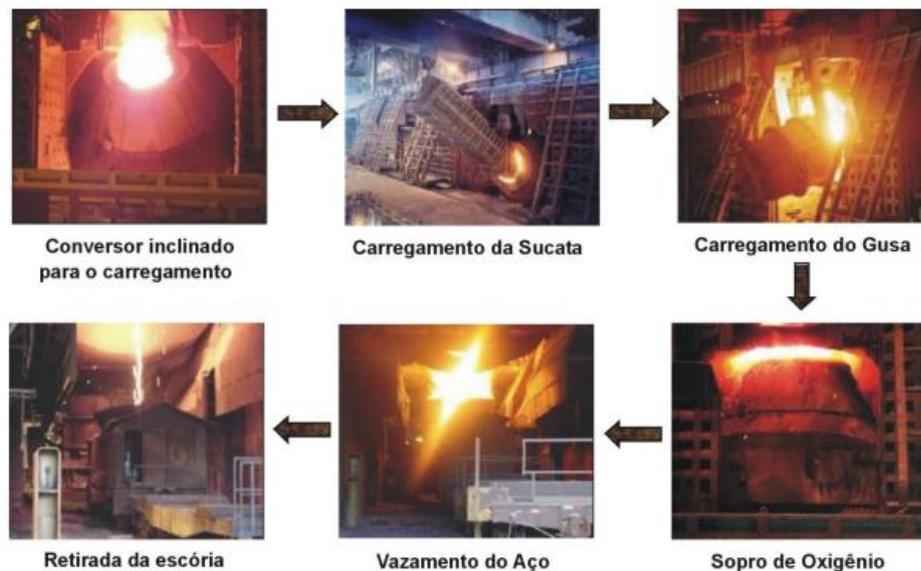


Figura 8 – Sequência de operação de um conversor a oxigênio na produção do aço (FERNANDES, 2010).

De acordo com Rohde (2002), a adição de cal no processo tem por objetivo proteger o revestimento refratário do forno. A escória é então um produto resultante das reações dos óxidos de cálcio (CaO) e de magnésio (MgO) com os elementos das sucatas metálicas, gerando em maioria silicatos e óxidos. Machado (2000) ainda aponta que outros óxidos como o de titânio (Ti₂O) e o de cromo (Cr₂O) também podem ser identificados, devido ao elevado teor de elementos de liga presente na sucata.

Do ponto de vista mineralógico, as escórias de aciaria são compostas por wustita (FeO), larnita ($\beta - 2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$), cal livre (CaO), periclásio (MgO) entre outros compostos químicos (MACHADO, 2000). É apresentado na Tabela 3 a listagem dos minerais normalmente encontrados na escória de aciaria LD.

Tabela 3 – Composição mineralógica típica das escórias de aciaria LD (MACHADO, 2000).

Fase mineral	Fórmula
Silicato dicálcico - Larnita	$\beta - 2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$
Silicato tricálcico	$3 \cdot \text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$
Silicato de magnésio	$\beta - 2\text{MgO} \cdot \text{SiO}_2$
Ferrita dicálcica	$3 \cdot \text{CaO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$
Mervinita	$\text{Ca}_3\text{Mg}(\text{SiO}_4)_2$
Diopsita	$\text{CaMg}(\text{SiO}_3)_2$
Brown millerita	$4 \cdot \text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$
Bredigita	$\alpha - \text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$
Geledita	$\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$
Óxidos de alumínio e magnésio	$\text{MgO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$
Wustita (óxido de ferro)	FeO
Periclásio (óxido de magnésio)	MgO
Óxido de cálcio	CaO

Na Tabela 4, são apresentadas as taxas de geração de escória de aciaria LD por tonelada de aço em alguns países, e os percentuais de seus componentes.

Tabela 4 – Gerações e composições típicas de escória LD (PEREIRA, 1994).

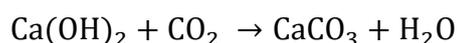
País	Output (kg/t)	CaO (%)	MgO (%)	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	FeO (%)	MnO (%)	P ₂ O ₅ (%)	S (%)
Japão	130	43	7	11	1,5	21	5	NA	0,09
Suécia	145	45	10	15	1,5	18	5	0,3	0,09
Brasil*	75	45	6	14	1,7	22	6	2,2	NA
Austrália	95	40	7	12	NA	27	6	0,9	0,03
EUA	140	44	7	14	1,9	22	6	0,8	0,17
Holanda	125	46	2	10	2,0	30	9	0,9	0,09
Alemanha	90	50	2	12	2	25	3	0,8	0,10
Itália	145	43	7	14	1,4	24	8	1,3	0,07
Faixa	75-145	40-50	2-10	10-15	1,4-2,0	18-30	3-9	0,3-2,2	0,03-0,17

*Alto-forno a carvão vegetal

A maior limitação para o uso de escórias de aciaria é a sua expansibilidade, devido à presença principalmente de óxidos de cálcio e de magnésio (periclásio) livres (POLESE, CARREIRO, *et al.*, 2006). De acordo com Raposo (2005), o CaO se apresenta na forma livre, combinada na forma de silicatos ou em solução sólida, sendo que a forma livre é a que desenvolve a expansão do material e alcança teores de até 10% do total de CaO. Na Equação 1, é mostrada a reação que causa tal expansão e transformação em hidróxido de cálcio, que segundo Raposo (2005), pode gerar um aumento de volume de até 99,4 %.

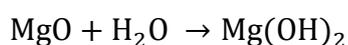


Em menor escala, ocorre também a formação de CaCO₃ (aragonita ou calcita) por carbonatação do Ca(OH)₂, conforme a Equação 2, gerando um aumento de volume de 11% em relação ao hidróxido de cálcio (RAPOSO, 2005) (OKAMOTO, FUTAMURA e KAWAMURA, 1981).



Equação 2

De acordo com Fernandes (2010), pode ocorrer a expansão devido à reação do óxido de magnésio com a água, conforme a Equação 3, o que pode gerar um aumento de 119,5% de volume em relação ao MgO. A dolomita segundo o autor também é utilizada para amenizar o desgaste do sistema refratário do forno.



Equação 3

Oliveira (2013) e Fernandes (2010) ainda apontam processos expansivos devido à transformação alotrópica do silicato de dicálcico ($2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$) e devido à oxidação do ferro metálico residual. Devido a esses comportamentos, é de fundamental importância que a escória passe por algum processo de estabilização antes de ser utilizada na construção civil. Raposo (2005) cita a adição de escória de alto-forno⁵ e/ou cinzas volantes⁶ para reagirem quimicamente com os óxidos de cálcio e de magnésio livres na escória de aciaria.

O processo mais simples de estabilização volumétrica da escória de aciaria é sua exposição prolongada ao tempo (POLESE, CARREIRO, *et al.*, 2006). No Brasil, o antigo DNER - Departamento Nacional de Estradas e Rodagem e atual DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, indica que o tempo de exposição na atmosfera e a intempéries destes resíduos deve ser de no mínimo 6 meses (FERNANDES, 2010).

⁵ Resíduo não-metálico fusível gerado durante a produção de metais (PEREIRA, 1994).

⁶ Minerais produzidos a partir da queima de carvão mineral (SILVA, 1999).

2.4 Exigências para o lastro ferroviário

Além do peso excessivo que deve ser suportado pelo lastro, a passagem das composições sobre os trilhos provoca uma vibração excessiva dos agregados, submetendo as partículas a movimentações, choques (com possível quebra) e abrasão. Então, é importante que os agregados do lastro sejam competentes ao suportar todos esses esforços para que a segurança da via não seja comprometida.

A competência do lastro depende também das propriedades físicas das partículas, como forma e porosidade. É desejável aos agregados utilizados no lastro e no restante da construção civil em geral uma forma cúbica, que permita fluidez no manuseio, intertravamento ao ser compactada, e baixas porosidade e índice de absorção de água, de forma que os fragmentos não sejam altamente vulneráveis a degradações químicas (NURMIKOLU, 2005).

Buscando a garantia das funções mecânicas e do tempo de vida útil adequado do lastro ferroviário, a norma brasileira NBR 5564 (ABNT, 2011) especifica um material padrão, apresentando suas condições físicas e mecânicas limites que devem ser atendidas por agregados britados de rocha, indicadas na Tabela 5. É comum no Brasil que se utilize as condições da NBR 5564 (ABNT, 2011) ou adaptações também para avaliar a eficiência de materiais que não sejam naturais de rocha para avaliar suas possíveis aplicações como lastro, como é o caso de escórias de aciaria.

A Tabela 5 especifica, além de condições às partículas, condições ao material lastro trabalhado como um todo, sendo elas: teores de materiais macios e friáveis, torrões de argila e material pulverulento. Todas essas propriedades, assim como o índice de forma das partículas, influenciam na estrutura, na transmissão de esforços entre partículas, na trabalhabilidade e na manutenção do lastro. A propriedade de massa unitária é determinante no cálculo do volume de transporte de lastro e do peso linear da via férrea, por isso também é levantada pela norma. O valor do peso linear da via pode ser utilizado para se calcular se a tensão aplicada à plataforma é admissível, se forem utilizadas as teorias da mecânica dos solos (BORGES NETO, 2012).

Tabela 5 – Características necessárias ao lastro (ABNT, 2011).

Característica	Valor	Verificado conforme
Forma média das partículas	Cúbica	Anexo A
Partículas não cúbicas (máximo)	15 %	Anexo A
Massa específica aparente (mínima)	2500 kg/m ³	Anexo B
Absorção de água (máxima)	0,8 %	Anexo B
Porosidade aparente (máxima)	1,5 %	Anexo B
Resistência à intempérie (máxima)*	10 %	Anexo B
Resistência à compressão axial (mínima)	100 MPa	Anexo D
Resistência ao choque (índice de tenacidade <i>Treton</i> máximo)	25 %	Anexo E
Teor de fragmentos macios e friáveis máximo*	5 %	Anexo F
Material pulverulento (máximo)	1 %	NBR NM 46
Torrões de argila (máximo)	0,5 %	NBR 7218
Limite de massa unitária no estado solto	1,25 g/cm ³	NBR NM 45
Resistência ao desgaste (abrasão Los Angeles máxima)	30 %	NBR NM 51

* Verificação opcional.

Outra propriedade avaliada para os agregados em conjunto é a distribuição granulométrica, que, além de ser determinante nas propriedades citadas no parágrafo acima, é importante para garantir também o intertravamento dos agregados quando finalizada a estrutura da via. Os limites percentuais de massa acumulada em cada faixa granulométrica são especificados pela norma NBR 5564 (ABNT, 2011) e apresentados na Tabela 6, para lastros de linhas principais e lastros de pátios de ferrovias.

Tabela 6 – Distribuição granulométrica do lastro ferroviário (ABNT, 2011)

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

NOTA 1 Padrão A e Padrão B referem-se, respectivamente a lastro para aplicação em linhas principais e lastro para aplicação em linhas de pátios.

NOTA 2 Na falta das letras A ou B, entende-se como sendo A.

2.5 Degradação do lastro ferroviário

2.5.1 A influência da quantidade de finos

O aumento da presença de materiais finos é um dos principais motivos de manutenção do lastro e redução da sua vida útil. Conforme o tempo de uso, o agregado utilizado na camada de lastro tende a se fragmentar, em dimensão cada vez menor, até alcançar um tamanho que seja de equilíbrio com as forças exercidas sobre ele (PAIM DA SILVA, 2018). Na Figura 9 é apresentada a diferença entre o comportamento de agregados graúdos pouco e muito contaminados com finos.

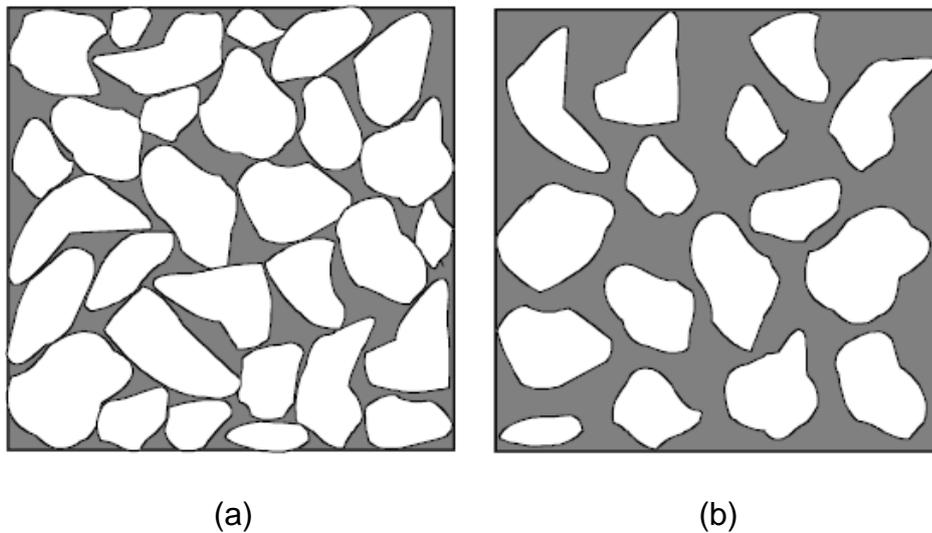


Figura 9 – Princípio da quantidade de finos no comportamento de materiais agregados graúdos. (a) Partículas graúdas dominam a estrutura do material. (b) Os grãos graúdos perderam seu contato mútuo e o comportamento do material é praticamente controlado pelos grãos finos (KOLISOJA, 1997) apud (NURMIKOLU, 2005).

De acordo com Selig e Waters (1994), a presença de finos aumenta a rigidez do lastro, diminui sua capacidade resiliente e diminui sua condutividade hidráulica, aumentando os danos devido ao ataque de agentes agressivos solúveis, que passam a permanecer mais tempo em contato com os agregados. Além disso, uma alta quantidade de finos aumenta a necessidade e diminui a eficácia de manutenções no lastro. Indraratna e Salim (2005) apresentam uma relação entre a quebra das partículas com alterações na resistência ao cisalhamento, na razão entre as tensões principais e no ângulo de atrito do lastro.

Na Figura 10, são apresentadas as principais fontes de contaminação do lastro por materiais finos e, na Figura 11, a contribuição percentual de cada fonte na origem de materiais finos em lastros analisados nos Estados Unidos.

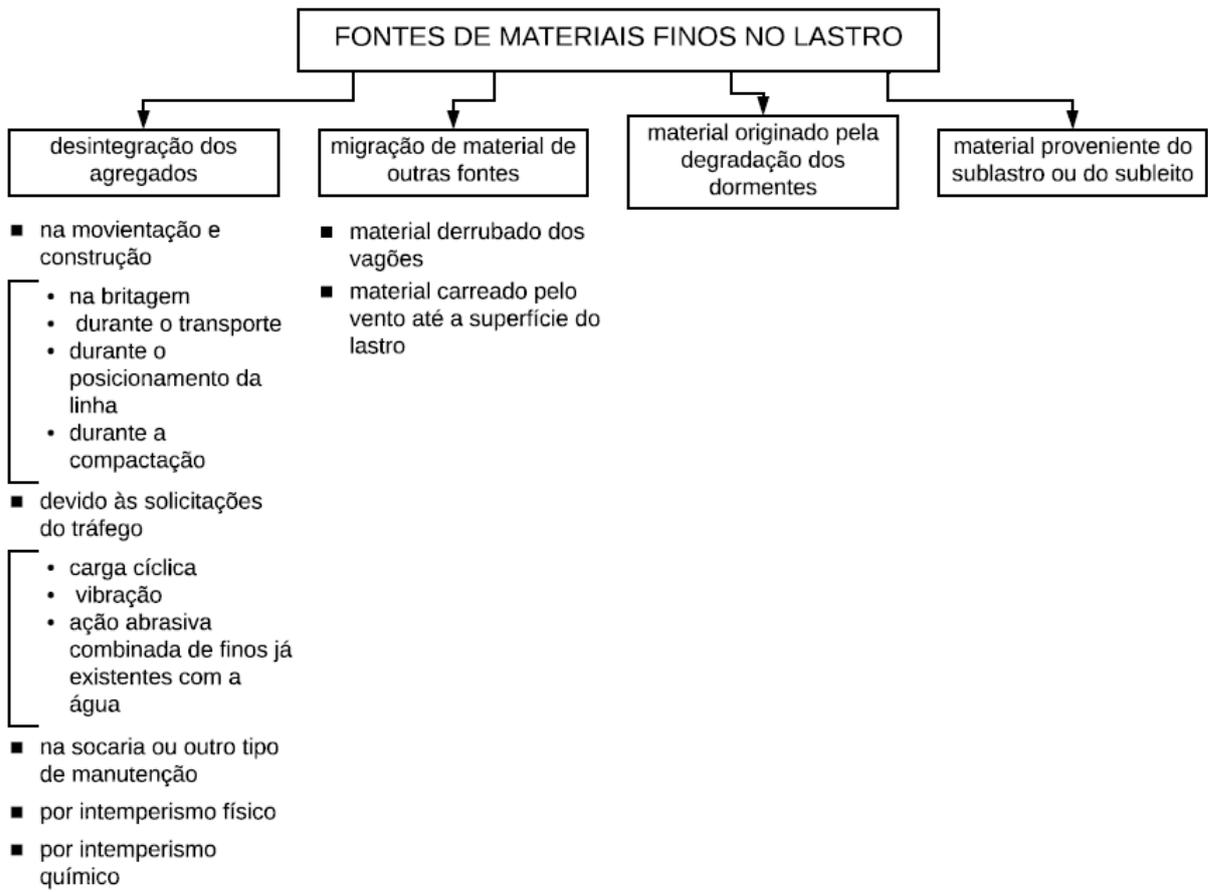


Figura 10 – Diagrama das fontes de materiais finos no lastro ferroviário (elaborado pelo autor com base em SELIG e WATERS, 1994 e NURMIKOLU, 2005).

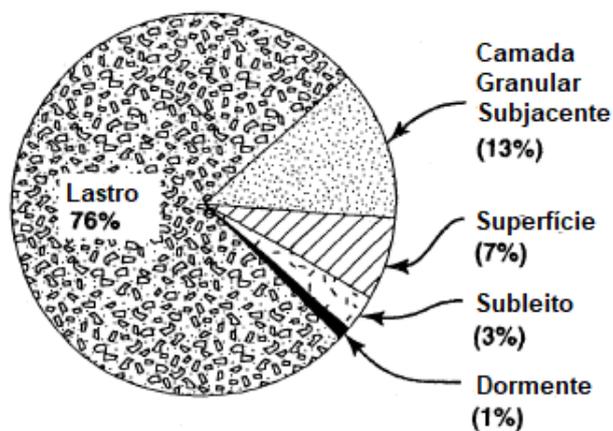


Figura 11 – Percentual de contribuição de cada fonte na quantidade de finos no lastro nos Estados Unidos (SELIG; WATERS, 1994, traduzido pelo autor).

A estimativa dos engenheiros ferroviários britânicos segundo Selig e Waters (1994) é de que o lastro fica totalmente poluído com 30% de massa de material com dimensões menores que 14 mm. Segundo Pires e Costa *et al.* (2017), esse valor de 30% é tido como indicador de nível máximo de contaminação de uma camada de lastro, indicando um possível fim de sua vida útil. Paim da Silva (2018) trata como finos os materiais menores que a granulometria mínima do lastro padrão. É verificado, então, que o conceito de finos para lastro é diferente do conceito clássico da mecânica dos solos, que por sua vez atribui o nome de finos aos materiais passantes na peneira de malha de 0,075 milímetros.

Uma outra forma de medir a contaminação do lastro, vista em Selig e Waters (1994) é o índice de contaminação F_1 , dado por:

$$F_1 = P_{4,75} + P_{0,075} \quad \text{Equação 4}$$

Em que:

- $P_{4,75}$: percentual em massa de material passante na peneira de 4,75 mm.
- $P_{0,075}$: percentual em massa de material passante na peneira de 0,075 mm.

Para comparação com os valores obtidos, Selig e Waters (1994) sugerem considerar o percentual de contaminação como o correspondente à porcentagem de material passante na peneira de 9,5 milímetros.

A norma australiana AS 2758.7 - *Aggregates and rock for engineering purposes - Part 7: Railway ballast* (STANDARDS AUSTRALIA, 2015) utiliza a Equação 5 para calcular o índice de contaminação FI_P .

$$FI_P = P_{13,2} + P_{0,075} \quad \text{Equação 5}$$

Em que:

- $P_{13,2}$: percentual em massa de material passante na peneira de 13,2 mm.
- $P_{0,075}$: percentual em massa de material passante na peneira de 0,075 mm.

Além das classificações apresentadas nas equações acima, uma terceira classificação baseada na razão entre os diâmetros correspondentes a 90 e 10% de material passante (D_{90} e D_{10} respectivamente) é apresentada na Tabela 7.

Tabela 7 – Critério de classificação para lastro contaminado (IONESCU, 2004, adaptado).

Índice de Contaminação			Classificação
$FI_P = P_{13,2} + P_{0,075}$ (STANDARDS AUSTRALIA, 2015)	$FI_D = \frac{D_{90}}{D_{10}}$	$F_I = P_{4,75} + P_{0,075}$ (SELIG e WATERS, 1994)	
< 2	< 2,1 e $P_{13,2} \leq 1,5 \%$	< 1	Limpo
2 a < 10	2,1 a < 4	1 a < 10	Moderadamente limpo
10 a < 20	4 a < 9,5	10 a < 20	Moderadamente contaminado
20 a < 40	9,5 a < 40	20 a < 40	Contaminado
≥ 45	≥ 40 ; $P_{13,2} \geq 40 \%$; $P_{0,075} > 5 \%$	≥ 40	Altamente contaminado

Algumas das alternativas apresentadas por Selig e Waters (1994) para minimizar a contaminação do lastro, proveniente principalmente por degradações das rochas do lastro são:

- Não dispor o lastro na plataforma já com uma quantidade alta de finos;
- Minimizar o vazamento de materiais dos vagões;

- Diminuir as operações de socaria, se possível;
- Optar por lastros com alta resistência à abrasão;
- Evitar a drenagem ineficiente do lastro;
- Utilizar reforço de subleito se necessário para prevenir a falha e a migração de material fino para o lastro.

Indraratna, Nimbalkar e Tennakoon (2010) apresentaram resultados satisfatórios no uso de geossintéticos no escopo da reciclagem do lastro, apresentando bons resultados quanto a alternativas de redução manutenção do lastro devido à presença de materiais finos.

2.5.2 Degradação do lastro ferroviário por intemperismo

2.5.2.1 Degradação do lastro por intemperismo físico

A degradação mecânica do lastro pode ocorrer como resultado de carregamento cíclico dos trens, operação do material e manutenção, assim como intemperismo físico – em circunstâncias finais, principalmente intemperismo por congelamento (NURMIKOLU, 2005). Nurmikolu (2005) ainda afirma que a habilidade de um agregado resistir à degradação mecânica depende de sua resistência física, que é afetada pelas resistências internas dos minerais constituintes da rocha e do tipo de ligação desses minerais. A ordem decrescente de resistência mecânica dos minerais mais comuns (não se aplica à resistência à intemperismos químicos) é a seguinte: granada, olivina, piroxênios, anfibólios, quartzos, feldspatos, micas, calcita, clorita, talcos e argilominerais (UUSINOKA, 1976), (UUSINOKA, 1983) *apud* (NURMIKOLU, 2005).

Ao tratar do intemperismo físico, Press e Siever *et al.* (2006) apresenta o acunhamento do gelo⁷ como um dos mecanismos mais eficientes de abertura de fissuras em rochas, sendo um intemperismo muito importante em regiões onde a água episodicamente congela e degela, como em locais de climas temperados e em regiões montanhosas. Essa ação do congelamento como agente de intemperismo se deve ao comportamento anômalo da água que, segundo Young, Freedman e Ford (2008) ao contrário de quase todos os materiais, apresenta um aumento de volume ao reduzir de temperatura, de 4 a 0 °C.

De acordo com Oliveira e Mizukoshi (2018), esse comportamento irregular da água existe devido às pontes de hidrogênio que ligam suas moléculas, que se estabelecem pelo fato de as moléculas de água serem polares. Essa ligação é de natureza elétrica e ocorre entre átomos de hidrogênio de moléculas diferentes (OLIVEIRA e MIZUKOSHI, 2018).

⁷ Congelamento da água em poros e/ou fissuras de rochas.

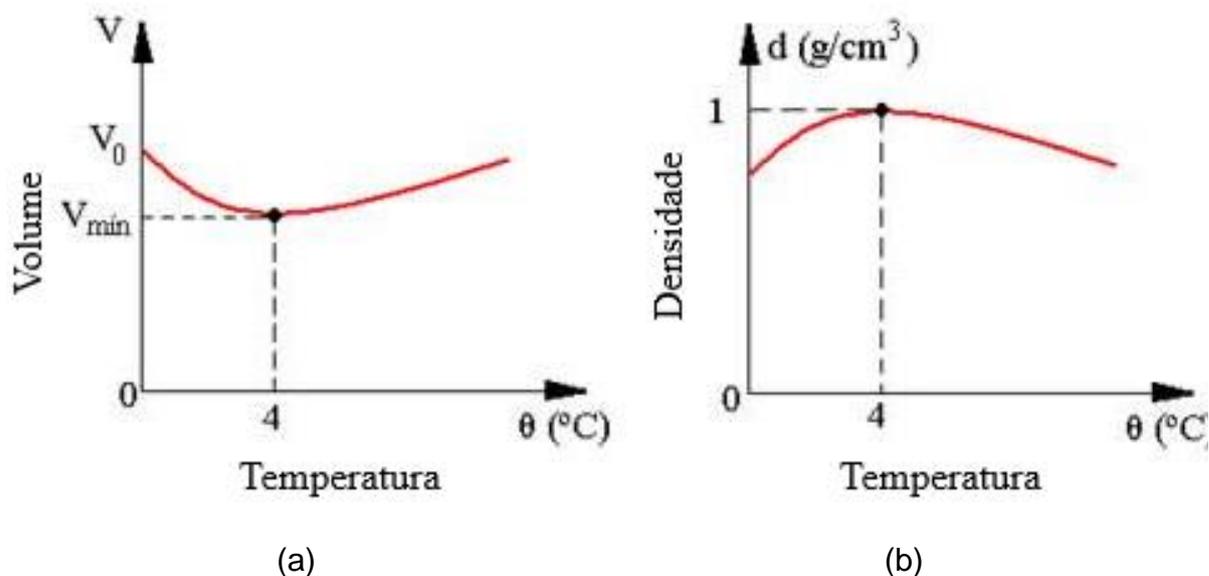


Figura 12 – Variações de volume e densidade da água devido ao seu comportamento anômalo. (a) O volume diminui até 4 °C com a queda de temperatura, assim como qualquer substância convencional, mas aumenta até que se alcance 0°C, representando o comportamento anômalo. (b) Em consequência, a densidade aumenta até que a temperatura chegue a 4 °C, mas diminui entre 4 e 0 °C (OLIVEIRA e MIZUKOSHI, 2018, adaptado).

Rocha (2015) abordou o mecanismo de degradação do concreto armado devido a ciclos de congelamento e degelo, e alguns fatores que influenciam esse mecanismo são comuns à ação do gelo e degelo em rochas:

- Porosidade e aumento de porosidade
- Saturação dos poros por umidade
- Frequência dos ciclos de gelo-degelo
- Retenção (velocidade de drenagem de água pela superfície exposta).

Ao expandir no interior do poro ou dos capilares e não ter tempo para ser drenada, a água cria uma tensão interna no interior da cavidade que causa um esforço mecânico na estrutura do material, o que pode causar sua ruptura ou mesmo fadiga, em casos de ciclos recorrentes. Power (1958) *apud* Mehta e Monteiro (2014) afirma

que quando a água começa a congelar em um vazão capilar, há uma tendência de aumento de seu volume em 9%, o que pode causar a saída da água do capilar ou um aumento de pressão hidráulica no interior deste. A magnitude dessa pressão segundo o autor e Ramos (2014) depende da permeabilidade do material e da taxa de formação de gelo. Mehta e Monteiro (2014) afirma que o mecanismo responsável pelo desenvolvimento de pressão interna no congelamento de uma pasta de cimento saturada também se aplica a agregados.

A Figura 13 demonstra o mecanismo de degradação das rochas pela ação do congelamento de água nos poros, onde o esforço mecânico só acontece em casos de confinamento (seja total ou parcial).

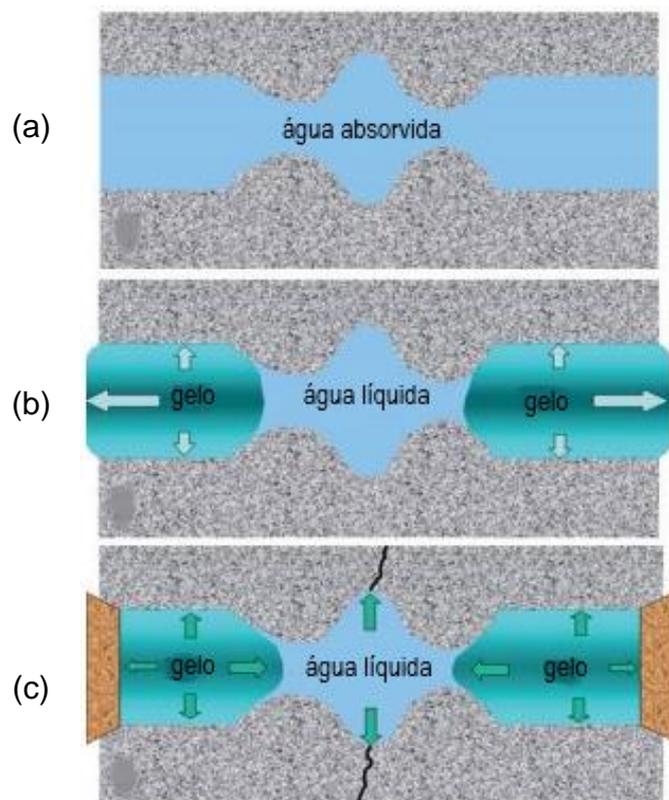


Figura 13 – Degradação das rochas por congelamento e descongelamento de água nos poros e fissuras. (a) Água absorvida pelos poros. (b) Água congelada nos poros abertos. (c) Poros submetidos a esforços internos devido ao confinamento da água (ONDRAŠIK e KOPECKÝ, 2014, traduzido pelo autor).

Laughlin, Scott e Havens (1965) analisaram alterações em agregados de várias rochas após a realização de 4 ciclos de congelamento e degelo utilizando mercúrio. Nos resultados, os autores verificaram um aumento na quantidade de partículas fraturadas à medida em que se aumentou a quantidade de ciclos, ressaltando que a maior porcentagem de material que sofreu fratura se localiza na faixa granulométrica entre 3/4 e 3/8 de polegadas.

Karaca e Deliormanli *et al.* (2010) investigaram o desgaste por abrasão de dois tipos de mármore, calcário, travertino⁸, ônix⁹ e granito antes e depois de 28 ciclos de congelamento e degelo. Os autores utilizaram como avaliação de abrasão o ensaio de Böhme¹⁰ e o ensaio *Wide-Wheel* (disco largo)¹¹. Os testes mostraram significativa diferença antes e depois dos ciclos de congelamento, exceto para os granitos e os ônix utilizados. Ademais, foi verificado que o ensaio *Wide-Wheel* exige uma quantidade maior de ciclos de congelamento e degelo para assinalar diferenças significativas entre os resultados inicial e final. Portanto, para avaliar a abrasão de rochas em climas frios, os autores concluíram ensaio de Böhme é mais adequado.

O trabalho de Bozyurt e Keene *et al.* (2013) teve como objetivo testar a influência das ações do congelamento e degelo na rigidez de materiais granulares de pavimento, reciclados de concreto e asfalto. O módulo de resiliência e o módulo sísmico de amostras de vários estados dos Estados Unidos foram estudados com 0, 5, 10, 15 e 20 ciclos de congelamento e degelo. O estudo verificou queda no módulo de resiliência dos materiais das bases recicladas de asfalto em proporção ao aumento da

⁸ Um carbonato continental depositado quimicamente próximo a surgências, nascentes e ao longo de córregos e rios, ocasionalmente lagos e composto de calcita ou aragonita com porosidade intercrystalina de baixa a moderada (PENTECOST, 2005). Portanto, é uma rocha semelhante ao calcário.

⁹ Rocha semelhante ao mármore, composta pela combinação de carbonato de cálcio, carbonato de magnésio, cobre, óxido de ferro e minerais de flúor, oriunda da ebulição da água quente subterrânea (GEMINA, 2021).

¹⁰ O ensaio consiste no desgaste de um corpo de prova cúbico por um disco abrasivo com tamanho, velocidade e frequência de rotação controlados (KARACA, DELIORMANLI, *et al.*, 2010).

¹¹ No ensaio, os materiais são submetidos à rotação de um cilindro metálico com largura de 70 centímetros contra a face do corpo de prova (KARACA, DELIORMANLI, *et al.*, 2010).

quantidade de ciclos e um aumento no módulo dos reciclados de concreto após 5 ciclos. Os resultados dos módulos sísmicos confirmaram as tendências apresentadas pelos resultados dos módulos de resiliência.

Momeni e Abdilor *et al.* (2015) avaliaram, entre outras propriedades, a alteração da resistência à compressão uniaxial, da resistência à tração, da porosidade, da massa específica seca e da absorção de água de rochas graníticas iranianas após ciclos de congelamento e degelo. Foram realizados 300 ciclos de congelamento e degelo em corpos de prova extraídos de testemunhos de sondagem rotativa de rocha¹², com determinação das propriedades estudadas a cada 50 ciclos. Foi observado um decréscimo da resistência à compressão uniaxial e resistência à tração, além do aumento da absorção de água e da porosidade. A densidade seca não apresentou alterações. A Figura 14, apresenta o gráfico Resistência à compressão uniaxial *versus* Número de ciclos de congelamento e degelo das rochas graníticas analisadas na pesquisa.

¹² Testemunho é o nome dado à amostra de rocha, normalmente cilíndrica, retirada de um maciço pelo processo de sondagem rotativa. Esse tipo de sondagem é utilizado em investigações de subsolo, incluindo solos e rochas, e é executada por meio da rotação de uma haste de perfuração. Para a observação, um barrilete é fixado a uma haste de perfuração e uma broca de testemunhagem é fixada à parte inferior do barrilete (DAS, 2007). Normalmente a perfuração é executada com circulação de fluidos para lubrificação e arrefecimento.

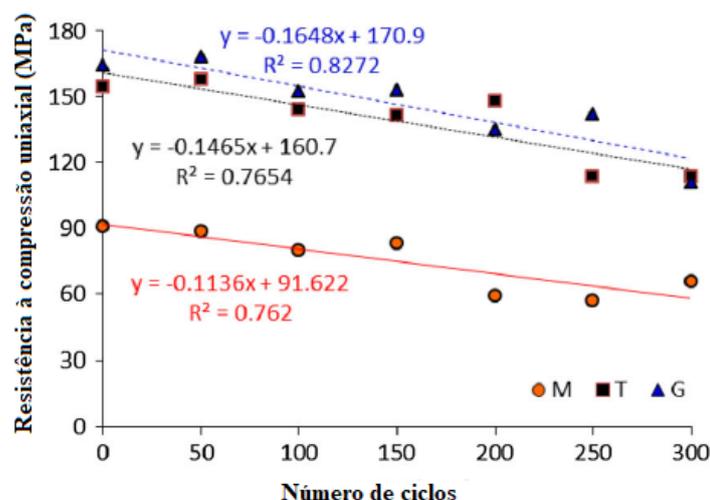


Figura 14 – Variação da resistência à compressão uniaxial com o número de ciclos de congelamento e degelo (M – monzogranito, T – tonalito e G – granodiorito) (MOMENI; KEENE *et al.*, 2015, traduzido pelo autor).

Park e Kim *et al.* (2020) executaram um trabalho de estrutura similar ao de Momeni *et al.* (2015), avaliando as características físicas e mecânicas de amostras de quartzito e uma rocha dolomítica. No trabalho, algumas das propriedades avaliadas foram a absorção de água e a resistência à compressão uniaxial a cada 150 ciclos de uma bateria de 900 ciclos de congelamento e degelo. Foi verificado que o aumento de ciclos de congelamento e degelo diminui a resistência à compressão uniaxial e aumenta a absorção de água das rochas estudadas.

Silva (2012) estudou os efeitos do congelamento e degelo em rochas comerciais silicáticas do nordeste do Rio de Janeiro. O autor utilizou a norma NBR 15845-4 (ABNT, 2015), e verificou que 25 ciclos, como prevê a norma, forma insuficientes para que o processo de congelamento e descongelamento influenciasse diretamente na resistência à compressão uniaxial dessas rochas.

Demirdag (2013) investigou a alteração das propriedades de um travertino preenchido¹³ e não preenchido após 50 ciclos de congelamento e degelo e 50 ciclos de choques térmicos. Foram avaliadas as propriedades de porosidade aparente, massa específica aparente e resistência à carga pontual. Os dois travertinos apresentaram perda de massa em percentual, diminuição da massa específica aparente, aumento da porosidade e diminuição da resistência à carga pontual nos dois processos de intemperismo. O travertino preenchido se mostrou com melhores propriedades, mas apresentou uma degradação mais acentuada. Além disso, Demirdag (2013) concluiu que o intemperismo por congelamento e degelo se mostrou mais degradante aos travertinos do que o intemperismo por choques térmicos.

Nurmikolu (2005) estudou as propriedades físicas e investigou os fatores que influenciam na deterioração e na susceptibilidade ao congelamento de rochas degradadas das camadas da plataforma ferroviária. O autor coletou várias amostras de lastro da rede ferroviária da Finlândia para avaliar suas respectivas degradações em comparação com rochas recém britadas e realizou, dentre outros testes, os ensaios de congelamento e degelo e de deformação por congelamento a partir de um equipamento desenvolvido em sua pesquisa.

Nurmikolu (2005) verificou que a deformação por congelamento do lastro é causada pelo fluxo ascendente de água no solo até sua camada superior congelada, o que causa um aumento de volume do lastro. O foco nos efeitos do congelamento se baseou em avaliar a relação entre a susceptibilidade ao congelamento e a proporção de material fino. Nurmikolu (2005) apontou que tal relação se mostrou diretamente proporcional, se devendo principalmente ao aumento da absorção de água do lastro causado pelos materiais finos. Além disso, o autor não observou grandes avanços no intemperismo químico dos lastros em uso na Finlândia, se restringindo no máximo à superfície dos grãos. Foi concluído que a degradação dos lastros estudados na

¹³ De acordo com Demirdag (2013), o preenchimento é uma das técnicas utilizadas para preencher os poros e reparar fissuras das pedras no processo industrial.

Finlândia se deve principalmente à quebra e abrasão oriundas das solicitações dos veículos na linha.

Alguns outros modos de intemperismo como a atuação de microrganismos podem atuar nas rochas (PRESS, SIEVER, *et al.*, 2006) e conseqüentemente no lastro.

2.5.2.2 Degradação do lastro por intemperismo químico

Já a degradação química do lastro é diretamente influenciada pela área total de superfície e pela porosidade e absorção de água dos agregados. A estimativa inicial da susceptibilidade do lastro a ataques químicos é fácil, porém, a estimativa ao longo do tempo pode ser mais difícil de prever por causa do aumento da área superficial dos grãos expostas às ações do ambiente causado pela quebra dos agregados (NURMIKOLU, 2005).

Os minerais constituintes da rocha e o tipo de agente de intemperismo químico influenciam na velocidade de degradação do lastro. Reiche (1950) apresenta um Índice de Potencial de Intemperismo representado pela sigla WPI (*Weathering Potential Index*) que, de acordo com Nurmikolu (2005), é determinado como a porcentagem da razão molar dos óxidos empiricamente responsáveis pelo intemperismo mais rápido da rocha (subtraído pela razão molar da água) pela soma do índice molar de todos os óxidos (exceto a água). O WPI é, então, proporcional à susceptibilidade da rocha ao intemperismo químico. Quanto maior o WPI determinado de finos, mais intemperizado é o material e mais próximo ele está do seu produto final alterado (NURMIKOLU, 2005). Na Tabela 8 é mostrado o WPI dos minerais estudados por Reiche (1950).

Tabela 8 – Índice de potencial de intemperismo (WPI) dos minerais. Trata-se nesse caso apenas do intemperismo químico (REICHE, 1950, traduzido pelo autor).

Mineral	WPI
Olivina	54
Augita	39
Hornoblenda	36
Biotita	22
Labradorita (An* ₅₀₋₇₀)	20
Oligoclásio (An* ₁₀₋₃₀)	15
Albita (An* ₀₋₁₀)	13
Ortoclásio (feldspato de potássio)	12
Muscovita	10
Quartzo	0 - 1

*An se refere à presença de anortito no plagioclásio.

Na natureza, os principais agentes de intemperismo químico estão presentes em corpos d'água e em chuvas. Segundo Medírcio (2004), a mineração e a metalurgia por exemplo, utilizam bastante água em seus processos industriais, e parte dos poluentes gerados são liberados nesses corpos d'água, em especial, os sulfatos. Costa, O'flaherty e Lens (2020) ainda apontam as águas residuárias de indústrias de fermentação e de frutos do mar como grandes fontes de sulfatos nos cursos d'água, por utilizarem o ácido sulfúrico em alguns processos industriais. No caso do Brasil, Sarti, Silva e Côrtes (2008) ainda apontam que os sulfatos presentes nos rios podem também ser oriundos das indústrias de fertilizantes, que também utilizam o ácido sulfúrico.

Quanto às chuvas, o intemperismo causado por elas decorre principalmente de sua possibilidade de carrear agentes agressivos. Chuvas ácidas são decorrentes da emissão de CO₂ e outros agentes na atmosfera. Segundo Goussinsky (2019), A WWF (*World Wildlife Found*) informa que quase 40% do ecossistema europeu é afetada por esse tipo e problema, ligado principalmente à utilização descontrolada de combustíveis fósseis. Menz e Seip (2004) apontam que as substâncias mais agressivas presentes em chuvas ácidas são: dióxido de enxofre (SO₂), aerossóis de

sulfato, n-óxidos de nitrogênio (NO_n), e amônia (NH_3). Segundo os autores, os efeitos são principalmente a poluição de solos, corpos d'água e danos em vegetações. Press e Siever *et al.* (2006) ainda apontam a chuva ácida como fator que intensifica o intemperismo químico das rochas.

As regiões que têm sido mais afetadas pela deposição de ácido em chuvas são a Europa, o leste dos Estados Unidos e o sudoeste asiático, especialmente a parte central e o sul da China (MENZ e SEIP, 2004). No Brasil, o problema pode ser percebido nas grandes metrópoles e em áreas industriais de localidades menores, como na região carbonífera de Santa Catarina, nos arredores dos polos industriais de Paulínia, em São Paulo, na área industrial de Ipatinga, em Minas Gerais, além da região do Polo Petroquímico de Camaçari, no Estado da Bahia (JESUS, 1996).

Marques e Zamparoni *et al.* (2010) avaliaram 38 amostras de chuvas na cidade de Cuiabá (MT) entre fevereiro e julho de 2006. Apesar de terem encontrado baixas concentrações de ânions nitrato, sulfato, cloreto, nitrito e fosfato, o pH em geral se mostrou inferior a 5,6. Sevá Filho (1991) trouxe em seu trabalho as principais fontes de acidificação no Brasil, que se mostram concentradas principalmente na região Sudeste do país.

Press e Siever *et al.* (2006) apresentam relações diretas entre a composição mineralógica das rochas e sua alterabilidade ao ter contato com o ar ou a água. Os autores utilizam como exemplo a transformação de feldspatos em argilominerais em matacões localizados em regiões quentes e úmidas, onde o intemperismo químico é favorecido por fatores como chuva intensa, altas temperaturas e abundante atividade orgânica, ao passo em que cristais de quartzo permanecem praticamente inalterados.

A chuva ácida, através do ácido carbônico é um agente bem comum do intemperismo químico, e os feldspatos são altamente vulneráveis a esse ácido. Outro tipo de intemperismo químico apresentado por Press e Siever *et al.* (2006) é a oxidação do ferro em minerais, principalmente no piroxênio, que se transforma em hematita e sílica dissolvida em água. Press e Siever *et al.* (2006) também apresentam uma listagem de minerais de acordo com suas taxas de alteração devido ao intemperismo químico, apresentada na Tabela 9.

Tabela 9 – Estabilidade relativa dos minerais mais comuns sob ação do intemperismo químico (PRESS, SIEVER, *et al.*, 2006)

Estabilidade dos minerais	Taxa de alteração
MAIS ESTÁVEL	MAIS LENTA
Óxidos de ferro (hematita)	
Hidróxidos de alumínio (gibbsita)	
Quartzo	
Argilominerais	
Moscovita	
Feldspato potássico (ortoclásio)	
Anfibólios	
Piroxênio	
Feldspato cálcico (anortita)	
Olivina	
Calcita	
Halita	
MENOS ESTÁVEL	

Além da degradação em ambientes poluídos, Frascá e Yamamoto (2014) afirmam que rochas em contato ou em proximidade com o solo podem absorver soluções salinas por capilaridade, o que pode gerar cristalização de sais e deterioração com o tempo. Dentre outras investigações, Frascá e Yamamoto (2014) avaliaram visualmente alterações em rochas graníticas após ensaios acelerados de exposição à névoa salina (simulação da ação de maresias em rochas) adaptados das normas NBR 8094 (ABNT, 1983) e ASTM B117 (ASTM, 2011). A maioria das rochas analisadas apresentou pouca degradação. Porém, algumas mostraram intensificação da oxidação de minerais previamente oxidados e aumento de irregularidades devido ao provável destacamento de alguns grupos de minerais.

A cristalização de sais nos poros e fissuras das rochas também pode provocar sua degradação. Quando sais cristalizam na superfície, há a eflorescência, que não prejudica o material, mas pode alterar as condições no interior da rocha (GONÇALVES e BRITO, 2014). Já a cristalização de sais no interior dos poros

(subflorescência) introduz tensões internas e pode até desagregar o material (GONÇALVES e BRITO, 2014). O princípio de atuação da cristalização como mecanismo de degradação é apresentado na Figura 15.

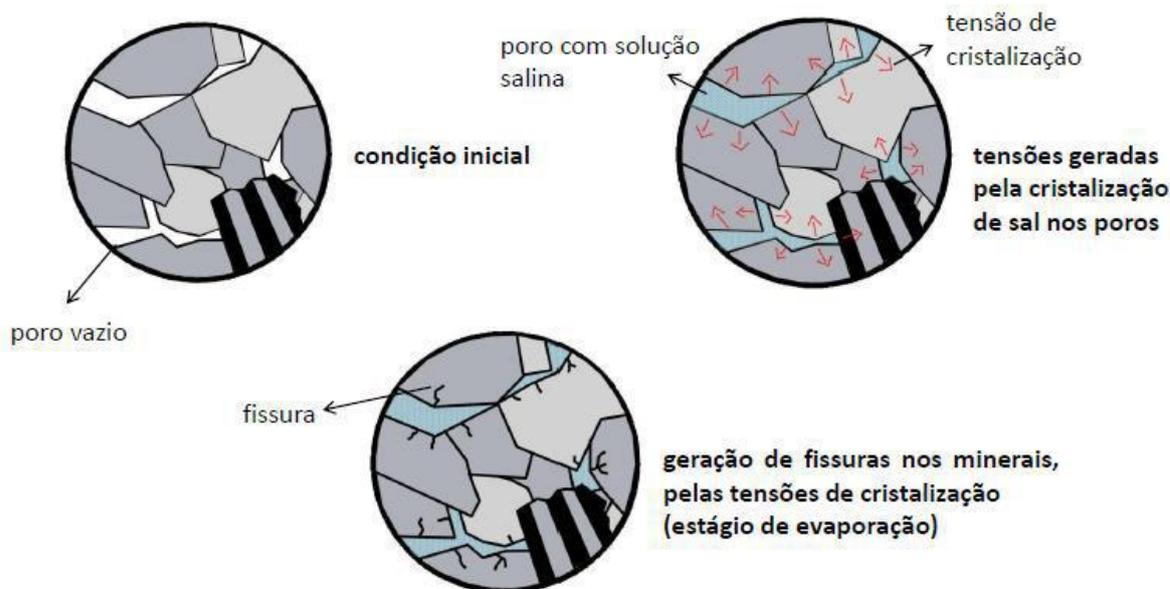


Figura 15 – Esquema da percolação e tensões e fissuras geradas pela cristalização de sal em poros de uma rocha (OLIVEIRA, 2019).

Ruiz Agudo e Meers *et al.* (2007) citam alguns mecanismos que podem gerar a cristalização, como o resfriamento noturno de rochas com soluções de sais cuja solubilidade aumenta com a temperatura, e a evaporação da água como sendo o mais comum. No caso do sulfato de sódio, muito utilizado para a verificação dos mecanismos de cristalização, a solubilidade aumenta até 32,38 °C e diminui levemente em altas temperaturas, conforme apontado por Bharmoria e Gehlot *et al.* (2014).

Ruiz Agudo e Meers *et al.* (2007) Demonstraram experimentalmente os mecanismos de intemperismo salino por sulfato de sódio e sulfato de magnésio. Enquanto a ação dos cristais de sulfato de sódio provocou a desagregação sucessiva de camadas dos materiais, o sulfato de magnésio induziu a formação e a propagação

de fissuras pelo volume das amostras. De acordo com os autores, o sulfato de sódio tende a cristalizar em poros grandes, próximos da superfície da matriz. Isso pode diminuir a porosidade do material, como os autores observaram, ao realizarem um ensaio de porosidade com um porosímetro de mercúrio¹⁴.

Santos e Pereira *et al.* (2018) verificaram a alteração da distribuição granulométrica de das resistências à abrasão, ao choque e à carga pontual de agregados de gnaiss e de escória de aciaria LD de lastro ferroviário após 25 ciclos de congelamento e degelo, e 30 ciclos de imersão em solução de sulfato de sódio. A distribuição granulométrica avaliada após as simulações de intemperismos físico e químico mostraram uma diminuição na quantidade de partículas graúdas e consequente aumento da quantidade de partículas finas.

Em geral, Santos e Pereira *et al.* (2018) constataram uma diminuição das resistências avaliadas quanto à abrasão e à carga pontual, após os ciclos de intemperismo. A resistência ao choque por outro lado não foi afetada pelos dois processos de intemperismo analisados. As sugestões de Santos e Pereira *et al.* (2018) são a aplicação da estrutura da metodologia utilizada, realizando um maior número de ciclos com os dois intemperismos avaliados e em uma quantidade maior de amostras.

Rodriguez-Navarro e Doehne (1999) estudaram a resistência à cristalização de sais de um calcário oolítico¹⁵ bastante utilizado no Reino Unido, submetendo-o a testes de intemperismo com sulfato e cloreto de sódio. As perdas de massa do calcário atacado pelo cloreto de sódio foram singelas, quando comparadas à perda de massa do calcário atacado pelo sulfato, que chegou à ordem de 20% da massa inicial. Os

¹⁴ O porosímetro de mercúrio é utilizado para mensurar a porosidade de um material aplicando pressão controlada em uma amostra imersa em mercúrio (PENNSTATE MATERIALS RESEARCH INSTITUTE, 2021).

¹⁵ Calcário oolítico é um tipo especial de calcário formado por grãos envelopados, ou seja, grãos que sofreram crescimento sucessivos de lâminas microscópicas ao redor de um grão de quartzo ou fragmento de concha (IGC-USP, 2021).

autores também concluíram que a degradação causada pelas pressões de dos cristais de sal dependem bastante da razão de supersaturação da solução e da localização das cristalizações. O sulfato de sódio tende a atingir maiores níveis de supersaturação do que o cloreto, o que então pode justificar seu maior potencial de degradação (RODRIGUEZ-NAVARRO e DOEHNE, 1999).

Çelik e Aygün (2018) buscaram verificar a degradação de materiais de construção vulcânicos em reação com soluções salinas. Os autores utilizaram duas tufas vulcânicas¹⁶ e um andesito provenientes da Turquia. Foram obtidos os parâmetros iniciais de fluorescência de raios-X, difração de raios-X, microscopia eletrônica de varredura, tamanho e distribuição percentual dos poros, velocidade de pulso ultrassônico, absorção de água de forma submersa e por capilaridade, porosidade aparente e resistência à compressão uniaxial. Em seguida, foi executado um ensaio de imersão dos materiais em soluções de sulfato de sódio e cloreto de sódio.

Os autores desenvolveram o estudo realizando 15 ciclos de imersão nas soluções salinas de sulfato e cloreto de sódio a 14% de concentração, seguida de aquecimento em estufa e resfriamento à temperatura ambiente. Durante e após os ciclos, as propriedades iniciais foram novamente avaliadas pelos autores a fim de se verificar se são influenciadas pela cristalização de sais nos poros dos materiais. Çelik e Aygün (2018) não verificaram perda de massa específica aparente seca nem de resistência à compressão com a imersão em cloreto de sódio. Já a imersão em solução de sulfato de sódio provocou queda da massa específica seca de uma das tufas analisadas e diminuição da resistência à compressão uniaxial e da velocidade de pulso ultrassônico nos três materiais.

¹⁶ Material sólido ígneo, constituído principalmente de vidro vulcânico, conforme Çelik e Aygün (2018). Vidro vulcânico é um produto amorfo do resfriamento rápido de silicatos fundidos (MCPHIE, DOYLE e ALLEN, 1993). De acordo com Press e Siever *et. al.* (2006), os amorfos são materiais que não possuem um arranjo ordenado tridimensional repetitivo, como é o caso dos minerais.

3 METODOLOGIA

A Figura 16 apresenta o fluxograma com a metodologia utilizada no trabalho, cujas etapas são descritas logo após o título.

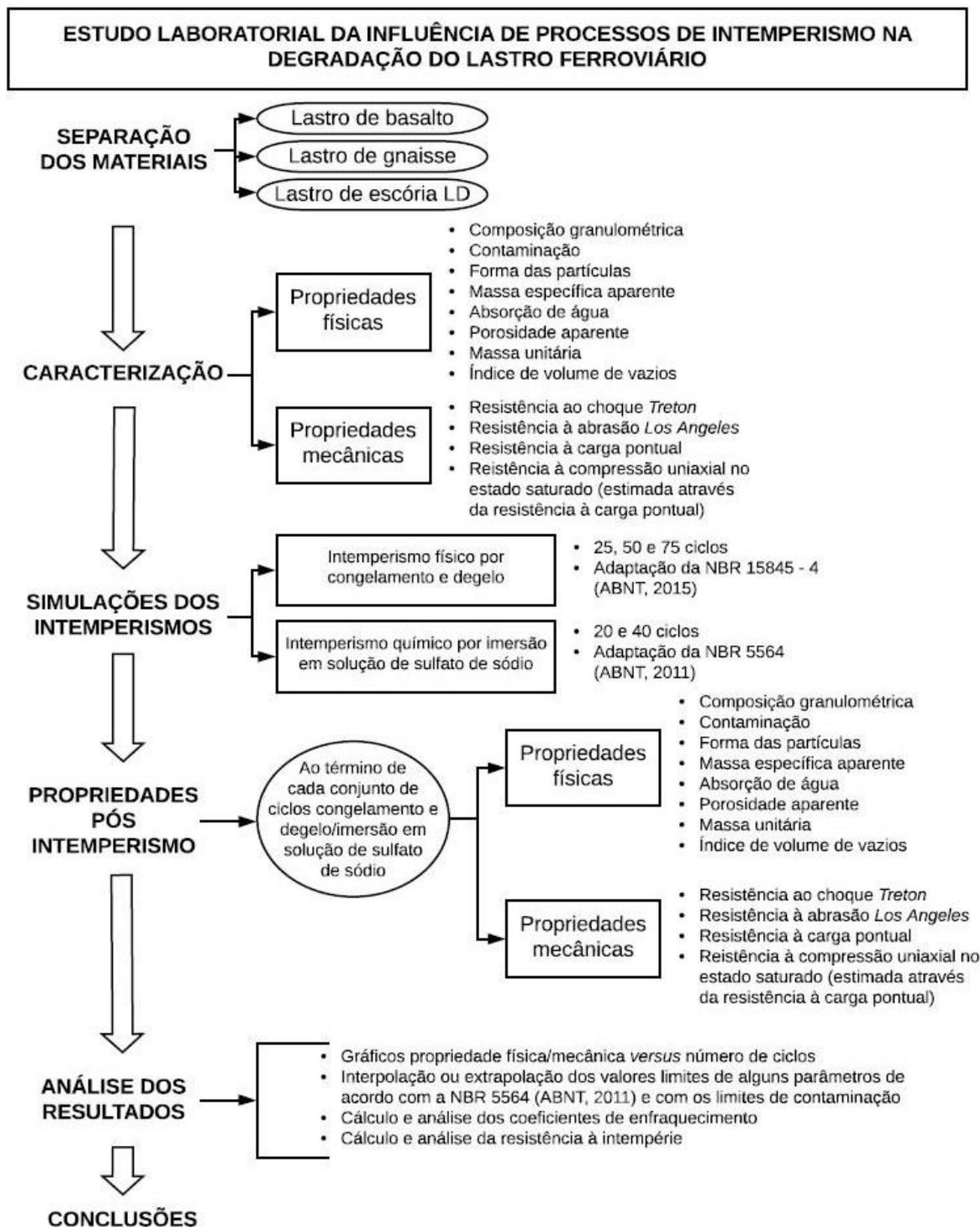


Figura 16 – Fluxograma da metodologia utilizada no trabalho (arquivo pessoal).

Os materiais analisados foram agregados provenientes de rochas de basalto e gnaisse, britadas com a finalidade de uso como lastro ferroviário e cujas características físicas e mecânicas devem atender os requisitos previstos na norma brasileira NBR 5564 (ABNT, 2011), já apresentados no item 2.3.2. Também foi analisada uma escória de aciaria LD, que, apesar de ser um material não contemplado no escopo da norma NBR 5564 (ABNT, 2011), pode possuir potencial para o uso como lastro, como mostrado no Capítulo 2. A escória utilizada sofreu um processo de estabilização volumétrica natural por 7 anos no *campus* Morro do Cruzeiro da UFOP para fins de estabilização de sua expansibilidade, característica já apresentada no item 2.3.2.

O basalto utilizado é proveniente da cidade de Quirinópolis (GO), do mesmo utilizado em alguns trechos da Ferrovia Norte-Sul. O gnaisse foi obtido na cidade de Santa Bárbara (MG) (mesmo gnaisse utilizado como lastro em alguns trechos da Estrada de Ferro Vitória a Minas) e a escória de aciaria LD foi obtida de uma produtora de aço em Serra (ES). Segue na Figura 17, a localização das três jazidas no mapa do Brasil.

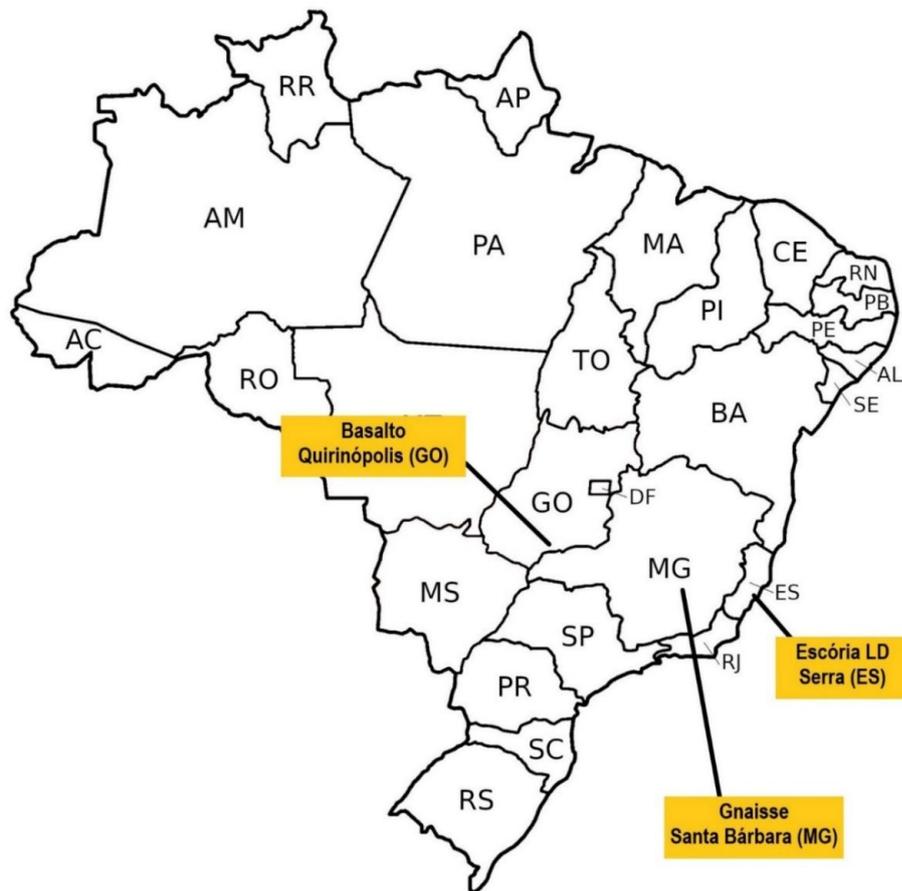


Figura 17 – Localização das jazidas dos materiais utilizados na pesquisa (arquivo pessoal).

Os materiais foram submetidos aos ensaios de determinação de suas características físicas, e mecânicas, sendo avaliadas antes e depois dos ciclos de congelamento e descongelamento, e antes e depois dos ciclos de imersão em solução de sulfato de sódio. Os ensaios foram realizados no Laboratório de Ferrovias e Asfalto da Escola de Minas da UFOP, em Ouro Preto (MG). As amostras disponíveis dos materiais utilizados para o trabalho são apresentadas na Figura 18.

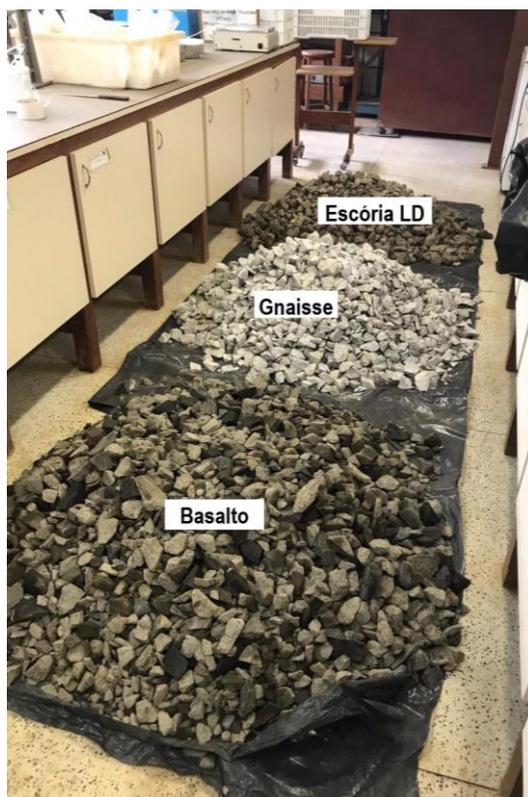


Figura 18 – Agregados utilizados na pesquisa (arquivo pessoal).

De acordo com a metodologia de preparação de amostras para ensaio da norma NBR 5564 (ABNT, 2011), os materiais utilizados foram separados por quarteamento até que se chegou nas quantidades necessárias à realização dos ensaios programados. A massa necessária de cada tipo de lastro analisado foi estimada em 180 quilogramas, que foi dividido em bandejas de aço inoxidável com aproximadamente 30 quilogramas de lastro cada uma, sendo essa a amostra padrão adotada para a realização dos ciclos e posterior preparação dos corpos de prova de cada ensaio (Figura 19).



Figura 19 – Algumas amostras padrão já separadas (arquivo pessoal).

3.1 Determinação dos parâmetros físicos iniciais

A caracterização física dos materiais utilizados nesta pesquisa tem por objetivo avaliar as propriedades dos conjuntos de fragmentos de rocha/escória em si e, por isso, não foram verificados os teores de material pulverulento, fragmentos macios e friáveis e torrões de argila, indicados na Tabela 5, pois correspondem a propriedades pertinentes ao lastro como um todo.

3.1.1 Determinação da composição granulométrica

O ensaio de granulometria foi regido pela norma NBR NM 248: Agregados - Determinação da composição granulométrica (ABNT; AMN, 2003), e determina o percentual de material componente de cada fração de tamanho analisada. O conjunto de peneiras é estabelecido na norma NBR NM 248 (ABNT; AMN, 2003), sendo verificadas segundo a norma MERCOSUR NM ISO 3310-1: Peneiras de ensaio -

Requisitos técnicos e verificação Parte 1 - Peneiras de ensaio com tela de tecido metálico (AMN, 2010). O conjunto de peneiras escolhido para o ensaio é indicado na Tabela 10, de forma a atenderem a classificação entre Padrão A ou Padrão B da norma NBR 5564 (ABNT, 2011) e também para a avaliação dos índices de contaminação. Na Figura 20, é apresentado o conjunto de peneiras utilizado.

Tabela 10 – Peneiras selecionadas para o ensaio baseadas nas normas NBR NM 248 (ABNT; AMN, 2003) e NBR 5564 (ABNT, 2011).

Séries da norma ABNT NBR NM 248				Peneiras selecionadas	
Normal		Intermediária			
Nome	Abertura (mm)	Nome	Abertura (mm)	Nome	Abertura (mm)
3"	75	-	-	3"	75
-	-	2 1/2"	63	2 1/2"	63
-	-	2"	50	2"	50
1 1/2"	38	-	-	1 1/2"	37,5
-	-	1 1/4"	31,5	-	-
-	-	1"	25	1"	25
3/4"	19	-	-	3/4"	19
--	-	1/2"	12,5	1/2"	12,7
3/8"	9,5	-	-	3/8"	9,5
--	-	1/4"	6,3	-	-
4 mesh	4,75	-	-	4	4,75
8 mesh	2,36	-	-	-	-
16 mesh	1,18	-	-	-	-
30 mesh	0,60	-	-	-	-
50 mesh	0,30	-	-	-	-
100 mesh	0,15	-	-	-	-



Figura 20 – Peneiras selecionadas para o ensaio de granulometria (arquivo pessoal).

Após a pesagem inicial, os materiais foram submetidos ao peneiramento, e a massa retida em cada peneira foi pesada para o cálculo do percentual retido, obtido com a média dos dois resultados individuais. Em seguida, foram calculados os módulos de finura e as dimensões máximas características de cada material. O módulo de finura corresponde ao somatório das porcentagens retidas acumuladas nas peneiras da série normal, dividida por 100. A dimensão máxima característica, por sua vez, corresponde à abertura em milímetros da malha da peneira (de série normal ou intermediária) na qual o agregado apresenta uma porcentagem retida acumulada igual ou imediatamente inferior a 5%.

Além disso, a partir da composição granulométrica foi possível calcular os coeficientes de uniformidade (C_u) e curvatura (C_c), muito aplicados na mecânica dos solos, mas que também podem trazer várias conclusões sobre o estudo do lastro. A Equação 6 e a Equação 7 trazem as equações de cálculo dos dois coeficientes.

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

Equação 6

$$C_c = \frac{D_{30}^2}{D_{60} \times D_{10}}$$

Equação 7

Em que:

- D_{60} : Diâmetro correspondente a 60% de material passante;
- D_{30} : Diâmetro correspondente a 30% de material passante;
- D_{10} : Diâmetro correspondente a 10% de material passante.

3.1.2 Avaliação da contaminação

Para avaliar a contaminação, foram calculados os índices de contaminação da Tabela 7 e os percentuais de material passante em 12,0 milímetros (granulometria mínima do lastro padrão, conforme sugerido por Paim da Silva (2018)), 9,5 milímetros e 14,0 milímetros (esses dois últimos presentes no trabalho de Selig e Waters (1994)), interpolando dados da curva granulométrica quando necessário. Para os índices F_{IP} e F_I , o cálculo não considerou o percentual passante na peneira de 0,075 milímetros, pois as duas metodologias de simulação de intemperismo envolvem percolação de água. Isso pode provocar o carreamento de materiais pulverulentos das amostras e comprometer a avaliação de $P_{0,075}$.

3.1.3 Determinação da forma dos fragmentos

Esse ensaio é normatizado no Brasil pela NBR 5564 (ABNT, 2011) e tem por objetivo a obtenção de um índice que parametrize a forma do agregado, buscando classificar o quanto ele se aproxima do formato ideal (cúbico) para uso como lastro. O ensaio exige a medição de três dimensões (Figura 21) em 100 fragmentos amostrados de acordo com a granulometria do lastro.

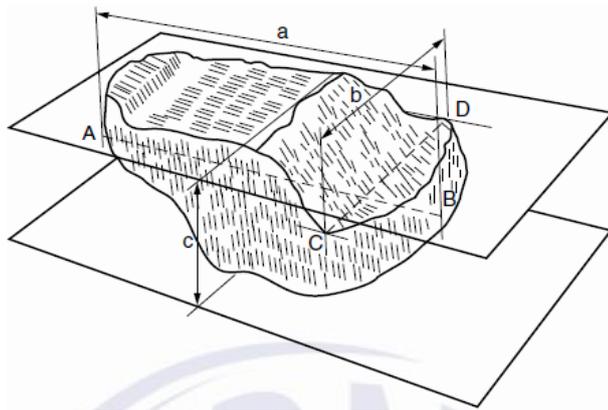


Figura 21 – Dimensões do corpo de prova a serem medidas (ABNT, 2011).

As dimensões da Figura 21 foram tomadas com um paquímetro (Figura 22). A classificação de forma das partículas prescrita na NBR 5564 (ABNT, 2011) é apresentada na Tabela 11.



Figura 22 – Determinação da forma dos fragmentos pelo método do paquímetro (arquivo pessoal).

Tabela 11 – Classificação da forma dos fragmentos do corpo de prova (ABNT, 2011).

Relações b/a e c/b	Classificação da forma
b/a ≥ 0,5 e c/b ≥ 0,5	Cúbica
b/a < 0,5 e c/b ≥ 0,5	Alongada
b/a ≥ 0,5 e c/b < 0,5	Lamelar
b/a < 0,5 e c/b < 0,5	Alongada-lamelar

Os materiais também foram analisados quanto à classificação de forma de Raymond e Dyaljee (1979), que é mais rigorosa para avaliar se o material é ou não caracterizado por fragmentos cúbicos. Os autores propuseram a classificação pelo índice de forma n (*shape factor*), dado pela Equação 8. Se $n \leq 2$, a partícula é considerada cúbica, e se $n > 2$, a partícula é considerada lamelar. O índice n é calculado como segue:

$$n = \frac{\sum_{k=1}^{100} A}{\sum_{k=1}^{100} C} \quad \text{Equação 8}$$

Em que:

- A: maior dimensão do fragmento.
- C: menor dimensão do fragmento.

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

Para lastro de ferrovia, essa determinação é feita de acordo com a norma NBR 5564 (ABNT, 2011). No ensaio, os corpos de prova foram pesados nas condições saturada com superfície seca (M_{sat}), submersa (M_{sub}) e seca (M_{sec}). Os dois primeiros parâmetros são chamados de aparentes por considerarem que os poros não comunicados com o exterior fazem parte da matriz sólida do material, considerando

apenas como poros os que são acessíveis pela água utilizada no ensaio. Na Figura 23, segue o mecanismo de pesagem hidrostática utilizado para a aferição das medidas de massa.



Figura 23 – Sistema de pesagem hidrostática (arquivo pessoal).

A Figura 24 traz uma das pesagens na condição SSS dos materiais, enquanto a Figura 25 mostra a pesagem hidrostática de partículas componentes dos lastros.

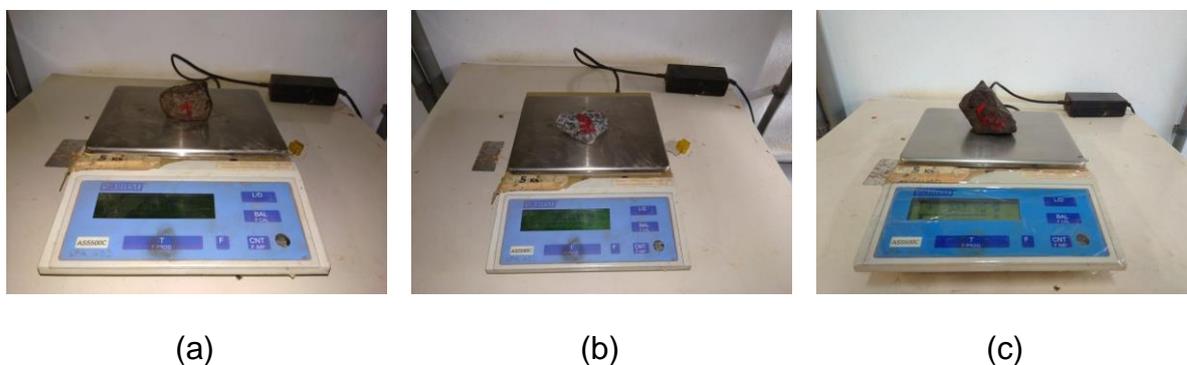


Figura 24 – Pesagem dos fragmentos na condição SSS. (a) basalto. (b) gnaiss. (c) escória de aciaria LD (arquivo pessoal).



(a)

(b)

(c)

Figura 25 – Pesagem hidrostática dos fragmentos. (a) basalto. (b) gnaiss. (c) escória de aciaria LD (arquivo pessoal).

Nas equações abaixo, são mostrados respectivamente os cálculos da massa específica aparente (ρ_a), porosidade aparente (η_a) e absorção de água (α_a).

$$\rho_a = \frac{M_{sec}}{(M_{sat} - M_{sub})} \quad \text{Equação 9}$$

$$\eta_a = \frac{(M_{sat} - M_{sec})}{(M_{sat} - M_{sub})} \times 100 \quad \text{Equação 10}$$

$$\alpha_a = \frac{(M_{sat} - M_{sec})}{M_{sec}} \times 100 \quad \text{Equação 11}$$

3.1.5 Determinação da massa unitária em estado solto

Essa determinação busca avaliar a massa de agregado que ocupa um volume definido sem que haja compactação. A NBR 5564 (ABNT, 2011) prevê que ao valor mínimo de massa unitária nesse estado a ser atendido pelo lastro seja de 1,25 g/dm³, valor determinado segundo o Método C da norma NBR NM 45 (ABNT; AMN, 2006).

Na Figura 26, é apresentada a calibração da caixa utilizada como recipiente para o ensaio de massa unitária. A norma exige um volume mínimo do recipiente de acordo com a DMC do agregado. O DMC do basalto foi de 50 milímetros, enquanto o do gnaiss e o da escória de aciaria foi de 63 milímetros na maioria dos ensaios. O volume mínimo exigido para os dois últimos é de 30 dm³, enquanto o volume mínimo para o basalto é de 15 dm³. Como a amostra padrão de 30 quilogramas não possui material suficiente para preencher 30 dm³, um recipiente de 15 dm³ foi utilizado para os três lastros. O volume obtido através da calibração com água segundo a norma NBR NM 45 (ABNT; AMN, 2006) foi de 15,421 dm³.



Figura 26 – Calibração da caixa para o ensaio de massa unitária (arquivo pessoal).

Após a calibração, o recipiente é preenchido com material solto (Figura 27).

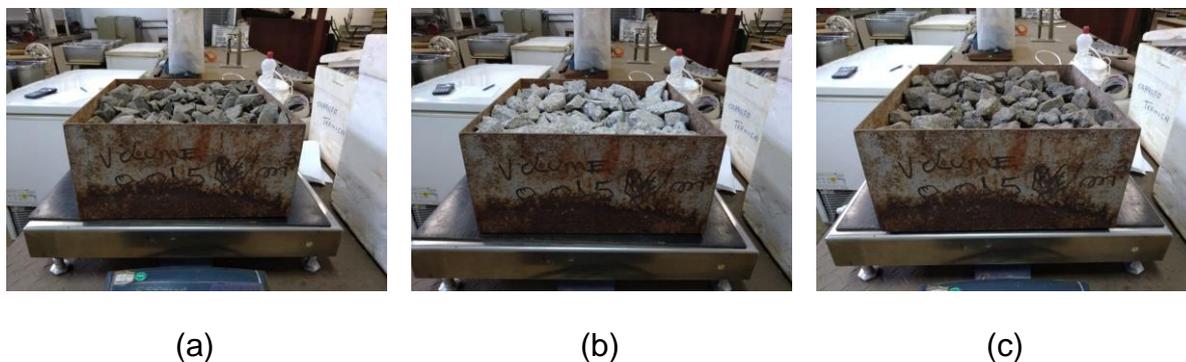


Figura 27 – Pesagem do recipiente mais os agregados na determinação da massa unitária. (a) basalto. (b) gnaiss. (c) escória de aciaria LD (arquivo pessoal).

A partir da massa do recipiente cheio aferida, obtém-se a massa unitária dos agregados (ρ_{ap}), conforme a Equação 12:

$$\rho_{ap} = \frac{m_{ar} - m_r}{V} \quad \text{Equação 12}$$

Em que:

- m_{ar} : massa do recipiente mais os agregados;
- m_r : massa do recipiente.

A partir desse ensaio, também pode ser calculado o índice de volume de vazios, conforme a Equação 13:

$$E_v = \frac{100[(d_1\rho_w) - \rho_{ap}]}{d_1\rho_w} \quad \text{Equação 13}$$

Em que:

- d_1 : massa específica relativa dos agregados;
- ρ_w : massa específica da água.

3.2 Determinação dos parâmetros de resistência mecânica iniciais

Após caracterizados os agregados de gnaíse, basalto e escória de aciaria LD quanto às propriedades físicas, foram calculados os valores iniciais de resistência ao choque, à abrasão e à carga pontual.

3.2.1 Resistência ao choque

O ensaio foi realizado de acordo com a metodologia da norma NBR 5564 (ABNT, 2011). Esse ensaio, realizado no aparelho *Treton* (Figura 28), é utilizado para avaliar a perda de massa do material após dez choques provocados pela queda livre de 380 centímetros de um cilindro de aço de 16 quilogramas.



Figura 28 – Aparelho *Treton* (arquivo pessoal).

O valor individual de índice de tenacidade *Treton* (T) é dado pela Equação 14.

$$T = \frac{m_i - m_f}{m_f} \times 100 \quad \text{Equação 14}$$

Em que:

- m_i : massa inicial do corpo de prova;
- m_f : massa do corpo de prova retida na peneira de 1,68 mm após o ensaio.

Devido à comum variabilidade dos resultados a norma sugere que o valor final do ensaio seja pela média aritmética de três resultados de resistência ao choque, obtidos pelo ensaio realizado em três conjuntos de 10 fragmentos de cada material (Figura 29).



Figura 29 – Corpos de prova do ensaio de determinação da resistência ao choque (arquivo pessoal).

A Figura 30 traz os corpos de prova dos lastros de basalto, gnaisse e escória de aciaria dentro do cilindro externo do aparelho *Treton*, e a Figura 31 traz o material sobre a base do aparelho após os choques.

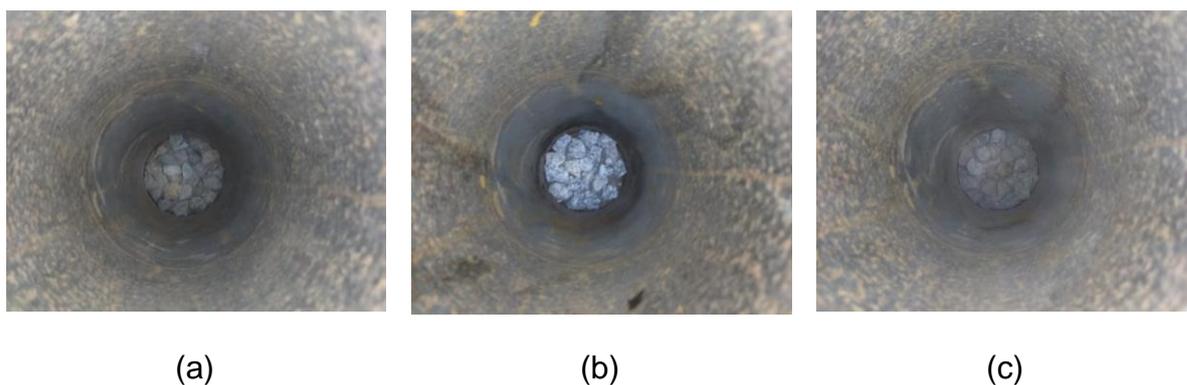


Figura 30 – Materiais dentro do aparelho *Treton*. (a) basalto. (b) gnaisse. (c) escória de aciaria LD (arquivo pessoal).



(a)

(b)

(c)

Figura 31 – Materiais após os choques sobre a base do aparelho *Treton*. (a) basalto. (b) gnaiss. (c) escória de aciaria LD (arquivo pessoal).

3.2.2 Resistência à abrasão

O ensaio de resistência à abrasão exigido pela norma NBR 5564 (ABNT, 2011) é o ensaio de abrasão "*Los Angeles*", que deve ser executado conforme a norma NBR NM 51: Agregado graúdo - Ensaio de abrasão "*Los Angeles*" (ABNT; AMN, 2001).

No ensaio, todos os materiais se enquadraram na graduação F da norma, portanto o corpo de prova foi colocado no interior da máquina "*Los Angeles*" (Figura 32), juntamente com uma carga abrasiva constituída por esferas de aço de 12 milímetros (Figura 33) e em seguida, a máquina executou um 1000 rotações conforme a massa do corpo de prova (ABNT; AMN, 2001). A Figura 34 mostra os três lastros no interior do cilindro de abrasão após as rotações.



Figura 32 – Máquina “Los Ángeles” (arquivo pessoal).



Figura 33 – Carga abrasiva utilizada no ensaio de determinação da resistência à abrasão (arquivo pessoal).

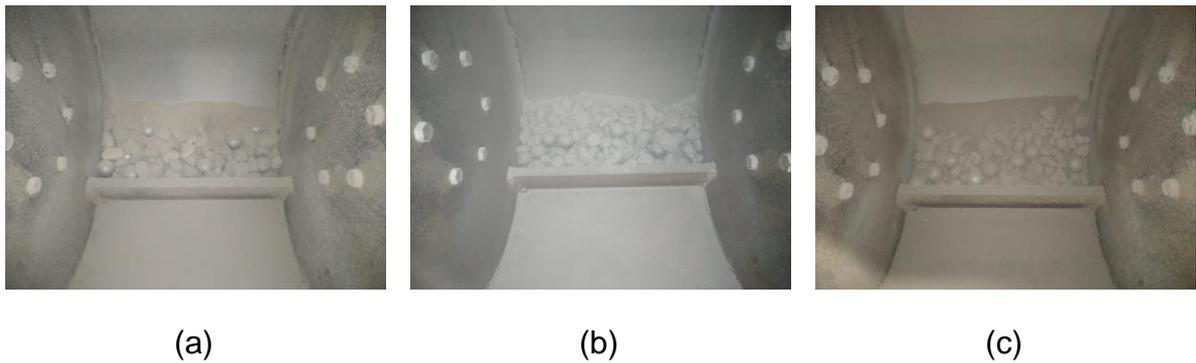


Figura 34 – Materiais dentro do cilindro da máquina “Los Angeles” após 1000 rotações. (a) basalto. (b) gnaiss. (c) escória de aciaria LD (arquivo pessoal).

Após as rotações, os materiais foram lavados sobre a peneira de malha de 1,7 milímetros, secos em estufa e pesados (Figura 35).

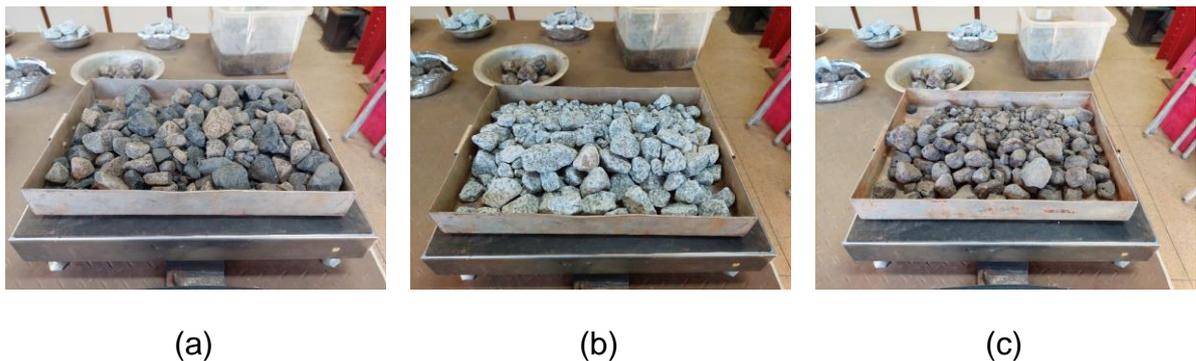


Figura 35 – Materiais sendo pesados ao final do ensaio de determinação da resistência à abrasão. (a) basalto. (b) gnaiss. (c) escória de aciaria LD (arquivo pessoal).

A resistência à abrasão (P) avalia a perda de massa do corpo de prova após o ensaio, e foi determinada de acordo com a Equação 15.

$$P = \frac{m - m_1}{m} \times 100 \quad \text{Equação 15}$$

Em que:

- m : massa inicial do corpo de prova;
- m_1 : massa do corpo de prova retida na peneira de 1,7 mm após o ensaio.

Para as amostras iniciais dos materiais, devido à disponibilidade de uma maior quantidade, foi realizado dois ensaios, com o resultado final sendo a média dos dois.

3.2.3 Resistência à carga pontual e resistência à compressão uniaxial

A norma NBR 5564 (ABNT, 2011), regulamenta o ensaio de determinação da resistência à compressão de amostra de matriz rochosa do lastro em estado saturado. Contudo, a preparação da amostra exige a moldura de pelo menos cinco corpos de prova cúbicos com aresta de 70 a 80 milímetros, ou cilíndricos, com diâmetro de 70 a 80 milímetros, com relação entre base e altura entre 1:2,5 e 1:3. Para isso, é necessário que no ato da compra ou solicitação do lastro, exija-se um bloco de rocha com tamanho suficiente para que se molde dela os corpos de prova necessários, porque em condições normais, o lastro fornecido não possui fragmentos com tamanho e/ou quantidade suficientes para a moldagem dos corpos de prova.

Como nenhum dos três lastros possuem amostras para que se execute esse ensaio, foi realizada uma adaptação do ensaio de resistência à carga pontual (*Point Load Test*) para ser utilizado como o ensaio de resistência da pesquisa, cujo parâmetro de resistência pode ser convertido em resistência à compressão uniaxial a partir de relações empíricas. O ensaio é regido pela norma americana D5731 - 16: *Standard Test Method for Determination of the Point Load Strength Index of Rock and Application to Rock Strength Classifications* (ASTM, 2016).

Foram selecionados para o ensaio de cada amostra 20 fragmentos de acordo com a distribuição granulométrica, conforme a metodologia de seleção adotada para o ensaio de forma. Os fragmentos foram secos em estufa a $(100 \pm 5) ^\circ\text{C}$ e tiveram três medidas tomadas com o auxílio de um paquímetro. Como os fragmentos apresentam superfícies irregulares, foi adotada a metodologia de medição apresentada na Figura 36.

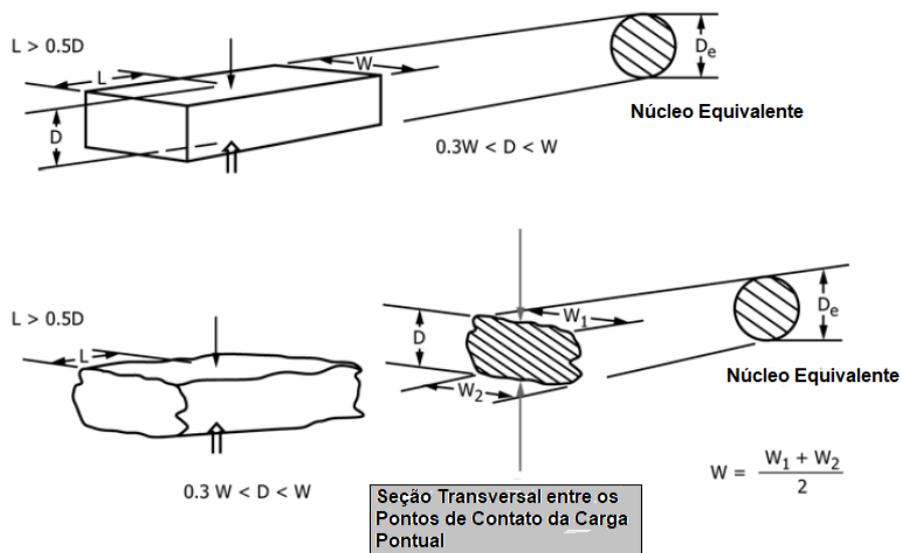


Figura 36 – Dimensões medidas nos fragmentos para o ensaio de carga pontual. A aplicação de carga, como mostrado, deve ser executada de forma centrada e longe das laterais (ASTM, 2016, traduzido pelo autor).

Atendidas às características geométricas exigidas na norma D5731 - 16 (ASTM, 2016), cada fragmento foi submetido à aplicação de carga no aparelho de carga pontual, mostrado na Figura 37. A carga aplicada pelas ponteiros é aumentada gradativamente até que o corpo de prova seja rompido, como mostra a Figura 38.



Figura 37 – Equipamento de aplicação de carga pontual (arquivo pessoal).



(a)

(b)

(c)

Figura 38 – Aplicação da carga pontual até a ruptura. (a) basalto. (b) gnaisse. (c) escória de aciaria LD (arquivo pessoal).

A Figura 39 mostra os modos de falha apresentados por alguns fragmentos dos materiais. Os modos de falha mostrados atendem aos critérios de validade do ensaio apresentados pela norma D5731 - 16 (ASTM, 2016). Para os corpos de prova em que esse critério não foi atendido, os valores das respectivas cargas de ruptura não foram considerados.



(a)

(b)

(c)

Figura 39 – Exemplos de modos válidos de ruptura. (a) basalto. (b) gnaisse. (c) escória de aciaria LD (arquivo pessoal).

Para rochas anisotrópicas, a norma D5731 - 16 (ASTM, 2016) sugere a aplicação de carga paralela aos planos de foliação (normalmente planos de maior fraqueza). Como os fragmentos ensaiados não apresentaram foliação de forma visível, a

indicação do plano de aplicação de carga não foi feita. O parâmetro inicial de resistência do ensaio da norma D5731 - 16 (ASTM, 2016) é o Índice de Resistência à Carga Pontual Não-Corrigido (*Uncorrected Point Load Strength Index* - I_s , dado em MPa), calculado conforme a Equação 15 para cada fragmento.

$$I_s = \frac{P_{\text{máx}}}{D_e} \quad \text{Equação 16}$$

Em que:

- $P_{\text{máx}}$: carga de ruptura do corpo de prova (originalmente denotado por P , neste trabalho foi alterado para não ser confundido com a denotação da resistência à abrasão);
- D_e : diâmetro equivalente do fragmento, calculado conforme a norma D5731 - 16 (ASTM, 2016) para corpos de prova irregulares.

Como o valor de I_s varia com D_e , a norma D5731 - 16 (ASTM, 2016) apresenta o Índice de Resistência à Carga Pontual Corrigido para o Tamanho (*Size Corrected Point Load Index* - $I_{s(D)}$), que por convenção, é tomado como o valor de I_s correspondente a $D = D_e = 50$ mm, denotado por $I_{s(50)}$. O valor de $I_{s(50)}$, foi obtido para o basalto e para o gnaisse através de uma interpolação linear em um gráfico $P_{\text{máx}}$ versus D_e^2 com os dois eixos em escala logarítmica, onde $P_{\text{máx}}$ foi obtido obtido para $D_e^2 = 2500$ mm², denotado então como $P_{\text{máx}(50)}$. Para esse valor, é determinado o $I_{s(50)}$. A norma D5731 - 16 (ASTM, 2016) apresenta uma relação diretamente proporcional entre resistência à compressão uniaxial s_c e a resistência à carga pontual I_s , dada pela Equação 17.

$$s_c = KI_s \quad \text{Equação 17}$$

De forma análoga, tem-se para a resistência à compressão σ_c uniaxial de uma rocha, tem-se Equação 18:

$$\sigma_c = KI_{s(50)} \quad \text{Equação 18}$$

O valor de K é específico para cada rocha, e no caso de rochas anisotrópicas, depende da direção de aplicação da carga pontual. Faltam pesquisas para calibração do valor de K para as rochas brasileiras. A Tabela 12 apresenta os valores de K sugeridos por Palmstrøm (1995) em função das faixas de valores de σ_c e de $I_{s(50)}$.

Tabela 12 – Valores sugeridos do fator K variando com a resistência da rocha (PALMSTRÖM, 1995, traduzido pelo autor).

σ_c (MPa)	$I_{s(50)}$ (MPa)	K
25* - 50	1,8 – 3,5	14
50 - 100	3,5 - 6	16
100 - 200	6 - 10	20
> 200	> 10	25

* Bieniawski (1973) sugere que o ensaio de carga puntiforme não deve ser realizado em rochas com resistência à compressão menores que aproximadamente 25 MPa.

Já a norma D5731 - 16 (ASTM, 2016) apresenta uma tabela de valores de K em função do diâmetro D no núcleo equivalente, para ser usada quando não houver literatura específica calibrando o valor de K para a rocha estudada. Os valores indicados pela norma são mostrados na Tabela 13.

Tabela 13 – Valor de K em função do diâmetro do núcleo equivalente (ASTM, 2016; BIENIAWSKI, 1975, traduzido pelo autor).

Diâmetro do núcleo equivalente (mm)	Valor de K (Generalizado)
21,5 (Núcleo EX)	18
30	19
42 (Núcleo BX)	21
50	23
54 (Núcleo NX)	24
60	24,5

Os resultados da pesquisa de Endait e Juneja (2015) apontam valores de K para o basalto iguais a 18 para amostras saturadas e 24 para amostras secas. O valor de K para o gnaisse é obtido de forma gráfica por Greminger (1982), como sendo o valor de 24, visto na Figura 40. Como a própria pesquisa de Greminger (1982) sugere, a determinação da resistência à carga pontual para rochas anisotrópicas (caso do gnaisse em geral) apresenta uma significativa dispersão. Contudo, os fragmentos do gnaisse utilizado neste trabalho, não apresentam planos preferenciais de ruptura de forma visível, sendo essa a característica determinante para classificá-los ou não como anisotrópicos.

Dessa forma, por questões de segurança e padronização, será adotado o valor de K igual a 23 para o basalto, o gnaisse e a escória LD utilizados nesta pesquisa conforme a Tabela 13 específica para $D = D_e = 50$ mm.

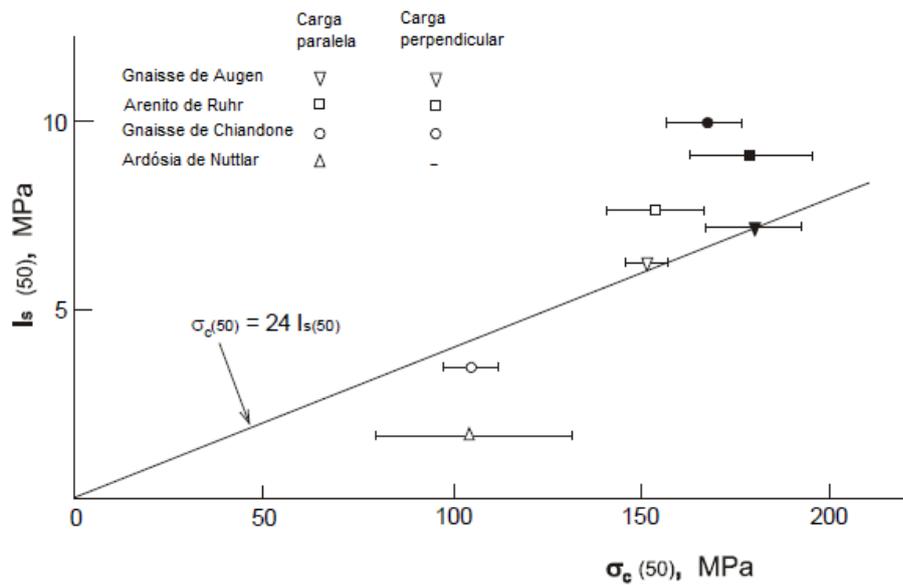


Figura 40 – Relação entre a resistência à compressão uniaxial a e resistência à carga pontual de rochas anisotrópicas (GREMINGER, 1982) apud (PALMSTRÖM, 1995) traduzido pelo autor.

3.3 Ensaios de simulação dos intemperismos físico e químico

Após a determinação dos parâmetros físicos e mecânicos dos materiais, amostras padrão de 30 quilogramas de cada lastro foram separadas para a realização dos mesmos ensaios após serem submetidas a ciclos de intemperismos físico e químico.

O método de simulação do intemperismo físico foi a realização de ciclos de congelamento e degelo dos lastros. Já para a simulação do intemperismo químico foram realizados ciclos de imersão das amostras em solução de sulfato de sódio.

3.3.1 Intemperismo físico por congelamento e descongelamento no estado saturado

Considerando que não há norma brasileira para avaliar a perda de resistência de materiais de lastro ferroviário sob ação do congelamento e descongelamento, foi realizada uma adaptação da metodologia da norma NBR 15845-4: Rochas para revestimento - Parte 4: Determinação da resistência ao congelamento e degelo (ABNT, 2015), aplicada para a determinação do eventual decréscimo na resistência

mecânica de rochas utilizadas em revestimentos de edificações após a ação de ciclos de congelamento e degelo.

A avaliação da perda de resistência adotada pela norma é o cálculo do coeficiente de enfraquecimento (K). Como K já foi apresentado como o fator de conversão empírica da resistência à carga pontual em resistência à compressão uniaxial, o coeficiente de enfraquecimento a partir daqui será denotado como K_e , dado pela Equação 19.

$$K_e = \frac{\sigma_{cd}}{\sigma_{nat}} \quad \text{Equação 19}$$

Em que:

- σ_{cd} : valor médio da resistência mecânica dos corpos de prova após o ensaio de congelamento e degelo;
- σ_{nat} : valor médio da resistência mecânica dos corpos de prova não submetidos ao ensaio de congelamento e degelo.

A norma NBR 15845-4 (ABNT, 2015) especifica outras normas de consulta para escolher o ensaio mecânico a ser adotado. Para este trabalho, foi separada uma amostra padrão de cada lastro para a realização de três novas avaliações de cada um dos ensaios de determinação dos parâmetros físicos e mecânicos.

O ensaio inicia com a saturação dos corpos de prova, seguida da realização de ciclos de congelamento, com o material dentro do congelador por 16 h e fora por 8 h. A norma NBR 15845-4 (ABNT, 2015) indica a realização de 25 ciclos de congelamento e degelo para a determinação da resistência escolhida como σ_{cd} . Foram realizados 75 ciclos, com determinação dos parâmetros descritos no item 3.4 a cada 25 ciclos. Essa opção foi feita para buscar construir gráficos de alterações das propriedades das rochas, e para contornar a possível não alteração dessas propriedades com apenas 25 ciclos, como ocorreu no trabalho de Silva (2012).

Para ser fiel à realidade de exposição do lastro ferroviário ao congelamento, foi optado nessa pesquisa pela realização do congelamento dos agregados no estado saturado, e não submerso, tendo em vista que em situações normais, o lastro ferroviário não tem possibilidade de ficar em estado submerso, tampouco congelar nesse estado.

Dessa forma, a partir de um sistema montado para realizar o ensaio com a amostra padrão de 30 quilogramas (Figura 41), os ciclos consistiram no congelamento saturado (Figura 42) do material do lastro em *freezers* a $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ por 16 h, seguido do descongelamento imerso em água (Figura 43) por 8 h para manter a saturação dos agregados. Por sugestão da norma NBR 15845-4 (ABNT, 2015), foram realizados exames visuais a cada 5 ciclos pra constatar danos aparentes aos corpos de prova, como fissurações, fraturas, desagregações, etc., situações que foram fotografadas quando visualizadas.



Figura 41 – Sistema utilizado para o congelamento dos materiais (arquivo pessoal).



Figura 42 – Congelamento dos materiais. (a) dentro do freezer. (b) Após extraído (arquivo pessoal).



Figura 43 – Descongelamento e manutenção da saturação dos materiais (arquivo pessoal)

3.3.2 Intemperismo químico por imersão em solução de sulfato de sódio

A norma NBR 5564 (ABNT, 2011) determina um procedimento para avaliar a perda em massa do lastro ferroviário ao ataque químico, por meio de uma simulação padronizada em 40 ciclos de imersão de 10 fragmentos do material em uma solução de sulfato de sódio e aquecimento em estufa.

Para avaliar a perda de resistência do material após o intemperismo químico, a metodologia da norma foi adaptada, de tal forma que material suficiente para a realização de ensaios do item 3.4 fosse submetido aos ciclos. Foram separadas duas amostras padrão de cada lastro, para que fossem realizadas avaliações das propriedades com 20 e 40 ciclos.

Os materiais foram submetidos a ciclos de imersão em solução de sulfato de sódio anidro, preparada conforme a norma NBR 5564 (ABNT, 2011) por 8 h seguida da secagem em estufa por 16 h. A norma prevê a secagem em estufa por 8 h, mas, devido à grande quantidade de material na estufa, foi optado por aumentar o tempo de secagem para garantir uma evaporação mais eficiente da água presente nas amostras. Na Figura 44, é mostrado o sulfato de sódio utilizado para preparar a solução e na Figura 45, tem-se os materiais imersos em solução.

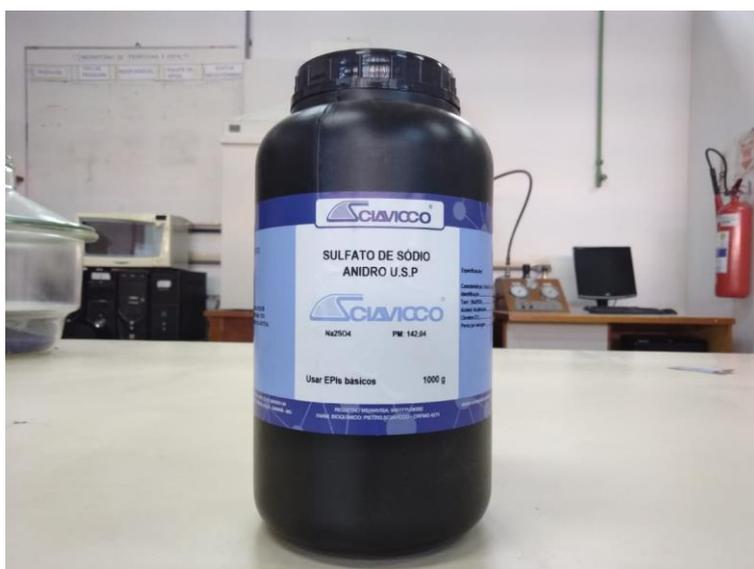


Figura 44 – Sulfato de sódio anidro utilizado no preparo da solução utilizada na simulação do intemperismo químico (arquivo pessoal).



Figura 45 – Materiais imersos na solução de sulfato de sódio (arquivo pessoal).

Após 20 e 40 ciclos, a partir das amostras padrão, foi realizado o preparo de corpos de prova para a realização dos ensaios a serem descritos no item 3.4. Também foi determinada a perda de massa do material por intemperismo químico ou resistência à intempérie (R_i) como descrito pela norma NBR 5564 (ABNT, 2011) a partir da Equação 20. Para essa determinação, foram analisados dois grupos de 10 fragmentos individuais de massa inicial seca entre 100 e 200 gramas de cada material. Um dos grupos de 10 fragmentos teve a resistência à intempérie calculada com 20 ciclos, e outro com os 40 estipulados pela norma.

$$R_i = \frac{M_i - M_f}{M_i} \times 100$$

Equação 20

Em que:

- M_i : massa do material antes dos ciclos;
- M_f : massa do material após os ciclos.

3.4 Determinação das características pós intemperismo e comparação com os valores prescritos na NBR 5564 (ABNT, 2011)

A cada 25 ciclos de congelamento e descongelamento e a cada 20 de imersão em solução de sulfato de sódio, foram preparados corpos de prova dos agregados de basalto, gnaiss e escória de aciaria LD para a realização de novos ensaios de caracterização física e mecânica, seguindo a mesma metodologia já descrita para determinar os valores iniciais.

Os resultados foram comparados aos valores iniciais de caracterização e aos valores limites da Tabela 5 e da Tabela 6. Para os valores de resistência à carga pontual calculou-se K_e para cada intervalo de 25 ciclos de simulação de intemperismo físico e 20 ciclos de simulação de intemperismo químico, adaptando o conceito de coeficiente de enfraquecimento para esta última simulação. Foram elaborados alguns gráficos de propriedade física/mecânica versus número de ciclos (similar ao gráfico da Figura 14) para interpolar ou extrapolar o número de ciclos correspondente ao respectivo valor limite da Tabela 5. Com isso, foi possível em alguns casos, estimar quantos ciclos os materiais suportam até não poderem mais atender às exigências de resistência da norma NBR 5564 (ABNT, 2011).

4 RESULTADOS

Os resultados desse trabalho são mostrados de forma resumida no corpo do texto. Os valores detalhados e tabelas maiores estão nos Apêndices. Alguns corpos de prova dos ensaios são identificados a partir dos códigos apresentados na Tabela 14.

Tabela 14 – Identificação dos corpos de prova dos ensaios (arquivo pessoal).

Corpo de prova: LA-NN-BB-CC-CPX	
LA → Nome do lastro:	BA: Basalto GN: Gnaisse ES: Escória de aciaria LD
NN-BB → Número de ciclos e tipo de intemperismo:	: Não aparece no caso de resistência à intempérie 00: Material inicial NN-IF: NN ciclos de intemperismo físico NN-IQ: NN ciclos de intemperismo químico
CC → Ensaio realizado:	GR: Determinação da composição granulométrica AB: Ensaio de abrasão “Los Angeles” CH: Determinação da resistência ao choque ME: Determinação da massa específica aparente, porosidade aparente e absorção de água MU: Determinação da massa unitária no estado solto e do índice de volume de vazios RI: Determinação da resistência à intempérie DF: Determinação da forma dos fragmentos PL: Determinação da resistência à carga pontual RI-20: Determinação da resistência à intempérie com 20 ciclos RI-40: Determinação da resistência à intempérie com 40 ciclos
CPX → Número do corpo de prova:	: Em alguns ensaios onde há apenas um corpo de prova ou em grupos de corpos de prova, esse código foi suprimido CPX: Corpo de prova nº X

As linhas vermelhas em alguns gráficos apresentados neste capítulo representam os limites apresentados pela norma NBR 5564 (ABNT, 2011) ou pelos autores das avaliações, para os parâmetros analisados.

4.1 Parâmetros físicos

4.1.1 Composição granulométrica

Na Subseção A.1 do Apêndice A estão mostrados os dados obtidos nas pesagens dos ensaios de determinação da composição granulométrica.

A Figura 46 e a Figura 47, trazem as curvas granulométricas do basalto após os ciclos de congelamento e degelo, comparadas respectivamente às classificações em Padrão A e Padrão B da norma NBR 5564 (ABNT, 2011).

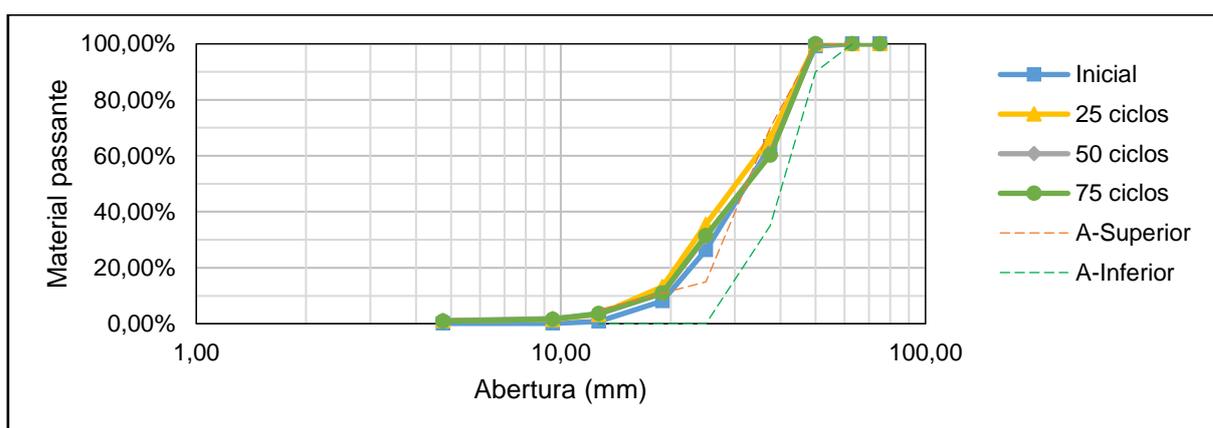


Figura 46 – Curvas granulométricas do basalto após os ciclos de congelamento e degelo comparadas aos limites do Padrão A (arquivo pessoal).

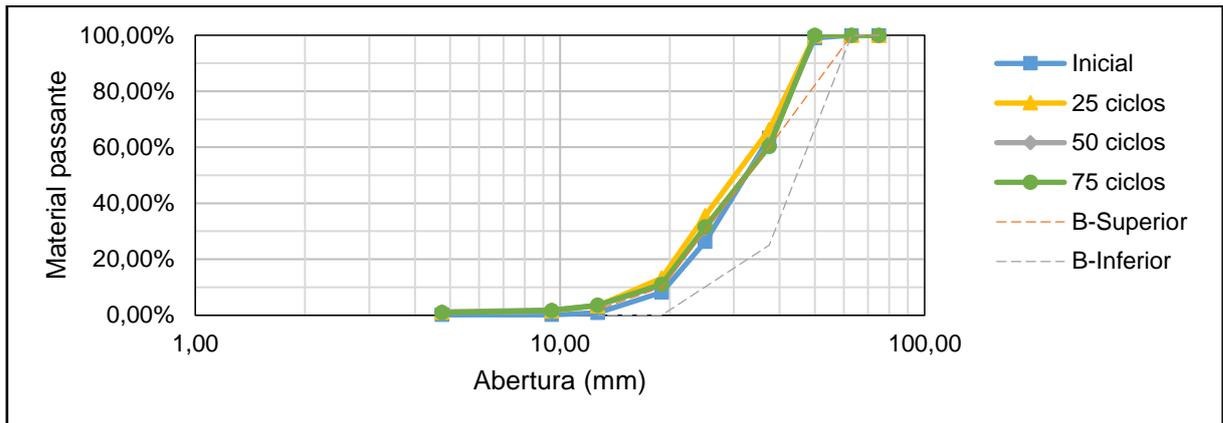


Figura 47 – Curvas granulométricas do basalto após os ciclos de congelamento e degelo comparadas aos limites do Padrão B (arquivo pessoal).

Após a realização dos ciclos, a distribuição granulométrica do basalto não sofreu alterações significativas que pudessem ser atribuídas à ação do congelamento e degelo. As pequenas variações percebidas entre uma curva e outra são decorrentes em desvios devido ao processo de amostragem.

O basalto inicial possuía alguns pontos da curva que se localizam fora dos limites da NBR 5564 (ABNT, 2011), seja no Padrão A ou B. Esse comportamento se manteve após o aumento no número de ciclos. As Figura 48 e Figura 49 mostram as curvas granulométricas do basalto após os ciclos de intemperismo químico.

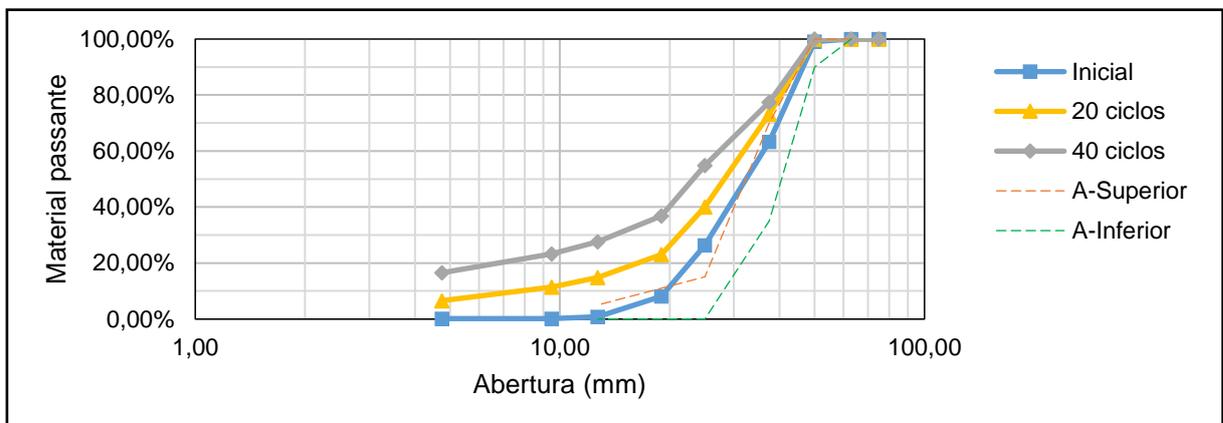


Figura 48 – Curvas granulométricas do basalto após os ciclos de imersão em solução de sulfato de sódio comparadas aos limites do Padrão A (arquivo pessoal).

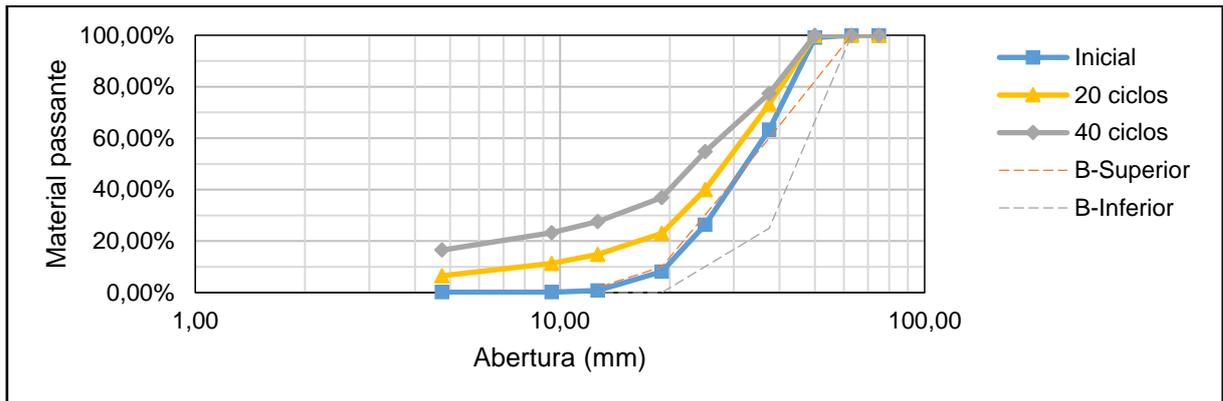


Figura 49 – Curvas granulométricas do basalto após os ciclos de imersão em solução de sulfato de sódio comparadas aos limites do Padrão B (arquivo pessoal)

No caso do intemperismo químico, o basalto apresentou grandes variações, mostrando um aumento significativo na quantidade de finos à medida em que se aumenta a quantidade de ciclos, demonstrando que o processo de simulação de intemperismo adotado gerou quebra e desagregação de partículas do basalto. A curva inicial, que mantinha boa parte do seu traçado dentro dos Padrões A e B foi totalmente deslocada para fora dos limites já com 20 ciclos.

Agora, segue as curvas granulométricas do gnaiss após os ciclos de congelamento de degelo (Figura 50 e Figura 51) e de imersão em solução de sulfato de sódio (Figura 52 e Figura 53).

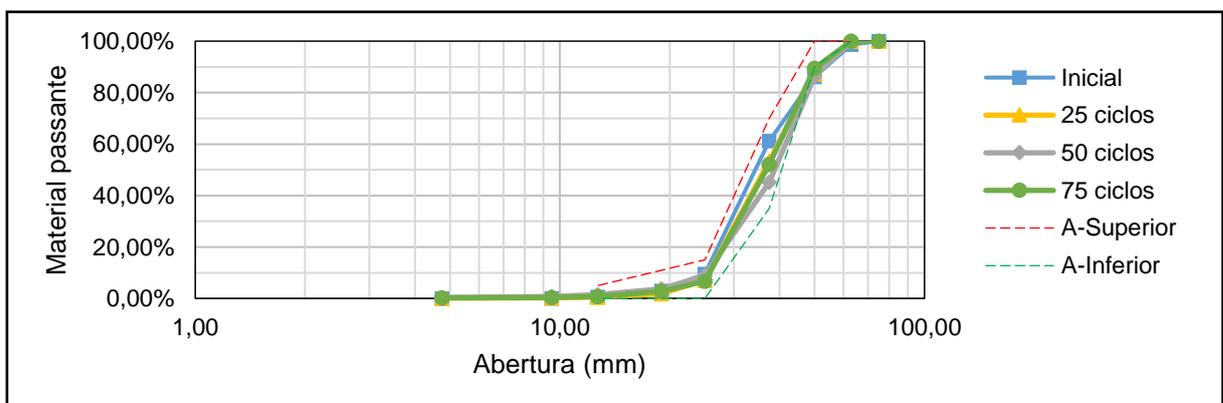


Figura 50 – Curvas granulométricas do gnaiss após os ciclos de congelamento e degelo comparadas aos limites do Padrão A (arquivo pessoal).

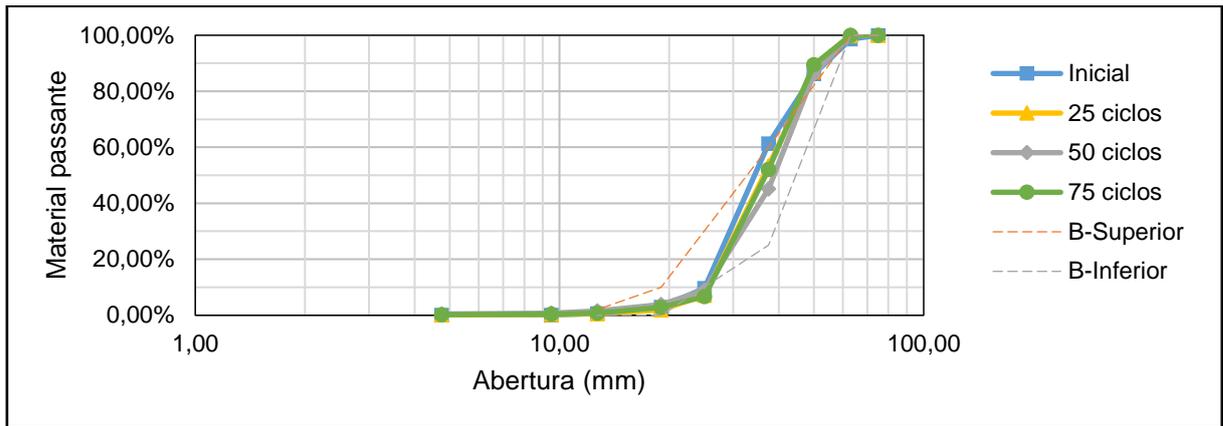


Figura 51 – Curvas granulométricas do gnaiss após os ciclos de congelamento e degelo comparadas aos limites do Padrão B (arquivo pessoal).

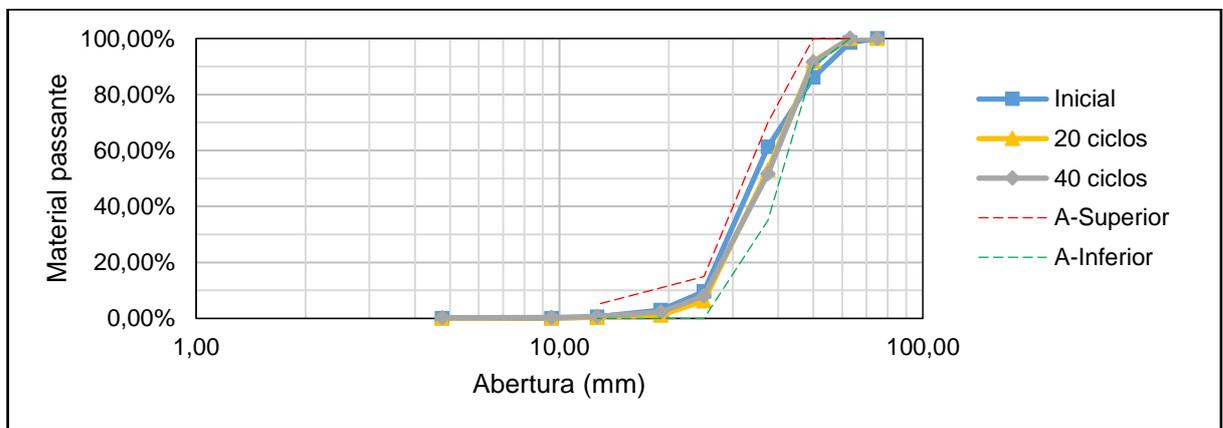


Figura 52 – Curvas granulométricas do gnaiss após os ciclos de imersão em solução de sulfato de sódio comparadas aos limites do Padrão A (arquivo pessoal).

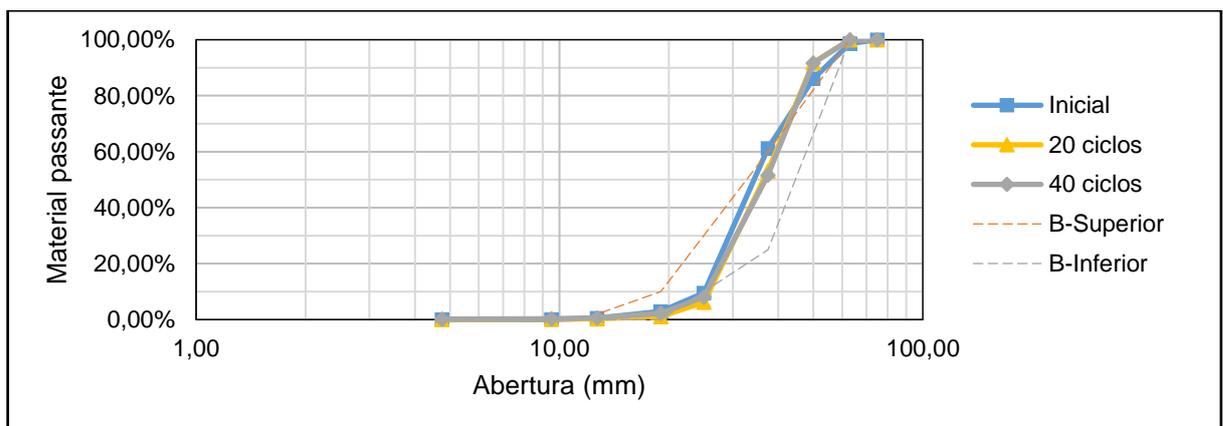


Figura 53 – Curvas granulométricas do gnaiss após os ciclos de imersão em solução de sulfato de sódio comparadas aos limites do Padrão B (arquivo pessoal).

Em nenhuma das duas simulações de intemperismo o gnaíse apresentou alteração ao se avaliar as curvas granulométricas, mostrando apenas pequenos desvios relacionados ao processo de amostragem. Com isso, que foi observado por Santos e Pereira *et al.* (2018), em relação à granulometria do gnaíse não foi verificado. O gnaíse avaliado se manteve mais adequado ao Padrão A em todas as avaliações.

Por fim, segue na Figura 54, Figura 55, Figura 56 e Figura 57 as curvas granulométricas obtidas nas baterias de ensaio da escória de aciaria LD.

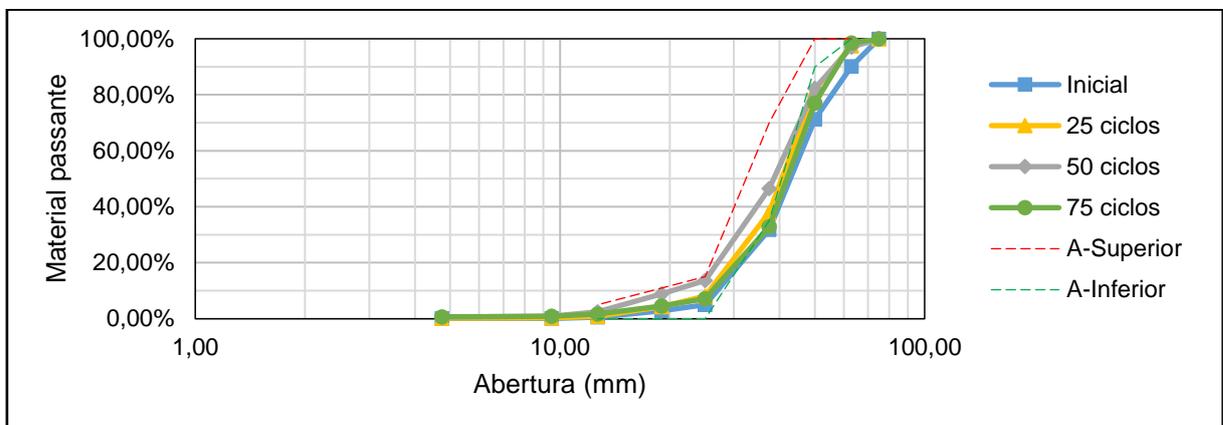


Figura 54 – Curvas granulométricas da escória de aciaria LD após os ciclos de congelamento e degelo comparadas aos limites do Padrão A (arquivo pessoal).

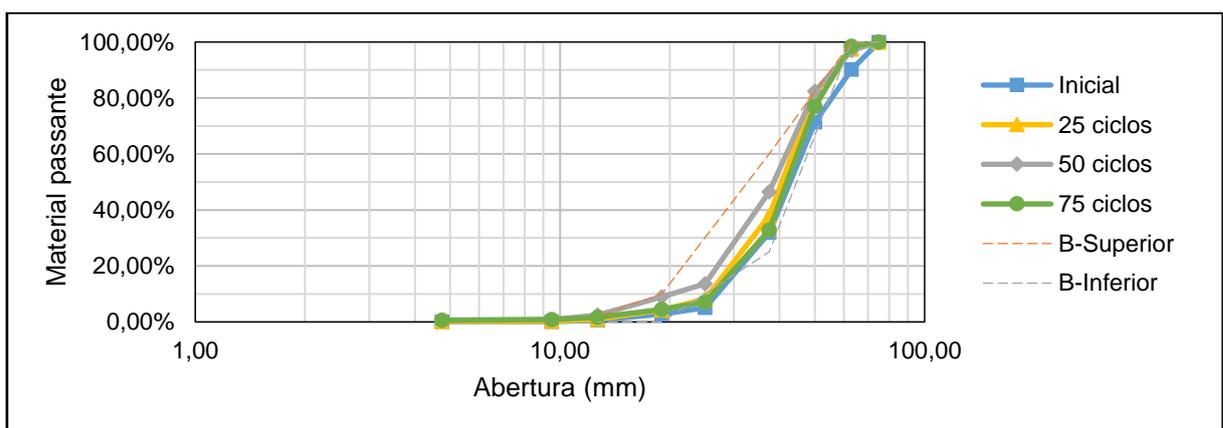


Figura 55 – Curvas granulométricas da escória de aciaria LD após os ciclos de congelamento e degelo comparadas aos limites do Padrão B (arquivo pessoal).

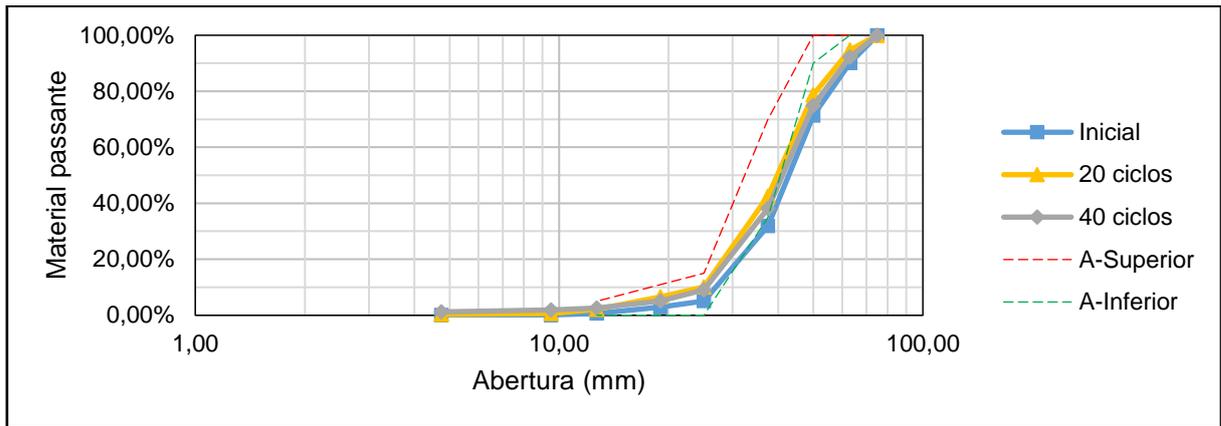


Figura 56 – Curvas granulométricas da escória de aciaria LD após os ciclos de imersão em solução de sulfato de sódio comparadas aos limites do Padrão A (arquivo pessoal).

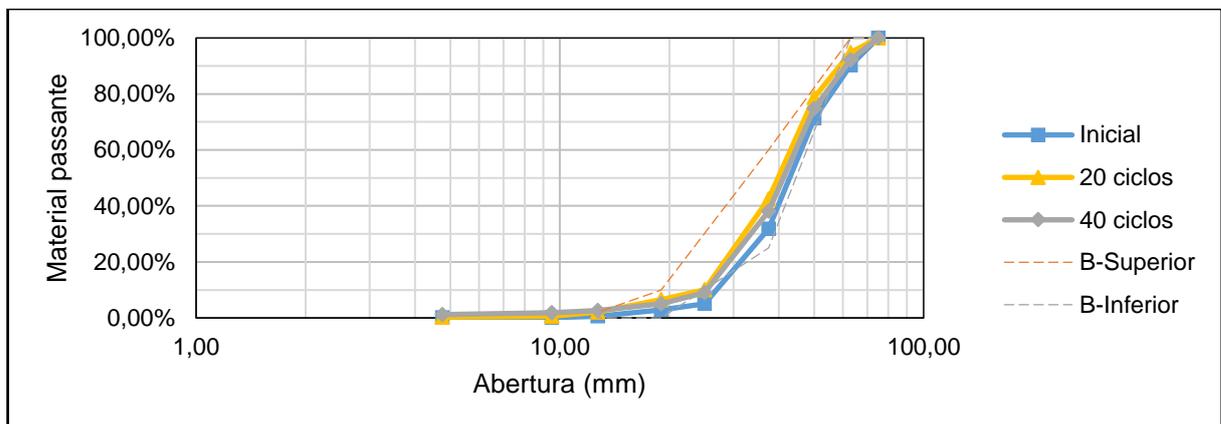


Figura 57 – Curvas granulométricas da escória de aciaria após os ciclos de imersão em solução de sulfato de sódio comparadas aos limites do Padrão B (arquivo pessoal).

Assim como o gnaíse, a escória de aciaria LD não apresentou alterações após ser submetida às simulações de intemperismo. Contudo, ao contrário do gnaíse, a escória se mostrou mais adequada ao Padrão B da norma NBR 5564 (ABNT, 2011).

Algumas pequenas variações na granulometria do gnaíse e da escória de aciaria LD podem ser vistas na avaliação do coeficiente de uniformidade de, mostrado na Figura 58 e na Figura 59.

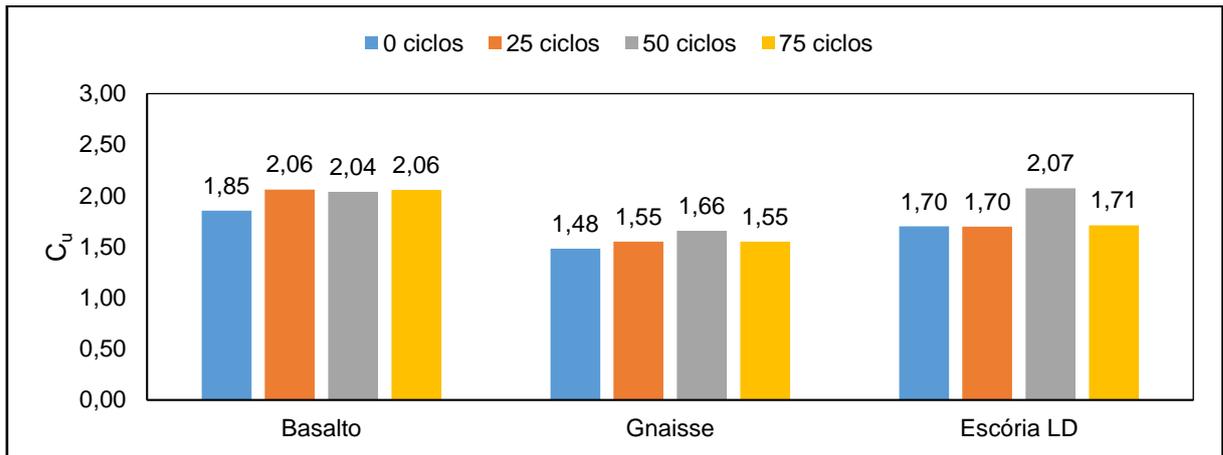


Figura 58 – Variação do coeficiente de uniformidade com os ciclos de congelamento e degelo (arquivo pessoal).

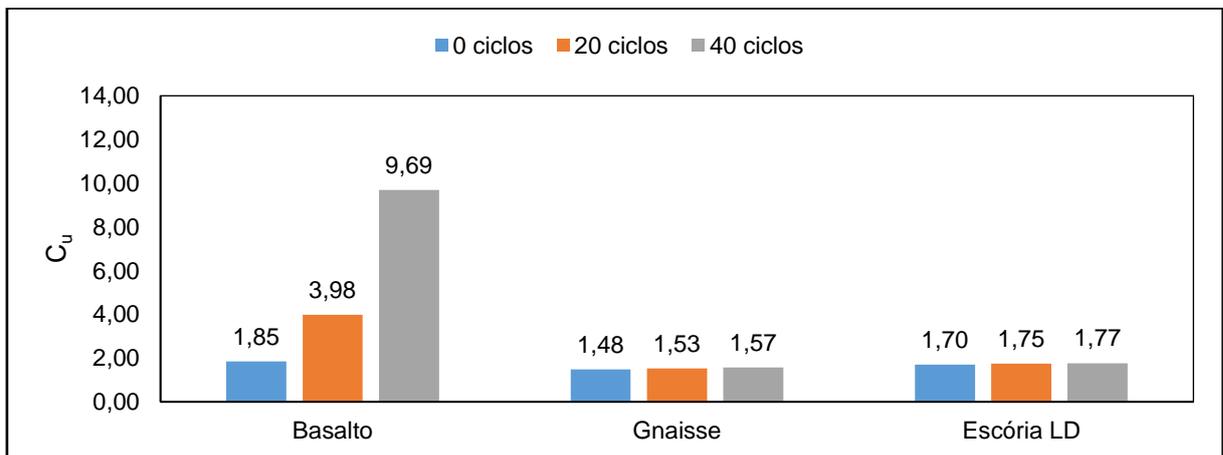


Figura 59 – Variação do coeficiente de uniformidade com os ciclos de imersão em solução de sulfato de sódio (arquivo pessoal).

Fora algumas possíveis tendências de aumento vistas no basalto e no gnaisse, os materiais não apresentaram alterações significativas nos coeficientes de uniformidade ao serem submetidos aos ciclos de congelamento e degelo. Os materiais se mantiveram com $C_u < 5$, se mantendo classificados com uniformes. Já a simulação de intemperismo por imersão em solução de sulfato de sódio provocou uma alteração visível no valor de C_u do basalto, fazendo com que ao final dos 40 ciclos, ele passasse a ser classificado como medianamente uniforme. Este intemperismo também não provocou alteração nos valores de C_u do gnaisse e da escória de aciaria.

Ao se avaliar o coeficiente de curvatura, assim como no caso do coeficiente de uniformidade, foi verificada alteração apenas no basalto após os ciclos de imersão em solução de sulfato de sódio, como apresentado a seguir na Figura 60 e na Figura 61.

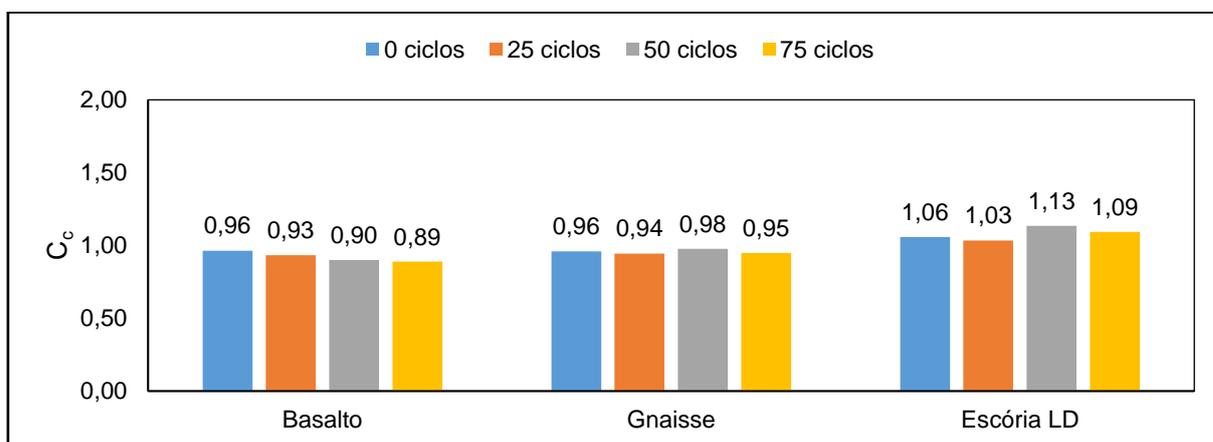


Figura 60 – Variação do coeficiente de curvatura com os ciclos de congelamento e degelo (arquivo pessoal)

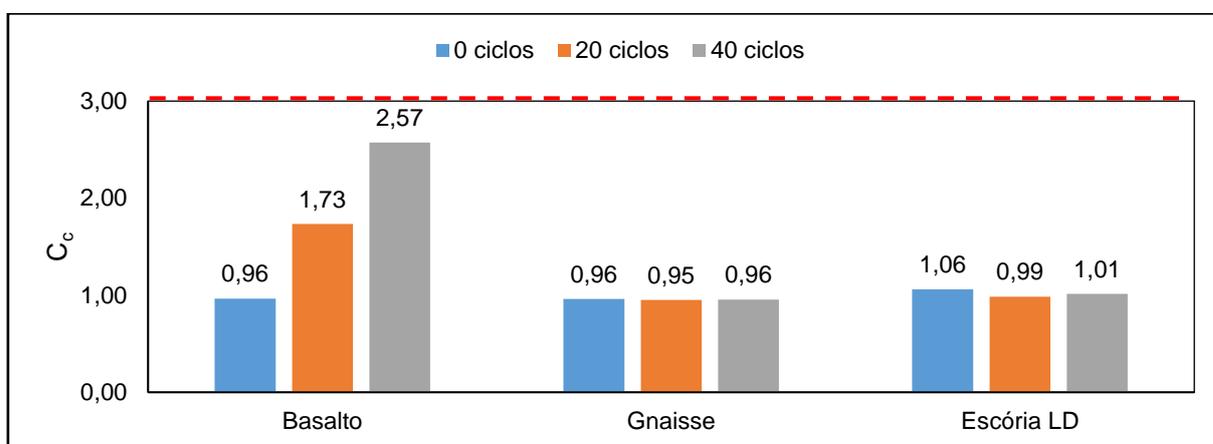


Figura 61 – Variação do coeficiente de curvatura com os ciclos de imersão em solução de sulfato de sódio (arquivo pessoal).

Os materiais se mantiveram classificados como uniformes, abaixo do valor limite de 3. Outro parâmetro que mostrou a variação do tamanho das partículas do lastro de basalto submetido à simulação de intemperismo químico foi o Módulo de Finura.

As análises das variações do módulo de finura relativas aos dois processos de intemperismo estudados são mostradas nos gráficos da Figura 62 e da Figura 63.

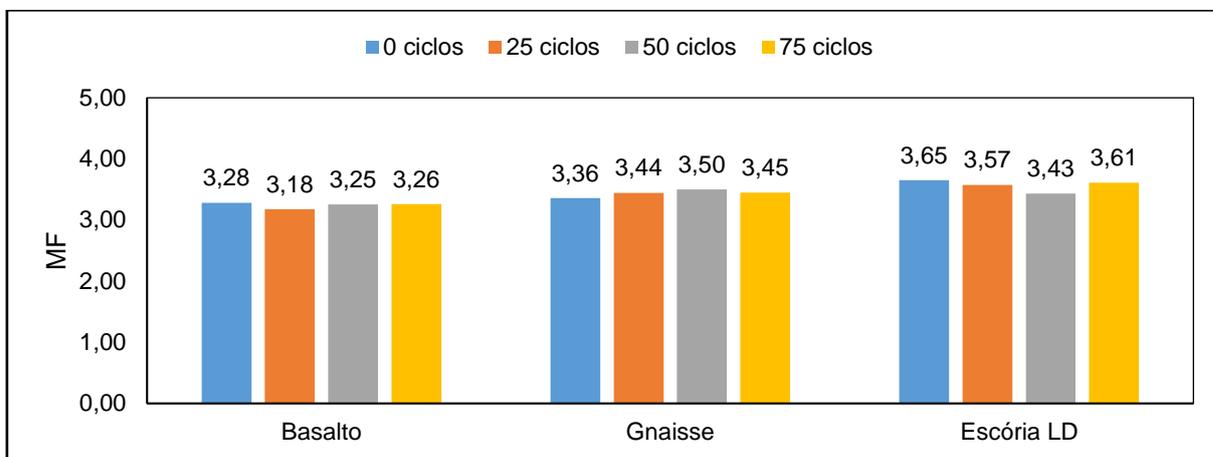


Figura 62 – Variação do Módulo de Finura com os ciclos de congelamento e degelo (arquivo pessoal).

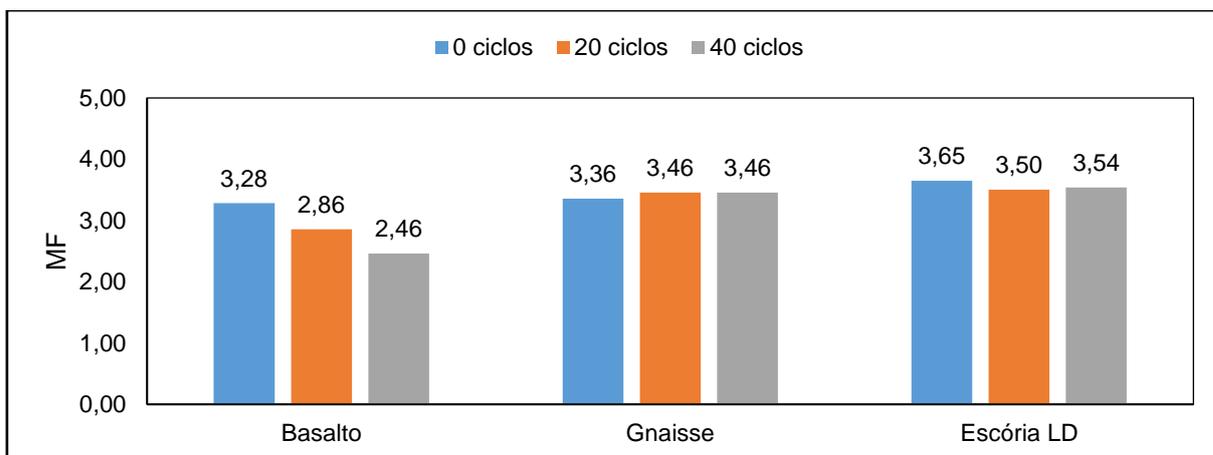


Figura 63 – Variação do Módulo de Finura com os ciclos de imersão em solução de sulfato de sódio (arquivo pessoal).

Por fim, a Dimensão Máxima Característica dos materiais foi alterada apenas no caso da escória de aciaria, submetida aos ciclos de congelamento e degelo, passando de 75 milímetros para 63 a partir da bateria de ensaios realizada com 25 ciclos. Os valores de DMC da escória e dos lastros de pedras naturais são mostrados na Figura 64 e na Figura 65.

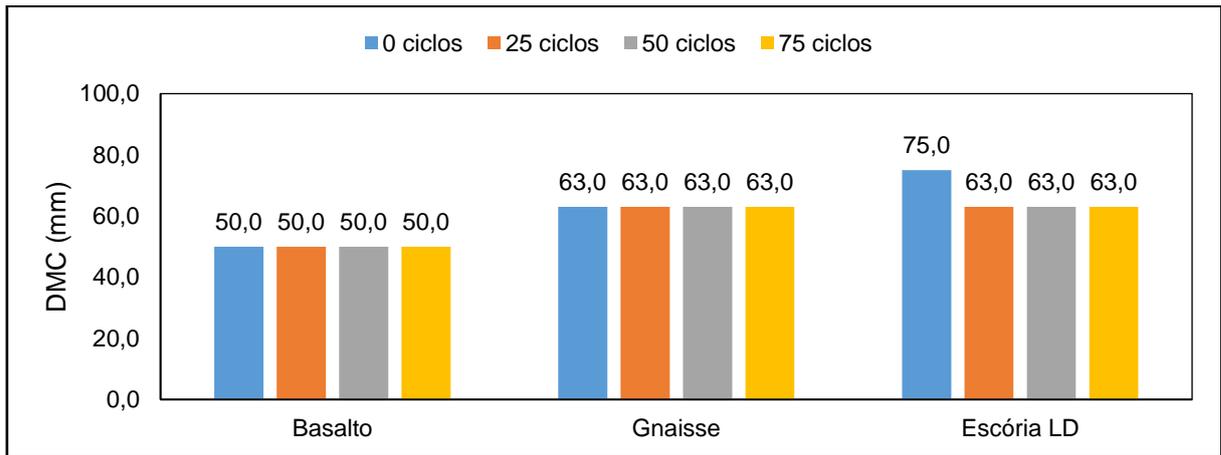


Figura 64 – Variação da Dimensão Máxima Característica com os ciclos de congelamento e degelo (arquivo pessoal).

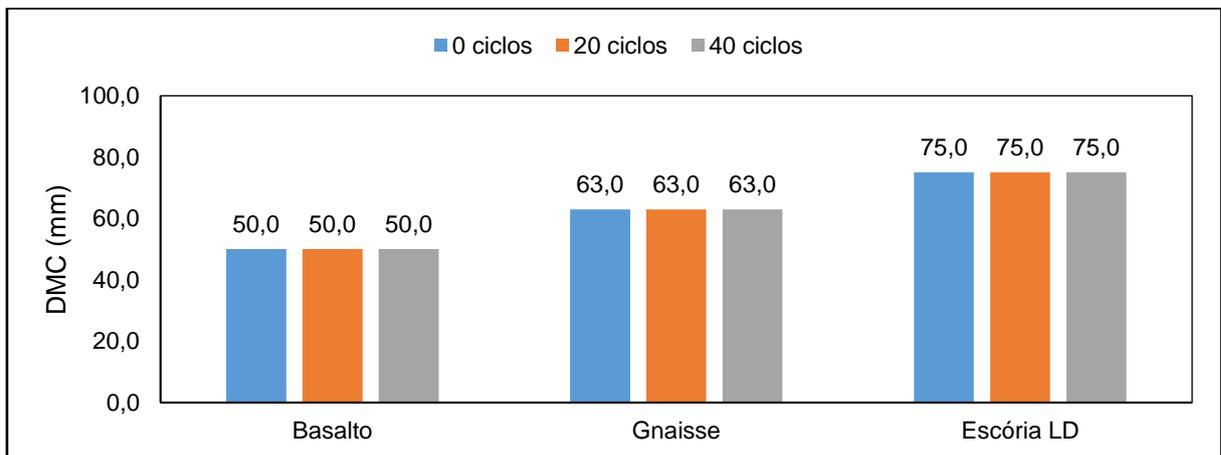


Figura 65 – Variação da Dimensão Máxima Característica com os ciclos de imersão em solução de sulfato de sódio (arquivo pessoal).

Apesar de os materiais não terem apresentado variações visíveis na curva granulométrica após os ciclos de congelamento e degelo, foi verificado visualmente a fragmentação de algumas partículas do basalto (Figura 66) e aumento da fissuração de algumas partículas grandes da escória de aciaria. Ao serem submetidas ao congelamento e degelo sucessivo, foi visto que algumas dessas fissuras aumentaram, devido à fadiga e à a uma possível expansão residual da escória, mesmo depois de todo o tempo de estabilização. A Figura 67 traz o exemplo de um fragmento grande

de escória, cujas fissuras aumentaram de forma significativa após ciclos de congelamento e degelo.



Figura 66 – Fragmentação de uma partícula de basalto da amostra submetida a 25 ciclos de congelamento e degelo. A fotografia foi tirada com 13 ciclos (arquivo pessoal).

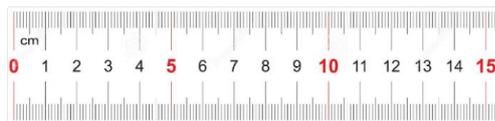


Figura 67 – Fissuração em um fragmento de escória de aciaria LD. A fotografia foi tirada com 22 ciclos de congelamento e degelo (arquivo pessoal).

4.1.2 Contaminação

Nesta seção serão mostradas as avaliações de contaminação da Tabela 7 e dos percentuais de finos.

4.1.2.1 Índices de contaminação

A Figura 68 e a Figura 69 trazem as informações do índice de contaminação FI_p da norma australiana AS 2758.7 (STANDARDS AUSTRALIA, 2015), não considerando o material passante na peneira de 0,075 milímetros conforme justificado no item 3.1.2.

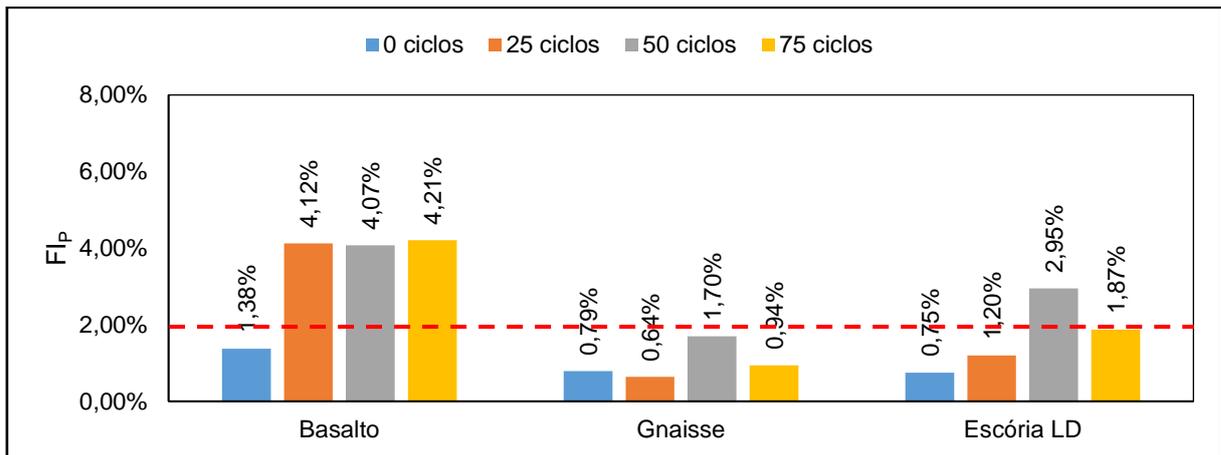


Figura 68 – Variação do índice de contaminação FI_p com os ciclos de congelamento e degelo (arquivo pessoal).

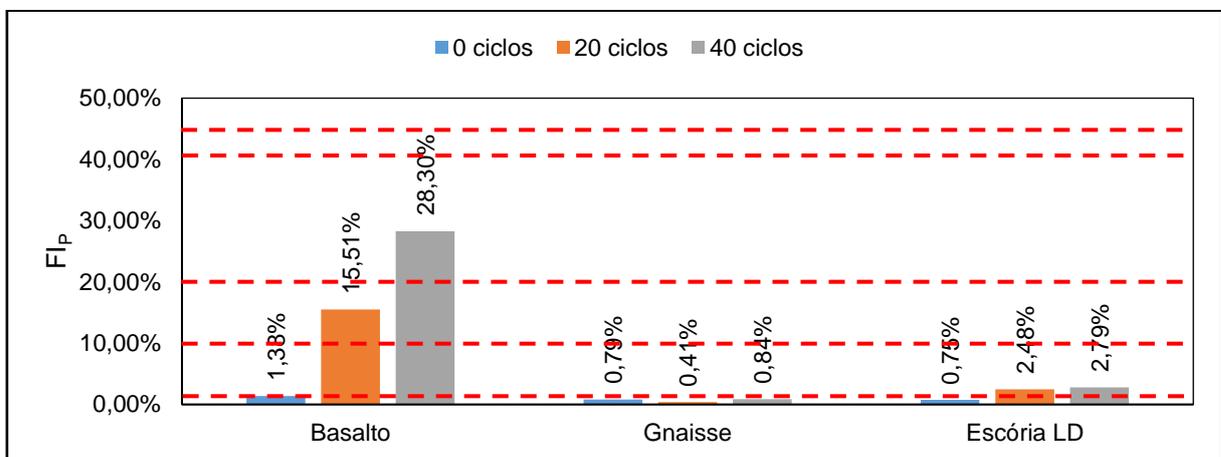


Figura 69 – Variação do índice de contaminação FI_p com os ciclos de imersão em solução de sulfato de sódio (arquivo pessoal).

Considerando apenas o material passante na peneira de 4,75 milímetros, já é possível perceber nos materiais um aumento da contaminação devido às duas

simulações de intemperismo. No caso do congelamento e degelo, o basalto e a escória passaram de limpos para moderadamente limpos, com o basalto já saltando para valores na ordem de 4 % já com 25 ciclos. Provavelmente houve erros de amostragem no gnaisse e na escória para as amostras padrão submetidas a 50 ou a 75 ciclos, responsáveis pela incoerência entre os valores.

Em se tratando da imersão em solução de sulfato de sódio, o basalto apresentou grandes aumentos de contaminação, passando de limpo para moderadamente contaminado com 20 ciclos, e para contaminado com 40 ciclos. A escória passou de limpa para moderadamente limpa após 20 ciclos, classificação que foi mantida com 40 ciclos. As análises do índice de contaminação FI_D são apresentadas na Figura 70 e na Figura 71.

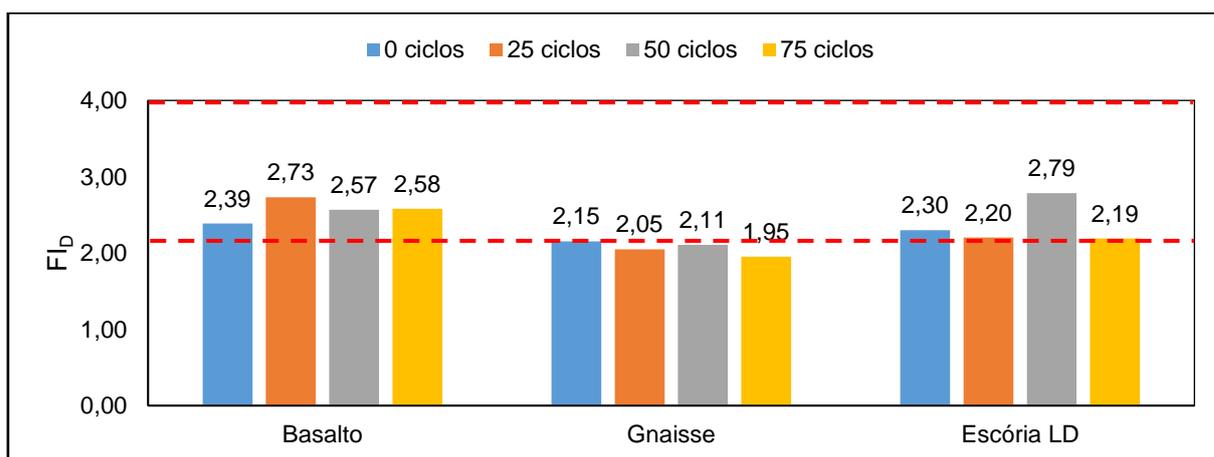


Figura 70 – Variação do índice de contaminação FI_D com os ciclos de congelamento e degelo (arquivo pessoal).

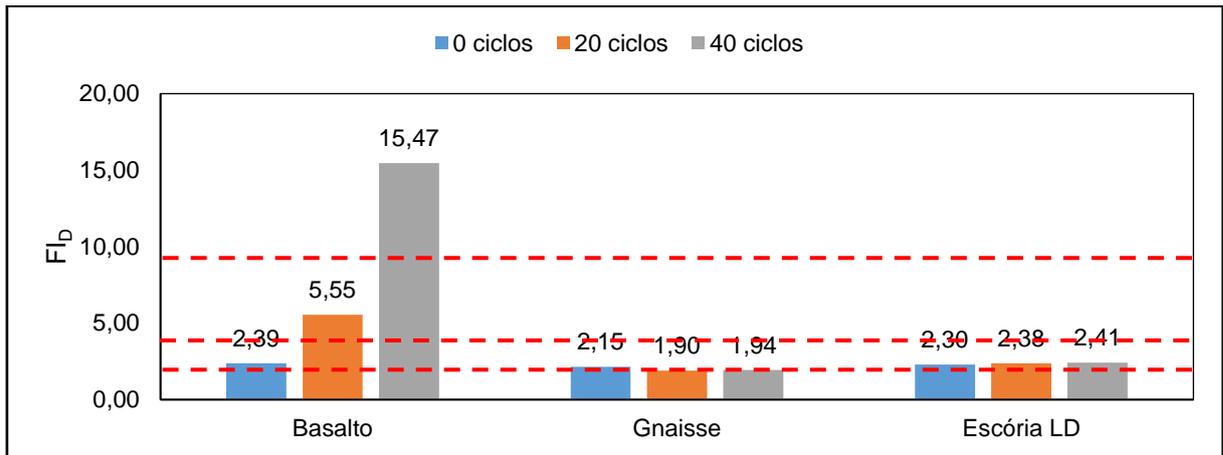


Figura 71 – Variação do índice de contaminação FI_D com os ciclos de imersão em solução de sulfato de sódio (arquivo pessoal).

O índice FI_D já não pôde demonstrar que o congelamento e descongelamento aumentou a contaminação dos materiais, com todos os três próximos da fronteira entre limpo e moderadamente limpo. Nos ciclos de imersão em solução de sulfato de sódio, o FI_D aumentou significativamente para o basalto, saindo da classificação inicial de moderadamente limpo para moderadamente contaminado com 20 ciclos, e contaminado com 40 ciclos, assim como aconteceu na avaliação do FI_p .

O índice F_I apresentado por Selig e Waters (1994), também calculado sem considerar os materiais passantes na peneira de 0,075 milímetros demonstrou um aumento na contaminação dos materiais. Os valores, calculados levando em conta as duas simulações de intemperismo, são mostrados nos gráficos da Figura 72 e da Figura 73.

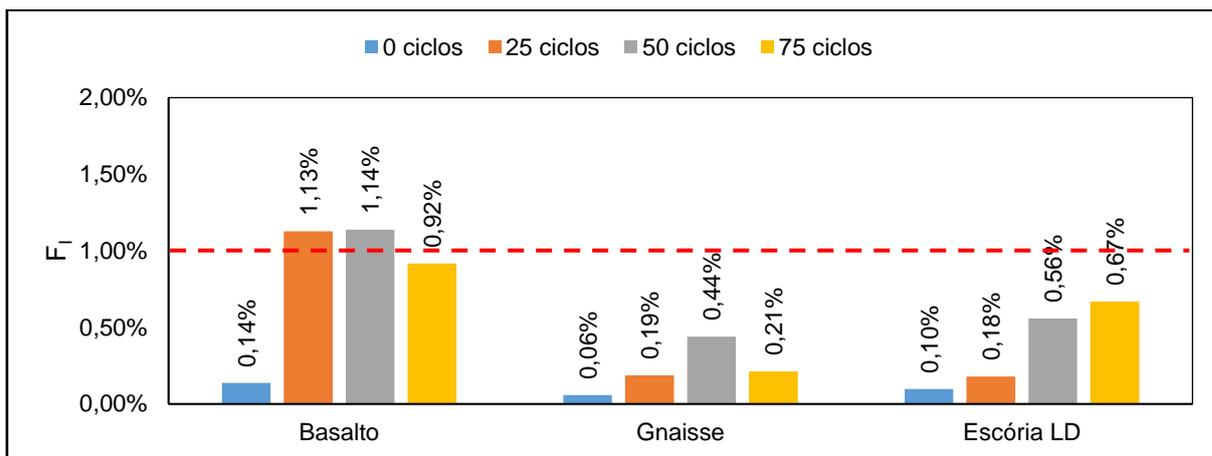


Figura 72 – Variação do índice de contaminação F_1 com os ciclos de congelamento e degelo (arquivo pessoal).

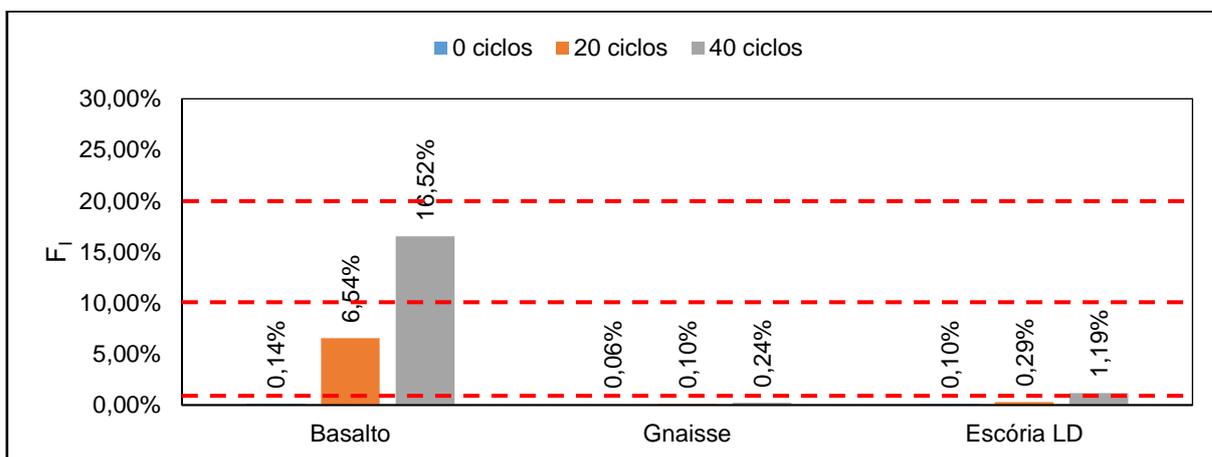


Figura 73 – Variação do índice de contaminação F_1 com os ciclos de imersão em solução de sulfato de sódio (arquivo pessoal).

Avaliando F_1 , o basalto apresenta um aumento de contaminação a partir do valor inicial, passando de limpo para moderadamente limpo no gráfico do intemperismo por congelamento e degelo. O gnaisse e a escória também apresentaram aumento, mas mantiveram a classificação como limpos. Os valores após 50 e 75 ciclos do basalto e do gnaisse reforçam o provável desvio relativo à amostragem.

Na Figura 73, considerando a simulação de intemperismo químico, a contaminação do basalto aumentou significativamente em relação aos outros materiais, assim como demonstrado pelos outros dois índices. O material passou de

limpo para moderadamente limpo com 20 ciclos, e para moderadamente contaminado com 40 ciclos. O gnaíse se manteve classificado com limpo, enquanto a escória passou de limpa, com 0 e 20 ciclos para moderadamente limpa com 20 ciclos.

4.1.2.2 Percentual de finos

A fim de se avaliar diretamente o percentual de finos nas amostras, inicialmente, é mostrada a análise considerando como finos os materiais passantes na peneira de 12,0 milímetros (Figura 74 e Figura 75), como sugerido por Paim da Silva (2018). 12,0 milímetros é o menor valor de granulometria abordado na definição de lastro padrão da norma NBR 5564 (ABNT, 2011).

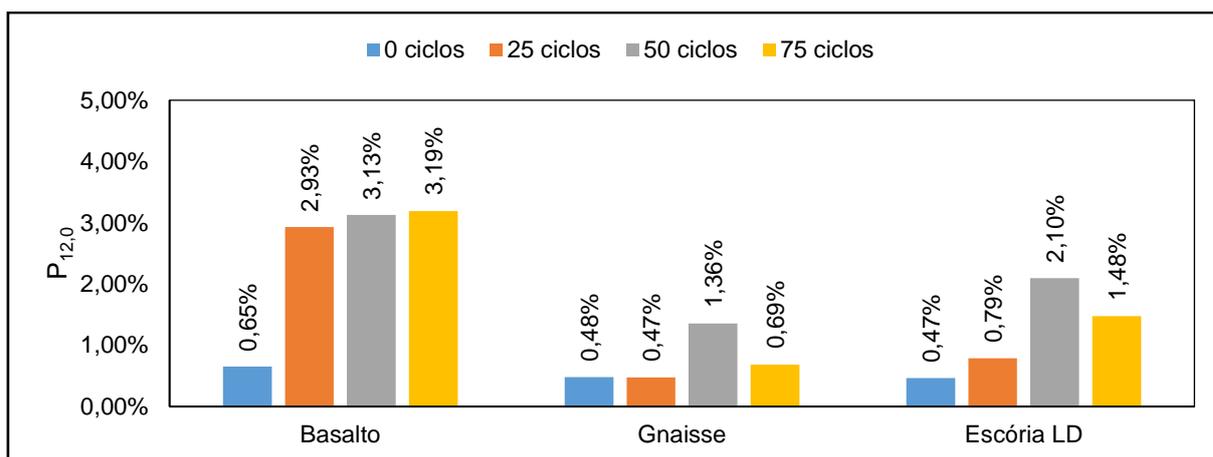


Figura 74 – Variação do percentual passante em 12,0 mm com os ciclos de congelamento e degelo (arquivo pessoal).

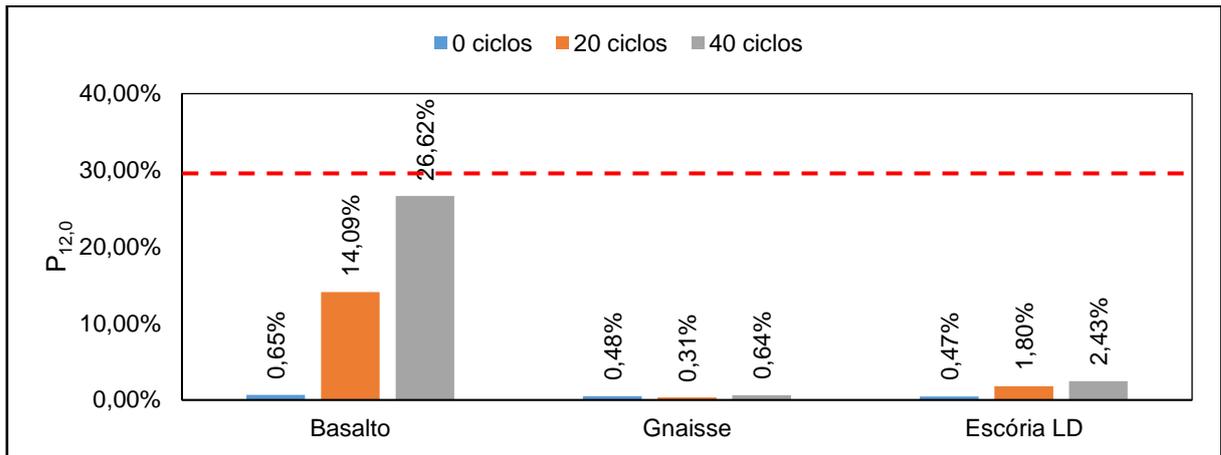


Figura 75 – Variação do percentual passante em 12,0 mm com os ciclos de imersão em solução de sulfato de sódio (arquivo pessoal).

Nos dois processos de simulação de intemperismo, é percebido um aumento na contaminação dos três materiais. A imersão em solução de sulfato de sódio foi ligeiramente mais degradante para a escória de aciaria do que o congelamento e degelo. Já no caso do basalto, a imersão em solução de sulfato de sódio provocou um aumento de contaminação bem mais severo, em ordem de grandeza bem maior do que a vista nos outros materiais e no outro processo de simulação. Apesar disso, o limite de 30%, indicativo de contaminação total e fim de vida útil do lastro não foi atingido, ficando próximo apenas do basalto no caso da Figura 75.

Considerando agora como finos os materiais passantes em 9,5 milímetros, a Figura 76 e Figura 77 trazem a avaliação da variação da contaminação respectivamente para o congelamento e degelo e para a imersão em solução de sulfato de sódio.

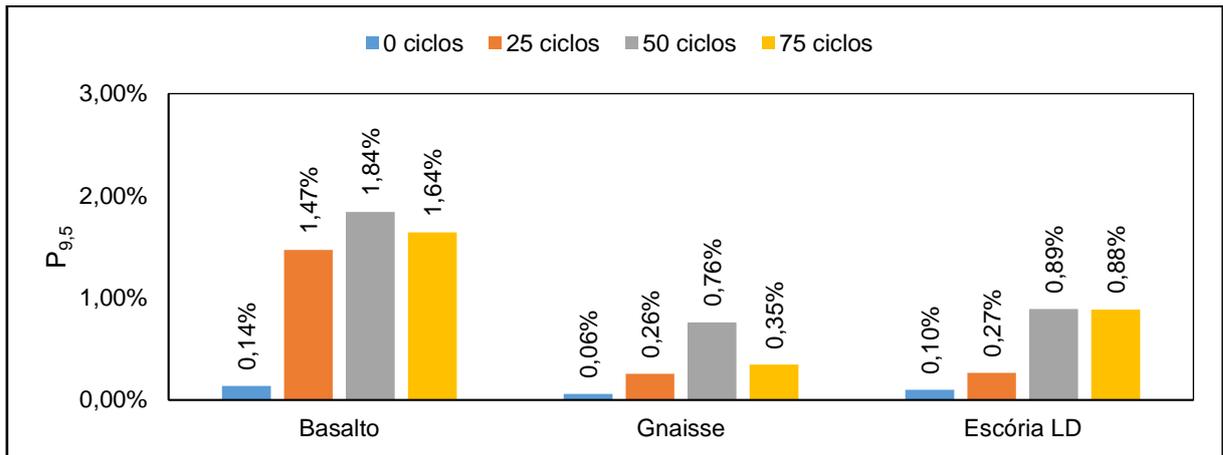


Figura 76 – Variação do percentual passante em 9,5 mm com os ciclos de congelamento e degelo (arquivo pessoal).

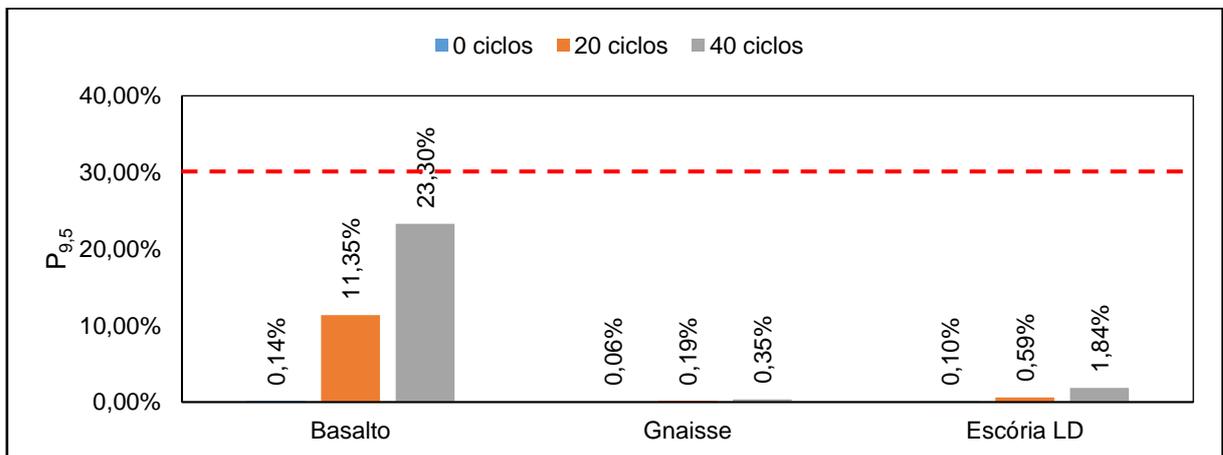


Figura 77 – Variação do percentual passante em 9,5 mm com os ciclos de imersão em solução de sulfato de sódio (arquivo pessoal).

Ao se considerar como finos apenas os fragmentos menores que 9,5 milímetros, já era de se esperar que a contaminação acusada fosse menor ao ser comparada com os materiais passantes em 12 milímetros. Apesar disso, as tendências de aumento da contaminação se mantiveram para os três materiais, com o basalto utilizado também se mostrando extremamente vulnerável à simulação de intemperismo químico adotada, porém, agora tendo seu valor final aos 40 ciclos um pouco mais distante do limite de 30 %. Por fim, a Figura 78 e a Figura 79 trazem os dados da contaminação dos lastros considerando como finos os materiais passantes em 14 milímetros.

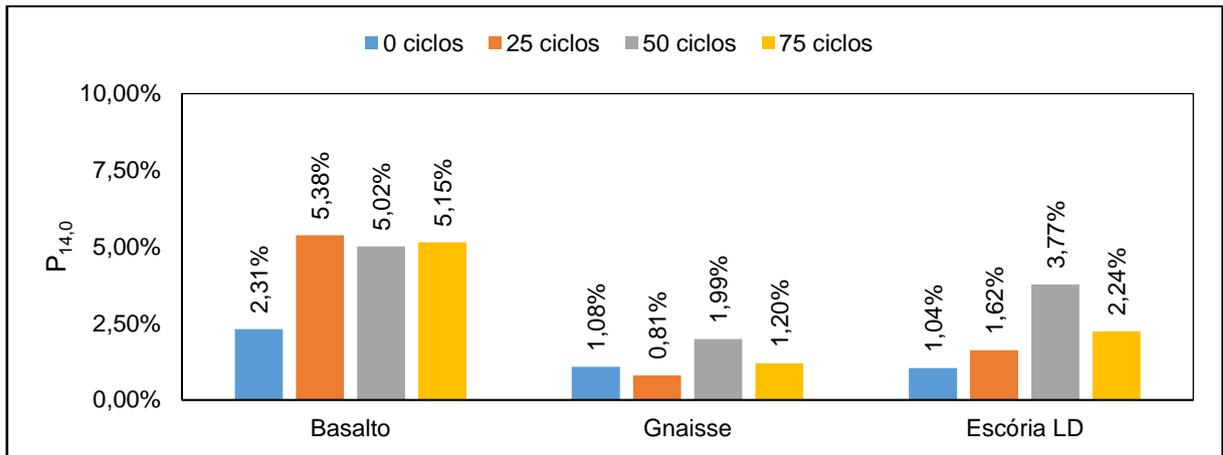


Figura 78 – Variação do percentual passante em 14,0 mm com os ciclos de congelamento e degelo (arquivo pessoal).

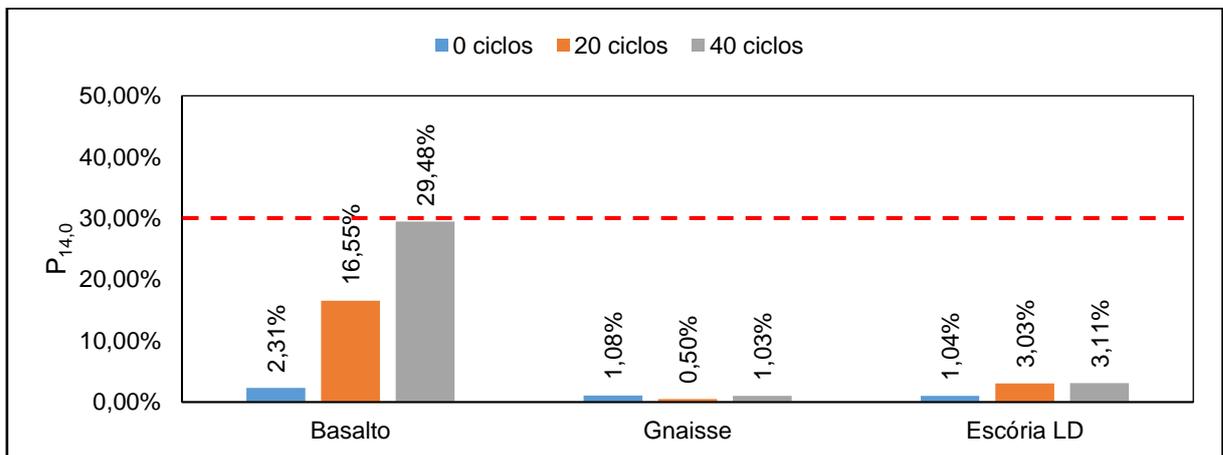


Figura 79 – Variação do percentual passante em 14,0 mm com os ciclos de imersão em solução de sulfato de sódio (arquivo pessoal).

A tendência de aumento vista nas outras classificações de percentual de finos foi mantida, com destaque para o já esperado aumento dos percentuais devido à adoção de uma dimensão maior na classificação. O percentual de finos do basalto após 40 ciclos de simulação do intemperismo químico se mostrou quase no limite de contaminação total, de 30%.

4.1.3 Forma dos fragmentos

As medidas tomadas de todos os corpos de prova dos ensaios de determinação da forma dos materiais constam na Subseção A.2 do Apêndice A. A média das relações b/a e c/b dos materiais são apresentadas nos gráficos da Figura 80, Figura 81, Figura 82 e Figura 83.

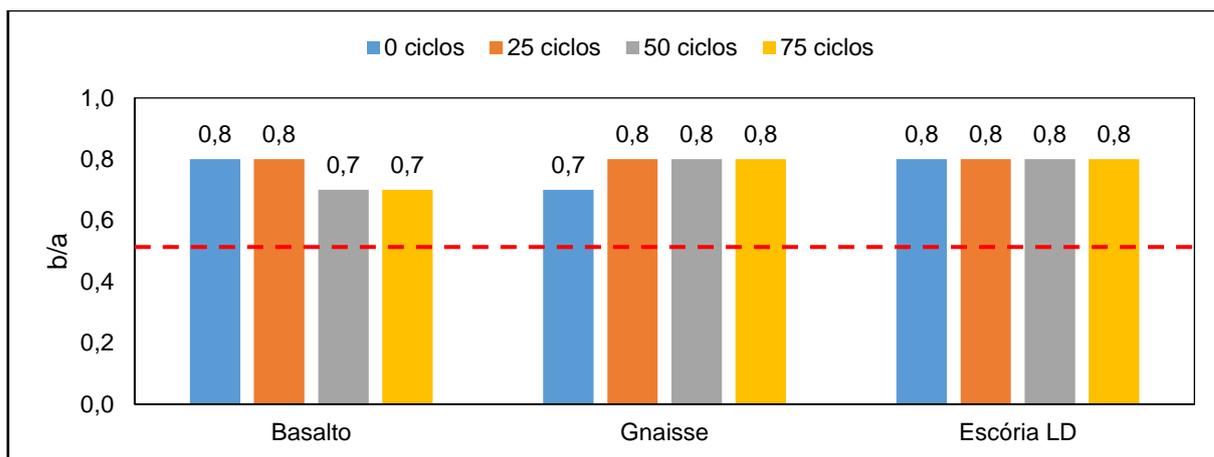


Figura 80 – Variação da relação de forma b/a com os ciclos de congelamento e degelo (arquivo pessoal).

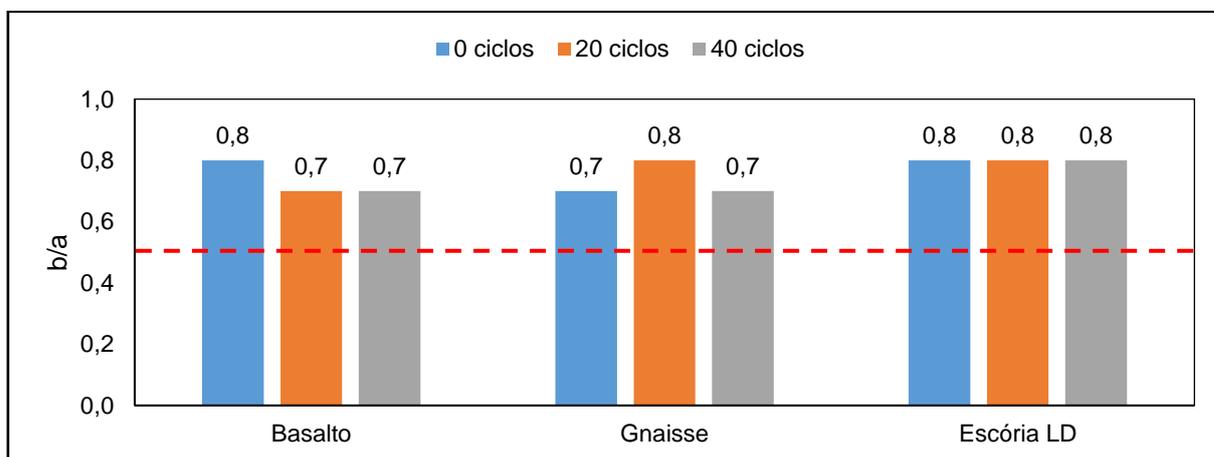


Figura 81 – Variação da relação de forma b/a com os ciclos de imersão em solução de sulfato de sódio (arquivo pessoal).

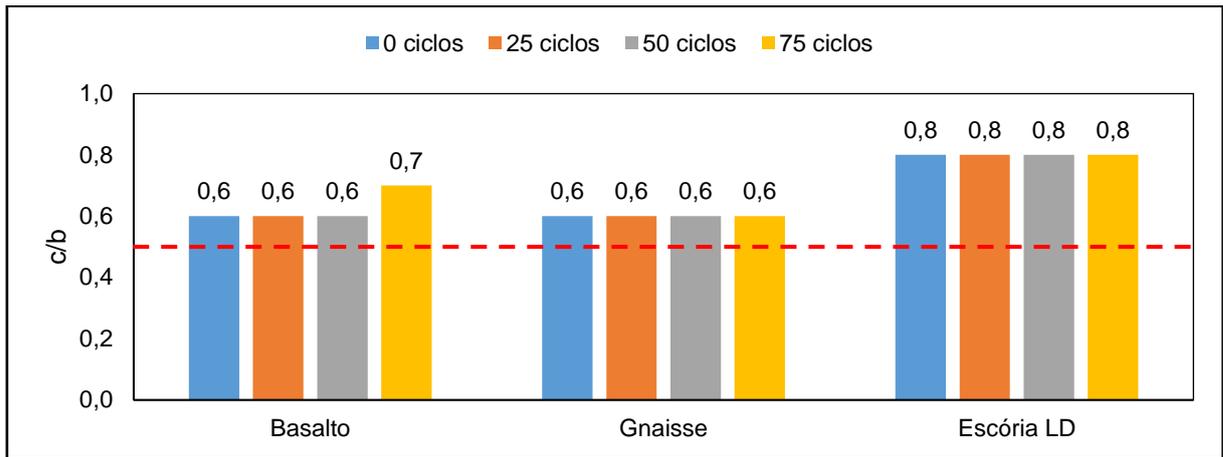


Figura 82 – Variação da relação de forma c/b com os ciclos de congelamento e degelo (arquivo pessoal).

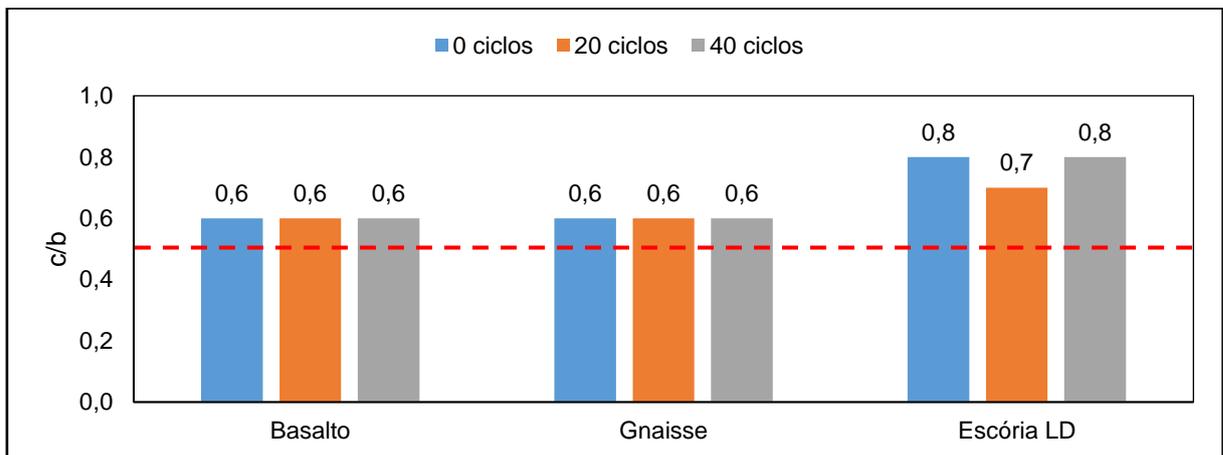


Figura 83 – Variação da relação de forma c/b com os ciclos de imersão em solução de sulfato de sódio (arquivo pessoal).

As relações b/a e c/b se mantiveram praticamente estáveis, não apresentando variações que possam ser associadas aos processos de simulação de intemperismo. De acordo com a classificação da Tabela 11, como todas as médias de b/a e c/b se mantiveram maiores que 0,5, os lastros são classificados como cúbicos em todas as determinações. Uma avaliação que conseguiu mostrar de forma concreta a alteração na forma do material, provocada pelos processos de simulação do intemperismo foi o percentual de partículas não cúbicas. Os resultados desta avaliação são mostrados na Figura 84 e Figura 85.

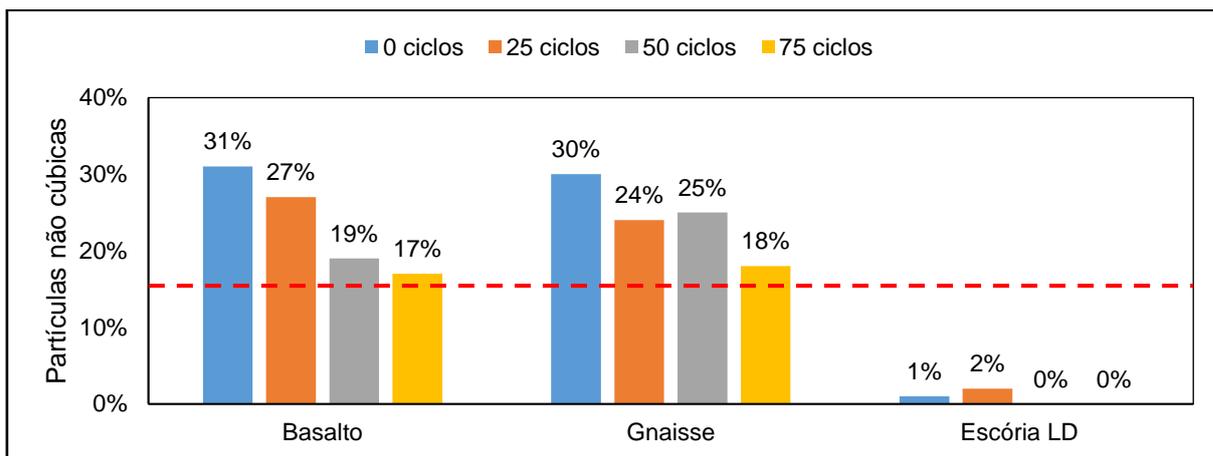


Figura 84 – Variação do percentual de partículas não cúbicas com os ciclos de congelamento e degelo (arquivo pessoal).

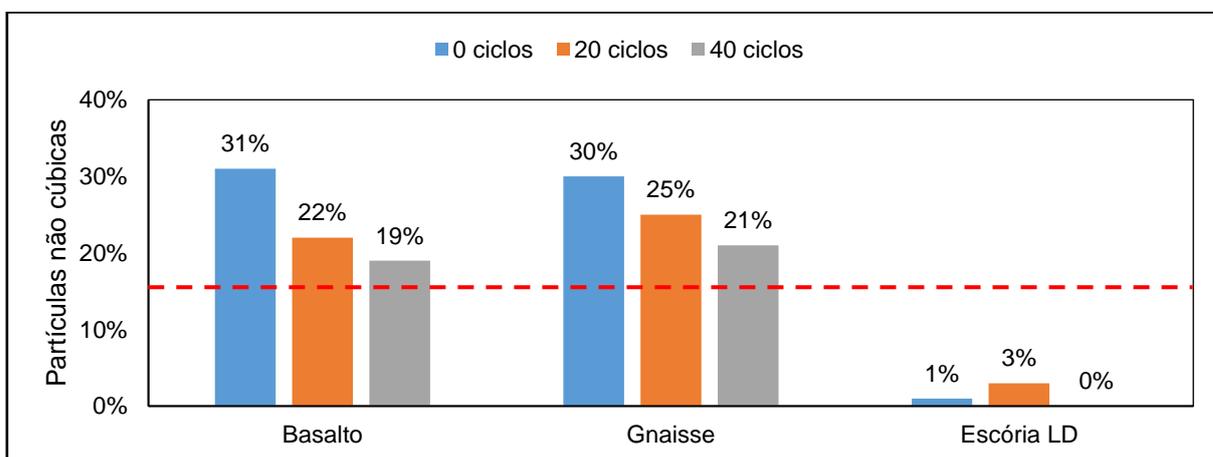


Figura 85 – Variação do percentual de partículas não cúbicas com os ciclos de imersão em solução de sulfato de sódio (arquivo pessoal).

Considerando as rochas naturais, foi possível verificar uma diminuição no percentual de partículas não cúbicas nos dois processos de simulação. Isso sugere que ocorreu quebra, lascamento ou desagregação de partículas desses lastros, e que o ocorrido fez com que os fragmentos resultantes em geral obtivessem uma forma mais próxima da cúbica quando comparados à partícula original. Tratando-se da escória de aciaria, por ela possuir um percentual mínimo de partículas não cúbicas, não foi possível concluir que as diferenças entre esses resultados apresentados foram provocadas pelas simulações de intemperismo. O basalto e o gnaisse em todas as

baterias de ensaio apresentaram um percentual de material não cúbico maior que o limite máximo da NBR 5564 (ABNT, 2011) de 15%. Nesse quesito, mesmo não sendo tratada de forma específica na norma, a escória de aciaria analisada atende o limite.

A última avaliação realizada da forma do material foi a do *shape factor* (RAYMOND e DIYALJEE, 1979), apresentada no trabalho como uma classificação mais rigorosa da forma. O *shape factor*, calculado em todas as baterias de ensaio é apresentado na Figura 86, para a simulação de intemperismo físico e na Figura 87 para a simulação do intemperismo químico.

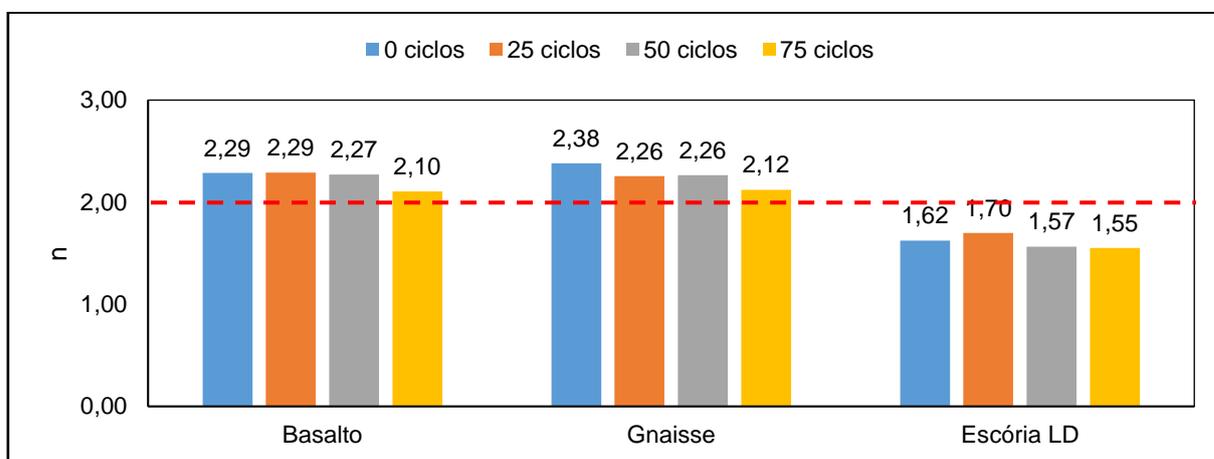


Figura 86 – Variação do *shape factor* com os ciclos de congelamento e degelo (arquivo pessoal).

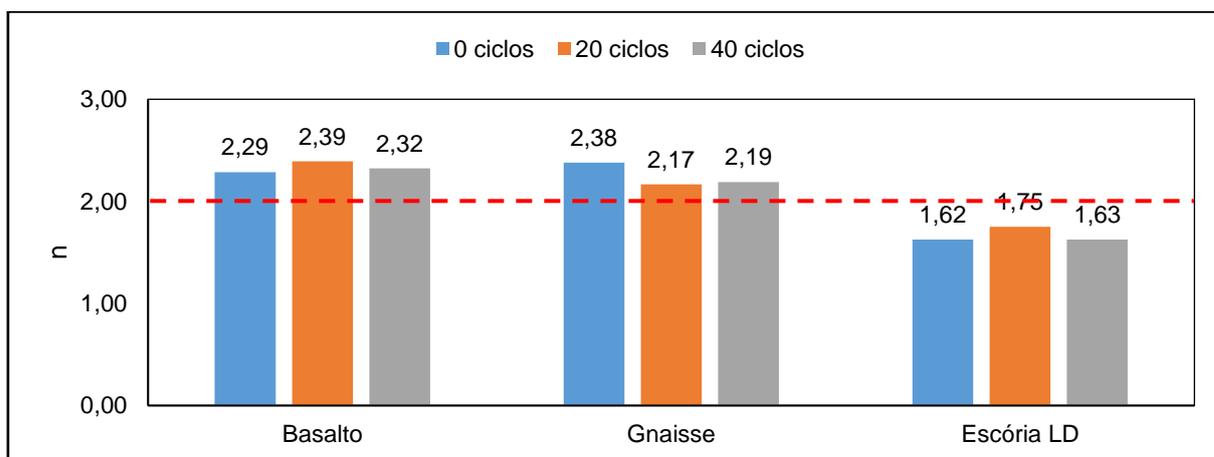


Figura 87 – Variação do *shape factor* com os ciclos de imersão em solução de sulfato de sódio (arquivo pessoal).

Sendo mais rigoroso, o *Shape Factor* indicou que os formatos dos lastros de basalto e de gnaiss são lamelares, já que ultrapassam o limite especificado por Raymond e Dyaljee (1979) que é 2. Apenas a escória de aciaria apresentou classificação como cúbica, mantendo a classificação ao longo dos ciclos. As variações verificadas nos gráficos não indicaram de forma clara tendências de decréscimo do *Shape Factor*, não permitindo então concluir que os ciclos de simulação de intemperismo foram responsáveis pelas alterações desse parâmetro.

4.1.4 Massa específica aparente, porosidade aparente e absorção de água

As aferições de massa necessárias para os cálculos da massa específica aparente, porosidade aparente e absorção de água estão presentes na Subseção A.3 do Apêndice A. Primeiramente, nos gráficos da Figura 88 e da Figura 89, são mostradas as massas específicas aparentes calculadas para os materiais.

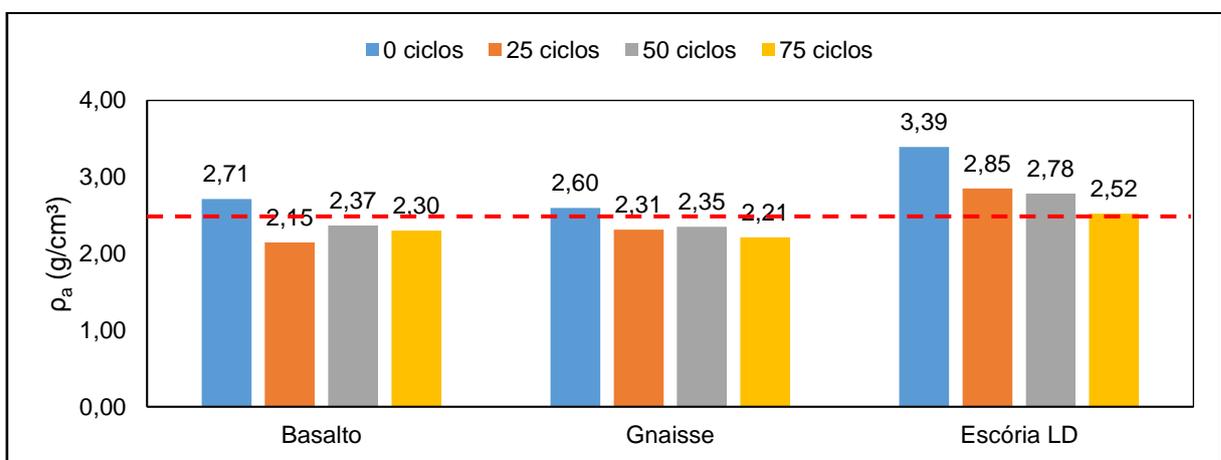


Figura 88 – Variação da massa específica aparente com os ciclos de congelamento e degelo (arquivo pessoal).

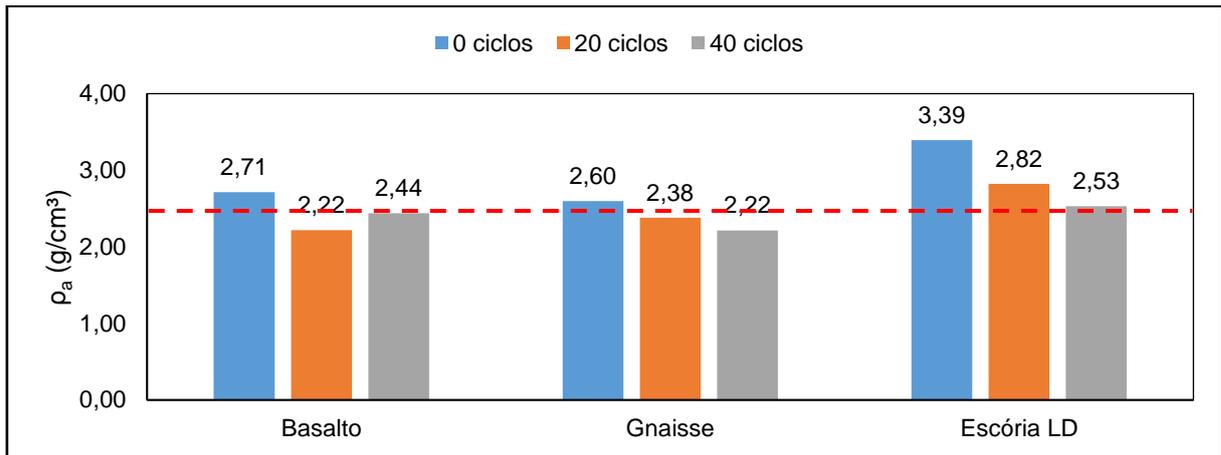


Figura 89 – Variação da massa específica aparente com os ciclos de imersão em solução de sulfato de sódio (arquivo pessoal).

Em termos gerais, os efeitos dos dois processos de simulação de intemperismo provocaram efeitos bem parecidos na massa específica aparente dos três materiais. O basalto e o gnaisse, inicialmente atendendo a massa específica aparente mínima exigida pela NBR 5564 (ABNT, 2011), apresentaram um decréscimo nesse parâmetro, já não atendendo mais a norma nas primeiras baterias de ensaios após os ciclos. Demirdag (2013) também observou esse decréscimo nas rochas estudadas por ele após o congelamento e degelo. O único material que se manteve atendendo o limite da norma foi a escória de aciaria LD, que mesmo assim atingiu valores muito próximos do limite ao final dos ciclos e apresentou um decaimento expressivo em relação ao valor inicial.

A seguir, os gráficos com os valores da porosidade aparente calculada para os três materiais, respectivamente para os ciclos de congelamento e degelo (Figura 90) e imersão em solução de sulfato de sódio (Figura 91).

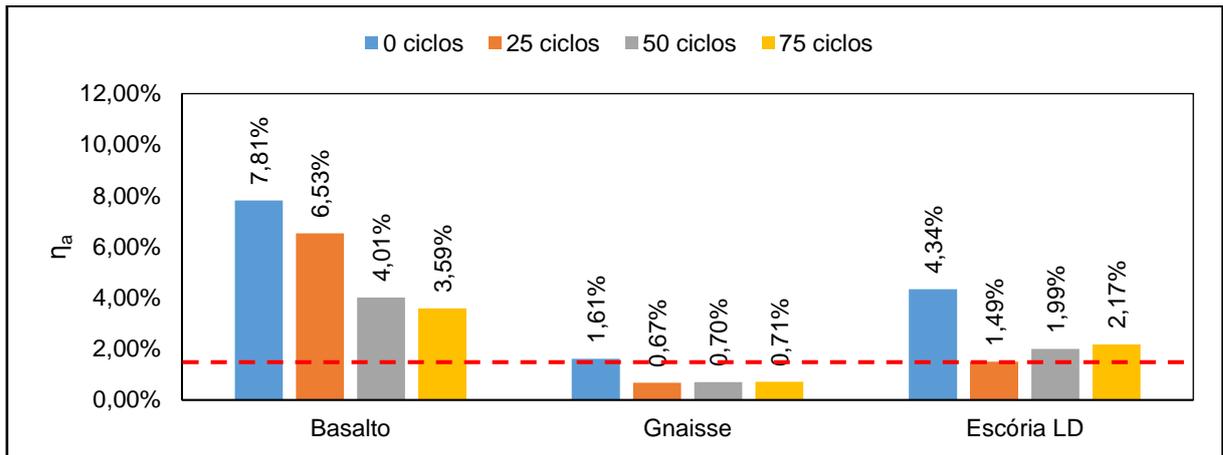


Figura 90 – Variação da porosidade aparente com os ciclos de congelamento e degelo (arquivo pessoal).

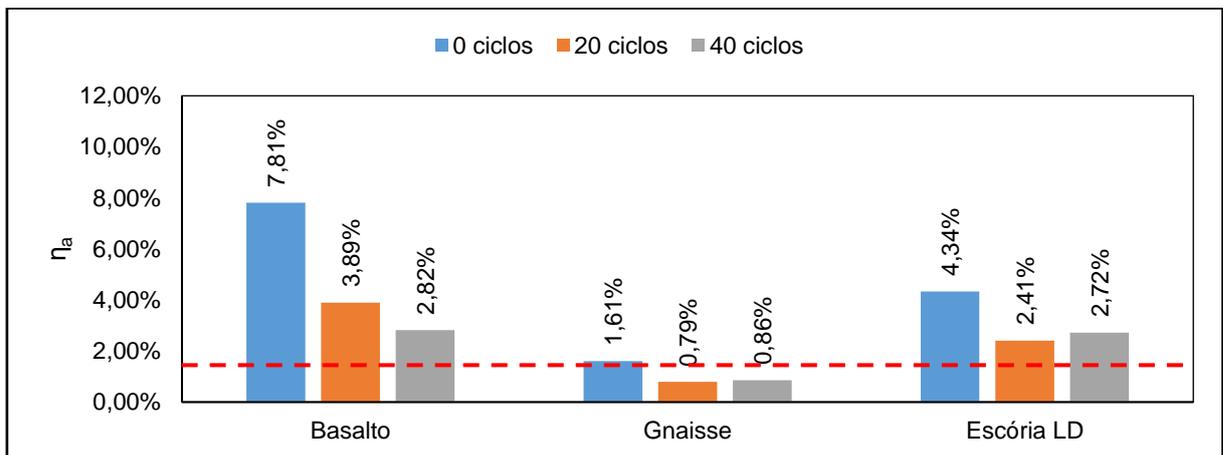


Figura 91 – Variação da porosidade aparente com os ciclos de imersão em solução de sulfato de sódio (arquivo pessoal).

Assim como a primeira avaliação do ensaio, a porosidade aparente apresentou tendências claras de decréscimo com o aumento da quantidade de ciclos. Era esperado um aumento da porosidade à medida em que a quantidade de ciclos aumentasse, devido ao esperado aumento da quantidade de fissuras dos materiais. No caso da imersão em solução de sulfato de sódio, a porosidade pode ter diminuído devido aos efeitos da cristalização de sais nos poros, conforme apontado por Ruiz-Agudo e Mees *et al.* (2007).

Inicialmente com uma porosidade aparente acima do limite de 1,5 % da norma NBR 5564 (ABNT, 2011), o valor foi em geral decaindo para os materiais. No caso do gnaiss, após o valor inicial, as medidas posteriores nos dois processos de simulação atenderam o limite normativo. Ruiz-Agudo e Mees *et al.* (2007) afirmam que é esperado que a porosidade só diminua até certo ponto, o que pode justificar uma tendência de estabilização da diminuição da porosidade que pôde ser observada nos gráficos do gnaiss e da escória.

Por fim, segue na Figura 92 e na Figura 93 os gráficos das variações da absorção de água dos materiais com os ciclos.

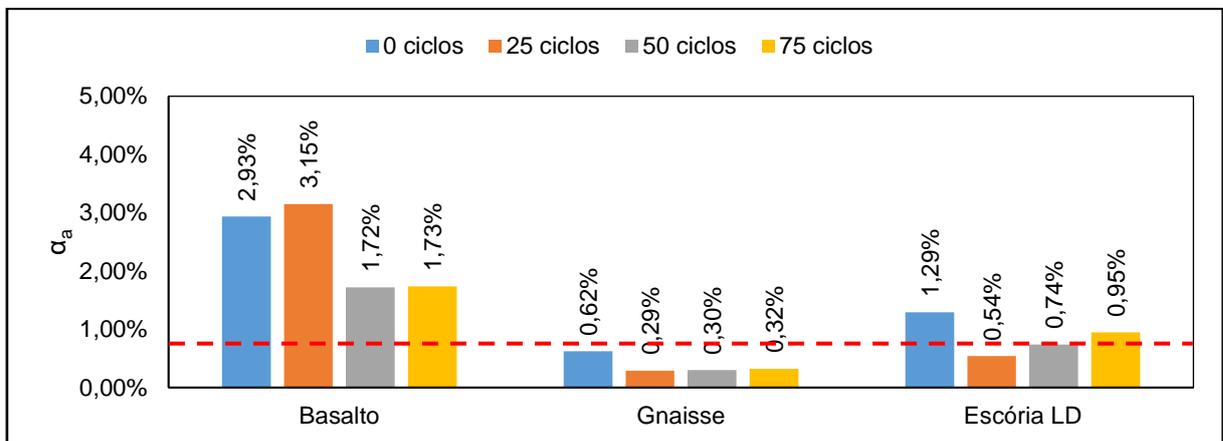


Figura 92 – Variação da absorção de água com os ciclos de congelamento e degelo (arquivo pessoal).

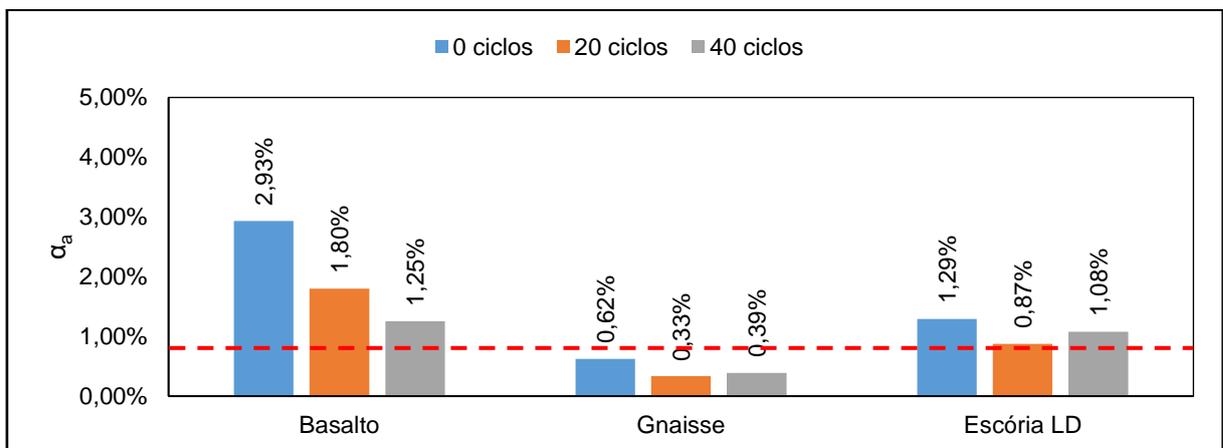


Figura 93 – Variação da absorção de água com os ciclos de imersão em solução de sulfato de sódio (arquivo pessoal).

Como esperado, a absorção de água dos materiais diminuiu, por depender da porosidade, apesar de Park e Kim *et al.* (2020) terem verificado um aumento desse parâmetro como o congelamento e degelo. Apenas o gnaisse atendeu o limite máximo de 0,80 % da norma NBR 5564 (ABNT, 2011). O basalto apresenta grandes valores iniciais de absorção de água, e esse é um fator que influencia bastante na susceptibilidade do material ao ataque de agentes agressivos solúveis em água. A escória de aciaria apresentou uma tendência de crescimento da absorção a partir do ciclo 25 de congelamento e degelo.

4.1.5 Massa unitária em estado solto

Os valores utilizados no cálculo da massa unitária em estado solto dos materiais e do respectivo índice de volume de vazios estão presentes na Subseção A.4 do Apêndice A deste trabalho. Os dados utilizados para calibrar o volume do recipiente utilizado no ensaio também constam no mesmo local. Na Figura 94 e na Figura 95, são apresentados os valores de massa unitária obtidos nos ensaios.

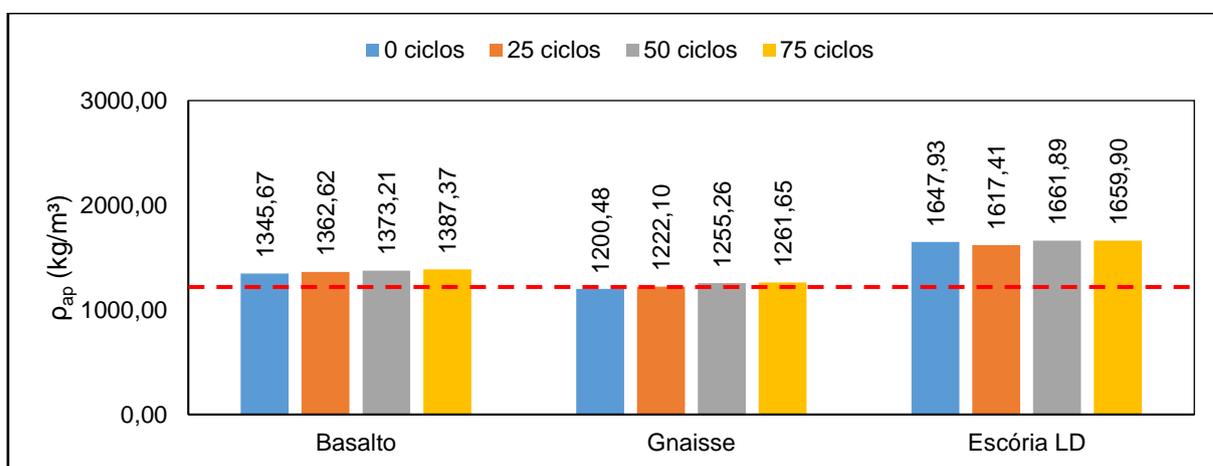


Figura 94 – Variação da massa unitária no estado solto com os ciclos de congelamento e degelo (arquivo pessoal).

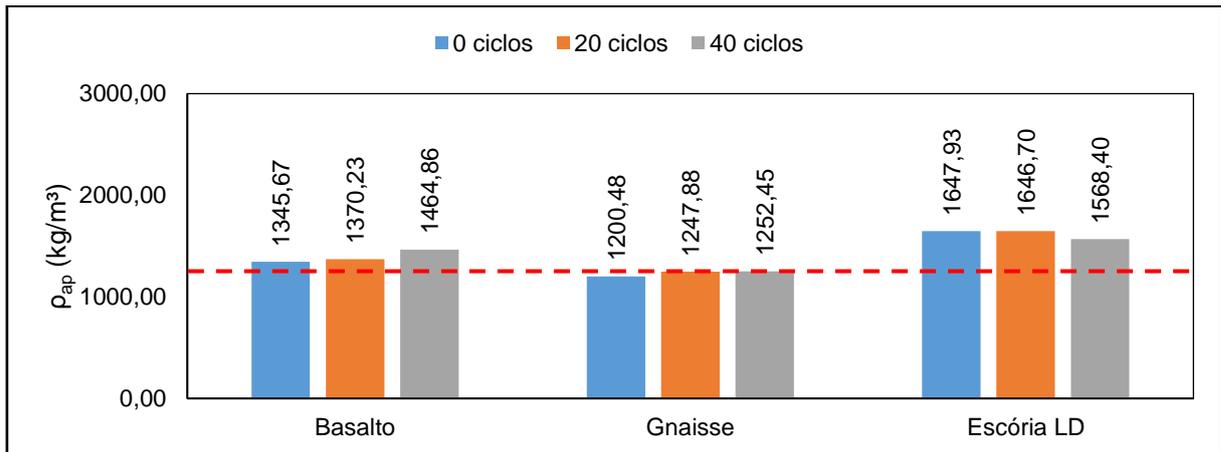


Figura 95 – Variação da massa unitária no estado solto com os ciclos de imersão em solução de sulfato de sódio (arquivo pessoal).

O valor mínimo de massa unitária no estado solto exigido pela NBR 5564 (ABNT, 2011) para o lastro ferroviário é de 1250 kg/m³. Excetuando a escória de aciaria LD, os outros dois lastros apresentaram um aumento da massa unitária, como esperado. No caso do gnaisse, o aumento do valor nos dois processos de simulação de intemperismo fez com que o material, inicialmente não atendendo o valor mínimo da norma passasse a atendê-lo. O aumento pode ser causado por quebras e fragmentações de partículas dos agregados, assim como outras avaliações acusaram ter ocorrido.

Com esse acontecimento, partículas menores de agregados preenchem espaços entre as maiores, fazendo com que a avaliação da massa unitária no estado solto apresente valores maiores. A massa unitária da escória pode ter apresentado diminuição por causa de sua possível expansão residual, assim como pela já vista diminuição da massa específica aparente. A diminuição da massa específica aparente pode inclusive pode ter feito com que os valores de massa unitária dos dois lastros de pedras naturais não apresentassem tendências de aumento ainda maiores.

A análise do índice de volume de vazios garante mais segurança na avaliação da quebra de partículas, visto que ela não é influenciada pela massa específica aparente do material analisado. A Figura 96 e Figura 97 trazem essa avaliação.

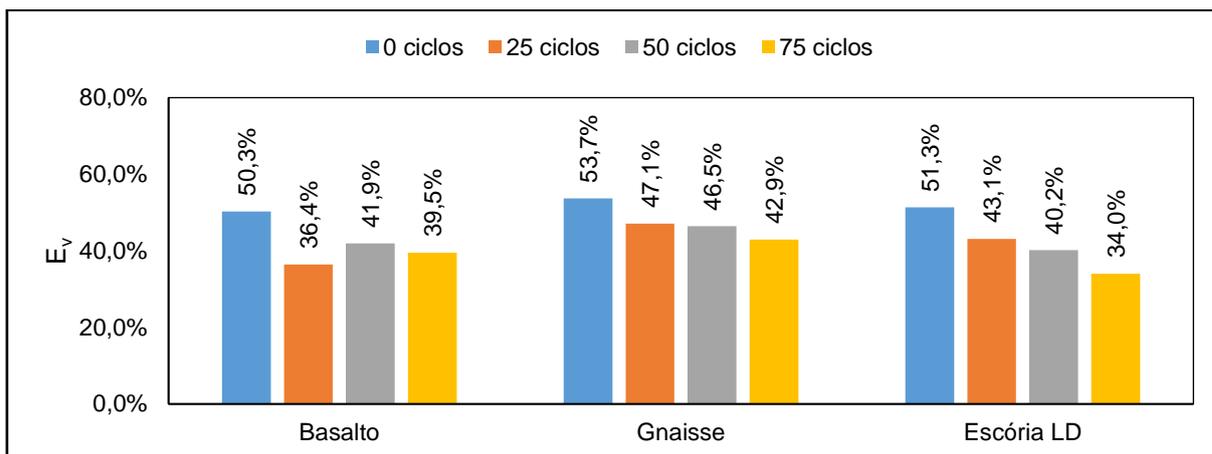


Figura 96 – Variação do índice de volume de vazios com os ciclos de congelamento e degelo (arquivo pessoal).

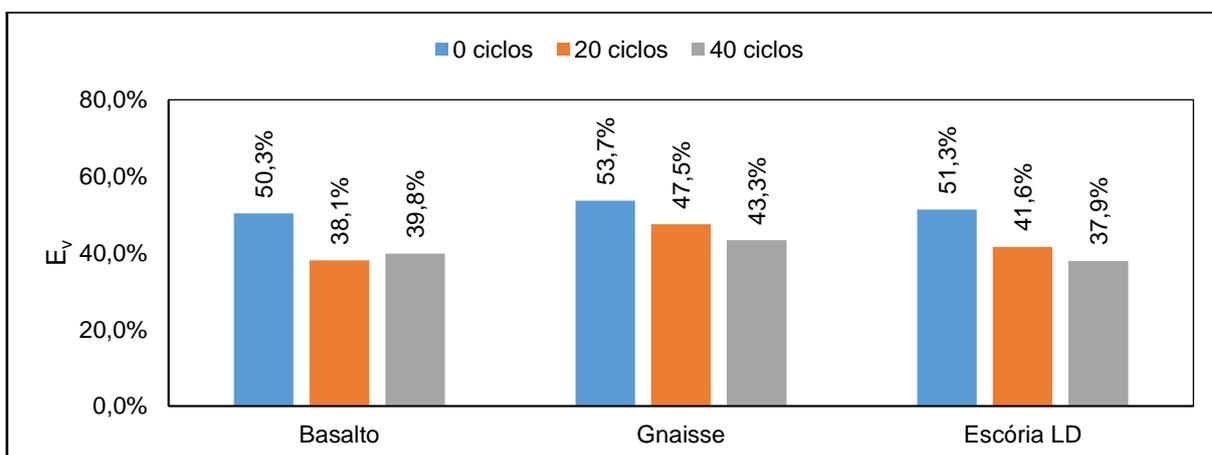


Figura 97 – Variação do índice de volume de vazios com os ciclos de imersão em solução de sulfato de sódio (arquivo pessoal).

As tendências de redução do índice de volume de vazios vistas nas duas figuras para os três lastros trazem mais indícios de quebra de partículas. O gnaisse apresenta o maior volume inicial e o mantém ao longo dos processos de simulação. Esse dado de aumento também concorda com os aumentos também verificados nos índices de contaminação do lastro.

4.2 Parâmetros de resistência mecânica

4.2.1 Resistência ao choque

Os valores obtidos nos ensaios de determinação da resistência ao choque para cada corpo de prova estão listados na Subseção B.1 do Apêndice B. Para alguns trios de corpos de prova, optou-se por obter a média dos valores excluindo um deles do trio caso se apresentasse muito diferente dos outros dois. Os valores não considerados na média final de cada ensaio estão destacados em vermelho nas tabelas da subseção B.1. Abaixo, na Figura 98 e na Figura 99, estão os gráficos de variação o Índice de Tenacidade *Treton*, obtidos a partir das respectivas médias dos CP's. Quanto maior o valor de T maior a perda de massa do material devido ao choque.

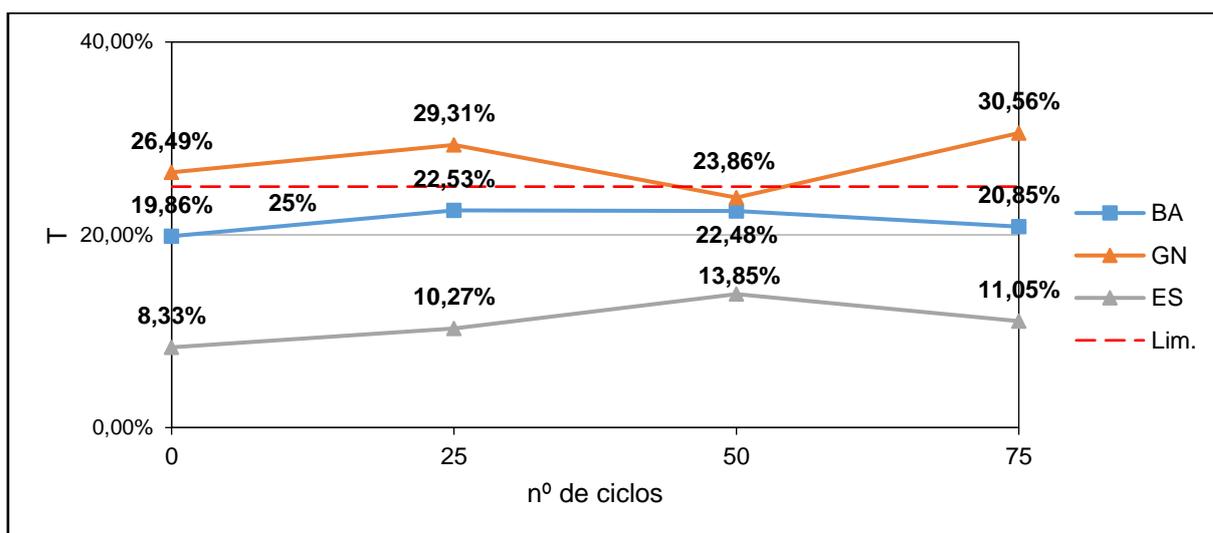


Figura 98 – Variação do Índice do Índice de Tenacidade *Treton* com os ciclos de congelamento e degelo (arquivo pessoal).

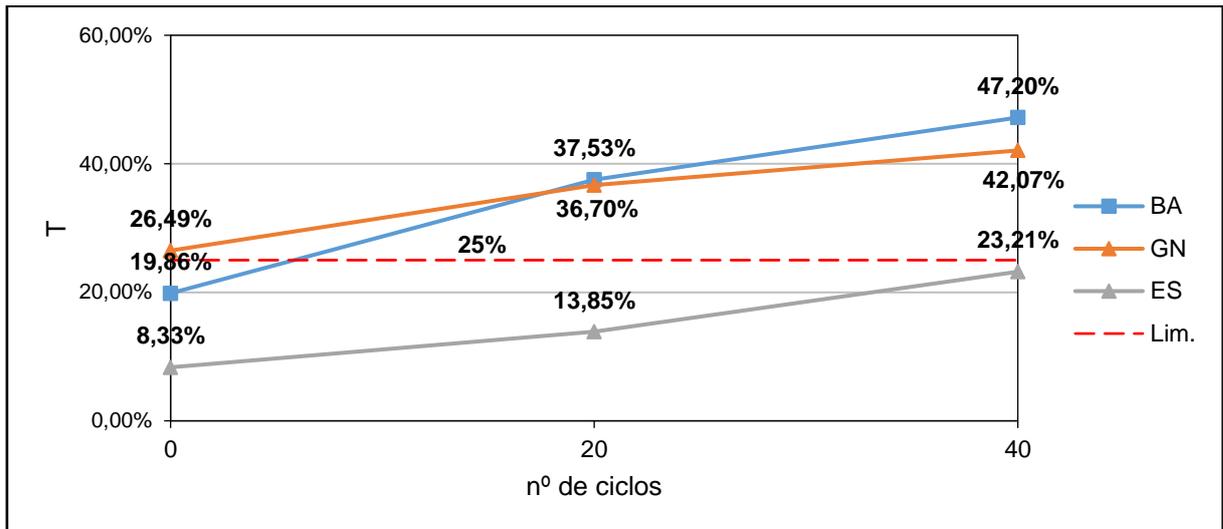


Figura 99 – Variação do Índice do Índice de Tenacidade *Treton* com os ciclos de imersão em solução de sulfato de sódio (arquivo pessoal).

Mesmo com a considerável dispersão apresentada pelos resultados, especialmente os obtidos após os ciclos de congelamento e degelo, é possível verificar uma tendência de aumento do Índice de Tenacidade *Treton* à medida em que se avançam os ciclos de simulação de intemperismo. Apenas o gnaiss apresentou perda de resistência significativa com os ciclos de congelamento e degelo, apresentando-se acima do limite máximo permitido pela NBR 5564 (ABNT, 2011) para o valor de T, que é de 25%.

A simulação de intemperismo químico afeta de forma muito mais severa a resistência ao choque dos materiais. No caso dessa simulação, o gnaiss apresentou todos os seus três dados acima do limite normativo, e o basalto, por regressão linear, ultrapassaria o limite de 25% com 6 ciclos. A escória, mesmo com o crescimento, se manteve dentro do limite. Se uma considerada tendência linear de decréscimo da resistência ao choque for extrapolada, o limite normativo seria ultrapassado a partir do 47º ciclo.

4.2.2 Resistência à abrasão

Na Figura 100, e na Figura 101 estão os resultados dos ensaios de resistência à abrasão. Os dados detalhados dos ensaios constam na subseção B.2 do Apêndice B. Um maior valor de P indica uma maior perda de massa do material após a abrasão.

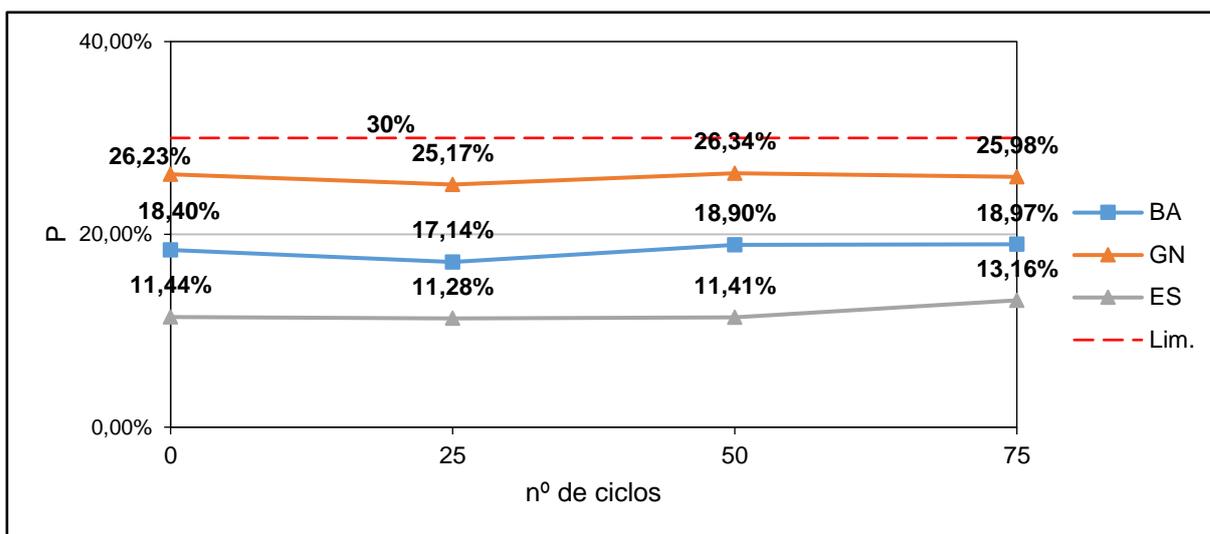


Figura 100 – Variação da resistência ao desgaste por abrasão “Los Angeles” com os ciclos de congelamento e degelo (arquivo pessoal).

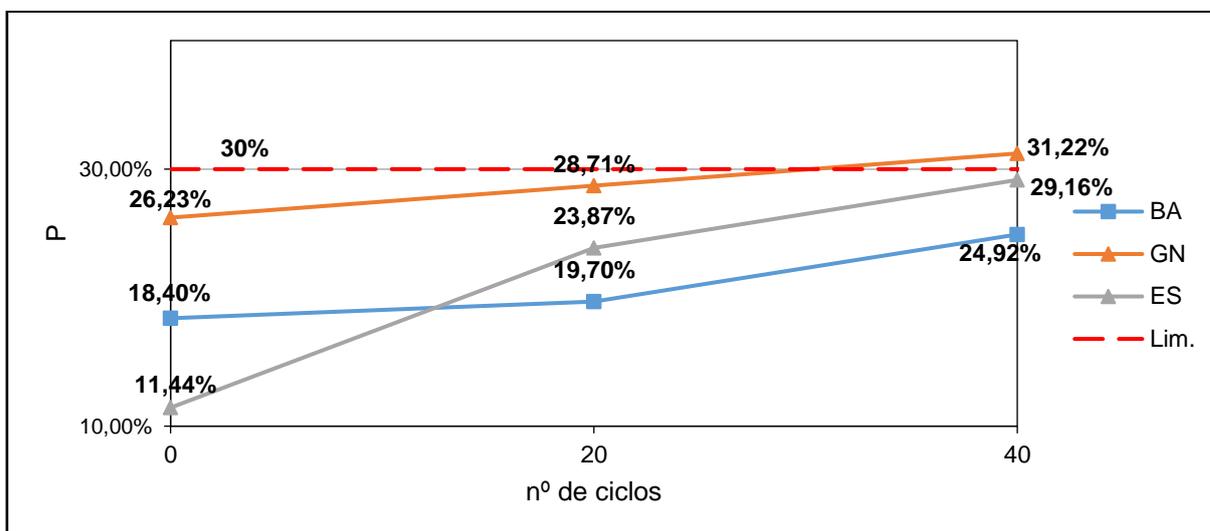


Figura 101 – Variação da resistência ao desgaste por abrasão “Los Angeles” com os ciclos de imersão em solução de sulfato de sódio (arquivo pessoal).

Os aumentos no desgaste por abrasão apresentados na Figura 100 são bastante singelos, não sendo possível concluir se aconteceram devido ao congelamento e degelo ou a dispersões do próprio ensaio. Todos os três materiais mantiveram seus valores de desgaste por abrasão abaixo do limite máximo estipulado pela NBR 5564 (ABNT, 2011).

Contudo, na Figura 101, os aumentos no desgaste são expressivos, sugerindo que a resistência à abrasão dos três materiais é bem mais vulnerável aos efeitos da imersão em solução de sulfato de sódio. O basalto e a escória apresentam aumento de desgaste, mas não atingem o limite da norma antes dos 40 ciclos, ao contrário do gnaiss, que por interpolação considerando os três pontos, ultrapassa 30% de desgaste com 31 ciclos. O basalto e a escória só ultrapassariam o limite após 75 e 40 ciclos respectivamente, considerando agora uma extrapolação com os três pontos de cada material.

4.2.3 Resistência à carga pontual e resistência à compressão uniaxial

Abaixo, na Figura 102 e na Figura 103, seguem os resultados do Índice de Resistência à Carga Pontual Corrigido Para o Tamanho, considerando respectivamente simulações de intemperismo físico e químico.

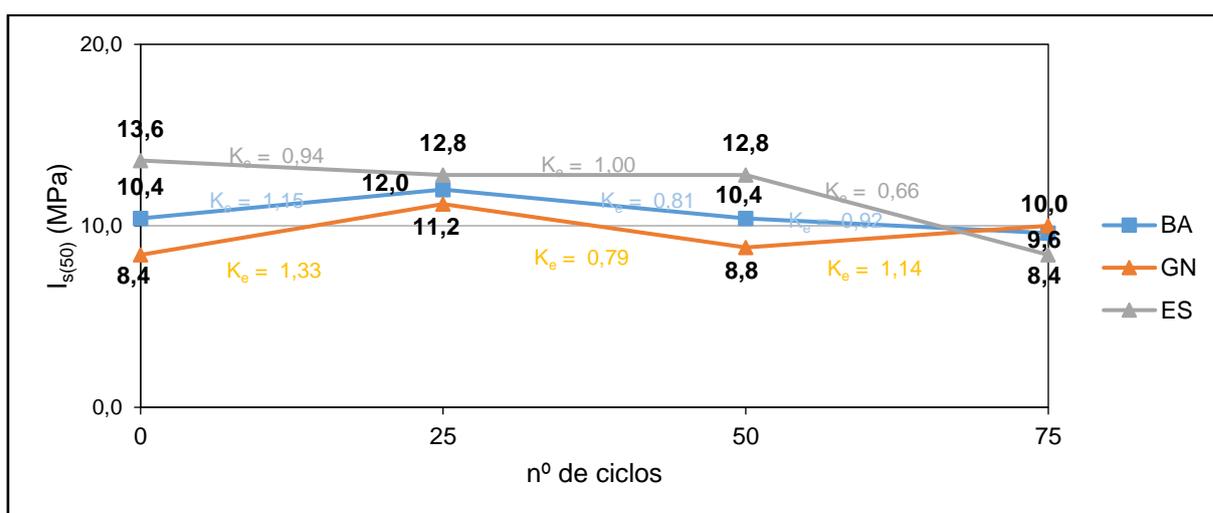


Figura 102 – Variação do Índice de Resistência à Carga pontual Corrigido Para o Tamanho com os ciclos de congelamento e degelo (arquivo pessoal).

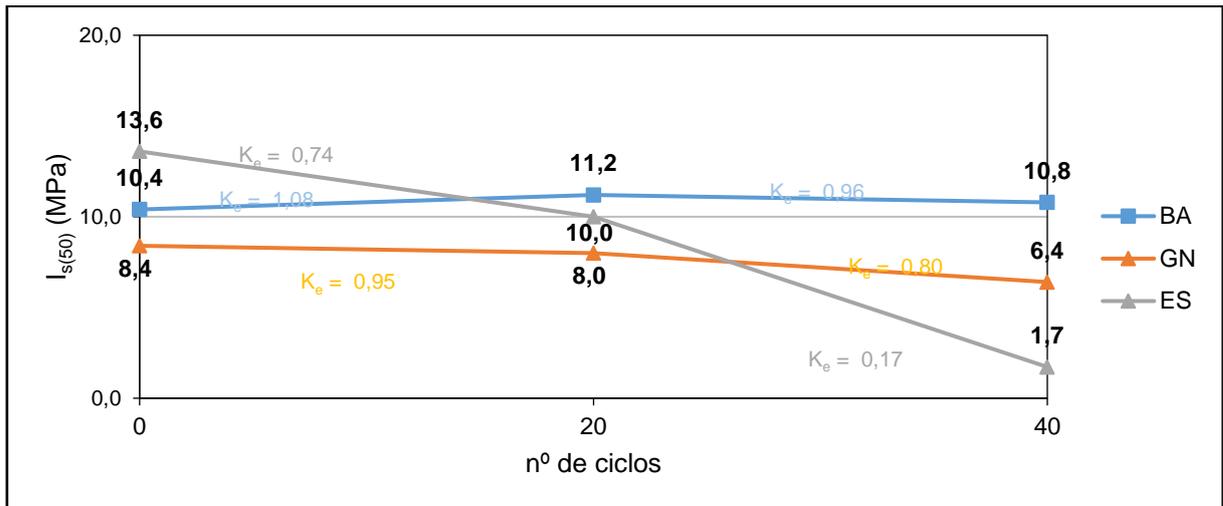


Figura 103 – Variação do Índice de Resistência à Carga pontual Corrigido Para o Tamanho com os ciclos de imersão em solução de sulfato de sódio (arquivo pessoal).

Como mostram os gráficos, há tendência de queda na resistência nos processos, apesar de as diminuições provocadas pelo congelamento e degelo não serem tão significativas quanto as provocadas pela imersão em solução de sulfato de sódio. Para o congelamento e degelo, apenas a escória de aciaria apresentou um decréscimo ordenado de resistência, que possa ser associado à degradação provocada durante os ciclos. Os lastros de rochas naturais inclusive apresentaram alguns valores de K_e maiores que 1, resultados de desvios durante a realização dos ensaios.

A simulação de intemperismo químico provocou quedas maiores nas resistências dos materiais. O destaque é a escória de aciaria, cuja resistência ao final dos 40 ciclos era de apenas 12,6% do valor inicial, sendo o material que mais se alterou durante o processo. O basalto não apresentou queda na resistência à carga pontual.

Para avaliar a exigência de resistência à compressão da norma NBR 5564 (ABNT, 2011), segue na Figura 104 e na Figura 105 os gráficos com as variações nos valores de σ_c , estimado a partir de $I_{s(50)}$.

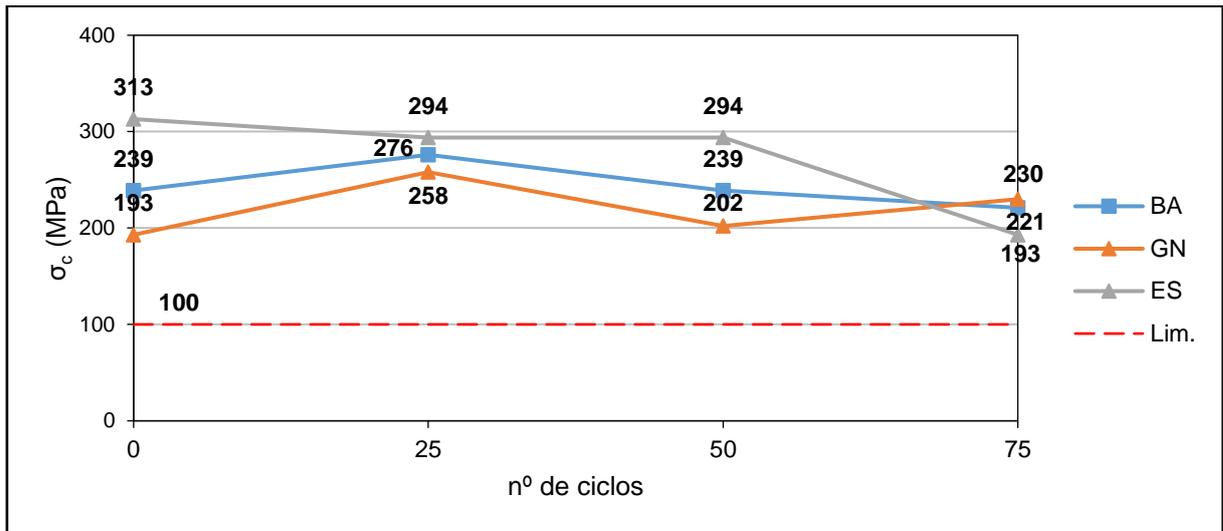


Figura 104 – Variação da resistência à compressão uniaxial com os ciclos de congelamento e degelo (arquivo pessoal).

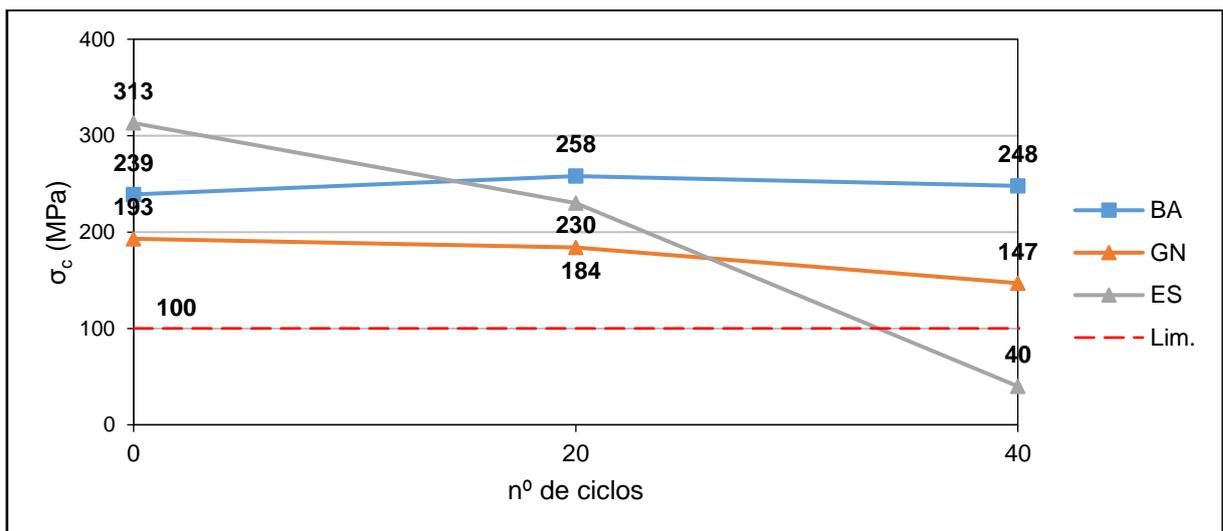


Figura 105 – Variação resistência à compressão uniaxial com os ciclos de imersão em solução de sulfato de sódio (arquivo pessoal).

Por ter sido utilizado $K = 23$ para os três materiais, o padrão de alteração de σ_c se manteve igual ao de $I_{s(50)}$. A NBR 5564 (ABNT, 2011) estabelece o valor mínimo de 100 MPa para agregados para lastro. Nesse caso, apenas a escória apresentou queda de resistência ao ponto de não mais atender a norma após os ciclos. Por regressão linear, a resistência à compressão uniaxial da escória passa a ser menor que 100 Mpa

a partir do 34º ciclo. Há necessidade de investigação direta da resistência à compressão, devido à alta dispersão entre os corpos de prova da escória de aciaria, e também pelo fato de a norma exigir que o ensaio seja realizado com os corpos de prova saturados. Os dados de carga pontual última de cada corpo de prova e das quantidades de fragmentos escolhidos para cada faixa granulométrica se encontram na subseção B.3 do Apêndice B.

4.3 Resistência à intempérie e análise visual

4.3.1 Resistência à intempérie

No Apêndice C, localizam-se os dados dos ensaios de resistência à intempérie. Os resultados obtidos são mostrados na Figura 106.

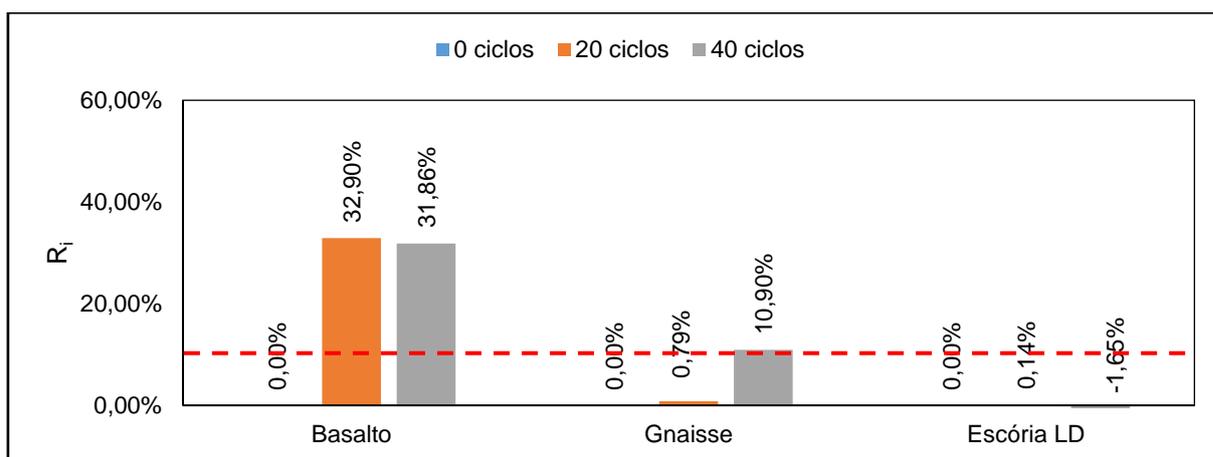


Figura 106 – Resistência à intempérie dos materiais com 20 e 40 ciclos de imersão em solução de sulfato de sódio (arquivo pessoal).

O basalto já apresentou perdas de massa por intempérie na ordem de seu percentual final já com 20 ciclos, apresentando ao final dos 40 mais de três vezes o valor máximo permitido pela norma NBR 5564 (ABNT, 2011), que é 10% de perda de massa. Alguns corpos de prova do basalto perderam 100% de massa durante o ensaio, como pode ser verificado no Apêndice C. O gnaisse praticamente não

apresenta perda de massa com 20 ciclos, porém, ao final dos 40, já ultrapassa o limite de 10% mostrado no gráfico.

Já a escória de aciaria não apresentou um aumento visível na perda de massa, mostrando inclusive aos 40 ciclos um valor negativo para a perda. Isso pode ter sido causado pela precipitação de cristais de sulfato de sódio nos poros, aliada à uma perda muito pequena de massa devido ao processo.

4.3.2 Análise visual

Por sugestão da norma NBR 5564 (ABNT, 2011) para a resistência à intempérie, e por estabelecer concordância com alguns dos resultados já mostrados, será detalhada a seguir uma análise visual da degradação de alguns fragmentos submetidos aos ciclos de imersão em solução de sulfato de sódio. Respectivamente, a Figura 107, Figura 108 e Figura 109 apresentam como se deu a degradação das partículas do basalto, do gnaíse e da escória no ensaio de determinação da resistência à intempérie.



Figura 107 – Desagregação das camadas do corpo de prova BA-RI-40-CP4. A fotografia foi tirada com 20 ciclos (arquivo pessoal).

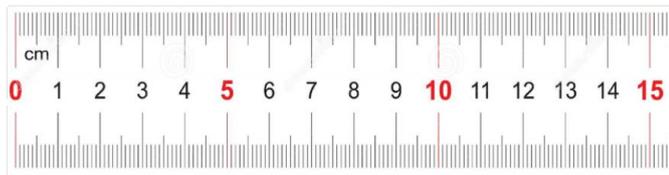


Figura 108 – Desagregação das camadas do corpo de prova GN-RI-40-CP5. A fotografia foi tirada com 33 ciclos (arquivo pessoal).

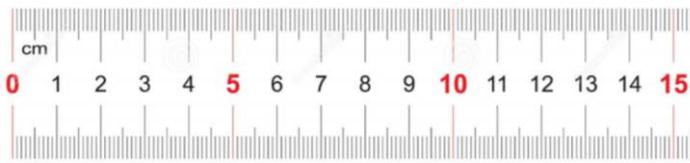


Figura 109 – Fissuração do corpo de prova ES-RI-40-CP2. A fotografia foi tirada com 36 ciclos (arquivo pessoal).

O basalto e o gnaisse apresentaram degradação por meio da desagregação sucessiva das camadas dos fragmentos, como pôde ser visto nas fotografias, concordando com os efeitos da cristalização do sulfato de sódio nos poros apontado por Ruiz Agudo e Meers *et. al.* (2007). Já os corpos de prova da escória de aciaria LD apresentaram fissuras desordenadas, não apontando para desagregação sucessiva e sim para quebra de partes dos fragmentos. O formato das fissuras dos fragmentos da escória de aciaria também pode ser visto na Figura 110, que mostra um fragmento

retirado da amostra padrão de escória de aciaria que passou pelos ciclos de simulação do intemperismo químico.



Figura 110 – Abertura de trincas em um fragmento de escória de aciaria LD da amostra submetida a 40 ciclos de imersão em solução de sulfato de sódio. A fotografia foi tirada com 40 ciclos (arquivo pessoal).

Com o avanço da degradação, alguns corpos de prova dos materiais apresentaram quebras, cujo formato concordou com o modelo de fissuração apresentado por eles na Figura 107, na Figura 108 e na Figura 109. Dessa forma, as quebras vistas no basalto e no gnaissse em geral se deram por meio de uma linha definida (Figura 111 e Figura 112), enquanto a escória de aciaria apresentou quebra de partes dos CP's (Figura 113).

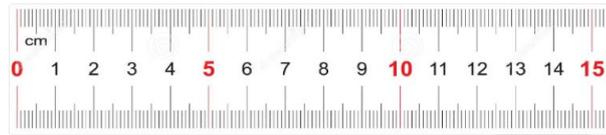


Figura 111 – Quebra do corpo de prova BA-RI-40-CP6. A fotografia foi tirada com 5 ciclos (arquivo pessoal).

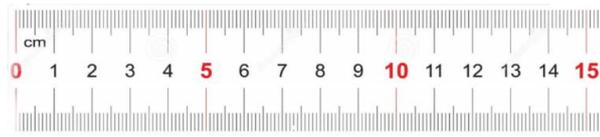


Figura 112 – Quebra do corpo de prova GN-RI-40-CP2. A fotografia foi tirada com 20 ciclos (arquivo pessoal).

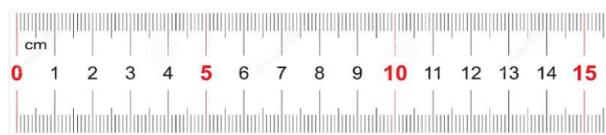


Figura 113 – Quebra do corpo de prova BA-RI-40-CP6. A fotografia foi tirada com 36 ciclos (arquivo pessoal).

A Figura 114 apresenta o processo de quebra ainda incompleto de um corpo de prova do gnaiss.

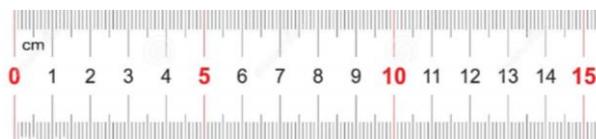
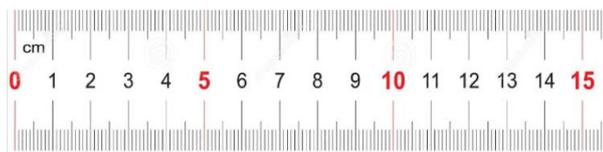


Figura 114 – Abertura de trinca no corpo de prova GN-RI-40-CP3. A fotografia foi tirada com 40 ciclos (arquivo pessoal).

A Figura 115 mostra ainda como a fissuração ordenada das camadas de um corpo de prova do gnaiss evoluiu para a quebra.



(a)

(b)

Figura 115 – Avanço da degradação do corpo de prova GN-RI-40-CP7. (a) fotografia da fissuração avançada com 33 ciclos. (b) fotografia da quebra com 36 ciclos (arquivo pessoal).

A Figura 116 traz a fotografia de um corpo de prova reserva para o ensaio de determinação da massa específica aparente do basalto submetido a 20 ciclos de simulação do intemperismo químico, que se quebrou completamente em camadas ordenadas.



Figura 116 – Quebra do corpo de prova BA-20-IQ-ME-CP11 (corpo de prova reserva) antes da pesagem na condição SSS (arquivo pessoal).

Devido às suas colorações escuras, foi possível ainda notar sinais de eflorescência nos fragmentos do basalto e da escória de aciaria. A Figura 117 e Figura 118 trazem fotografias da eflorescência de sulfato de sódio notada nesses materiais.

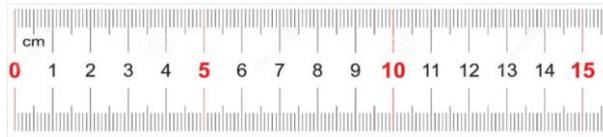


Figura 117 – Eflorescência de sulfato de sódio no corpo de prova BA-RI-40-CP5. A fotografia foi tirada com 40 ciclos (arquivo pessoal).



Figura 118 – Eflorescências observadas em alguns corpos de prova retidos na peneira de 38mm do ensaio de determinação da forma dos fragmentos da amostra de escória de aciaria submetida a 40 ciclos de imersão em solução de sulfato de sódio (arquivo pessoal).

Como o gnaiss possui uma cor clara, não foi visível o eventual processo de eflorescência. Contudo, foi possível verificar a oxidação de alguns minerais após as simulações de intemperismo químico (Figura 119), assim como Frascá e Yamamoto (2014) verificaram para outra simulação de intemperismo químico e rochas graníticas.



(a)



(b)

Figura 119 – Oxidação observada no gnaíse após o intemperismo químico. (a) GN-00-NA-CP2. (b) GN-20-IQ-AB (arquivo pessoal).

5 CONCLUSÃO

O objetivo deste trabalho foi avaliar a alteração das características físicas e mecânicas de lastros de basalto, gnaiss e escória de aciaria LD após serem submetidos a simulações de intemperismos por congelamento e degelo e por imersão em solução de sulfato de sódio. Após a realização dos ensaios e a interpretação dos seus resultados, foi possível obter as seguintes conclusões:

Os estudos recentes demonstraram que o congelamento e descongelamento provocam alterações significativas nas propriedades físicas e mecânicas das rochas. Porém, as alterações são vistas principalmente quando se realiza quantidades bem maiores de ciclos, principalmente no caso da resistência mecânica. Levando em conta que o lastro pode ser submetido a grandes variações térmicas em alguns países, esse intemperismo pode contribuir para sua degradação. Já a cristalização por imersão em solução de sulfato de sódio degrada as matrizes rochosas mesmo com poucos ciclos, sendo um fenômeno investigado por uma grande quantidade de estudos.

Sobre as características iniciais dos materiais, o basalto apresentou altos valores de absorção de água e porosidade frente aos outros dois materiais. Já a escória, apresentou uma massa específica aparente significativamente maior do que os lastros naturais. As avaliações iniciais de resistência mecânicas indicaram que o gnaiss inicial apresentou a menor resistência ao choque à abrasão, com o Índice de Tenacidade *Treton* inicial já maior que o limite estabelecido pela referência normativa.

Considerando as quantidades de ciclos utilizados nos dois processos adotados para simular os intemperismos, a cristalização salina se mostrou um mecanismo muito mais degradante do que o congelamento e degelo na maioria das avaliações, sendo inclusive o único a provocar diminuições visíveis de resistências ao choque e à abrasão.

Nas propriedades físicas, as alterações no lastro de basalto são o destaque, por ser o único a ter apresentado variações na curva granulométrica e aumento expressivo nas avaliações da contaminação, chegando próximo do limite de contaminação total. Dessa forma, em termos de contaminação, a vida útil do basalto na ferrovia é a que deve atrair mais atenção. Apesar disso, a resistência mecânica do

basalto apresentou menores taxas de alteração quando comparado aos outros dois materiais.

Nos dois processos de simulação, a massa específica aparente e a porosidade aparente diminuíram para os três materiais. No caso da imersão em solução de sulfato de sódio, esse acontecimento concorda com resultados vistos na literatura. Porém, no caso do congelamento e degelo, os resultados na literatura em geral demonstraram um efeito contrário.

A escória de aciaria se mostrou mais resistente e menos susceptível aos efeitos degradantes do congelamento e degelo, demonstrando que o uso como lastro é sim uma alternativa viável para a reutilização desse resíduo. Apesar disso, o material sintético apresentou altas taxas de perda de resistência, principalmente após a simulação de intemperismo químico, demonstrando ser muito vulnerável a esse processo, devido à sua composição. Os efeitos dos seus comportamentos expansivos também foram visíveis em alguns ensaios, impossibilitando algumas conclusões e apontando que o tempo e/ou o método utilizado para a estabilização não foram suficientes para que o material não apresentasse expansão após ensaios que contém imersão prolongada em água.

A forma o único parâmetro avaliado que demonstrou resultados melhores com o aumento na quantidade de ciclos, indicando que as quebras e fragmentação das partículas ocorridas devido aos intemperismos tendem a diminuir a quantidade de partículas não cúbicas. Apesar da melhora nessa avaliação, os efeitos dos processos de quebra não são benéficos ao lastro, visto que com isso, ocorre também um aumento da contaminação que acarreta na diminuição no volume de vazios, e no aumento da rigidez dessa camada da via férrea.

Avaliando a resistência a intempérie, o ensaio concorda com as outras avaliações que indicam o alto grau de alterabilidade do basalto com a cristalização do sulfato de sódio, pois o material apresentou ao final de 40 ciclos, perdas de massa três vezes maiores que o limite prescrito na NBR 5564 (2011). Além da cristalização, a eflorescência também ocorreu nos lastros.

O gnaisse apresentou oxidação após a imersão em solução salina, verificando o que Frascá e Yamamoto (2014) observaram com outro sal. Esse efeito pode indicar que o gnaisse utilizado possui quantidades de minerais máficos.

O trabalho apresenta algumas limitações, pelo fato de que as simulações expuseram o lastro a condições extremas, que dificilmente ocorreriam na natureza. Por exemplo, o congelamento e degelo utilizou o lastro totalmente saturado, e a simulação de intemperismo químico expôs o lastro a uma solução saturada de sulfato de sódio.

5.1 Sugestões para trabalhos futuros

Para complementar algumas conclusões apresentadas e dar continuidade ao estudo dos efeitos dos intemperismos no lastro ferroviário, sugere-se as seguintes investigações:

- Realizar investigações por microscopia eletrônica, porosimetria de mercúrio e adsorção de nitrogênio, para verificar os efeitos microscópicos dos processos de intemperismo analisados;
- Acompanhar e avaliar as alterações químicas e mineralógicas dos materiais ao longo dos ciclos;
- Realizar ensaios mecânicos em grande escala após realizadas simulações de intemperismo, como o ensaio dinâmico de lastro realizado por Hilário (2020). O ensaio também pode ser realizado com o lastro totalmente congelado;
- Investigar os efeitos no lastro de outros processos de intemperismo;
- Correlacionar por coeficientes ou por equações as tendências de decréscimo de resistência dos lastros com variações térmicas/exposições à ambientes poluídos reais, a fim de se prever a vida útil do lastro;
- Avaliar diretamente a resistência à compressão uniaxial dos três materiais após as mesmas simulações de intemperismo, obedecendo as condições de ensaio prescritas na norma NBR 5564 (ABNT, 2011);
- Avaliar os efeitos do congelamento e degelo no lastro em horizontes maiores de tempo.

REFERÊNCIAS

ABNT. **NBR 8094: Material metálico revestido e não revestido - Corrosão por exposição à névoa salina.** Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro. 1983.

ABNT. **NBR 7218: Agregados - Determinação do teor de argila em torrões e materiais friáveis.** Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro. 2010.

ABNT. **NBR 5564: Via férrea - Lastro ferroviário - Requisitos e métodos de ensaio.** Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro. 2011.

ABNT. **NBR 15845-4: Rochas para revestimento - Parte 4: Determinação da resistência ao congelamento e degelo.** Rio de Janeiro. 2015.

ABNT; AMN. **NBR NM 51: Agregado graúdo - Ensaio de abrasão "Los Angeles".** Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro. 2001.

ABNT; AMN. **NBR NM 248: Agregados - Determinação da composição granulométrica.** Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro. 2003.

ABNT; AMN. **NBR NM 46: Agregados - Determinação do material fino que passa através da peneira 75 µm, por lavagem.** Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro. 2003.

ABNT; AMN. **NBR NM 45: Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios.** Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro. 2006.

ALGARVE, V. R. Geadas no Brasil. **Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) e Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)**, 2005. Disponível em: <<http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/cliesp10a/geada.html>>. Acesso em: 30 Julho 2020.

AMN. **MERCOSUR NM ISO 3310-1: Peneiras de ensaio - Requisitos técnicos e verificação Parte 1 - Peneiras de ensaio com tela de tecido metálico.** Associação Mercosul de Normalização. São Paulo. 2010.

ANTF. Informações gerais - O setor ferroviário de carga brasileiro. **ANTF**, 2019. Disponível em: <<https://www.antf.org.br/informacoes-gerais/>>. Acesso em: 16 Maio 2020.

ASTM. **B117 - 11: Standard Practice for Operating Salt Spray (Fog) Apparatus**. American Society for Testing and Materials. West Conshocken. 2011.

ASTM. **D5731 - 16: Standard Test Method for Determination of the Point Load Strength Index of Rock and Application to Rock Strength Classifications**. American Society for Testing and Materials. West Conshohocken. 2016.

BASSO, M.; KURODA, M. C.; VIDAL, A. C. Análise geológica e petrofísica de um bloco de travertino como análogo de reservatório de hidrocarbonetos. **Revista do Instituto de Geociências - USP**, São Paulo, v. 17, n. 2, p. 211-221, junho 2017.

BERNUCCI, L. B. et al. **Pavimentação asfáltica**: formação básica para engenheiros. Rio de Janeiro: PETROBRÁS; ABEDA, 2008.

BHARMORIA, P. et al. Temperature Dependent Solubility Transition of Na₂SO₄ in Water and the Effect of NaCl Therein: Solution Structures and Salt Water Dynamics. **The Journal of Physical Chemistry**, n. 118, p. 12734-12742, 2014.

BIENIAWSKI, Z. T. Engineering Classification of Jointed Rock Masses. **The Civil Engineer in South Africa**, 1973.

BIENIAWSKI, Z. T. The point-load test in geotechnical practice. **Engineering Geology**, 1975. 1-11.

BORGES NETO, C. **Manual Didático de Ferrovias**. Curitiba: Setor de Tecnologia, Departamento de Transportes, Universidade Federal do Paraná, 2012.

BOZYURT, O. et al. Freeze–Thaw Effects on Stiffness of Unbound Recycled Road Base. **Mechanical Properties of Frozen Soils**, 2013. 1-19.

BRANCO, P. D. M. O Intemperismo e a Erosão. **Serviço Geológico do Brasil - CPRM**, 18 Agosto 2014. Disponível em: <<http://www.cprm.gov.br/publique/Redes-Institucionais/Rede-de-Bibliotecas---Rede-Ametista/O-Intemperismo-e-a-Erosao-1313.html>>. Acesso em: 1 Agosto 2020.

BRASIL. Conheça as rotas de trem de passageiros no Brasil. **Ministério da Infraestrutura**, 2018. Disponível em: <<http://infraestrutura.gov.br/ultimas-noticias/7943-conhe%C3%A7a-as-rotas-de-trem-de-passageiros-no-brasil.html>>. Acesso em: 30 Julho 2020.

BRASIL. Síntese - Setor Ferroviário. **Ministério da Infraestrutura**, 2020. Disponível em: <<http://www.infraestrutura.gov.br/component/content/article.html?id=5380>>. Acesso em: 30 Abril 2020.

BRINA, H. L. **Estradas de ferro**. 2. ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, v. 1, 1988.

CAVA, F. Tipos de Fixação dos Trilhos Ferroviários. **Além da Inércia**, 2018. Disponível em: <<https://alemdainercia.wordpress.com/2018/11/19/tipos-de-fixacao-dos-trilhos-ferroviarios/>>. Acesso em: 02 Maio 2020.

ÇELIK, M. Y.; AYGÜN, A. The effect of salt crystallization on degradation of volcanic building stones by sodium sulfates and sodium chlorides. **Bulletin of Engineering Geology and the Environment**, 2018. 3509-3529.

CNT. **Transporte e Economia: O Sistema Ferroviário Brasileiro**. Brasília: Confederação Nacional do Transporte, 2013.

CNT. Volume de cargas transportadas por ferrovias cresce 10% em um ano. **CNT - Conferência Nacional do Transporte**, 2018. Disponível em: <<https://www.cnt.org.br/agencia-cnt/volume-cargas-transportadas-ferrovias-cresce-10-um-ano>>. Acesso em: 14 Agosto 2021.

COSTA, R. B.; O'FLAHERTY, V.; LENS, P. N. L. Biological treatment of organic sulfate-rich wastewaters. In: LENS, P. N. L.; POL, L. H. **Environmental technologies to treat sulfur pollution: Principles and engineering**. Londres: IWA Publishing, 2020. Cap. 6, p. 167-213.

DAS, B. M. **Fundamentos de Engenharia Geotécnica**. 6ª. ed. São Paulo: Thomson Learning, 2007.

DEMIRDAG, S. Effects of freezing–thawing and thermal shock cycles on physical and mechanical properties of filled and unfilled travertines. **Construction and Building Materials**, 2013. 1395-1401.

DNIT. **ISF-212: Projeto de superestrutura da via permanente - Lastro e sublastro**. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Brasília. 2015.

ENDAIT, M.; JUNEJA, A. New correlations between uniaxial compressive strength and point load strength of basalt. **International Journal of Geotechnical Engineering**, 2015. 348-353.

ESVELD, C. **Modern Railway Track**. 2. ed. Zaltbommel: MRT-Productions, 2001.

FALCÃO, V. A Importância do Transporte Ferroviário de Carga para a Economia Brasileira e suas Reais Perspectivas de Crescimento. **Revista Engenharia Civil**, Braga, n. 45, p. 51-63, Janeiro 2013.

FERNANDES, D. P. **Estudo de estabilização química, geo-mecânica e ambiental das escórias de aciaria LD para fins de aplicação como material de lastro ferroviário em vias sinalizadas**. Programa de Pós-Graduação em Geotecnia da UFOP-NUGEO. Ouro Preto. 2010.

FRASCÁ, M. H. B. D. O.; YAMAMOTO, J. K. Deterioração de rochas graníticas em edificações e monumentos - Investigação por ensaios de alteração acelerada. **Revista Brasileira de Geologia de engenharia e Ambiental**, São Paulo, v. 4, 2014. ISSN 1.

FREITAS, S. M. A. C. D. **Escória de Aciaria: Caminhos para uma Gestão Sustentável**. Rede Temática em Engenharia de Materiais-UFOP/UEMG. Ouro Preto. 2018.

GEMINA. Onyx Turkey. **Gemina**, 2021. Disponível em: <<http://www.geminatrade.com/products/onyx-turkey/>>. Acesso em: 23 Abril 2021.

GEOLOGY ROCKS & MINERALS. Basalt. **Geology rocks & minerals - The University of Auckland**, 2005. Disponível em: <https://flexiblelearning.auckland.ac.nz/rocks_minerals/rocks/basalt.html>. Acesso em: 05 Maio 2020.

GOMES, L. F. V. et al. **Comparação dos Módulos de Elasticidade e de Resiliência de Matrizes Rochosas e Escória de Aciaria Usadas Como Lastro Ferroviário**. XVIII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica. Belo Horizonte: ABMS. 2016.

GONÇALVES, T. D.; BRITO, V. Alteration kinetics of natural stones due to sodium sulfate crystallization: can reality match experimental simulations? **Environmental Earth Sciences**, Lisboa, 2014.

GOUSSINSKY, E. Chuvas ácidas ainda ameaçam preservação e saúde do planeta. **R7**, 2019. Disponível em: <<https://noticias.r7.com/tecnologia-e-ciencia/chuvas-acidas-ainda-ameacam-preservacao-e-saude-do-planeta-09102019>>. Acesso em: 20 Abril 2021.

GOVERNO FEDERAL. Liberados 172 quilômetros da Ferrovia Norte-Sul entre Goiás e São Paulo. **Governo do Brasil**, 2021. Disponível em: <<https://www.gov.br/pt-br/noticias/transito-e-transportes/2021/03/liberados-172-quilometros-da-ferrovia-norte-sul-entre-goias-e-sao-paulo>>. Acesso em: 19 Abril 2021.

GREMINGER, M. Experimental studies of the influence of rock anisotropy on size and shape effects in point-load testing. **International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts**, 1982. 241-246.

HERINGER, R. W. **Caracterização da escória de ferro silício-manganês para a aplicação como agregado em pavimentação ferroviária**. Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto. 2013.

HILÁRIO, R. Q. **Estudo das faixas granulométricas no comportamento e vida útil do lastro ferroviário utilizando equipamento de ensaio dinâmico de lastro - EEDL**. NUGEO/Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto. 2020.

IGC-USP. Calcário. **Geociências**, 2021. Disponível em: <<https://didatico.igc.usp.br/rochas/sedimentares/calcario/>>. Acesso em: 22 Abril 2021.

INDRARATNA, B.; NIMBALKAR, S. S.; TENNAKOON, N. C. The behaviour of ballasted track foundations: Track drainage and geosynthetic reinforcement. **Geotechnical Special Publication**, 2010. 2378-2387.

INDRARATNA, B.; SALIM, W. **Mechanics of Ballasted Rail Tracks: A Geotechnical Perspective**. AK: Taylor & Francis/Baikema, 2005.

IONESCU, D. **Ballast Degradation and Measurement of Ballast Fouling**. 7th Railway Engineering Proceedings. London: [s.n.]. 2004. p. 169 - 180.

JESUS, E. F. R. D. A importância do estudo das chuvas ácidas no contexto da abordagem climatológica. **Sitientibus**, Feira de Santana, n. 14, p. 143-153, 1996.

KARACA, Z. et al. Effect of freeze–thaw process on the abrasion loss value of stones. **International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences**, 2010. 1207-1211.

KLINCEVICIUS, M. G. Y. **Estudo de propriedades, de tensões e do comportamento mecânico de lastros ferroviários**. Universidade de São Paulo. São Paulo. 2011.

KOLISOJA, P. **Resilient Deformation Characteristics of Granular Materials**. Tampere University of Technology. Tampere. 1997.

LACERDA, S. M. Trens de Alta Velocidade: Experiência Internacional. **Revista do BNDES**, Rio de Janeiro, v. 14, n. 29, p. 61-80, Junho 2008.

LAUGHLIN, G. R.; SCOTT, J. W.; HAVENS, J. H. Freeze-thaw characteristics of aggregates. **Highway Geology Symposium**, Lexington, p. 25-27, 1965.

LEINZ, V. **Contribuição à Geologia dos Derrames Basálticos do Sul do Brasil**. Departamento de Geologia e Paleontologia, Faculdade de Filosofia, Ciência e Letras, Universidade de São Paulo. São Paulo. 1949.

MACHADO, A. T. **Estudo comparativo dos métodos de ensaio para avaliação da expansibilidade das escórias de aciaria**. Universidade de São Paulo. São Paulo. 2000.

MARCELINO, P. R. P. **A logística da precarização: terceirização do trabalho na Honda do Brasil**. 1ª. ed. São Paulo: Expressão Popular, 2004.

MARQUES, R. et al. Composição química de águas de chuva em áreas tropicais continentais, Cuiabá-MT: aplicação do Sistema Clima Urbano (S.C.U.). **Revista do Departamento de Geografia**, Cuiabá, n. 20, p. 63-75, 2010.

MCPHIE, J.; DOYLE, M.; ALLEN, R. **Volcanic Textures**: a guide to the interpretation of textures in volcanic rocks. Hobart: University of Tasmania Centre of Ore Deposit and Exploration Studies, 1993.

MEDÍRCIO, S. N. **Redução do teor de sulfato e de metais em águas pela utilização de bactérias redutoras de sulfato**. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental/UFOP. Ouro Preto. 2004.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto**: Microestrutura, Propriedades e Materiais. 2. ed. São Paulo: IBRACON, 2014.

MENEZES, S. D. O. **rochas - manual fácil de estudo e classificação**. 1ª. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2013.

MENZ, F. C.; SEIP, H. M. Acid rain in Europe and the United States: an update. **Environmental Science & Policy**, n. 7, p. 253-265, 2004.

MOMENI, A. et al. The effect of freeze–thaw cycles on physical and mechanical properties of granitoid hard rocks. **Bulletin of Engineering Geology and the Environment**, 2015. 1649-1656.

NURMIKOLU, A. **Degradation and frost susceptibility of crushed rock aggregates used in structural layers of railway track**. Tampereen teknillinen yliopisto, Tampere University of Technology. Tampere. 2005.

OKAMOTO, A.; FUTAMURA, E.; KAWAMURA, K. Hydratation behavior of LD slag at autoclave test. **Transactions ISIJ**, v. 21, p. 16-24, 1981.

OLIVEIRA, I. D.; MIZUKOSHI, J. K. A água e seu comportamento anômalo. **Leis de conservação**, 2018. Disponível em: <<https://propg.ufabc.edu.br/mnpef-sites/leis-de-conservacao/a-agua-e-seu-comportamento-anomalo/>>. Acesso em: 19 Abril 2021.

OLIVEIRA, L. F. B. D. **Influência da cristalização de sal solúvel na degradação de propriedades petrofísicas de granitóide**. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. 2019.

OLIVEIRA, R. W. H. **Caracterização da escória de ferro silício-manganês para a aplicação como agregado em pavimentação ferroviária**. Programa de Pós-Graduação em Geotecnia da UFOP-NUGEO. Ouro Preto. 2013.

ONDRAŠIK, M.; KOPECKÝ, M. Rock pore structure as main reason of rock deterioration. **Studia Geotechnica et Mechanica**, v. XXXVI, n. 1, p. 79-88, 2014.

PAIM DA SILVA, F. H. **Estudo do comportamento de um lastro ferroviário sob carga repetida em modelo físico de verdadeira grandeza**. COPPE, Programa de Engenharia Civil - UFRJ. Rio de Janeiro. 2018.

PALMSTRÖM, A. **RMi – a rock mass characterization system for rock engineering purposes**. Oslo University. Oslo. 1995.

PARK, K. et al. Analysis of effects of rock physical properties changes from freeze-thaw weathering in Ny-Ålesund region: Part 1-experimental study. **Applied Sciences (Switzerland)**, 2020.

PÊGO, B. **Logística e transportes no Brasil: uma análise do programa de investimentos 2013-2017 em rodovias e ferrovias**. IPEA. Rio de Janeiro. 2016.

PENNSYLVANIA MATERIALS RESEARCH INSTITUTE. Mercury Porosimetry. **Materials Characterization Lab**, 2021. Disponível em: <<https://www.mri.psu.edu/materials-characterization-lab/characterization-techniques/mercury-porosimetry>>. Acesso em: 21 Julho 2021.

PENTECOST, A. **Travertine**. Berlin: Springer, 2005.

PEREIRA, E. A. C. **Aspectos técnicos de gestão de resíduos nas siderúrgicas integradas a coque**. 25º Seminário de Redução, Matérias-Primas e Resíduos na Siderurgia. Volta Redonda: ABM. 1994. p. 187-199.

PEREIRA, E. A. C. Aspectos técnicos da gestão de resíduos nas siderúrgicas a coque. **25º Seminário de redução e Matérias-primas Siderúrgicas ABM**, Volta Redonda, Novembro 1994.

PIRES, J. et al. Degradação do lastro ferroviário – principais aspectos e estudos de caso. **Revista Transportes**, v. 25, p. 62-74, 2017.

POLESE, M. D. O. et al. Caracterização Microestrutural da Escória de Aciaria. **Revista Matéria**, Rio de Janeiro, v. 11, n. 4, p. 444-454, 2006.

PORTO, T. G. **PTR 2501 - Ferrovias**. Departamento de Engenharia de Transportes-Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo. 2004.

POWER, T. C. **The Physical Structure and Engineering Properties of Concrete, Bulletin 90**. Portland Cement Association. Skokie. 1958.

PRESS, F. et al. **Para Entender a Terra**. 4^a. ed. Porto Alegre: Bookman, 2006.

QUARESMA, L. F. **Relatório Técnico 30: Perfil de brita para construção civil**. Ministério de Minas e Energia (MME), Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral (SGM). [S.I.]. 2009.

RAMALHOSO, W. Por que o Brasil inteiro tem menos metrô que cidades como Nova York e Londres? **UOL**, 2016. Disponível em: <<https://noticias.uol.com.br/cotidiano/ultimas-noticias/2016/12/15/por-que-o-brasil-tem-menos-metro-que-cidades-como-nova-york-e-londres.htm>>. Acesso em: 30 Julho 2020.

RAMOS, D. M. B. S. L. **Resistência a ciclos gelo-degelo de betões fabricados com agregados finos reciclados de betão**. Técnico Lisboa/Universidade de Lisboa. Lisboa. 2014.

RAPOSO, C. O. L. **Estudo experimental de compactação e expansão de uma escória de aciaria LD para uso em pavimentação**. Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória. 2005.

RAYMOND, G. P.; DIYALJEE, V. A. J. Railroad ballast sizing and grading. **Journal of Geotechnical Engineering**, 1979. 676-681.

REDAÇÃO PENSAMENTO VERDE. Onde ocorre chuva ácida no Brasil? **Pensamento Verde**, 2013. Disponível em: <<https://www.pensamentoverde.com.br/meio-ambiente/onde-ocorre-chuva-acida-no-brasil/>>. Acesso em: 31 Julho 2020.

REICHE, P. A survey of weathering processes and products. **New Mexico University Publication in Geology**, Albuquerque, 1950. 94.

ROCHA, B. D. S. **Manifestações patológicas e avaliação de estruturas de concreto armado**. Escola de Engenharia/UFMG. Belo Horizonte. 2015.

ROCHA, B. P. **Estudo da Viabilidade da Reutilização da Escória do Refino Secundário no Forno Elétrico a Arco**. UFRJ/Escola Politécnica. Rio de Janeiro. 2011.

RODRIGUES, A. Acidentes com VLTs preocupa usuários do interior. **Diário do Nordeste**, 2019. Disponível em: <<https://diariodonordeste.verdesmares.com.br/editorias/regiao/acidentes-com-vlts-preocupa-usuarios-do-interior-1.2172575>>. Acesso em: 03 Maio 2020.

RODRIGUES, P. R. A. **Introdução aos Sistemas de Transporte no Brasil e à Logística Internacional**. 5ª. ed. São Paulo: Aduaneiras, 2014.

RODRIGUEZ-NAVARRO, C.; DOEHNE, E. Salt Weathering; Influence of Evaporation Rate, Supersaturation and Crystallization Pattern. **Earth Surface Processes and Landforms**, Los Angeles, n. 24, p. 191-209, 1999.

ROHDE, L. **Escória de aciaria elétrica em camadas granulares de pavimentos - estudo laboratorial**. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil-UFRGS. Porto Alegre. 2002.

RUIZ-AGUDO, E. et al. The role of saline solution properties on porous limestone salt weathering by magnesium and sodium sulfates. **Environmental Geology**, n. 52, p. 269-281, 2007.

SANTOS, J. G. et al. **Análise da Influência da Porosidade e do Intemperismo na Resistência das Rochas Utilizadas Como Agregados para Lastro Ferroviário**. XIX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica. Salvador: ABMS. 2018. p. 120-126.

SARTI, A.; SILVA, A. J. D.; CÔRTEZ, R. S. **Remoção de sulfato de águas residuárias industriais em reator anaeróbio de leito fixo operado em bateladas sequenciais**. Engenharia sanitária e ambiental/USP. São Paulo, p. 15-22. 2008.

SCHIAVON, M. A.; REDONDO, S. U. A.; YOSHIDA, I. V. P. Caracterização térmica e morfológica de fibras contínuas de basalto. **Cerâmica**, n. 53, p. 212-217, 2007.

SELIG, E. T.; WATERS, J. M. **Track geotechnology and substructure management**. New York: Thomas Thelford, 1994.

SEVÁ FILHO, A. O. Como estão as "Manchas Ácidas" no Brasil? **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 5, n. 11, p. 81-107, 1991. ISSN 0103-4014.

SILVA, N. I. W. D. Caracterização de cinzas volante para aproveitamento cerâmico. **Cerâmica**, v. 45, n. 126, p. 184-187, 1999.

SILVA, V. G. **Efeitos da ação física do congelamento cíclico em rochas silicáticas de baixa porosidade**. UFRJ/IGEO. Rio de Janeiro. 2012.

SILVEIRA, M. R.; JULIO, A. D. S. A Ferrovia Norte-Sul: logística, fluidez, competitividade e integração territorial. In: PALHETA, J. M.; DO NASCIMENTO, F. R.; DA SILVA, C. N. **Grandes empreendimentos e impactos territoriais no Brasil**. 1ª. ed. Belém: GAPTA/UFPA, 2017. p. 208-242.

SOUZA, C. B. P. D. Evolução Histórica do Transporte de Carga. **Portogente**, 2020. Disponível em: <<https://portogente.com.br/portopedia/111710-evolucao-historica-do-transporte-de-carga>>. Acesso em: 30 Julho 2020.

STANDARDS AUSTRALIA. **AS 2758.7 - Aggregates and rock for engineering purposes - Part 7: Railway ballast**. Sydney. 2015.

SUGUIO, K. **Geologia Sedimentar**. São Paulo: Blucher, 2003.

UNESP. Estrutura de Rochas Metamórficas. **Museu de Minerais, Minérios e Rochas Heinz Ebert**, 2020. Disponível em: <<https://museuhe.com.br/rochas/rochas-metamorficas/texturas-e-estruturas-de-rochas-metamorficas/>>. Acesso em: 1 Agosto 2020.

UOL. Rumo vence concorrente e leva ferrovia Norte-Sul com oferta de R\$ 2,7 bi. **UOL**, 2019. Disponível em: <<https://economia.uol.com.br/noticias/redacao/2019/03/28/leilao-ferrovia-norte-sul.htm>>. Acesso em: 30 Julho 2020.

UUSINOKA, R. **Yleinen maaperägeologia, L osa, Kulutusprosessit**. Helsingin yliopisto. Geologian ja palcontologian laitoks. Helsingin, p. 2-83. 1976.

UUSINOKA, R. **Rapautumisilmiöt kallioperässä**. Tampereen teknillinen korkeakoulu, Rakennustekniikan osasto, Rakennusgeologia. Tampere, p. 12-28. 1983.

VALE. **Manual Técnico da Via Permanente**. [S.l.]: VALE S.A., 2013.

VALE. Qual a importância das ferrovias para o desenvolvimento socioeconômico? **VALE**, 2017. Disponível em: <<http://www.vale.com/brasil/PT/aboutvale/news/Paginas/qual-a-importancia-das-ferrovias-para-o-desenvolvimento-socioeconomico-de-um-pais.aspx>>. Acesso em: 16 Maio 2020.

VALEC. A Ferrovia Norte-Sul. **VALEC**, 2020. Disponível em: <<https://www.valec.gov.br/ferrovias/ferrovia-norte-sul/a-ferrovia-norte-sul>>. Acesso em: 16 Maio 2020.

VARGAS, I. M. Porto de Santos quer aumentar participação de ferrovias no transporte de cargas. **Folha de S. Paulo**, 2020. Disponível em: <<https://www1.folha.uol.com.br/mercado/2020/02/porto-de-santos-quer-aumentar-participacao-de-ferrovias-no-transporte-de-cargas.shtml>>. Acesso em: 16 Maio 2020.

VICTORIA, A. M. **Recursos Para a Construção Civil**. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 201?.

YOUNG, H. D.; FREEDMAN, R. A.; FORD, A. L. **Física II - Termodinâmica e Ondas**. 12. ed. São Paulo: Person, 2008.

APÊNDICE A – DADOS DOS ENSAIOS DE DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS FÍSICOS

A.1 Determinação da composição granulométrica

Tabela 15 – Massa de material retida nas peneiras do ensaio de determinação da composição granulométrica do basalto.

Peneiras		Material Retido (g)					
Número	Abertura (mm)	Amostra inicial	Congelamento e degelo			Sulf. de sódio	
			25 ciclos	50 ciclos	75 ciclos	20 ciclos	40 ciclos
3"	75,00	0	0	0	0	0	0
2 1/2"	63,00	0	0	0	0	0	0
2"	50,00	519	0	0	0	0	0
1 1/2"	37,50	20134	10716	12951	13256	7702	6962
1"	25,00	20857	9803	9841	9609	9551	6953
3/4"	19,00	10258	7098	6659	6855	4902	5533
1/2"	12,70	4130	3147	2454	2458	2353	2876
3/8"	9,50	371	594	543	663	1013	1312
4	4,75	0	109	233	242	1382	2088
Fundo do peneirador		77	359	376	306	1884	5091
Total		56346	31826	33057	33389	28787	30815

Tabela 16 – Massa de material retida nas peneiras do ensaio de determinação da composição granulométrica do gnaisse.

Peneiras		Material Retido (g)					
Número	Abertura (mm)	Amostra inicial	Congelamento e degelo			Sulf. de sódio	
			25 ciclos	50 ciclos	75 ciclos	20 ciclos	40 ciclos
3"	75,00	0	0	0	0	0	0
2 1/2"	63,00	667	0	0	0	0	0
2"	50,00	5970	4183	4359	3223	2520	2733
1 1/2"	37,50	11866	11086	13106	11459	11865	13050
1"	25,00	24658	15129	11535	13910	14349	14223
3/4"	19,00	3176	1707	1641	1179	1586	1881
1/2"	12,70	1112	429	713	620	231	505
3/8"	9,50	259	91	243	133	50	118
4	4,75	0	23	102	41	27	38
Fundo do peneirador		28	61	140	65	30	77
Total		47736	32709	31839	30630	30658	32625

Tabela 17 – Massa de material retida nas peneiras do ensaio de determinação da composição granulométrica da escória de aciaria LD.

Peneiras		Material Retido (g)					
Número	Abertura (mm)	Amostra inicial	Congelamento e degelo			Sulf. de sódio	
			25 ciclos	50 ciclos	75 ciclos	20 ciclos	40 ciclos
3"	75,00	0	0	0	0	0	0
2 1/2"	63,00	7374	1033	1050	507	1705	2834
2"	50,00	14193	6504	5152	7120	5190	6324
1 1/2"	37,50	29677	18096	12611	14693	11758	13388
1"	25,00	20134	12324	11526	8541	10523	10584
3/4"	19,00	1642	1583	1661	851	1160	1448
1/2"	12,70	1711	1380	2277	963	1415	896
3/8"	9,50	353	275	542	252	501	276
4	4,75	0	36	117	72	98	237
Fundo do peneirador		74	74	196	222	93	433
Total		75158	41305	35132	33221	32443	36420

A.2 Determinação da forma dos fragmentos

Tabela 18 – Dados do ensaio de determinação da forma do BA-00-DF (arquivo pessoal).

Corpo de prova	Peneira (mm)	a (mm)	b (mm)	c (mm)	b/a	c/b	Classificação
BA-00-DF-CP1	50	66,25	66,00	31,55	1,0	0,5	Cúbica
BA-00-DF-CP2	38	82,00	50,45	22,25	0,6	0,4	Lamelar
BA-00-DF-CP3	38	53,60	46,10	19,30	0,9	0,4	Lamelar
BA-00-DF-CP4	38	72,55	51,80	16,80	0,7	0,3	Lamelar
BA-00-DF-CP5	38	54,70	49,75	29,05	0,9	0,6	Cúbica
BA-00-DF-CP6	38	49,95	45,90	27,00	0,9	0,6	Cúbica
BA-00-DF-CP7	38	63,15	46,40	19,20	0,7	0,4	Lamelar
BA-00-DF-CP8	38	75,35	58,80	27,40	0,8	0,5	Cúbica
BA-00-DF-CP9	38	81,20	43,50	33,15	0,5	0,8	Cúbica
BA-00-DF-CP10	38	57,15	50,60	31,40	0,9	0,6	Cúbica
BA-00-DF-CP11	38	59,20	44,40	16,85	0,8	0,4	Lamelar
BA-00-DF-CP12	38	58,25	53,35	31,20	0,9	0,6	Cúbica
BA-00-DF-CP13	38	66,75	41,45	33,40	0,6	0,8	Cúbica
BA-00-DF-CP14	38	66,70	53,40	29,10	0,8	0,5	Cúbica
BA-00-DF-CP15	38	57,05	53,40	19,30	0,9	0,4	Lamelar
BA-00-DF-CP16	38	72,80	43,80	27,65	0,6	0,6	Cúbica
BA-00-DF-CP17	38	64,15	47,10	29,50	0,7	0,6	Cúbica
BA-00-DF-CP18	38	53,40	48,35	32,35	0,9	0,7	Cúbica
BA-00-DF-CP19	38	50,60	46,20	32,40	0,9	0,7	Cúbica
BA-00-DF-CP20	38	67,00	48,55	22,15	0,7	0,5	Cúbica
BA-00-DF-CP21	38	63,40	53,55	32,35	0,8	0,6	Cúbica
BA-00-DF-CP22	38	65,50	48,90	32,15	0,7	0,7	Cúbica
BA-00-DF-CP23	38	76,30	44,80	27,15	0,6	0,6	Cúbica
BA-00-DF-CP24	38	50,25	45,00	31,05	0,9	0,7	Cúbica
BA-00-DF-CP25	38	66,85	56,75	27,30	0,8	0,5	Cúbica
BA-00-DF-CP26	38	63,00	61,95	24,65	1,0	0,4	Lamelar
BA-00-DF-CP27	38	65,75	49,50	47,05	0,8	1,0	Cúbica
BA-00-DF-CP28	38	65,60	53,45	36,55	0,8	0,7	Cúbica
BA-00-DF-CP29	38	44,70	42,30	32,80	0,9	0,8	Cúbica

Corpo de prova	Peneira (mm)	a (mm)	b (mm)	c (mm)	b/a	c/b	Classificação
BA-00-DF-CP30	38	63,30	59,30	35,10	0,9	0,6	Cúbica
BA-00-DF-CP31	38	48,45	41,65	29,35	0,9	0,7	Cúbica
BA-00-DF-CP32	38	78,20	57,95	28,55	0,7	0,5	Cúbica
BA-00-DF-CP33	38	54,65	53,40	22,10	1,0	0,4	Lamelar
BA-00-DF-CP34	38	65,20	57,35	34,95	0,9	0,6	Cúbica
BA-00-DF-CP35	38	68,85	59,90	40,00	0,9	0,7	Cúbica
BA-00-DF-CP36	38	80,40	46,55	20,40	0,6	0,4	Lamelar
BA-00-DF-CP37	38	56,40	46,90	22,70	0,8	0,5	Cúbica
BA-00-DF-CP38	38	59,80	48,40	33,55	0,8	0,7	Cúbica
BA-00-DF-CP39	38	62,25	50,70	30,40	0,8	0,6	Cúbica
BA-00-DF-CP40	38	56,75	52,80	22,80	0,9	0,4	Lamelar
BA-00-DF-CP41	25	45,60	31,45	23,30	0,7	0,7	Cúbica
BA-00-DF-CP42	25	42,95	31,45	28,60	0,7	0,9	Cúbica
BA-00-DF-CP43	25	81,75	28,80	27,45	0,4	1,0	Alongada
BA-00-DF-CP44	25	40,10	28,95	18,10	0,7	0,6	Cúbica
BA-00-DF-CP45	25	47,00	34,35	7,40	0,7	0,2	Lamelar
BA-00-DF-CP46	25	52,15	38,30	15,60	0,7	0,4	Lamelar
BA-00-DF-CP47	25	47,50	41,10	16,35	0,9	0,4	Lamelar
BA-00-DF-CP48	25	40,40	29,75	21,45	0,7	0,7	Cúbica
BA-00-DF-CP49	25	38,00	33,40	11,10	0,9	0,3	Lamelar
BA-00-DF-CP50	25	33,40	30,70	21,30	0,9	0,7	Cúbica
BA-00-DF-CP51	25	36,65	34,45	22,00	0,9	0,6	Cúbica
BA-00-DF-CP52	25	41,00	37,85	14,00	0,9	0,4	Lamelar
BA-00-DF-CP53	25	49,50	28,70	15,60	0,6	0,5	Cúbica
BA-00-DF-CP54	25	46,35	36,70	29,90	0,8	0,8	Cúbica
BA-00-DF-CP55	25	68,00	42,35	16,10	0,6	0,4	Lamelar
BA-00-DF-CP56	25	59,45	38,50	20,00	0,6	0,5	Cúbica
BA-00-DF-CP57	25	49,45	45,45	22,40	0,9	0,5	Cúbica
BA-00-DF-CP58	25	66,90	41,35	8,90	0,6	0,2	Lamelar
BA-00-DF-CP59	25	68,20	39,60	26,65	0,6	0,7	Cúbica
BA-00-DF-CP60	25	40,15	32,10	20,60	0,8	0,6	Cúbica
BA-00-DF-CP61	25	62,20	40,35	24,30	0,6	0,6	Cúbica
BA-00-DF-CP62	25	43,70	39,80	33,70	0,9	0,8	Cúbica

Corpo de prova	Peneira (mm)	a (mm)	b (mm)	c (mm)	b/a	c/b	Classificação
BA-00-DF-CP63	25	60,80	39,75	13,10	0,7	0,3	Lamelar
BA-00-DF-CP64	25	69,60	38,05	29,00	0,5	0,8	Cúbica
BA-00-DF-CP65	25	33,65	30,50	18,85	0,9	0,6	Cúbica
BA-00-DF-CP66	25	39,90	32,60	27,50	0,8	0,8	Cúbica
BA-00-DF-CP67	25	55,50	40,70	27,45	0,7	0,7	Cúbica
BA-00-DF-CP68	25	74,65	40,55	15,50	0,5	0,4	Lamelar
BA-00-DF-CP69	25	46,00	37,80	9,80	0,8	0,3	Lamelar
BA-00-DF-CP70	25	43,55	39,65	23,60	0,9	0,6	Cúbica
BA-00-DF-CP71	25	42,35	32,00	24,35	0,8	0,8	Cúbica
BA-00-DF-CP72	25	40,00	35,25	13,35	0,9	0,4	Lamelar
BA-00-DF-CP73	25	41,45	35,45	17,50	0,9	0,5	Cúbica
BA-00-DF-CP74	25	41,55	37,40	16,30	0,9	0,4	Lamelar
BA-00-DF-CP75	25	44,80	39,05	14,80	0,9	0,4	Lamelar
BA-00-DF-CP76	25	49,25	42,85	36,50	0,9	0,9	Cúbica
BA-00-DF-CP77	25	48,75	31,00	26,40	0,6	0,9	Cúbica
BA-00-DF-CP78	25	42,00	37,55	16,45	0,9	0,4	Lamelar
BA-00-DF-CP79	25	44,10	29,55	28,25	0,7	1,0	Cúbica
BA-00-DF-CP80	25	33,90	28,00	21,00	0,8	0,8	Cúbica
BA-00-DF-CP81	19	42,10	25,40	21,70	0,6	0,9	Cúbica
BA-00-DF-CP82	19	38,20	28,15	18,80	0,7	0,7	Cúbica
BA-00-DF-CP83	19	36,20	25,75	18,45	0,7	0,7	Cúbica
BA-00-DF-CP84	19	50,10	33,60	12,55	0,7	0,4	Lamelar
BA-00-DF-CP85	19	45,60	28,35	12,90	0,6	0,5	Cúbica
BA-00-DF-CP86	19	37,10	26,30	18,20	0,7	0,7	Cúbica
BA-00-DF-CP87	19	35,85	23,05	12,50	0,6	0,5	Cúbica
BA-00-DF-CP88	19	34,60	25,05	24,65	0,7	1,0	Cúbica
BA-00-DF-CP89	19	46,30	25,80	23,80	0,6	0,9	Cúbica
BA-00-DF-CP90	19	38,80	30,70	25,00	0,8	0,8	Cúbica
BA-00-DF-CP91	19	53,00	22,50	16,75	0,4	0,7	Alongada
BA-00-DF-CP92	19	32,60	29,35	12,60	0,9	0,4	Lamelar
BA-00-DF-CP93	19	39,00	32,20	11,00	0,8	0,3	Lamelar
BA-00-DF-CP94	19	26,60	21,60	18,65	0,8	0,9	Cúbica
BA-00-DF-CP95	19	47,20	23,00	14,65	0,5	0,6	Cúbica

Corpo de prova	Peneira (mm)	a (mm)	b (mm)	c (mm)	b/a	c/b	Classificação
BA-00-DF-CP96	19	47,70	25,05	16,35	0,5	0,7	Cúbica
BA-00-DF-CP97	19	31,95	25,90	16,70	0,8	0,6	Cúbica
BA-00-DF-CP98	19	24,60	21,55	15,40	0,9	0,7	Cúbica
BA-00-DF-CP99	19	33,75	30,45	9,40	0,9	0,3	Lamelar
BA-00-DF-CP100	19	27,40	24,45	9,30	0,9	0,4	Lamelar

Tabela 19 – Dados do ensaio de determinação da forma do BA-25-IF-DF (arquivo pessoal).

Corpo de prova	Peneira (mm)	a (mm)	b (mm)	c (mm)	b/a	c/b	Classificação
BA-25-IF-DF-CP1	38	99,40	39,10	33,60	0,4	0,9	Alongada
BA-25-IF-DF-CP2	38	51,65	48,90	23,40	0,9	0,5	Cúbica
BA-25-IF-DF-CP3	38	66,40	64,20	29,65	1,0	0,5	Cúbica
BA-25-IF-DF-CP4	38	120,10	56,30	29,20	0,5	0,5	Cúbica
BA-25-IF-DF-CP5	38	81,90	58,10	32,85	0,7	0,6	Cúbica
BA-25-IF-DF-CP6	38	58,70	45,45	27,80	0,8	0,6	Cúbica
BA-25-IF-DF-CP7	38	64,80	42,30	31,70	0,7	0,7	Cúbica
BA-25-IF-DF-CP8	38	73,70	57,90	47,70	0,8	0,8	Cúbica
BA-25-IF-DF-CP9	38	63,00	52,60	37,75	0,8	0,7	Cúbica
BA-25-IF-DF-CP10	38	56,70	44,50	37,00	0,8	0,8	Cúbica
BA-25-IF-DF-CP11	38	90,60	58,70	25,50	0,6	0,4	Lamelar
BA-25-IF-DF-CP12	38	74,95	65,10	17,50	0,9	0,3	Lamelar
BA-25-IF-DF-CP13	38	82,05	48,70	36,00	0,6	0,7	Cúbica
BA-25-IF-DF-CP14	38	63,00	50,30	32,90	0,8	0,7	Cúbica
BA-25-IF-DF-CP15	38	70,00	49,50	37,95	0,7	0,8	Cúbica
BA-25-IF-DF-CP16	38	60,20	49,80	19,45	0,8	0,4	Lamelar
BA-25-IF-DF-CP17	38	49,80	48,85	38,00	1,0	0,8	Cúbica
BA-25-IF-DF-CP18	38	65,35	52,35	36,90	0,8	0,7	Cúbica
BA-25-IF-DF-CP19	38	65,20	58,10	28,30	0,9	0,5	Cúbica
BA-25-IF-DF-CP20	38	75,00	49,30	27,70	0,7	0,6	Cúbica
BA-25-IF-DF-CP21	38	56,90	42,35	32,15	0,7	0,8	Cúbica
BA-25-IF-DF-CP22	38	75,10	51,90	33,90	0,7	0,7	Cúbica

Corpo de prova	Peneira (mm)	a (mm)	b (mm)	c (mm)	b/a	c/b	Classificação
BA-25-IF-DF-CP23	38	64,00	57,30	31,90	0,9	0,6	Cúbica
BA-25-IF-DF-CP24	38	71,80	40,70	40,20	0,6	1,0	Cúbica
BA-25-IF-DF-CP25	38	80,85	57,60	20,00	0,7	0,3	Lamelar
BA-25-IF-DF-CP26	38	71,70	58,30	32,50	0,8	0,6	Cúbica
BA-25-IF-DF-CP27	38	69,70	40,00	31,10	0,6	0,8	Cúbica
BA-25-IF-DF-CP28	38	56,90	44,60	33,60	0,8	0,8	Cúbica
BA-25-IF-DF-CP29	38	48,60	47,80	37,35	1,0	0,8	Cúbica
BA-25-IF-DF-CP30	38	63,80	48,20	17,90	0,8	0,4	Lamelar
BA-25-IF-DF-CP31	38	75,00	53,60	38,80	0,7	0,7	Cúbica
BA-25-IF-DF-CP32	38	65,25	65,20	24,50	1,0	0,4	Lamelar
BA-25-IF-DF-CP33	38	66,30	54,20	31,90	0,8	0,6	Cúbica
BA-25-IF-DF-CP34	38	58,99	45,00	37,95	0,8	0,8	Cúbica
BA-25-IF-DF-CP35	38	56,70	41,20	40,20	0,7	1,0	Cúbica
BA-25-IF-DF-CP36	38	76,55	54,40	26,00	0,7	0,5	Cúbica
BA-25-IF-DF-CP37	38	77,30	50,60	49,70	0,7	1,0	Cúbica
BA-25-IF-DF-CP38	38	72,30	53,10	33,60	0,7	0,6	Cúbica
BA-25-IF-DF-CP39	38	50,10	48,50	37,00	1,0	0,8	Cúbica
BA-25-IF-DF-CP40	25	68,00	47,90	18,40	0,7	0,4	Lamelar
BA-25-IF-DF-CP41	25	41,40	31,80	23,05	0,8	0,7	Cúbica
BA-25-IF-DF-CP42	25	45,60	36,30	18,95	0,8	0,5	Cúbica
BA-25-IF-DF-CP43	25	59,50	35,70	23,30	0,6	0,7	Cúbica
BA-25-IF-DF-CP44	25	43,60	34,25	22,60	0,8	0,7	Cúbica
BA-25-IF-DF-CP45	25	43,55	40,65	16,35	0,9	0,4	Lamelar
BA-25-IF-DF-CP46	25	46,20	37,45	26,45	0,8	0,7	Cúbica
BA-25-IF-DF-CP47	25	38,00	33,55	26,45	0,9	0,8	Cúbica
BA-25-IF-DF-CP48	25	50,70	29,70	18,70	0,6	0,6	Cúbica
BA-25-IF-DF-CP49	25	41,00	32,70	22,20	0,8	0,7	Cúbica
BA-25-IF-DF-CP50	25	44,55	35,80	8,60	0,8	0,2	Lamelar
BA-25-IF-DF-CP51	25	49,50	43,60	17,75	0,9	0,4	Lamelar
BA-25-IF-DF-CP52	25	36,80	33,00	13,00	0,9	0,4	Lamelar
BA-25-IF-DF-CP53	25	58,10	36,90	18,25	0,6	0,5	Cúbica
BA-25-IF-DF-CP54	25	42,50	36,50	24,25	0,9	0,7	Cúbica
BA-25-IF-DF-CP55	25	46,15	28,60	24,20	0,6	0,8	Cúbica

Corpo de prova	Peneira (mm)	a (mm)	b (mm)	c (mm)	b/a	c/b	Classificação
BA-25-IF-DF-CP56	25	42,45	30,00	20,90	0,7	0,7	Cúbica
BA-25-IF-DF-CP57	25	52,10	34,55	20,90	0,7	0,6	Cúbica
BA-25-IF-DF-CP58	25	44,15	30,80	18,70	0,7	0,6	Cúbica
BA-25-IF-DF-CP59	25	36,10	30,65	17,45	0,8	0,6	Cúbica
BA-25-IF-DF-CP60	25	57,15	45,20	18,40	0,8	0,4	Lamelar
BA-25-IF-DF-CP61	25	32,70	31,75	16,35	1,0	0,5	Cúbica
BA-25-IF-DF-CP62	25	57,20	50,30	11,05	0,9	0,2	Lamelar
BA-25-IF-DF-CP63	25	39,85	25,70	23,90	0,6	0,9	Cúbica
BA-25-IF-DF-CP64	25	41,40	34,45	21,95	0,8	0,6	Cúbica
BA-25-IF-DF-CP65	25	46,50	40,60	23,60	0,9	0,6	Cúbica
BA-25-IF-DF-CP66	25	40,50	28,20	15,35	0,7	0,5	Cúbica
BA-25-IF-DF-CP67	25	47,80	31,60	23,50	0,7	0,7	Cúbica
BA-25-IF-DF-CP68	25	53,70	44,50	25,20	0,8	0,6	Cúbica
BA-25-IF-DF-CP69	25	50,00	29,35	11,60	0,6	0,4	Lamelar
BA-25-IF-DF-CP70	25	43,70	37,45	14,00	0,9	0,4	Lamelar
BA-25-IF-DF-CP71	25	39,65	27,15	11,85	0,7	0,4	Lamelar
BA-25-IF-DF-CP72	25	50,80	43,20	18,30	0,9	0,4	Lamelar
BA-25-IF-DF-CP73	25	70,60	39,65	25,25	0,6	0,6	Cúbica
BA-25-IF-DF-CP74	25	59,40	36,15	22,80	0,6	0,6	Cúbica
BA-25-IF-DF-CP75	19	45,20	22,55	19,80	0,5	0,9	Cúbica
BA-25-IF-DF-CP76	19	45,60	25,85	14,90	0,6	0,6	Cúbica
BA-25-IF-DF-CP77	19	34,00	30,60	18,10	0,9	0,6	Cúbica
BA-25-IF-DF-CP78	19	44,35	24,75	18,55	0,6	0,7	Cúbica
BA-25-IF-DF-CP79	19	36,50	33,30	18,65	0,9	0,6	Cúbica
BA-25-IF-DF-CP80	19	42,30	23,70	12,75	0,6	0,5	Cúbica
BA-25-IF-DF-CP81	19	43,40	25,70	10,75	0,6	0,4	Lamelar
BA-25-IF-DF-CP82	19	42,20	23,95	12,45	0,6	0,5	Cúbica
BA-25-IF-DF-CP83	19	37,85	30,00	18,55	0,8	0,6	Cúbica
BA-25-IF-DF-CP84	19	33,70	26,60	17,55	0,8	0,7	Cúbica
BA-25-IF-DF-CP85	19	38,80	24,80	14,90	0,6	0,6	Cúbica
BA-25-IF-DF-CP86	19	46,30	24,40	18,40	0,5	0,8	Cúbica
BA-25-IF-DF-CP87	19	35,60	34,00	13,55	1,0	0,4	Lamelar
BA-25-IF-DF-CP88	19	33,55	20,00	15,60	0,6	0,8	Cúbica

Corpo de prova	Peneira (mm)	a (mm)	b (mm)	c (mm)	b/a	c/b	Classificação
BA-25-IF-DF-CP89	19	34,40	27,75	12,00	0,8	0,4	Lamelar
BA-25-IF-DF-CP90	19	27,45	26,70	13,80	1,0	0,5	Cúbica
BA-25-IF-DF-CP91	19	34,00	31,20	12,20	0,9	0,4	Lamelar
BA-25-IF-DF-CP92	19	30,25	29,40	13,10	1,0	0,4	Lamelar
BA-25-IF-DF-CP93	19	30,50	25,10	8,55	0,8	0,3	Lamelar
BA-25-IF-DF-CP94	19	32,30	21,00	16,25	0,7	0,8	Cúbica
BA-25-IF-DF-CP95	19	33,55	25,60	8,80	0,8	0,3	Lamelar
BA-25-IF-DF-CP96	19	31,00	25,35	11,50	0,8	0,5	Cúbica
BA-25-IF-DF-CP97	19	35,75	22,90	8,10	0,6	0,4	Lamelar
BA-25-IF-DF-CP98	19	27,00	25,65	10,40	1,0	0,4	Lamelar
BA-25-IF-DF-CP99	19	31,65	23,70	14,60	0,7	0,6	Cúbica
BA-25-IF-DF-CP100	19	28,00	23,00	11,60	0,8	0,5	Cúbica

Tabela 20 – Dados do ensaio de determinação da forma do BA-50-IF-DF (arquivo pessoal).

Corpo de prova	Peneira (mm)	a (mm)	b (mm)	c (mm)	b/a	c/b	Classificação
BA-50-IF-DF-CP1	38	75,80	48,05	36,85	0,6	0,8	Cúbica
BA-50-IF-DF-CP2	38	60,95	52,40	31,55	0,9	0,6	Cúbica
BA-50-IF-DF-CP3	38	76,05	43,00	39,55	0,6	0,9	Cúbica
BA-50-IF-DF-CP4	38	89,75	64,45	19,55	0,7	0,3	Lamelar
BA-50-IF-DF-CP5	38	83,00	57,20	33,45	0,7	0,6	Cúbica
BA-50-IF-DF-CP6	38	85,00	64,20	25,20	0,8	0,4	Lamelar
BA-50-IF-DF-CP7	38	86,05	46,05	36,40	0,5	0,8	Cúbica
BA-50-IF-DF-CP8	38	53,20	48,60	10,95	0,9	0,2	Lamelar
BA-50-IF-DF-CP9	38	97,35	59,65	21,30	0,6	0,4	Lamelar
BA-50-IF-DF-CP10	38	64,90	47,40	36,20	0,7	0,8	Cúbica
BA-50-IF-DF-CP11	38	66,70	51,75	36,35	0,8	0,7	Cúbica
BA-50-IF-DF-CP12	38	54,35	54,05	33,15	1,0	0,6	Cúbica
BA-50-IF-DF-CP13	38	69,15	42,70	31,00	0,6	0,7	Cúbica
BA-50-IF-DF-CP14	38	81,75	58,10	36,10	0,7	0,6	Cúbica
BA-50-IF-DF-CP15	38	71,70	54,75	40,95	0,8	0,7	Cúbica

Corpo de prova	Peneira (mm)	a (mm)	b (mm)	c (mm)	b/a	c/b	Classificação
BA-50-IF-DF-CP16	38	70,80	44,15	29,15	0,6	0,7	Cúbica
BA-50-IF-DF-CP17	38	83,35	65,20	41,50	0,8	0,6	Cúbica
BA-50-IF-DF-CP18	38	55,60	43,65	22,65	0,8	0,5	Cúbica
BA-50-IF-DF-CP19	38	79,40	55,65	25,55	0,7	0,5	Cúbica
BA-50-IF-DF-CP20	38	95,70	65,40	30,20	0,7	0,5	Cúbica
BA-50-IF-DF-CP21	38	76,90	50,10	30,30	0,7	0,6	Cúbica
BA-50-IF-DF-CP22	38	55,00	43,80	40,10	0,8	0,9	Cúbica
BA-50-IF-DF-CP23	38	80,00	39,80	34,20	0,5	0,9	Cúbica
BA-50-IF-DF-CP24	38	60,85	56,50	39,75	0,9	0,7	Cúbica
BA-50-IF-DF-CP25	38	60,75	43,25	24,30	0,7	0,6	Cúbica
BA-50-IF-DF-CP26	38	54,25	48,10	31,70	0,9	0,7	Cúbica
BA-50-IF-DF-CP27	38	82,50	53,40	37,25	0,6	0,7	Cúbica
BA-50-IF-DF-CP28	38	77,30	50,65	19,15	0,7	0,4	Lamelar
BA-50-IF-DF-CP29	38	63,30	48,40	45,55	0,8	0,9	Cúbica
BA-50-IF-DF-CP30	38	48,00	37,50	37,20	0,8	1,0	Cúbica
BA-50-IF-DF-CP31	38	64,70	62,95	23,20	1,0	0,4	Lamelar
BA-50-IF-DF-CP32	38	79,30	60,20	17,05	0,8	0,3	Lamelar
BA-50-IF-DF-CP33	38	79,00	54,90	28,25	0,7	0,5	Cúbica
BA-50-IF-DF-CP34	38	58,90	58,50	34,60	1,0	0,6	Cúbica
BA-50-IF-DF-CP35	38	59,00	52,00	28,85	0,9	0,6	Cúbica
BA-50-IF-DF-CP36	38	67,90	66,60	30,45	1,0	0,5	Cúbica
BA-50-IF-DF-CP37	38	58,00	43,90	30,30	0,8	0,7	Cúbica
BA-50-IF-DF-CP38	38	72,35	41,60	34,45	0,6	0,8	Cúbica
BA-50-IF-DF-CP39	38	65,40	58,45	28,50	0,9	0,5	Cúbica
BA-50-IF-DF-CP40	38	87,55	46,45	31,80	0,5	0,7	Cúbica
BA-50-IF-DF-CP41	38	56,60	46,90	41,60	0,8	0,9	Cúbica
BA-50-IF-DF-CP42	38	72,10	46,40	33,00	0,6	0,7	Cúbica
BA-50-IF-DF-CP43	38	66,25	57,55	32,95	0,9	0,6	Cúbica
BA-50-IF-DF-CP44	38	66,70	53,00	40,45	0,8	0,8	Cúbica
BA-50-IF-DF-CP45	25	75,75	38,90	37,05	0,5	1,0	Cúbica
BA-50-IF-DF-CP46	25	75,60	48,25	31,35	0,6	0,6	Cúbica
BA-50-IF-DF-CP47	25	53,60	36,30	23,45	0,7	0,6	Cúbica
BA-50-IF-DF-CP48	25	57,10	32,30	19,00	0,6	0,6	Cúbica

Corpo de prova	Peneira (mm)	a (mm)	b (mm)	c (mm)	b/a	c/b	Classificação
BA-50-IF-DF-CP49	25	51,50	37,00	31,35	0,7	0,8	Cúbica
BA-50-IF-DF-CP50	25	54,55	48,00	15,20	0,9	0,3	Lamelar
BA-50-IF-DF-CP51	25	61,20	45,60	26,40	0,7	0,6	Cúbica
BA-50-IF-DF-CP52	25	41,80	40,20	32,30	1,0	0,8	Cúbica
BA-50-IF-DF-CP53	25	51,50	39,30	17,15	0,8	0,4	Lamelar
BA-50-IF-DF-CP54	25	56,75	31,20	31,00	0,5	1,0	Cúbica
BA-50-IF-DF-CP55	25	51,70	31,55	25,55	0,6	0,8	Cúbica
BA-50-IF-DF-CP56	25	41,50	31,00	20,45	0,7	0,7	Cúbica
BA-50-IF-DF-CP57	25	36,90	33,00	22,40	0,9	0,7	Cúbica
BA-50-IF-DF-CP58	25	65,80	33,50	25,20	0,5	0,8	Cúbica
BA-50-IF-DF-CP59	25	48,40	35,50	30,60	0,7	0,9	Cúbica
BA-50-IF-DF-CP60	25	50,00	39,80	19,35	0,8	0,5	Cúbica
BA-50-IF-DF-CP61	25	62,70	40,00	30,40	0,6	0,8	Cúbica
BA-50-IF-DF-CP62	25	34,80	34,40	15,95	1,0	0,5	Cúbica
BA-50-IF-DF-CP63	25	52,70	40,90	14,85	0,8	0,4	Lamelar
BA-50-IF-DF-CP64	25	51,80	48,15	23,75	0,9	0,5	Cúbica
BA-50-IF-DF-CP65	25	43,40	37,60	18,80	0,9	0,5	Cúbica
BA-50-IF-DF-CP66	25	50,00	42,85	23,40	0,9	0,5	Cúbica
BA-50-IF-DF-CP67	25	51,20	48,00	17,60	0,9	0,4	Lamelar
BA-50-IF-DF-CP68	25	45,05	34,40	31,85	0,8	0,9	Cúbica
BA-50-IF-DF-CP69	25	51,25	42,30	26,20	0,8	0,6	Cúbica
BA-50-IF-DF-CP70	25	49,95	41,20	21,20	0,8	0,5	Cúbica
BA-50-IF-DF-CP71	25	51,65	38,25	25,70	0,7	0,7	Cúbica
BA-50-IF-DF-CP72	25	51,85	34,15	16,20	0,7	0,5	Cúbica
BA-50-IF-DF-CP73	25	43,80	41,10	24,15	0,9	0,6	Cúbica
BA-50-IF-DF-CP74	25	43,30	38,60	18,30	0,9	0,5	Cúbica
BA-50-IF-DF-CP75	25	64,15	46,85	16,45	0,7	0,4	Lamelar
BA-50-IF-DF-CP76	25	39,10	34,55	22,10	0,9	0,6	Cúbica
BA-50-IF-DF-CP77	25	36,30	27,65	25,85	0,8	0,9	Cúbica
BA-50-IF-DF-CP78	19	46,35	28,50	18,60	0,6	0,7	Cúbica
BA-50-IF-DF-CP79	19	58,95	31,60	14,30	0,5	0,5	Cúbica
BA-50-IF-DF-CP80	19	40,75	29,60	13,00	0,7	0,4	Lamelar
BA-50-IF-DF-CP81	19	50,50	22,50	20,85	0,4	0,9	Alongada

Corpo de prova	Peneira (mm)	a (mm)	b (mm)	c (mm)	b/a	c/b	Classificação
BA-50-IF-DF-CP82	19	35,75	26,85	17,45	0,8	0,6	Cúbica
BA-50-IF-DF-CP83	19	40,20	22,20	17,55	0,6	0,8	Cúbica
BA-50-IF-DF-CP84	19	68,80	22,55	23,00	0,3	1,0	Alongada
BA-50-IF-DF-CP85	19	35,30	23,20	14,50	0,7	0,6	Cúbica
BA-50-IF-DF-CP86	19	36,15	29,05	27,65	0,8	1,0	Cúbica
BA-50-IF-DF-CP87	19	37,80	28,15	18,00	0,7	0,6	Cúbica
BA-50-IF-DF-CP88	19	40,25	25,70	18,50	0,6	0,7	Cúbica
BA-50-IF-DF-CP89	19	65,80	28,95	18,20	0,4	0,6	Alongada
BA-50-IF-DF-CP90	19	44,65	28,80	15,85	0,6	0,6	Cúbica
BA-50-IF-DF-CP91	19	33,35	30,10	10,80	0,9	0,4	Lamelar
BA-50-IF-DF-CP92	19	48,40	32,00	12,00	0,7	0,4	Lamelar
BA-50-IF-DF-CP93	19	53,60	28,55	18,35	0,5	0,6	Cúbica
BA-50-IF-DF-CP94	19	35,30	30,00	14,15	0,8	0,5	Cúbica
BA-50-IF-DF-CP95	19	50,70	29,80	18,65	0,6	0,6	Cúbica
BA-50-IF-DF-CP96	19	35,00	25,25	17,15	0,7	0,7	Cúbica
BA-50-IF-DF-CP97	19	32,55	29,35	13,20	0,9	0,4	Lamelar
BA-50-IF-DF-CP98	19	42,45	22,00	13,70	0,5	0,6	Cúbica
BA-50-IF-DF-CP99	19	39,30	33,00	17,65	0,8	0,5	Cúbica
BA-50-IF-DF-CP100	19	27,45	26,00	11,70	0,9	0,5	Cúbica

Tabela 21 – Dados do ensaio de determinação da forma do BA-75-IF-DF (arquivo pessoal)

Corpo de prova	Peneira (mm)	a (mm)	b (mm)	c (mm)	b/a	c/b	Classificação
BA-75-IF-DF-CP1	38	67,70	50,65	44,00	0,7	0,9	Cúbica
BA-75-IF-DF-CP2	38	73,00	50,80	22,15	0,7	0,4	Lamelar
BA-75-IF-DF-CP3	38	75,70	57,75	32,75	0,8	0,6	Cúbica
BA-75-IF-DF-CP4	38	61,30	53,85	40,65	0,9	0,8	Cúbica
BA-75-IF-DF-CP5	38	86,85	53,40	46,45	0,6	0,9	Cúbica
BA-75-IF-DF-CP6	38	69,40	62,35	42,25	0,9	0,7	Cúbica
BA-75-IF-DF-CP7	38	65,00	48,45	36,45	0,7	0,8	Cúbica
BA-75-IF-DF-CP8	38	85,30	44,10	22,60	0,5	0,5	Cúbica
BA-75-IF-DF-CP9	38	63,15	48,55	40,60	0,8	0,8	Cúbica

Corpo de prova	Peneira (mm)	a (mm)	b (mm)	c (mm)	b/a	c/b	Classificação
BA-75-IF-DF-CP10	38	56,55	51,90	17,25	0,9	0,3	Lamelar
BA-75-IF-DF-CP11	38	78,50	48,70	46,10	0,6	0,9	Cúbica
BA-75-IF-DF-CP12	38	78,70	54,80	44,80	0,7	0,8	Cúbica
BA-75-IF-DF-CP13	38	78,70	62,45	47,65	0,8	0,8	Cúbica
BA-75-IF-DF-CP14	38	73,45	52,20	29,95	0,7	0,6	Cúbica
BA-75-IF-DF-CP15	38	59,50	45,40	23,95	0,8	0,5	Cúbica
BA-75-IF-DF-CP16	38	68,05	52,35	34,10	0,8	0,7	Cúbica
BA-75-IF-DF-CP17	38	74,00	48,40	22,30	0,7	0,5	Cúbica
BA-75-IF-DF-CP18	38	73,45	57,55	41,90	0,8	0,7	Cúbica
BA-75-IF-DF-CP19	38	60,80	54,90	36,00	0,9	0,7	Cúbica
BA-75-IF-DF-CP20	38	104,20	40,55	30,80	0,4	0,8	Alongada
BA-75-IF-DF-CP21	38	44,80	40,50	33,75	0,9	0,8	Cúbica
BA-75-IF-DF-CP22	38	87,90	54,10	28,95	0,6	0,5	Cúbica
BA-75-IF-DF-CP23	38	62,85	46,10	37,70	0,7	0,8	Cúbica
BA-75-IF-DF-CP24	38	119,00	44,40	39,20	0,4	0,9	Alongada
BA-75-IF-DF-CP25	38	65,35	42,80	35,50	0,7	0,8	Cúbica
BA-75-IF-DF-CP26	38	66,95	47,40	22,55	0,7	0,5	Cúbica
BA-75-IF-DF-CP27	38	79,55	47,15	37,05	0,6	0,8	Cúbica
BA-75-IF-DF-CP28	38	45,65	39,40	39,25	0,9	1,0	Cúbica
BA-75-IF-DF-CP29	38	66,30	48,10	36,85	0,7	0,8	Cúbica
BA-75-IF-DF-CP30	38	103,45	67,60	15,70	0,7	0,2	Lamelar
BA-75-IF-DF-CP31	38	59,70	50,00	25,00	0,8	0,5	Cúbica
BA-75-IF-DF-CP32	38	73,80	58,65	41,30	0,8	0,7	Cúbica
BA-75-IF-DF-CP33	38	105,90	41,85	26,00	0,4	0,6	Alongada
BA-75-IF-DF-CP34	38	61,50	49,90	39,45	0,8	0,8	Cúbica
BA-75-IF-DF-CP35	38	64,70	57,10	26,65	0,9	0,5	Cúbica
BA-75-IF-DF-CP36	38	63,15	45,85	36,80	0,7	0,8	Cúbica
BA-75-IF-DF-CP37	38	69,90	52,70	41,00	0,8	0,8	Cúbica
BA-75-IF-DF-CP38	38	105,00	46,30	38,55	0,4	0,8	Alongada
BA-75-IF-DF-CP39	38	57,60	38,80	39,05	0,7	1,0	Cúbica
BA-75-IF-DF-CP40	38	93,30	58,35	23,85	0,6	0,4	Lamelar
BA-75-IF-DF-CP41	38	56,85	46,50	38,50	0,8	0,8	Cúbica
BA-75-IF-DF-CP42	38	59,50	54,40	42,15	0,9	0,8	Cúbica

Corpo de prova	Peneira (mm)	a (mm)	b (mm)	c (mm)	b/a	c/b	Classificação
BA-75-IF-DF-CP43	38	63,65	52,80	22,45	0,8	0,4	Lamelar
BA-75-IF-DF-CP44	38	61,20	50,60	26,85	0,8	0,5	Cúbica
BA-75-IF-DF-CP45	38	73,55	50,70	40,60	0,7	0,8	Cúbica
BA-75-IF-DF-CP46	25	99,25	35,95	29,45	0,4	0,8	Alongada
BA-75-IF-DF-CP47	25	48,15	38,25	28,60	0,8	0,7	Cúbica
BA-75-IF-DF-CP48	25	38,50	35,00	23,40	0,9	0,7	Cúbica
BA-75-IF-DF-CP49	25	51,45	44,40	18,90	0,9	0,4	Lamelar
BA-75-IF-DF-CP50	25	50,35	33,40	24,80	0,7	0,7	Cúbica
BA-75-IF-DF-CP51	25	53,30	47,70	29,15	0,9	0,6	Cúbica
BA-75-IF-DF-CP52	25	50,65	40,30	30,10	0,8	0,7	Cúbica
BA-75-IF-DF-CP53	25	52,80	29,40	25,45	0,6	0,9	Cúbica
BA-75-IF-DF-CP54	25	51,50	42,90	23,80	0,8	0,6	Cúbica
BA-75-IF-DF-CP55	25	78,50	43,00	29,75	0,5	0,7	Cúbica
BA-75-IF-DF-CP56	25	57,50	46,00	27,20	0,8	0,6	Cúbica
BA-75-IF-DF-CP57	25	43,60	39,65	28,80	0,9	0,7	Cúbica
BA-75-IF-DF-CP58	25	45,85	37,65	35,95	0,8	1,0	Cúbica
BA-75-IF-DF-CP59	25	45,50	44,45	37,70	1,0	0,8	Cúbica
BA-75-IF-DF-CP60	25	67,60	32,70	27,10	0,5	0,8	Cúbica
BA-75-IF-DF-CP61	25	52,30	38,80	23,75	0,7	0,6	Cúbica
BA-75-IF-DF-CP62	25	62,05	33,00	27,95	0,5	0,8	Cúbica
BA-75-IF-DF-CP63	25	41,40	32,45	30,10	0,8	0,9	Cúbica
BA-75-IF-DF-CP64	25	48,60	43,45	22,30	0,9	0,5	Cúbica
BA-75-IF-DF-CP65	25	51,70	50,25	12,70	1,0	0,3	Lamelar
BA-75-IF-DF-CP66	25	52,05	33,70	25,60	0,6	0,8	Cúbica
BA-75-IF-DF-CP67	25	46,75	44,25	15,55	0,9	0,4	Lamelar
BA-75-IF-DF-CP68	25	40,15	31,55	25,00	0,8	0,8	Cúbica
BA-75-IF-DF-CP69	25	55,35	39,35	24,10	0,7	0,6	Cúbica
BA-75-IF-DF-CP70	25	38,10	30,25	22,40	0,8	0,7	Cúbica
BA-75-IF-DF-CP71	25	37,05	39,00	19,40	1,1	0,5	Cúbica
BA-75-IF-DF-CP72	25	50,05	35,75	18,55	0,7	0,5	Cúbica
BA-75-IF-DF-CP73	25	46,95	33,15	19,30	0,7	0,6	Cúbica
BA-75-IF-DF-CP74	25	35,60	35,10	21,85	1,0	0,6	Cúbica
BA-75-IF-DF-CP75	25	43,30	32,05	22,05	0,7	0,7	Cúbica

Corpo de prova	Peneira (mm)	a (mm)	b (mm)	c (mm)	b/a	c/b	Classificação
BA-75-IF-DF-CP76	25	54,15	36,15	11,00	0,7	0,3	Lamelar
BA-75-IF-DF-CP77	25	39,25	31,00	22,95	0,8	0,7	Cúbica
BA-75-IF-DF-CP78	19	45,15	25,95	25,10	0,6	1,0	Cúbica
BA-75-IF-DF-CP79	19	44,90	31,65	13,90	0,7	0,4	Lamelar
BA-75-IF-DF-CP80	19	39,65	29,10	15,20	0,7	0,5	Cúbica
BA-75-IF-DF-CP81	19	28,70	24,65	11,55	0,9	0,5	Cúbica
BA-75-IF-DF-CP82	19	39,00	28,40	23,40	0,7	0,8	Cúbica
BA-75-IF-DF-CP83	19	44,00	33,70	23,55	0,8	0,7	Cúbica
BA-75-IF-DF-CP84	19	40,00	25,40	20,60	0,6	0,8	Cúbica
BA-75-IF-DF-CP85	19	42,45	33,80	22,40	0,8	0,7	Cúbica
BA-75-IF-DF-CP86	19	38,70	21,65	15,10	0,6	0,7	Cúbica
BA-75-IF-DF-CP87	19	31,70	22,85	14,15	0,7	0,6	Cúbica
BA-75-IF-DF-CP88	19	35,70	21,65	19,00	0,6	0,9	Cúbica
BA-75-IF-DF-CP89	19	30,00	24,90	15,20	0,8	0,6	Cúbica
BA-75-IF-DF-CP90	19	29,70	27,45	15,20	0,9	0,6	Cúbica
BA-75-IF-DF-CP91	19	35,10	26,50	24,70	0,8	0,9	Cúbica
BA-75-IF-DF-CP92	19	59,00	26,30	20,70	0,4	0,8	Alongada
BA-75-IF-DF-CP93	19	29,45	24,00	14,20	0,8	0,6	Cúbica
BA-75-IF-DF-CP94	19	31,20	27,00	19,00	0,9	0,7	Cúbica
BA-75-IF-DF-CP95	19	29,75	24,10	17,30	0,8	0,7	Cúbica
BA-75-IF-DF-CP96	19	35,60	28,85	10,50	0,8	0,4	Lamelar
BA-75-IF-DF-CP97	19	44,05	32,00	17,80	0,7	0,6	Cúbica
BA-75-IF-DF-CP98	19	33,10	25,50	15,80	0,8	0,6	Cúbica
BA-75-IF-DF-CP99	19	32,20	22,25	21,35	0,7	1,0	Cúbica
BA-75-IF-DF-CP100	19	34,45	28,20	13,05	0,8	0,5	Cúbica

Tabela 22 – Dados do ensaio de determinação da forma do BA-20-IQ-DF (arquivo pessoal).

Corpo de prova	Peneira (mm)	a (mm)	b (mm)	c (mm)	b/a	c/b	Classificação
BA-20-IQ-DF-CP1	38	89,50	46,90	24,70	0,5	0,5	Cúbica
BA-20-IQ-DF-CP2	38	76,70	48,40	29,65	0,6	0,6	Cúbica

Corpo de prova	Peneira (mm)	a (mm)	b (mm)	c (mm)	b/a	c/b	Classificação
BA-20-IQ-DF-CP3	38	75,30	41,60	39,80	0,6	1,0	Cúbica
BA-20-IQ-DF-CP4	38	69,25	48,10	33,40	0,7	0,7	Cúbica
BA-20-IQ-DF-CP5	38	50,50	46,10	38,10	0,9	0,8	Cúbica
BA-20-IQ-DF-CP6	38	76,60	52,20	28,10	0,7	0,5	Cúbica
BA-20-IQ-DF-CP7	38	69,00	56,30	28,00	0,8	0,5	Cúbica
BA-20-IQ-DF-CP8	38	67,40	51,40	23,30	0,8	0,5	Cúbica
BA-20-IQ-DF-CP9	38	64,00	44,90	32,40	0,7	0,7	Cúbica
BA-20-IQ-DF-CP10	38	100,50	44,30	30,00	0,4	0,7	Alongada
BA-20-IQ-DF-CP11	38	46,80	46,60	22,90	1,0	0,5	Cúbica
BA-20-IQ-DF-CP12	38	77,70	59,60	28,60	0,8	0,5	Cúbica
BA-20-IQ-DF-CP13	38	73,40	65,50	34,20	0,9	0,5	Cúbica
BA-20-IQ-DF-CP14	38	68,20	50,00	25,50	0,7	0,5	Cúbica
BA-20-IQ-DF-CP15	38	59,50	53,40	24,40	0,9	0,5	Cúbica
BA-20-IQ-DF-CP16	38	71,20	50,00	20,00	0,7	0,4	Lamelar
BA-20-IQ-DF-CP17	38	71,30	50,70	27,35	0,7	0,5	Cúbica
BA-20-IQ-DF-CP18	38	69,45	45,05	34,55	0,6	0,8	Cúbica
BA-20-IQ-DF-CP19	38	61,40	58,10	28,70	0,9	0,5	Cúbica
BA-20-IQ-DF-CP20	38	65,80	65,35	24,75	1,0	0,4	Lamelar
BA-20-IQ-DF-CP21	38	71,45	49,65	36,00	0,7	0,7	Cúbica
BA-20-IQ-DF-CP22	38	60,00	46,00	21,80	0,8	0,5	Cúbica
BA-20-IQ-DF-CP23	38	71,25	58,25	15,00	0,8	0,3	Lamelar
BA-20-IQ-DF-CP24	38	64,00	48,45	46,50	0,8	1,0	Cúbica
BA-20-IQ-DF-CP25	38	59,10	47,35	33,70	0,8	0,7	Cúbica
BA-20-IQ-DF-CP26	38	73,25	52,20	25,20	0,7	0,5	Cúbica
BA-20-IQ-DF-CP27	38	74,30	40,60	32,20	0,5	0,8	Cúbica
BA-20-IQ-DF-CP28	38	65,55	50,60	23,70	0,8	0,5	Cúbica
BA-20-IQ-DF-CP29	38	58,30	47,25	44,00	0,8	0,9	Cúbica
BA-20-IQ-DF-CP30	38	59,35	51,20	33,80	0,9	0,7	Cúbica
BA-20-IQ-DF-CP31	38	69,20	46,00	25,00	0,7	0,5	Cúbica
BA-20-IQ-DF-CP32	38	61,75	44,10	27,25	0,7	0,6	Cúbica
BA-20-IQ-DF-CP33	38	71,00	57,00	44,00	0,8	0,8	Cúbica
BA-20-IQ-DF-CP34	38	57,10	40,00	39,25	0,7	1,0	Cúbica
BA-20-IQ-DF-CP35	38	65,00	56,50	19,80	0,9	0,4	Lamelar

Corpo de prova	Peneira (mm)	a (mm)	b (mm)	c (mm)	b/a	c/b	Classificação
BA-20-IQ-DF-CP36	25	70,20	30,20	24,60	0,4	0,8	Alongada
BA-20-IQ-DF-CP37	25	57,00	45,40	16,00	0,8	0,4	Lamelar
BA-20-IQ-DF-CP38	25	51,90	33,80	17,60	0,7	0,5	Cúbica
BA-20-IQ-DF-CP39	25	72,50	44,20	24,50	0,6	0,6	Cúbica
BA-20-IQ-DF-CP40	25	57,30	45,00	32,10	0,8	0,7	Cúbica
BA-20-IQ-DF-CP41	25	71,50	35,00	23,00	0,5	0,7	Cúbica
BA-20-IQ-DF-CP42	25	66,10	41,30	31,30	0,6	0,8	Cúbica
BA-20-IQ-DF-CP43	25	72,90	45,60	25,50	0,6	0,6	Cúbica
BA-20-IQ-DF-CP44	25	54,90	42,30	19,40	0,8	0,5	Cúbica
BA-20-IQ-DF-CP45	25	55,20	47,50	19,40	0,9	0,4	Lamelar
BA-20-IQ-DF-CP46	25	64,70	43,40	21,60	0,7	0,5	Cúbica
BA-20-IQ-DF-CP47	25	53,00	33,40	33,00	0,6	1,0	Cúbica
BA-20-IQ-DF-CP48	25	50,90	36,30	22,30	0,7	0,6	Cúbica
BA-20-IQ-DF-CP49	25	51,80	37,60	21,60	0,7	0,6	Cúbica
BA-20-IQ-DF-CP50	25	56,00	33,00	24,30	0,6	0,7	Cúbica
BA-20-IQ-DF-CP51	25	49,10	31,10	26,90	0,6	0,9	Cúbica
BA-20-IQ-DF-CP52	25	51,30	37,60	21,20	0,7	0,6	Cúbica
BA-20-IQ-DF-CP53	25	55,20	41,60	33,60	0,8	0,8	Cúbica
BA-20-IQ-DF-CP54	25	46,30	31,70	15,60	0,7	0,5	Cúbica
BA-20-IQ-DF-CP55	25	51,60	46,70	31,90	0,9	0,7	Cúbica
BA-20-IQ-DF-CP56	25	56,50	35,50	19,30	0,6	0,5	Cúbica
BA-20-IQ-DF-CP57	25	51,30	39,00	19,90	0,8	0,5	Cúbica
BA-20-IQ-DF-CP58	25	42,60	32,00	23,30	0,8	0,7	Cúbica
BA-20-IQ-DF-CP59	25	34,90	26,70	22,55	0,8	0,8	Cúbica
BA-20-IQ-DF-CP60	25	60,00	34,40	18,50	0,6	0,5	Cúbica
BA-20-IQ-DF-CP61	25	44,85	36,00	13,00	0,8	0,4	Lamelar
BA-20-IQ-DF-CP62	25	63,60	40,00	28,90	0,6	0,7	Cúbica
BA-20-IQ-DF-CP63	25	48,00	35,00	14,00	0,7	0,4	Lamelar
BA-20-IQ-DF-CP64	25	48,85	36,20	28,40	0,7	0,8	Cúbica
BA-20-IQ-DF-CP65	25	44,55	40,70	15,00	0,9	0,4	Lamelar
BA-20-IQ-DF-CP66	25	43,50	30,00	23,70	0,7	0,8	Cúbica
BA-20-IQ-DF-CP67	25	40,90	38,00	28,65	0,9	0,8	Cúbica
BA-20-IQ-DF-CP68	25	46,65	38,50	21,75	0,8	0,6	Cúbica

Corpo de prova	Peneira (mm)	a (mm)	b (mm)	c (mm)	b/a	c/b	Classificação
BA-20-IQ-DF-CP69	25	49,65	32,70	20,10	0,7	0,6	Cúbica
BA-20-IQ-DF-CP70	25	42,00	32,00	25,50	0,8	0,8	Cúbica
BA-20-IQ-DF-CP71	25	41,70	38,50	16,00	0,9	0,4	Lamelar
BA-20-IQ-DF-CP72	25	41,80	38,60	24,95	0,9	0,6	Cúbica
BA-20-IQ-DF-CP73	25	41,60	32,00	19,00	0,8	0,6	Cúbica
BA-20-IQ-DF-CP74	25	40,80	37,70	29,00	0,9	0,8	Cúbica
BA-20-IQ-DF-CP75	25	40,50	28,90	22,70	0,7	0,8	Cúbica
BA-20-IQ-DF-CP76	25	37,50	32,00	21,50	0,9	0,7	Cúbica
BA-20-IQ-DF-CP77	25	36,00	35,00	17,70	1,0	0,5	Cúbica
BA-20-IQ-DF-CP78	25	37,00	31,00	14,70	0,8	0,5	Cúbica
BA-20-IQ-DF-CP79	19	41,30	32,80	13,80	0,8	0,4	Lamelar
BA-20-IQ-DF-CP80	19	45,00	23,00	15,60	0,5	0,7	Cúbica
BA-20-IQ-DF-CP81	19	44,90	23,80	17,70	0,5	0,7	Cúbica
BA-20-IQ-DF-CP82	19	44,60	30,80	6,80	0,7	0,2	Lamelar
BA-20-IQ-DF-CP83	19	32,50	23,30	16,90	0,7	0,7	Cúbica
BA-20-IQ-DF-CP84	19	39,40	27,50	11,55	0,7	0,4	Lamelar
BA-20-IQ-DF-CP85	19	45,25	29,00	11,90	0,6	0,4	Lamelar
BA-20-IQ-DF-CP86	19	53,90	21,30	13,00	0,4	0,6	Alongada
BA-20-IQ-DF-CP87	19	54,00	27,50	13,30	0,5	0,5	Cúbica
BA-20-IQ-DF-CP88	19	55,90	28,00	15,00	0,5	0,5	Cúbica
BA-20-IQ-DF-CP89	19	43,30	26,00	14,00	0,6	0,5	Cúbica
BA-20-IQ-DF-CP90	19	50,40	21,55	15,50	0,4	0,7	Alongada
BA-20-IQ-DF-CP91	19	45,00	24,50	23,00	0,5	0,9	Cúbica
BA-20-IQ-DF-CP92	19	44,25	31,20	10,00	0,7	0,3	Lamelar
BA-20-IQ-DF-CP93	19	48,30	22,71	10,00	0,5	0,4	Lamelar
BA-20-IQ-DF-CP94	19	49,30	30,40	17,60	0,6	0,6	Cúbica
BA-20-IQ-DF-CP95	19	44,00	30,60	13,00	0,7	0,4	Lamelar
BA-20-IQ-DF-CP96	19	40,70	31,00	14,00	0,8	0,5	Cúbica
BA-20-IQ-DF-CP97	19	42,40	23,50	20,70	0,6	0,9	Cúbica
BA-20-IQ-DF-CP98	19	33,60	28,00	19,30	0,8	0,7	Cúbica
BA-20-IQ-DF-CP99	19	56,00	27,00	5,55	0,5	0,2	Lamelar
BA-20-IQ-DF-CP100	19	40,40	24,60	13,30	0,6	0,5	Cúbica

Tabela 23 – Dados do ensaio de determinação da forma do BA-40-IQ-DF (arquivo pessoal).

Corpo de prova	Peneira (mm)	a (mm)	b (mm)	c (mm)	b/a	c/b	Classificação
BA-40-IQ-DF-CP1	38	62,45	56,85	31,15	0,9	0,5	Cúbica
BA-40-IQ-DF-CP2	38	72,90	38,05	30,95	0,5	0,8	Cúbica
BA-40-IQ-DF-CP3	38	124,70	49,70	27,25	0,4	0,5	Alongada
BA-40-IQ-DF-CP4	38	88,05	49,65	37,00	0,6	0,7	Cúbica
BA-40-IQ-DF-CP5	38	71,75	51,80	36,70	0,7	0,7	Cúbica
BA-40-IQ-DF-CP6	38	81,50	52,90	47,20	0,6	0,9	Cúbica
BA-40-IQ-DF-CP7	38	90,20	46,30	30,50	0,5	0,7	Cúbica
BA-40-IQ-DF-CP8	38	70,05	57,80	15,90	0,8	0,3	Lamelar
BA-40-IQ-DF-CP9	38	74,30	60,20	36,00	0,8	0,6	Cúbica
BA-40-IQ-DF-CP10	38	49,60	44,60	38,80	0,9	0,9	Cúbica
BA-40-IQ-DF-CP11	38	68,05	62,10	34,00	0,9	0,5	Cúbica
BA-40-IQ-DF-CP12	38	61,70	50,75	37,65	0,8	0,7	Cúbica
BA-40-IQ-DF-CP13	38	75,65	48,55	43,20	0,6	0,9	Cúbica
BA-40-IQ-DF-CP14	38	56,90	45,80	31,75	0,8	0,7	Cúbica
BA-40-IQ-DF-CP15	38	56,90	45,50	40,10	0,8	0,9	Cúbica
BA-40-IQ-DF-CP16	38	58,10	52,10	33,45	0,9	0,6	Cúbica
BA-40-IQ-DF-CP17	38	69,05	52,55	24,15	0,8	0,5	Cúbica
BA-40-IQ-DF-CP18	38	64,60	57,00	33,65	0,9	0,6	Cúbica
BA-40-IQ-DF-CP19	38	51,55	47,50	36,60	0,9	0,8	Cúbica
BA-40-IQ-DF-CP20	38	54,05	51,10	40,00	0,9	0,8	Cúbica
BA-40-IQ-DF-CP21	38	62,10	45,40	17,15	0,7	0,4	Lamelar
BA-40-IQ-DF-CP22	38	78,90	59,70	32,30	0,8	0,5	Cúbica
BA-40-IQ-DF-CP23	38	77,60	55,70	26,10	0,7	0,5	Cúbica
BA-40-IQ-DF-CP24	38	71,95	47,10	45,90	0,7	1,0	Cúbica
BA-40-IQ-DF-CP25	38	66,60	53,85	28,20	0,8	0,5	Cúbica
BA-40-IQ-DF-CP26	38	66,90	47,05	30,10	0,7	0,6	Cúbica
BA-40-IQ-DF-CP27	38	63,70	42,20	31,10	0,7	0,7	Cúbica
BA-40-IQ-DF-CP28	38	50,10	43,00	40,25	0,9	0,9	Cúbica
BA-40-IQ-DF-CP29	38	91,00	52,85	37,65	0,6	0,7	Cúbica
BA-40-IQ-DF-CP30	38	58,00	39,80	36,70	0,7	0,9	Cúbica

Corpo de prova	Peneira (mm)	a (mm)	b (mm)	c (mm)	b/a	c/b	Classificação
BA-40-IQ-DF-CP31	38	65,30	58,05	34,80	0,9	0,6	Cúbica
BA-40-IQ-DF-CP32	38	73,50	51,50	31,10	0,7	0,6	Cúbica
BA-40-IQ-DF-CP33	38	93,50	53,60	36,10	0,6	0,7	Cúbica
BA-40-IQ-DF-CP34	38	58,00	40,25	31,05	0,7	0,8	Cúbica
BA-40-IQ-DF-CP35	38	62,95	53,85	37,60	0,9	0,7	Cúbica
BA-40-IQ-DF-CP36	38	57,15	56,70	36,35	1,0	0,6	Cúbica
BA-40-IQ-DF-CP37	25	47,10	45,90	13,65	1,0	0,3	Lamelar
BA-40-IQ-DF-CP38	25	55,50	36,70	27,55	0,7	0,8	Cúbica
BA-40-IQ-DF-CP39	25	60,60	36,20	35,55	0,6	1,0	Cúbica
BA-40-IQ-DF-CP40	25	52,10	44,60	11,60	0,9	0,3	Lamelar
BA-40-IQ-DF-CP41	25	40,45	36,70	25,90	0,9	0,7	Cúbica
BA-40-IQ-DF-CP42	25	47,90	30,95	21,40	0,6	0,7	Cúbica
BA-40-IQ-DF-CP43	25	58,00	37,10	26,40	0,6	0,7	Cúbica
BA-40-IQ-DF-CP44	25	55,20	46,30	24,60	0,8	0,5	Cúbica
BA-40-IQ-DF-CP45	25	72,10	30,00	20,20	0,4	0,7	Alongada
BA-40-IQ-DF-CP46	25	40,90	35,70	17,80	0,9	0,5	Cúbica
BA-40-IQ-DF-CP47	25	46,40	32,00	19,20	0,7	0,6	Cúbica
BA-40-IQ-DF-CP48	25	37,20	32,50	11,70	0,9	0,4	Lamelar
BA-40-IQ-DF-CP49	25	70,20	41,10	34,00	0,6	0,8	Cúbica
BA-40-IQ-DF-CP50	25	53,80	26,70	21,00	0,5	0,8	Cúbica
BA-40-IQ-DF-CP51	25	44,70	27,65	27,30	0,6	1,0	Cúbica
BA-40-IQ-DF-CP52	25	44,70	33,15	16,50	0,7	0,5	Cúbica
BA-40-IQ-DF-CP53	25	49,30	35,00	28,15	0,7	0,8	Cúbica
BA-40-IQ-DF-CP54	25	41,05	38,60	14,10	0,9	0,4	Lamelar
BA-40-IQ-DF-CP55	25	65,10	61,20	19,15	0,9	0,3	Lamelar
BA-40-IQ-DF-CP56	25	63,30	37,05	24,70	0,6	0,7	Cúbica
BA-40-IQ-DF-CP57	25	71,10	38,00	22,40	0,5	0,6	Cúbica
BA-40-IQ-DF-CP58	25	43,65	41,25	26,10	0,9	0,6	Cúbica
BA-40-IQ-DF-CP59	25	59,65	33,20	17,15	0,6	0,5	Cúbica
BA-40-IQ-DF-CP60	25	52,50	33,75	26,70	0,6	0,8	Cúbica
BA-40-IQ-DF-CP61	25	54,85	32,35	19,80	0,6	0,6	Cúbica
BA-40-IQ-DF-CP62	25	70,85	39,25	25,45	0,6	0,6	Cúbica
BA-40-IQ-DF-CP63	25	68,00	35,9	34,00	0,5	0,9	Cúbica

Corpo de prova	Peneira (mm)	a (mm)	b (mm)	c (mm)	b/a	c/b	Classificação
BA-40-IQ-DF-CP64	25	55,70	38,40	19,40	0,7	0,5	Cúbica
BA-40-IQ-DF-CP65	25	41,05	35,00	14,50	0,9	0,4	Lamelar
BA-40-IQ-DF-CP66	25	52,80	42,70	21,30	0,8	0,5	Cúbica
BA-40-IQ-DF-CP67	25	41,70	29,00	26,20	0,7	0,9	Cúbica
BA-40-IQ-DF-CP68	25	44,60	43,05	16,55	1,0	0,4	Lamelar
BA-40-IQ-DF-CP69	25	40,70	38,65	17,90	0,9	0,5	Cúbica
BA-40-IQ-DF-CP70	25	38,00	36,00	20,60	0,9	0,6	Cúbica
BA-40-IQ-DF-CP71	25	50,90	27,90	19,15	0,5	0,7	Cúbica
BA-40-IQ-DF-CP72	25	49,65	45,90	12,35	0,9	0,3	Lamelar
BA-40-IQ-DF-CP73	19	30,00	23,85	17,70	0,8	0,7	Cúbica
BA-40-IQ-DF-CP74	19	51,15	25,70	12,50	0,5	0,5	Cúbica
BA-40-IQ-DF-CP75	19	52,60	31,70	9,40	0,6	0,3	Lamelar
BA-40-IQ-DF-CP76	19	57,45	29,00	11,20	0,5	0,4	Lamelar
BA-40-IQ-DF-CP77	19	36,60	27,65	16,00	0,8	0,6	Cúbica
BA-40-IQ-DF-CP78	19	43,50	25,50	11,90	0,6	0,5	Cúbica
BA-40-IQ-DF-CP79	19	37,15	27,05	14,00	0,7	0,5	Cúbica
BA-40-IQ-DF-CP80	19	42,40	31,00	10,85	0,7	0,4	Lamelar
BA-40-IQ-DF-CP81	19	45,30	25,85	23,65	0,6	0,9	Cúbica
BA-40-IQ-DF-CP82	19	40,40	29,65	8,30	0,7	0,3	Lamelar
BA-40-IQ-DF-CP83	19	42,60	27,80	14,90	0,7	0,5	Cúbica
BA-40-IQ-DF-CP84	19	37,10	21,80	17,65	0,6	0,8	Cúbica
BA-40-IQ-DF-CP85	19	40,80	22,60	18,90	0,6	0,8	Cúbica
BA-40-IQ-DF-CP86	19	37,65	33,90	10,10	0,9	0,3	Lamelar
BA-40-IQ-DF-CP87	19	64,45	36,10	16,80	0,6	0,5	Cúbica
BA-40-IQ-DF-CP88	19	50,65	29,20	18,85	0,6	0,6	Cúbica
BA-40-IQ-DF-CP89	19	56,20	32,70	9,55	0,6	0,3	Lamelar
BA-40-IQ-DF-CP90	19	34,00	32,10	16,85	0,9	0,5	Cúbica
BA-40-IQ-DF-CP91	19	36,30	28,05	6,75	0,8	0,2	Lamelar
BA-40-IQ-DF-CP92	19	42,10	21,15	16,10	0,5	0,8	Cúbica
BA-40-IQ-DF-CP93	19	49,70	25,70	14,70	0,5	0,6	Cúbica
BA-40-IQ-DF-CP94	19	54,75	30,30	13,80	0,6	0,5	Cúbica
BA-40-IQ-DF-CP95	19	41,60	25,10	15,15	0,6	0,6	Cúbica
BA-40-IQ-DF-CP96	19	25,75	18,90	17,80	0,7	0,9	Cúbica

Corpo de prova	Peneira (mm)	a (mm)	b (mm)	c (mm)	b/a	c/b	Classificação
BA-40-IQ-DF-CP97	19	39,60	29,05	14,40	0,7	0,5	Cúbica
BA-40-IQ-DF-CP98	19	38,40	22,00	12,30	0,6	0,6	Cúbica
BA-40-IQ-DF-CP99	19	40,75	22,40	20,95	0,5	0,9	Cúbica
BA-40-IQ-DF-CP100	19	34,05	27,65	14,90	0,8	0,5	Cúbica

Tabela 24 – Dados do ensaio de determinação da forma do GN-00-DF (arquivo pessoal).

Corpo de prova	Peneira (mm)	a (mm)	b (mm)	c (mm)	b/a	c/b	Classificação
GN-00-DF-CP1	63	94,75	67,70	66,10	0,7	1,0	Cúbica
GN-00-DF-CP2	50	83,35	76,80	36,10	0,9	0,5	Cúbica
GN-00-DF-CP3	50	110,70	59,10	34,45	0,5	0,6	Cúbica
GN-00-DF-CP4	50	97,95	58,90	52,45	0,6	0,9	Cúbica
GN-00-DF-CP5	50	93,55	64,50	19,30	0,7	0,3	Lamelar
GN-00-DF-CP6	50	111,15	73,45	33,70	0,7	0,5	Cúbica
GN-00-DF-CP7	50	80,30	61,20	30,40	0,8	0,5	Cúbica
GN-00-DF-CP8	50	90,65	50,35	45,00	0,6	0,9	Cúbica
GN-00-DF-CP9	50	68,70	55,00	35,05	0,8	0,6	Cúbica
GN-00-DF-CP10	50	70,65	58,05	28,80	0,8	0,5	Cúbica
GN-00-DF-CP11	50	70,40	52,40	49,95	0,7	1,0	Cúbica
GN-00-DF-CP12	50	68,80	59,20	53,65	0,9	0,9	Cúbica
GN-00-DF-CP13	50	72,05	61,70	30,70	0,9	0,5	Cúbica
GN-00-DF-CP14	50	83,40	51,80	43,20	0,6	0,8	Cúbica
GN-00-DF-CP15	38	60,80	45,20	25,95	0,7	0,6	Cúbica
GN-00-DF-CP16	38	74,50	52,30	34,40	0,7	0,7	Cúbica
GN-00-DF-CP17	38	75,65	50,30	26,70	0,7	0,5	Cúbica
GN-00-DF-CP18	38	54,50	50,40	35,60	0,9	0,7	Cúbica
GN-00-DF-CP19	38	56,30	44,00	21,35	0,8	0,5	Cúbica
GN-00-DF-CP20	38	89,70	50,30	25,85	0,6	0,5	Cúbica
GN-00-DF-CP21	38	55,70	43,65	30,55	0,8	0,7	Cúbica
GN-00-DF-CP22	38	54,45	40,60	25,60	0,7	0,6	Cúbica
GN-00-DF-CP23	38	51,00	42,85	18,15	0,8	0,4	Lamelar

Corpo de prova	Peneira (mm)	a (mm)	b (mm)	c (mm)	b/a	c/b	Classificação
GN-00-DF-CP24	38	72,40	46,40	41,15	0,6	0,9	Cúbica
GN-00-DF-CP25	38	82,40	56,90	21,40	0,7	0,4	Lamelar
GN-00-DF-CP26	38	60,05	40,30	38,45	0,7	1,0	Cúbica
GN-00-DF-CP27	38	49,30	44,80	40,20	0,9	0,9	Cúbica
GN-00-DF-CP28	38	48,65	48,10	28,85	1,0	0,6	Cúbica
GN-00-DF-CP29	38	78,20	57,00	45,10	0,7	0,8	Cúbica
GN-00-DF-CP30	38	52,45	46,20	38,10	0,9	0,8	Cúbica
GN-00-DF-CP31	38	72,65	46,85	40,60	0,6	0,9	Cúbica
GN-00-DF-CP32	38	60,40	48,10	43,30	0,8	0,9	Cúbica
GN-00-DF-CP33	38	77,80	51,00	27,20	0,7	0,5	Cúbica
GN-00-DF-CP34	38	55,30	53,20	18,40	1,0	0,3	Lamelar
GN-00-DF-CP35	38	63,65	44,40	33,55	0,7	0,8	Cúbica
GN-00-DF-CP36	38	76,90	48,30	40,00	0,6	0,8	Cúbica
GN-00-DF-CP37	38	68,80	51,30	18,05	0,7	0,4	Lamelar
GN-00-DF-CP38	38	52,90	49,90	17,65	0,9	0,4	Lamelar
GN-00-DF-CP39	38	53,05	51,40	35,00	1,0	0,7	Cúbica
GN-00-DF-CP40	38	54,00	44,20	23,80	0,8	0,5	Cúbica
GN-00-DF-CP41	25	79,65	29,00	28,20	0,4	1,0	Alongada
GN-00-DF-CP42	25	72,60	35,85	32,25	0,5	0,9	Cúbica
GN-00-DF-CP43	25	77,40	43,05	25,15	0,6	0,6	Cúbica
GN-00-DF-CP44	25	55,10	42,00	20,00	0,8	0,5	Cúbica
GN-00-DF-CP45	25	59,70	42,95	16,90	0,7	0,4	Lamelar
GN-00-DF-CP46	25	45,80	31,60	20,10	0,7	0,6	Cúbica
GN-00-DF-CP47	25	63,60	44,05	15,55	0,7	0,4	Lamelar
GN-00-DF-CP48	25	107,60	45,35	24,70	0,4	0,5	Alongada
GN-00-DF-CP49	25	61,50	48,10	16,50	0,8	0,3	Lamelar
GN-00-DF-CP50	25	50,25	41,15	26,80	0,8	0,7	Cúbica
GN-00-DF-CP51	25	68,30	42,55	10,30	0,6	0,2	Lamelar
GN-00-DF-CP52	25	44,85	39,55	15,65	0,9	0,4	Lamelar
GN-00-DF-CP53	25	48,70	40,35	24,60	0,8	0,6	Cúbica
GN-00-DF-CP54	25	43,60	40,00	22,85	0,9	0,6	Cúbica
GN-00-DF-CP55	25	52,45	39,95	10,30	0,8	0,3	Lamelar
GN-00-DF-CP56	25	74,00	39,10	11,40	0,5	0,3	Lamelar

Corpo de prova	Peneira (mm)	a (mm)	b (mm)	c (mm)	b/a	c/b	Classificação
GN-00-DF-CP57	25	74,85	45,55	14,05	0,6	0,3	Lamelar
GN-00-DF-CP58	25	64,20	40,50	21,50	0,6	0,5	Cúbica
GN-00-DF-CP59	25	49,15	39,15	28,15	0,8	0,7	Cúbica
GN-00-DF-CP60	25	56,05	49,50	22,30	0,9	0,5	Cúbica
GN-00-DF-CP61	25	52,45	40,50	19,00	0,8	0,5	Cúbica
GN-00-DF-CP62	25	35,25	35,05	20,55	1,0	0,6	Cúbica
GN-00-DF-CP63	25	46,10	32,10	21,20	0,7	0,7	Cúbica
GN-00-DF-CP64	25	50,60	27,80	26,45	0,5	1,0	Cúbica
GN-00-DF-CP65	25	52,90	32,20	21,70	0,6	0,7	Cúbica
GN-00-DF-CP66	25	72,00	39,05	18,20	0,5	0,5	Cúbica
GN-00-DF-CP67	25	61,00	30,90	24,05	0,5	0,8	Cúbica
GN-00-DF-CP68	25	48,05	30,70	29,80	0,6	1,0	Cúbica
GN-00-DF-CP69	25	64,35	47,30	14,05	0,7	0,3	Lamelar
GN-00-DF-CP70	25	48,00	31,35	23,90	0,7	0,8	Cúbica
GN-00-DF-CP71	25	62,40	51,00	18,45	0,8	0,4	Lamelar
GN-00-DF-CP72	25	48,20	42,60	18,40	0,9	0,4	Lamelar
GN-00-DF-CP73	25	49,50	45,80	18,80	0,9	0,4	Lamelar
GN-00-DF-CP74	25	48,80	46,00	12,75	0,9	0,3	Lamelar
GN-00-DF-CP75	25	62,60	36,00	34,40	0,6	1,0	Cúbica
GN-00-DF-CP76	25	48,50	36,25	31,35	0,7	0,9	Cúbica
GN-00-DF-CP77	25	39,60	35,50	18,70	0,9	0,5	Cúbica
GN-00-DF-CP78	25	37,35	35,90	20,70	1,0	0,6	Cúbica
GN-00-DF-CP79	25	57,15	31,20	20,65	0,5	0,7	Cúbica
GN-00-DF-CP80	25	67,10	35,40	15,55	0,5	0,4	Lamelar
GN-00-DF-CP81	25	52,30	36,30	20,65	0,7	0,6	Cúbica
GN-00-DF-CP82	25	42,75	39,90	19,15	0,9	0,5	Cúbica
GN-00-DF-CP83	25	40,50	36,55	23,95	0,9	0,7	Cúbica
GN-00-DF-CP84	25	57,70	38,90	16,40	0,7	0,4	Lamelar
GN-00-DF-CP85	25	63,75	34,40	15,30	0,5	0,4	Lamelar
GN-00-DF-CP86	25	54,35	40,30	24,10	0,7	0,6	Cúbica
GN-00-DF-CP87	25	41,35	40,50	13,60	1,0	0,3	Lamelar
GN-00-DF-CP88	25	47,95	32,45	21,70	0,7	0,7	Cúbica
GN-00-DF-CP89	25	43,05	33,65	19,70	0,8	0,6	Cúbica

Corpo de prova	Peneira (mm)	a (mm)	b (mm)	c (mm)	b/a	c/b	Classificação
GN-00-DF-CP90	25	42,00	33,45	18,05	0,8	0,5	Cúbica
GN-00-DF-CP91	25	39,15	37,55	15,25	1,0	0,4	Lamelar
GN-00-DF-CP92	25	44,00	37,90	14,85	0,9	0,4	Lamelar
GN-00-DF-CP93	25	41,10	40,75	14,25	1,0	0,3	Lamelar
GN-00-DF-CP94	19	46,70	32,45	23,05	0,7	0,7	Cúbica
GN-00-DF-CP95	19	42,85	25,15	11,55	0,6	0,5	Cúbica
GN-00-DF-CP96	19	39,50	31,40	9,95	0,8	0,3	Lamelar
GN-00-DF-CP97	19	27,90	27,45	11,10	1,0	0,4	Lamelar
GN-00-DF-CP98	19	56,75	26,30	12,30	0,5	0,5	Cúbica
GN-00-DF-CP99	19	36,70	29,60	18,20	0,8	0,6	Cúbica
GN-00-DF-CP100	19	26,60	25,00	24,45	0,9	1,0	Cúbica

Tabela 25 – Determinação da forma do GN-25-IF-DF (arquivo pessoal).

Corpo de prova	Peneira (mm)	a (mm)	b (mm)	c (mm)	b/a	c/b	Classificação
GN-25-IF-DF-CP1	50	65,20	60,65	32,10	0,9	0,5	Cúbica
GN-25-IF-DF-CP2	50	75,35	65,10	33,10	0,9	0,5	Cúbica
GN-25-IF-DF-CP3	50	75,90	62,20	31,85	0,8	0,5	Cúbica
GN-25-IF-DF-CP4	50	84,20	63,50	38,10	0,8	0,6	Cúbica
GN-25-IF-DF-CP5	50	78,95	77,20	45,20	1,0	0,6	Cúbica
GN-25-IF-DF-CP6	50	88,00	54,80	54,00	0,6	1,0	Cúbica
GN-25-IF-DF-CP7	50	60,40	57,20	53,90	0,9	0,9	Cúbica
GN-25-IF-DF-CP8	50	64,05	60,20	40,60	0,9	0,7	Cúbica
GN-25-IF-DF-CP9	50	82,20	75,35	35,90	0,9	0,5	Cúbica
GN-25-IF-DF-CP10	50	59,35	59,15	54,15	1,0	0,9	Cúbica
GN-25-IF-DF-CP11	50	61,35	55,00	40,60	0,9	0,7	Cúbica
GN-25-IF-DF-CP12	50	79,75	72,00	58,10	0,9	0,8	Cúbica
GN-25-IF-DF-CP13	50	105,60	78,90	36,10	0,7	0,5	Cúbica
GN-25-IF-DF-CP14	38	68,00	50,85	24,20	0,7	0,5	Cúbica
GN-25-IF-DF-CP15	38	79,80	47,05	39,50	0,6	0,8	Cúbica
GN-25-IF-DF-CP16	38	70,00	46,50	28,45	0,7	0,6	Cúbica
GN-25-IF-DF-CP17	38	62,15	54,25	36,85	0,9	0,7	Cúbica

Corpo de prova	Peneira (mm)	a (mm)	b (mm)	c (mm)	b/a	c/b	Classificação
GN-25-IF-DF-CP18	38	71,45	64,80	25,00	0,9	0,4	Lamelar
GN-25-IF-DF-CP19	38	61,80	49,90	20,75	0,8	0,4	Lamelar
GN-25-IF-DF-CP20	38	73,90	41,70	38,30	0,6	0,9	Cúbica
GN-25-IF-DF-CP21	38	66,55	58,45	15,50	0,9	0,3	Lamelar
GN-25-IF-DF-CP22	38	47,90	44,40	30,40	0,9	0,7	Cúbica
GN-25-IF-DF-CP23	38	69,35	58,00	35,45	0,8	0,6	Cúbica
GN-25-IF-DF-CP24	38	43,50	43,00	22,60	1,0	0,5	Cúbica
GN-25-IF-DF-CP25	38	58,05	48,15	14,70	0,8	0,3	Lamelar
GN-25-IF-DF-CP26	38	59,95	53,35	29,90	0,9	0,6	Cúbica
GN-25-IF-DF-CP27	38	55,05	48,90	24,20	0,9	0,5	Cúbica
GN-25-IF-DF-CP28	38	49,75	42,25	40,10	0,8	0,9	Cúbica
GN-25-IF-DF-CP29	38	48,30	41,75	27,50	0,9	0,7	Cúbica
GN-25-IF-DF-CP30	38	61,40	55,00	43,55	0,9	0,8	Cúbica
GN-25-IF-DF-CP31	38	64,70	46,65	18,65	0,7	0,4	Lamelar
GN-25-IF-DF-CP32	38	85,00	43,65	30,75	0,5	0,7	Cúbica
GN-25-IF-DF-CP33	38	56,60	45,15	26,15	0,8	0,6	Cúbica
GN-25-IF-DF-CP34	38	60,55	46,65	11,35	0,8	0,2	Lamelar
GN-25-IF-DF-CP35	38	62,20	52,00	43,80	0,8	0,8	Cúbica
GN-25-IF-DF-CP36	38	77,20	65,80	22,40	0,9	0,3	Lamelar
GN-25-IF-DF-CP37	38	75,60	70,20	32,00	0,9	0,5	Cúbica
GN-25-IF-DF-CP38	38	49,90	49,55	22,90	1,0	0,5	Cúbica
GN-25-IF-DF-CP39	38	70,00	52,55	22,70	0,8	0,4	Lamelar
GN-25-IF-DF-CP40	38	75,80	51,00	34,40	0,7	0,7	Cúbica
GN-25-IF-DF-CP41	38	68,05	53,10	28,95	0,8	0,5	Cúbica
GN-25-IF-DF-CP42	38	51,55	45,60	32,00	0,9	0,7	Cúbica
GN-25-IF-DF-CP43	38	85,40	47,75	37,20	0,6	0,8	Cúbica
GN-25-IF-DF-CP44	38	78,00	52,70	25,00	0,7	0,5	Cúbica
GN-25-IF-DF-CP45	38	55,95	53,10	19,65	0,9	0,4	Lamelar
GN-25-IF-DF-CP46	38	64,45	63,80	14,60	1,0	0,2	Lamelar
GN-25-IF-DF-CP47	38	54,20	51,05	39,10	0,9	0,8	Cúbica
GN-25-IF-DF-CP48	38	57,95	49,80	22,35	0,9	0,4	Lamelar
GN-25-IF-DF-CP49	25	55,55	38,30	11,30	0,7	0,3	Lamelar
GN-25-IF-DF-CP50	25	57,90	39,50	20,50	0,7	0,5	Cúbica

Corpo de prova	Peneira (mm)	a (mm)	b (mm)	c (mm)	b/a	c/b	Classificação
GN-25-IF-DF-CP51	25	45,70	27,95	23,30	0,6	0,8	Cúbica
GN-25-IF-DF-CP52	25	53,85	37,95	29,40	0,7	0,8	Cúbica
GN-25-IF-DF-CP53	25	65,00	35,55	25,55	0,5	0,7	Cúbica
GN-25-IF-DF-CP54	25	47,20	40,00	25,00	0,8	0,6	Cúbica
GN-25-IF-DF-CP55	25	52,80	34,90	20,85	0,7	0,6	Cúbica
GN-25-IF-DF-CP56	25	41,50	32,40	29,75	0,8	0,9	Cúbica
GN-25-IF-DF-CP57	25	47,95	40,90	29,15	0,9	0,7	Cúbica
GN-25-IF-DF-CP58	25	46,90	37,25	16,90	0,8	0,5	Cúbica
GN-25-IF-DF-CP59	25	41,20	38,00	29,50	0,9	0,8	Cúbica
GN-25-IF-DF-CP60	25	36,45	34,55	24,50	0,9	0,7	Cúbica
GN-25-IF-DF-CP61	25	68,10	36,00	17,90	0,5	0,5	Cúbica
GN-25-IF-DF-CP62	25	45,00	37,70	23,30	0,8	0,6	Cúbica
GN-25-IF-DF-CP63	25	60,15	42,80	13,50	0,7	0,3	Lamelar
GN-25-IF-DF-CP64	25	77,05	38,00	23,70	0,5	0,6	Cúbica
GN-25-IF-DF-CP65	25	41,35	32,95	18,95	0,8	0,6	Cúbica
GN-25-IF-DF-CP66	25	63,35	37,50	17,00	0,6	0,5	Cúbica
GN-25-IF-DF-CP67	25	59,85	41,45	23,00	0,7	0,6	Cúbica
GN-25-IF-DF-CP68	25	45,50	36,00	22,00	0,8	0,6	Cúbica
GN-25-IF-DF-CP69	25	59,80	26,85	25,00	0,4	0,9	Alongada
GN-25-IF-DF-CP70	25	59,10	34,50	25,25	0,6	0,7	Cúbica
GN-25-IF-DF-CP71	25	54,30	43,05	13,00	0,8	0,3	Lamelar
GN-25-IF-DF-CP72	25	59,20	33,85	19,30	0,6	0,6	Cúbica
GN-25-IF-DF-CP73	25	50,20	35,45	18,85	0,7	0,5	Cúbica
GN-25-IF-DF-CP74	25	59,55	36,70	26,00	0,6	0,7	Cúbica
GN-25-IF-DF-CP75	25	46,20	41,20	24,20	0,9	0,6	Cúbica
GN-25-IF-DF-CP76	25	50,00	34,00	12,10	0,7	0,4	Lamelar
GN-25-IF-DF-CP77	25	52,95	40,60	19,50	0,8	0,5	Cúbica
GN-25-IF-DF-CP78	25	60,60	35,70	14,60	0,6	0,4	Lamelar
GN-25-IF-DF-CP79	25	71,50	41,60	24,35	0,6	0,6	Cúbica
GN-25-IF-DF-CP80	25	43,70	33,55	25,25	0,8	0,8	Cúbica
GN-25-IF-DF-CP81	25	65,30	40,50	25,30	0,6	0,6	Cúbica
GN-25-IF-DF-CP82	25	55,20	42,05	29,65	0,8	0,7	Cúbica
GN-25-IF-DF-CP83	25	50,40	33,00	27,20	0,7	0,8	Cúbica

Corpo de prova	Peneira (mm)	a (mm)	b (mm)	c (mm)	b/a	c/b	Classificação
GN-25-IF-DF-CP84	25	69,40	32,60	28,40	0,5	0,9	Cúbica
GN-25-IF-DF-CP85	25	43,00	39,40	19,50	0,9	0,5	Cúbica
GN-25-IF-DF-CP86	25	59,25	41,00	20,70	0,7	0,5	Cúbica
GN-25-IF-DF-CP87	25	50,05	40,80	16,35	0,8	0,4	Lamelar
GN-25-IF-DF-CP88	25	53,00	46,90	13,95	0,9	0,3	Lamelar
GN-25-IF-DF-CP89	25	46,75	36,60	18,20	0,8	0,5	Cúbica
GN-25-IF-DF-CP90	25	72,00	38,80	29,15	0,5	0,8	Cúbica
GN-25-IF-DF-CP91	25	66,00	33,25	28,10	0,5	0,8	Cúbica
GN-25-IF-DF-CP92	25	43,00	38,40	20,80	0,9	0,5	Cúbica
GN-25-IF-DF-CP93	25	38,80	34,20	9,80	0,9	0,3	Lamelar
GN-25-IF-DF-CP94	25	43,25	38,95	24,50	0,9	0,6	Cúbica
GN-25-IF-DF-CP95	25	34,10	31,70	26,60	0,9	0,8	Cúbica
GN-25-IF-DF-CP96	19	59,60	22,50	21,30	0,4	0,9	Alongada
GN-25-IF-DF-CP97	19	43,80	30,35	13,40	0,7	0,4	Lamelar
GN-25-IF-DF-CP98	19	30,15	23,35	13,50	0,8	0,6	Cúbica
GN-25-IF-DF-CP99	19	41,85	30,15	8,50	0,7	0,3	Lamelar
GN-25-IF-DF-CP100	19	67,00	27,00	24,20	0,4	0,9	Alongada

Tabela 26 – Dados do ensaio de determinação da forma do GN-50-IF-DF (arquivo pessoal).

Corpo de prova	Peneira (mm)	a (mm)	b (mm)	c (mm)	b/a	c/b	Classificação
GN-50-IF-DF-CP1	50	80,20	53,65	47,40	0,7	0,9	Cúbica
GN-50-IF-DF-CP2	50	113,35	71,25	50,65	0,6	0,7	Cúbica
GN-50-IF-DF-CP3	50	100,35	59,10	50,65	0,6	0,9	Cúbica
GN-50-IF-DF-CP4	50	85,00	67,25	43,15	0,8	0,6	Cúbica
GN-50-IF-DF-CP5	50	98,65	60,20	31,00	0,6	0,5	Cúbica
GN-50-IF-DF-CP6	50	65,35	60,90	55,75	0,9	0,9	Cúbica
GN-50-IF-DF-CP7	50	83,00	80,45	30,70	1,0	0,4	Lamelar
GN-50-IF-DF-CP8	50	66,65	61,60	51,15	0,9	0,8	Cúbica
GN-50-IF-DF-CP9	50	77,00	67,45	42,05	0,9	0,6	Cúbica
GN-50-IF-DF-CP10	50	70,45	47,70	45,80	0,7	1,0	Cúbica

Corpo de prova	Peneira (mm)	a (mm)	b (mm)	c (mm)	b/a	c/b	Classificação
GN-50-IF-DF-CP11	50	61,25	57,20	43,15	0,9	0,8	Cúbica
GN-50-IF-DF-CP12	50	117,20	64,05	50,35	0,5	0,8	Cúbica
GN-50-IF-DF-CP13	50	85,60	73,95	50,40	0,9	0,7	Cúbica
GN-50-IF-DF-CP14	50	73,90	54,65	45,55	0,7	0,8	Cúbica
GN-50-IF-DF-CP15	38	78,50	60,95	11,10	0,8	0,2	Lamelar
GN-50-IF-DF-CP16	38	65,80	50,10	24,85	0,8	0,5	Cúbica
GN-50-IF-DF-CP17	38	99,80	51,75	23,15	0,5	0,4	Lamelar
GN-50-IF-DF-CP18	38	67,50	43,70	37,85	0,6	0,9	Cúbica
GN-50-IF-DF-CP19	38	55,90	46,35	25,00	0,8	0,5	Cúbica
GN-50-IF-DF-CP20	38	79,00	54,05	24,80	0,7	0,5	Cúbica
GN-50-IF-DF-CP21	38	96,60	52,20	22,45	0,5	0,4	Lamelar
GN-50-IF-DF-CP22	38	73,50	61,50	29,50	0,8	0,5	Cúbica
GN-50-IF-DF-CP23	38	69,15	54,60	18,10	0,8	0,3	Lamelar
GN-50-IF-DF-CP24	38	52,20	52,00	19,25	1,0	0,4	Lamelar
GN-50-IF-DF-CP25	38	51,45	44,30	34,40	0,9	0,8	Cúbica
GN-50-IF-DF-CP26	38	51,75	52,80	35,70	1,0	0,7	Cúbica
GN-50-IF-DF-CP27	38	65,65	63,70	34,00	1,0	0,5	Cúbica
GN-50-IF-DF-CP28	38	89,05	52,70	13,85	0,6	0,3	Lamelar
GN-50-IF-DF-CP29	38	59,00	44,45	22,15	0,8	0,5	Cúbica
GN-50-IF-DF-CP30	38	67,15	52,35	29,90	0,8	0,6	Cúbica
GN-50-IF-DF-CP31	38	60,70	50,70	38,00	0,8	0,7	Cúbica
GN-50-IF-DF-CP32	38	51,15	44,60	27,00	0,9	0,6	Cúbica
GN-50-IF-DF-CP33	38	62,85	44,50	26,95	0,7	0,6	Cúbica
GN-50-IF-DF-CP34	38	71,40	47,95	47,65	0,7	1,0	Cúbica
GN-50-IF-DF-CP35	38	67,35	52,40	24,10	0,8	0,5	Cúbica
GN-50-IF-DF-CP36	38	68,80	57,50	41,80	0,8	0,7	Cúbica
GN-50-IF-DF-CP37	38	71,65	58,85	21,70	0,8	0,4	Lamelar
GN-50-IF-DF-CP38	38	57,60	56,10	30,00	1,0	0,5	Cúbica
GN-50-IF-DF-CP39	38	48,90	46,40	32,80	0,9	0,7	Cúbica
GN-50-IF-DF-CP40	38	73,90	52,00	34,35	0,7	0,7	Cúbica
GN-50-IF-DF-CP41	38	67,20	54,75	21,30	0,8	0,4	Lamelar
GN-50-IF-DF-CP42	38	49,55	46,90	31,60	0,9	0,7	Cúbica
GN-50-IF-DF-CP43	38	58,00	45,90	35,10	0,8	0,8	Cúbica

Corpo de prova	Peneira (mm)	a (mm)	b (mm)	c (mm)	b/a	c/b	Classificação
GN-50-IF-DF-CP44	38	102,00	67,00	49,65	0,7	0,7	Cúbica
GN-50-IF-DF-CP45	38	54,10	48,15	22,20	0,9	0,5	Cúbica
GN-50-IF-DF-CP46	38	85,60	43,15	36,80	0,5	0,9	Cúbica
GN-50-IF-DF-CP47	38	70,50	52,00	40,40	0,7	0,8	Cúbica
GN-50-IF-DF-CP48	38	56,40	52,80	20,00	0,9	0,4	Lamelar
GN-50-IF-DF-CP49	38	70,10	49,95	27,95	0,7	0,6	Cúbica
GN-50-IF-DF-CP50	38	56,10	49,15	17,05	0,9	0,3	Lamelar
GN-50-IF-DF-CP51	38	65,80	59,30	31,55	0,9	0,5	Cúbica
GN-50-IF-DF-CP52	38	65,50	57,20	34,20	0,9	0,6	Cúbica
GN-50-IF-DF-CP53	38	65,00	47,00	22,70	0,7	0,5	Cúbica
GN-50-IF-DF-CP54	38	75,60	38,80	34,75	0,5	0,9	Cúbica
GN-50-IF-DF-CP55	38	51,15	47,00	25,15	0,9	0,5	Cúbica
GN-50-IF-DF-CP56	38	55,35	52,00	30,50	0,9	0,6	Cúbica
GN-50-IF-DF-CP57	38	75,15	55,15	21,20	0,7	0,4	Lamelar
GN-50-IF-DF-CP58	25	58,35	41,10	16,65	0,7	0,4	Lamelar
GN-50-IF-DF-CP59	25	52,70	32,70	24,45	0,6	0,7	Cúbica
GN-50-IF-DF-CP60	25	65,50	40,00	24,05	0,6	0,6	Cúbica
GN-50-IF-DF-CP61	25	82,50	38,45	25,00	0,5	0,7	Cúbica
GN-50-IF-DF-CP62	25	53,00	41,65	19,95	0,8	0,5	Cúbica
GN-50-IF-DF-CP63	25	60,65	45,40	15,35	0,7	0,3	Lamelar
GN-50-IF-DF-CP64	25	70,25	36,20	28,35	0,5	0,8	Cúbica
GN-50-IF-DF-CP65	25	62,60	30,35	22,25	0,5	0,7	Cúbica
GN-50-IF-DF-CP66	25	55,80	35,80	34,65	0,6	1,0	Cúbica
GN-50-IF-DF-CP67	25	80,35	39,45	23,10	0,5	0,6	Cúbica
GN-50-IF-DF-CP68	25	47,20	32,35	13,10	0,7	0,4	Lamelar
GN-50-IF-DF-CP69	25	51,00	39,00	23,00	0,8	0,6	Cúbica
GN-50-IF-DF-CP70	25	50,95	48,70	15,20	1,0	0,3	Lamelar
GN-50-IF-DF-CP71	25	46,50	31,90	12,85	0,7	0,4	Lamelar
GN-50-IF-DF-CP72	25	42,10	39,00	14,85	0,9	0,4	Lamelar
GN-50-IF-DF-CP73	25	61,40	43,20	21,15	0,7	0,5	Cúbica
GN-50-IF-DF-CP74	25	50,60	30,15	21,40	0,6	0,7	Cúbica
GN-50-IF-DF-CP75	25	51,65	35,50	24,45	0,7	0,7	Cúbica
GN-50-IF-DF-CP76	25	50,10	41,60	28,20	0,8	0,7	Cúbica

Corpo de prova	Peneira (mm)	a (mm)	b (mm)	c (mm)	b/a	c/b	Classificação
GN-50-IF-DF-CP77	25	65,05	42,35	17,85	0,7	0,4	Lamelar
GN-50-IF-DF-CP78	25	53,35	48,10	19,95	0,9	0,4	Lamelar
GN-50-IF-DF-CP79	25	46,45	40,45	25,10	0,9	0,6	Cúbica
GN-50-IF-DF-CP80	25	46,00	34,00	22,35	0,7	0,7	Cúbica
GN-50-IF-DF-CP81	25	52,10	34,75	29,85	0,7	0,9	Cúbica
GN-50-IF-DF-CP82	25	42,50	32,75	14,50	0,8	0,4	Lamelar
GN-50-IF-DF-CP83	25	68,35	38,95	27,50	0,6	0,7	Cúbica
GN-50-IF-DF-CP84	25	45,55	45,00	15,20	1,0	0,3	Lamelar
GN-50-IF-DF-CP85	25	55,20	30,00	23,20	0,5	0,8	Cúbica
GN-50-IF-DF-CP86	25	31,45	30,30	14,70	1,0	0,5	Cúbica
GN-50-IF-DF-CP87	25	47,00	40,55	24,70	0,9	0,6	Cúbica
GN-50-IF-DF-CP88	25	42,70	33,35	22,10	0,8	0,7	Cúbica
GN-50-IF-DF-CP89	25	64,15	32,85	24,00	0,5	0,7	Cúbica
GN-50-IF-DF-CP90	25	34,60	29,90	14,40	0,9	0,5	Cúbica
GN-50-IF-DF-CP91	25	46,55	31,40	23,90	0,7	0,8	Cúbica
GN-50-IF-DF-CP92	25	46,60	42,30	20,60	0,9	0,5	Cúbica
GN-50-IF-DF-CP93	25	32,00	31,00	21,10	1,0	0,7	Cúbica
GN-50-IF-DF-CP94	25	42,50	37,65	30,50	0,9	0,8	Cúbica
GN-50-IF-DF-CP95	25	46,20	30,15	26,85	0,7	0,9	Cúbica
GN-50-IF-DF-CP96	19	69,00	26,60	19,75	0,4	0,7	Alongada
GN-50-IF-DF-CP97	19	65,80	25,45	17,65	0,4	0,7	Alongada
GN-50-IF-DF-CP98	19	45,15	27,85	24,45	0,6	0,9	Cúbica
GN-50-IF-DF-CP99	19	30,70	26,55	13,00	0,9	0,5	Cúbica
GN-50-IF-DF-CP100	19	33,30	31,55	11,95	0,9	0,4	Lamelar

Tabela 27 – Dados do ensaio de determinação da forma do GN-75-IF-DF (arquivo pessoal).

Corpo de prova	Peneira (mm)	a (mm)	b (mm)	c (mm)	b/a	c/b	Classificação
GN-75-IF-DF-CP1	50	136,60	68,40	50,70	0,5	0,7	Cúbica
GN-75-IF-DF-CP2	50	70,20	65,75	43,90	0,9	0,7	Cúbica
GN-75-IF-DF-CP3	50	109,05	61,65	40,25	0,6	0,7	Cúbica

Corpo de prova	Peneira (mm)	a (mm)	b (mm)	c (mm)	b/a	c/b	Classificação
GN-75-IF-DF-CP4	50	77,50	54,40	40,85	0,7	0,8	Cúbica
GN-75-IF-DF-CP5	50	76,15	70,70	28,85	0,9	0,4	Lamelar
GN-75-IF-DF-CP6	50	71,10	61,55	54,30	0,9	0,9	Cúbica
GN-75-IF-DF-CP7	50	76,20	65,60	36,50	0,9	0,6	Cúbica
GN-75-IF-DF-CP8	50	80,00	75,70	31,10	0,9	0,4	Lamelar
GN-75-IF-DF-CP9	50	86,00	62,50	41,50	0,7	0,7	Cúbica
GN-75-IF-DF-CP10	50	91,30	56,55	46,90	0,6	0,8	Cúbica
GN-75-IF-DF-CP11	50	78,00	68,20	29,10	0,9	0,4	Lamelar
GN-75-IF-DF-CP12	38	67,70	48,35	36,15	0,7	0,7	Cúbica
GN-75-IF-DF-CP13	38	67,70	56,70	33,10	0,8	0,6	Cúbica
GN-75-IF-DF-CP14	38	53,35	46,85	42,45	0,9	0,9	Cúbica
GN-75-IF-DF-CP15	38	61,05	58,20	43,20	1,0	0,7	Cúbica
GN-75-IF-DF-CP16	38	63,25	55,75	34,00	0,9	0,6	Cúbica
GN-75-IF-DF-CP17	38	62,70	55,90	44,00	0,9	0,8	Cúbica
GN-75-IF-DF-CP18	38	46,45	41,50	37,80	0,9	0,9	Cúbica
GN-75-IF-DF-CP19	38	60,15	50,50	41,45	0,8	0,8	Cúbica
GN-75-IF-DF-CP20	38	70,00	55,55	35,10	0,8	0,6	Cúbica
GN-75-IF-DF-CP21	38	47,85	40,15	33,00	0,8	0,8	Cúbica
GN-75-IF-DF-CP22	38	57,00	42,45	28,00	0,7	0,7	Cúbica
GN-75-IF-DF-CP23	38	63,60	52,50	33,65	0,8	0,6	Cúbica
GN-75-IF-DF-CP24	38	75,00	42,15	36,70	0,6	0,9	Cúbica
GN-75-IF-DF-CP25	38	61,50	38,50	37,50	0,6	1,0	Cúbica
GN-75-IF-DF-CP26	38	91,70	56,00	23,00	0,6	0,4	Lamelar
GN-75-IF-DF-CP27	38	76,60	51,40	30,55	0,7	0,6	Cúbica
GN-75-IF-DF-CP28	38	47,90	47,60	31,65	1,0	0,7	Cúbica
GN-75-IF-DF-CP29	38	54,60	50,20	29,95	0,9	0,6	Cúbica
GN-75-IF-DF-CP30	38	70,90	44,40	24,90	0,6	0,6	Cúbica
GN-75-IF-DF-CP31	38	72,85	52,40	12,55	0,7	0,2	Lamelar
GN-75-IF-DF-CP32	38	44,80	42,15	25,35	0,9	0,6	Cúbica
GN-75-IF-DF-CP33	38	62,60	41,10	36,50	0,7	0,9	Cúbica
GN-75-IF-DF-CP34	38	70,30	50,70	19,70	0,7	0,4	Lamelar
GN-75-IF-DF-CP35	38	50,40	41,10	30,80	0,8	0,7	Cúbica
GN-75-IF-DF-CP36	38	52,90	44,15	30,80	0,8	0,7	Cúbica

Corpo de prova	Peneira (mm)	a (mm)	b (mm)	c (mm)	b/a	c/b	Classificação
GN-75-IF-DF-CP37	38	79,20	41,80	39,40	0,5	0,9	Cúbica
GN-75-IF-DF-CP38	38	45,45	36,00	36,55	0,8	1,0	Cúbica
GN-75-IF-DF-CP39	38	52,10	46,60	33,45	0,9	0,7	Cúbica
GN-75-IF-DF-CP40	38	76,20	40,75	22,20	0,5	0,5	Cúbica
GN-75-IF-DF-CP41	38	61,65	48,55	28,55	0,8	0,6	Cúbica
GN-75-IF-DF-CP42	38	65,15	52,30	19,50	0,8	0,4	Lamelar
GN-75-IF-DF-CP43	38	61,20	41,30	40,50	0,7	1,0	Cúbica
GN-75-IF-DF-CP44	38	58,10	47,15	19,65	0,8	0,4	Lamelar
GN-75-IF-DF-CP45	38	63,45	53,40	23,75	0,8	0,4	Lamelar
GN-75-IF-DF-CP46	38	57,05	48,75	39,00	0,9	0,8	Cúbica
GN-75-IF-DF-CP47	38	59,10	47,15	27,90	0,8	0,6	Cúbica
GN-75-IF-DF-CP48	38	88,95	57,80	19,90	0,6	0,3	Lamelar
GN-75-IF-DF-CP49	38	55,65	51,70	31,75	0,9	0,6	Cúbica
GN-75-IF-DF-CP50	25	41,35	38,30	19,30	0,9	0,5	Cúbica
GN-75-IF-DF-CP51	25	50,00	38,15	26,85	0,8	0,7	Cúbica
GN-75-IF-DF-CP52	25	45,35	35,15	21,90	0,8	0,6	Cúbica
GN-75-IF-DF-CP53	25	43,70	30,60	19,85	0,7	0,6	Cúbica
GN-75-IF-DF-CP54	25	55,85	33,45	19,00	0,6	0,6	Cúbica
GN-75-IF-DF-CP55	25	43,00	33,40	23,40	0,8	0,7	Cúbica
GN-75-IF-DF-CP56	25	51,05	44,65	23,10	0,9	0,5	Cúbica
GN-75-IF-DF-CP57	25	45,25	38,30	36,30	0,8	0,9	Cúbica
GN-75-IF-DF-CP58	25	51,40	41,40	24,20	0,8	0,6	Cúbica
GN-75-IF-DF-CP59	25	43,70	35,20	19,40	0,8	0,6	Cúbica
GN-75-IF-DF-CP60	25	52,95	46,50	27,20	0,9	0,6	Cúbica
GN-75-IF-DF-CP61	25	43,30	40,00	32,50	0,9	0,8	Cúbica
GN-75-IF-DF-CP62	25	38,20	37,95	26,50	1,0	0,7	Cúbica
GN-75-IF-DF-CP63	25	45,50	42,55	27,85	0,9	0,7	Cúbica
GN-75-IF-DF-CP64	25	73,00	43,10	18,80	0,6	0,4	Lamelar
GN-75-IF-DF-CP65	25	42,95	40,60	35,80	0,9	0,9	Cúbica
GN-75-IF-DF-CP66	25	61,40	43,30	10,25	0,7	0,2	Lamelar
GN-75-IF-DF-CP67	25	56,65	30,70	21,10	0,5	0,7	Cúbica
GN-75-IF-DF-CP68	25	46,70	39,60	17,95	0,8	0,5	Cúbica
GN-75-IF-DF-CP69	25	50,40	38,40	21,65	0,8	0,6	Cúbica

Corpo de prova	Peneira (mm)	a (mm)	b (mm)	c (mm)	b/a	c/b	Classificação
GN-75-IF-DF-CP70	25	58,70	41,00	21,90	0,7	0,5	Cúbica
GN-75-IF-DF-CP71	25	74,05	37,20	15,80	0,5	0,4	Lamelar
GN-75-IF-DF-CP72	25	56,20	44,65	15,15	0,8	0,3	Lamelar
GN-75-IF-DF-CP73	25	47,10	38,75	20,15	0,8	0,5	Cúbica
GN-75-IF-DF-CP74	25	41,65	38,80	22,05	0,9	0,6	Cúbica
GN-75-IF-DF-CP75	25	82,25	42,45	26,85	0,5	0,6	Cúbica
GN-75-IF-DF-CP76	25	43,55	38,20	24,35	0,9	0,6	Cúbica
GN-75-IF-DF-CP77	25	47,45	42,95	24,00	0,9	0,6	Cúbica
GN-75-IF-DF-CP78	25	38,60	38,60	23,55	1,0	0,6	Cúbica
GN-75-IF-DF-CP79	25	60,00	41,50	16,70	0,7	0,4	Lamelar
GN-75-IF-DF-CP80	25	42,70	34,75	24,80	0,8	0,7	Cúbica
GN-75-IF-DF-CP81	25	36,60	31,35	14,20	0,9	0,5	Cúbica
GN-75-IF-DF-CP82	25	57,00	30,60	23,10	0,5	0,8	Cúbica
GN-75-IF-DF-CP83	25	74,55	46,85	24,65	0,6	0,5	Cúbica
GN-75-IF-DF-CP84	25	47,30	28,85	26,75	0,6	0,9	Cúbica
GN-75-IF-DF-CP85	25	51,05	32,60	27,60	0,6	0,8	Cúbica
GN-75-IF-DF-CP86	25	34,15	33,70	18,80	1,0	0,6	Cúbica
GN-75-IF-DF-CP87	25	49,70	35,60	25,05	0,7	0,7	Cúbica
GN-75-IF-DF-CP88	25	55,10	40,95	23,00	0,7	0,6	Cúbica
GN-75-IF-DF-CP89	25	43,70	40,45	23,55	0,9	0,6	Cúbica
GN-75-IF-DF-CP90	25	41,70	38,70	23,65	0,9	0,6	Cúbica
GN-75-IF-DF-CP91	25	53,00	33,05	20,40	0,6	0,6	Cúbica
GN-75-IF-DF-CP92	25	71,30	36,75	20,45	0,5	0,6	Cúbica
GN-75-IF-DF-CP93	25	64,75	31,25	27,85	0,5	0,9	Cúbica
GN-75-IF-DF-CP94	25	36,75	35,70	12,75	1,0	0,4	Lamelar
GN-75-IF-DF-CP95	25	43,80	33,65	15,05	0,8	0,4	Lamelar
GN-75-IF-DF-CP96	25	56,80	39,30	28,95	0,7	0,7	Cúbica
GN-75-IF-DF-CP97	19	39,80	28,70	21,10	0,7	0,7	Cúbica
GN-75-IF-DF-CP98	19	37,20	31,90	11,85	0,9	0,4	Lamelar
GN-75-IF-DF-CP99	19	41,95	28,25	16,25	0,7	0,6	Cúbica
GN-75-IF-DF-CP100	19	44,30	29,40	21,00	0,7	0,7	Cúbica

Tabela 28 – Dados do ensaio de determinação da forma do GN-20-IQ-DF (arquivo pessoal).

Corpo de prova	Peneira (mm)	a (mm)	b (mm)	c (mm)	b/a	c/b	Classificação
GN-20-IQ-DF-CP1	50	69,35	68,90	25,55	1,0	0,4	Lamelar
GN-20-IQ-DF-CP2	50	67,20	56,55	45,95	0,8	0,8	Cúbica
GN-20-IQ-DF-CP3	50	75,00	65,70	17,80	0,9	0,3	Lamelar
GN-20-IQ-DF-CP4	50	89,10	61,30	45,75	0,7	0,7	Cúbica
GN-20-IQ-DF-CP5	50	73,40	60,75	47,55	0,8	0,8	Cúbica
GN-20-IQ-DF-CP6	50	67,75	66,80	34,75	1,0	0,5	Cúbica
GN-20-IQ-DF-CP7	50	86,70	71,20	74,70	0,8	1,0	Cúbica
GN-20-IQ-DF-CP8	50	86,85	69,00	46,00	0,8	0,7	Cúbica
GN-20-IQ-DF-CP9	38	53,15	53,00	22,75	1,0	0,4	Lamelar
GN-20-IQ-DF-CP10	38	63,45	47,95	42,85	0,8	0,9	Cúbica
GN-20-IQ-DF-CP11	38	70,25	49,50	30,15	0,7	0,6	Cúbica
GN-20-IQ-DF-CP12	38	105,65	49,90	34,40	0,5	0,7	Cúbica
GN-20-IQ-DF-CP13	38	70,00	56,85	16,60	0,8	0,3	Lamelar
GN-20-IQ-DF-CP14	38	53,80	49,65	20,35	0,9	0,4	Lamelar
GN-20-IQ-DF-CP15	38	63,45	43,80	37,90	0,7	0,9	Cúbica
GN-20-IQ-DF-CP16	38	61,00	46,10	23,45	0,8	0,5	Cúbica
GN-20-IQ-DF-CP17	38	74,00	57,85	16,90	0,8	0,3	Lamelar
GN-20-IQ-DF-CP18	38	57,95	54,10	22,75	0,9	0,4	Lamelar
GN-20-IQ-DF-CP19	38	48,95	47,75	37,90	1,0	0,8	Cúbica
GN-20-IQ-DF-CP20	38	76,85	43,80	40,00	0,6	0,9	Cúbica
GN-20-IQ-DF-CP21	38	74,50	69,20	25,60	0,9	0,4	Lamelar
GN-20-IQ-DF-CP22	38	71,25	47,75	24,40	0,7	0,5	Cúbica
GN-20-IQ-DF-CP23	38	69,00	51,90	17,80	0,8	0,3	Lamelar
GN-20-IQ-DF-CP24	38	69,05	50,20	44,10	0,7	0,9	Cúbica
GN-20-IQ-DF-CP25	38	79,15	46,00	38,80	0,6	0,8	Cúbica
GN-20-IQ-DF-CP26	38	49,95	41,30	40,25	0,8	1,0	Cúbica
GN-20-IQ-DF-CP27	38	91,75	52,00	22,85	0,6	0,4	Lamelar
GN-20-IQ-DF-CP28	38	83,40	46,90	40,10	0,6	0,9	Cúbica
GN-20-IQ-DF-CP29	38	63,00	46,65	36,05	0,7	0,8	Cúbica
GN-20-IQ-DF-CP30	38	54,70	50,15	27,55	0,9	0,5	Cúbica

Corpo de prova	Peneira (mm)	a (mm)	b (mm)	c (mm)	b/a	c/b	Classificação
GN-20-IQ-DF-CP31	38	87,65	51,60	29,00	0,6	0,6	Cúbica
GN-20-IQ-DF-CP32	38	64,05	53,55	35,40	0,8	0,7	Cúbica
GN-20-IQ-DF-CP33	38	75,00	53,00	29,45	0,7	0,6	Cúbica
GN-20-IQ-DF-CP34	38	61,20	57,35	31,35	0,9	0,5	Cúbica
GN-20-IQ-DF-CP35	38	69,35	54,00	15,35	0,8	0,3	Lamelar
GN-20-IQ-DF-CP36	38	59,15	45,50	32,45	0,8	0,7	Cúbica
GN-20-IQ-DF-CP37	38	48,00	45,40	22,55	0,9	0,5	Cúbica
GN-20-IQ-DF-CP38	38	61,60	55,70	17,60	0,9	0,3	Lamelar
GN-20-IQ-DF-CP39	38	53,05	50,00	25,25	0,9	0,5	Cúbica
GN-20-IQ-DF-CP40	38	54,70	49,70	42,05	0,9	0,8	Cúbica
GN-20-IQ-DF-CP41	38	67,15	38,70	31,20	0,6	0,8	Cúbica
GN-20-IQ-DF-CP42	38	61,00	45,00	35,75	0,7	0,8	Cúbica
GN-20-IQ-DF-CP43	38	47,50	40,95	40,10	0,9	1,0	Cúbica
GN-20-IQ-DF-CP44	38	68,50	57,75	25,05	0,8	0,4	Lamelar
GN-20-IQ-DF-CP45	38	50,75	47,90	37,15	0,9	0,8	Cúbica
GN-20-IQ-DF-CP46	38	52,90	48,05	25,70	0,9	0,5	Cúbica
GN-20-IQ-DF-CP47	38	75,00	50,80	38,65	0,7	0,8	Cúbica
GN-20-IQ-DF-CP48	25	74,10	37,00	26,45	0,5	0,7	Cúbica
GN-20-IQ-DF-CP49	25	50,85	30,00	23,00	0,6	0,8	Cúbica
GN-20-IQ-DF-CP50	25	76,95	38,00	14,95	0,5	0,4	Lamelar
GN-20-IQ-DF-CP51	25	49,00	42,85	20,50	0,9	0,5	Cúbica
GN-20-IQ-DF-CP52	25	50,55	36,35	16,40	0,7	0,5	Cúbica
GN-20-IQ-DF-CP53	25	49,00	48,20	27,15	1,0	0,6	Cúbica
GN-20-IQ-DF-CP54	25	39,30	39,20	26,60	1,0	0,7	Cúbica
GN-20-IQ-DF-CP55	25	62,40	47,95	25,35	0,8	0,5	Cúbica
GN-20-IQ-DF-CP56	25	56,40	26,10	20,10	0,5	0,8	Cúbica
GN-20-IQ-DF-CP57	25	45,00	27,50	24,00	0,6	0,9	Cúbica
GN-20-IQ-DF-CP58	25	59,85	37,80	16,45	0,6	0,4	Lamelar
GN-20-IQ-DF-CP59	25	40,65	35,35	22,05	0,9	0,6	Cúbica
GN-20-IQ-DF-CP60	25	43,30	39,85	13,15	0,9	0,3	Lamelar
GN-20-IQ-DF-CP61	25	47,35	34,75	22,40	0,7	0,6	Cúbica
GN-20-IQ-DF-CP62	25	65,35	27,75	21,15	0,4	0,8	Alongada
GN-20-IQ-DF-CP63	25	49,80	34,85	34,35	0,7	1,0	Cúbica

Corpo de prova	Peneira (mm)	a (mm)	b (mm)	c (mm)	b/a	c/b	Classificação
GN-20-IQ-DF-CP64	25	50,00	48,90	27,15	1,0	0,6	Cúbica
GN-20-IQ-DF-CP65	25	58,35	57,30	19,30	1,0	0,3	Lamelar
GN-20-IQ-DF-CP66	25	60,25	38,00	31,20	0,6	0,8	Cúbica
GN-20-IQ-DF-CP67	25	51,70	32,00	24,05	0,6	0,8	Cúbica
GN-20-IQ-DF-CP68	25	51,95	29,00	23,10	0,6	0,8	Cúbica
GN-20-IQ-DF-CP69	25	39,00	35,00	18,05	0,9	0,5	Cúbica
GN-20-IQ-DF-CP70	25	55,60	47,75	24,40	0,9	0,5	Cúbica
GN-20-IQ-DF-CP71	25	40,50	40,00	23,25	1,0	0,6	Cúbica
GN-20-IQ-DF-CP72	25	41,80	35,00	25,25	0,8	0,7	Cúbica
GN-20-IQ-DF-CP73	25	59,30	37,60	29,75	0,6	0,8	Cúbica
GN-20-IQ-DF-CP74	25	59,90	38,50	36,80	0,6	1,0	Cúbica
GN-20-IQ-DF-CP75	25	49,30	42,85	20,20	0,9	0,5	Cúbica
GN-20-IQ-DF-CP76	25	52,20	42,55	24,40	0,8	0,6	Cúbica
GN-20-IQ-DF-CP77	25	78,50	30,00	27,65	0,4	0,9	Alongada
GN-20-IQ-DF-CP78	25	51,10	34,65	26,00	0,7	0,8	Cúbica
GN-20-IQ-DF-CP79	25	51,85	39,75	25,50	0,8	0,6	Cúbica
GN-20-IQ-DF-CP80	25	39,20	36,30	11,40	0,9	0,3	Lamelar
GN-20-IQ-DF-CP81	25	51,00	41,25	17,65	0,8	0,4	Lamelar
GN-20-IQ-DF-CP82	25	35,25	32,60	29,00	0,9	0,9	Cúbica
GN-20-IQ-DF-CP83	25	40,75	40,25	30,20	1,0	0,8	Cúbica
GN-20-IQ-DF-CP84	25	40,00	38,55	12,20	1,0	0,3	Lamelar
GN-20-IQ-DF-CP85	25	48,70	28,10	21,65	0,6	0,8	Cúbica
GN-20-IQ-DF-CP86	25	61,90	33,15	20,30	0,5	0,6	Cúbica
GN-20-IQ-DF-CP87	25	52,60	34,60	19,80	0,7	0,6	Cúbica
GN-20-IQ-DF-CP88	25	54,10	36,65	27,35	0,7	0,7	Cúbica
GN-20-IQ-DF-CP89	25	39,00	29,00	28,35	0,7	1,0	Cúbica
GN-20-IQ-DF-CP90	25	39,40	35,00	18,35	0,9	0,5	Cúbica
GN-20-IQ-DF-CP91	25	34,30	31,45	12,65	0,9	0,4	Lamelar
GN-20-IQ-DF-CP92	25	44,25	38,00	19,50	0,9	0,5	Cúbica
GN-20-IQ-DF-CP93	25	59,20	39,25	24,80	0,7	0,6	Cúbica
GN-20-IQ-DF-CP94	25	57,70	33,15	10,65	0,6	0,3	Lamelar
GN-20-IQ-DF-CP95	25	47,30	30,05	22,65	0,6	0,8	Cúbica
GN-20-IQ-DF-CP96	19	57,20	27,65	21,85	0,5	0,8	Cúbica

Corpo de prova	Peneira (mm)	a (mm)	b (mm)	c (mm)	b/a	c/b	Classificação
GN-20-IQ-DF-CP97	19	34,45	27,20	13,15	0,8	0,5	Cúbica
GN-20-IQ-DF-CP98	19	33,60	28,30	12,20	0,8	0,4	Lamelar
GN-20-IQ-DF-CP99	19	53,75	24,60	24,45	0,5	1,0	Cúbica
GN-20-IQ-DF-CP100	19	28,00	25,20	20,20	0,9	0,8	Cúbica

Tabela 29 – Dados do ensaio de determinação da forma do GN-40-IQ-DF (arquivo pessoal).

Corpo de prova	Peneira (mm)	a (mm)	b (mm)	c (mm)	b/a	c/b	Classificação
GN-40-IQ-DF-CP1	50	91,35	51,50	40,90	0,6	0,8	Cúbica
GN-40-IQ-DF-CP2	50	96,20	67,85	42,70	0,7	0,6	Cúbica
GN-40-IQ-DF-CP3	50	97,75	53,20	44,45	0,5	0,8	Cúbica
GN-40-IQ-DF-CP4	50	101,20	61,60	49,20	0,6	0,8	Cúbica
GN-40-IQ-DF-CP5	50	87,20	78,55	38,40	0,9	0,5	Cúbica
GN-40-IQ-DF-CP6	50	76,40	76,40	34,05	1,0	0,4	Lamelar
GN-40-IQ-DF-CP7	50	67,50	55,30	41,75	0,8	0,8	Cúbica
GN-40-IQ-DF-CP8	50	80,25	72,80	26,60	0,9	0,4	Lamelar
GN-40-IQ-DF-CP9	38	59,25	58,45	56,60	1,0	1,0	Cúbica
GN-40-IQ-DF-CP10	38	82,70	51,55	30,15	0,6	0,6	Cúbica
GN-40-IQ-DF-CP11	38	79,10	55,00	21,20	0,7	0,4	Lamelar
GN-40-IQ-DF-CP12	38	70,10	44,95	43,85	0,6	1,0	Cúbica
GN-40-IQ-DF-CP13	38	68,8	44,75	34,80	0,7	0,8	Cúbica
GN-40-IQ-DF-CP14	38	93,00	43,60	25,45	0,5	0,6	Cúbica
GN-40-IQ-DF-CP15	38	62,60	57,65	34,90	0,9	0,6	Cúbica
GN-40-IQ-DF-CP16	38	54,90	54,30	15,85	1,0	0,3	Lamelar
GN-40-IQ-DF-CP17	38	70,50	54,50	19,90	0,8	0,4	Lamelar
GN-40-IQ-DF-CP18	38	48,90	41,10	38,90	0,8	0,9	Cúbica
GN-40-IQ-DF-CP19	38	61,30	50,70	18,50	0,8	0,4	Lamelar
GN-40-IQ-DF-CP20	38	62,00	53,15	35,60	0,9	0,7	Cúbica
GN-40-IQ-DF-CP21	38	51,80	47,75	20,30	0,9	0,4	Lamelar
GN-40-IQ-DF-CP22	38	54,10	47,65	28,70	0,9	0,6	Cúbica
GN-40-IQ-DF-CP23	38	67,05	52,30	14,10	0,8	0,3	Lamelar

Corpo de prova	Peneira (mm)	a (mm)	b (mm)	c (mm)	b/a	c/b	Classificação
GN-40-IQ-DF-CP24	38	63,10	38,70	33,10	0,6	0,9	Cúbica
GN-40-IQ-DF-CP25	38	53,30	49,40	31,80	0,9	0,6	Cúbica
GN-40-IQ-DF-CP26	38	62,20	50,15	31,10	0,8	0,6	Cúbica
GN-40-IQ-DF-CP27	38	55,10	45,65	19,40	0,8	0,4	Lamelar
GN-40-IQ-DF-CP28	38	97,60	43,40	34,60	0,4	0,8	Alongada
GN-40-IQ-DF-CP29	38	64,10	54,00	46,15	0,8	0,9	Cúbica
GN-40-IQ-DF-CP30	38	75,25	57,20	42,10	0,8	0,7	Cúbica
GN-40-IQ-DF-CP31	38	68,25	39,70	31,70	0,6	0,8	Cúbica
GN-40-IQ-DF-CP32	38	76,70	53,75	25,85	0,7	0,5	Cúbica
GN-40-IQ-DF-CP33	38	55,75	49,80	24,70	0,9	0,5	Cúbica
GN-40-IQ-DF-CP34	38	64,75	44,55	25,50	0,7	0,6	Cúbica
GN-40-IQ-DF-CP35	38	63,50	41,00	22,35	0,6	0,5	Cúbica
GN-40-IQ-DF-CP36	38	64,50	45,20	25,95	0,7	0,6	Cúbica
GN-40-IQ-DF-CP37	38	49,00	42,60	37,10	0,9	0,9	Cúbica
GN-40-IQ-DF-CP38	38	54,85	52,65	48,40	1,0	0,9	Cúbica
GN-40-IQ-DF-CP39	38	55,00	43,10	32,50	0,8	0,8	Cúbica
GN-40-IQ-DF-CP40	38	55,90	45,80	26,25	0,8	0,6	Cúbica
GN-40-IQ-DF-CP41	38	55,70	42,70	36,70	0,8	0,9	Cúbica
GN-40-IQ-DF-CP42	38	68,40	42,00	31,75	0,6	0,8	Cúbica
GN-40-IQ-DF-CP43	38	46,70	40,50	35,85	0,9	0,9	Cúbica
GN-40-IQ-DF-CP44	38	54,05	46,60	32,85	0,9	0,7	Cúbica
GN-40-IQ-DF-CP45	38	47,55	46,60	23,10	1,0	0,5	Cúbica
GN-40-IQ-DF-CP46	38	63,80	61,30	21,30	1,0	0,3	Lamelar
GN-40-IQ-DF-CP47	38	57,50	47,75	21,80	0,8	0,5	Cúbica
GN-40-IQ-DF-CP48	38	42,75	40,10	31,35	0,9	0,8	Cúbica
GN-40-IQ-DF-CP49	38	68,10	46,30	44,60	0,7	1,0	Cúbica
GN-40-IQ-DF-CP50	25	68,50	40,55	16,00	0,6	0,4	Lamelar
GN-40-IQ-DF-CP51	25	50,45	46,40	26,60	0,9	0,6	Cúbica
GN-40-IQ-DF-CP52	25	42,30	37,65	18,10	0,9	0,5	Cúbica
GN-40-IQ-DF-CP53	25	70,70	30,75	28,25	0,4	0,9	Alongada
GN-40-IQ-DF-CP54	25	66,15	36,55	26,10	0,6	0,7	Cúbica
GN-40-IQ-DF-CP55	25	55,90	36,15	21,40	0,6	0,6	Cúbica
GN-40-IQ-DF-CP56	25	53,65	40,15	25,10	0,7	0,6	Cúbica

Corpo de prova	Peneira (mm)	a (mm)	b (mm)	c (mm)	b/a	c/b	Classificação
GN-40-IQ-DF-CP57	25	50,70	41,55	22,45	0,8	0,5	Cúbica
GN-40-IQ-DF-CP58	25	40,25	29,60	27,90	0,7	0,9	Cúbica
GN-40-IQ-DF-CP59	25	52,05	37,20	11,05	0,7	0,3	Lamelar
GN-40-IQ-DF-CP60	25	53,30	44,15	19,10	0,8	0,4	Lamelar
GN-40-IQ-DF-CP61	25	55,95	29,70	28,60	0,5	1,0	Cúbica
GN-40-IQ-DF-CP62	25	55,85	40,20	18,40	0,7	0,5	Cúbica
GN-40-IQ-DF-CP63	25	44,30	33,60	16,30	0,8	0,5	Cúbica
GN-40-IQ-DF-CP64	25	51,85	51,35	47,80	1,0	0,9	Cúbica
GN-40-IQ-DF-CP65	25	48,70	38,70	29,55	0,8	0,8	Cúbica
GN-40-IQ-DF-CP66	25	41,25	38,80	26,60	0,9	0,7	Cúbica
GN-40-IQ-DF-CP67	25	53,35	48,90	33,10	0,9	0,7	Cúbica
GN-40-IQ-DF-CP68	25	42,15	32,20	16,30	0,8	0,5	Cúbica
GN-40-IQ-DF-CP69	25	49,55	40,00	23,40	0,8	0,6	Cúbica
GN-40-IQ-DF-CP70	25	60,15	45,45	19,15	0,8	0,4	Lamelar
GN-40-IQ-DF-CP71	25	52,30	33,00	24,40	0,6	0,7	Cúbica
GN-40-IQ-DF-CP72	25	50,00	32,90	18,65	0,7	0,6	Cúbica
GN-40-IQ-DF-CP73	25	54,80	38,00	13,75	0,7	0,4	Lamelar
GN-40-IQ-DF-CP74	25	67,00	45,00	24,40	0,7	0,5	Cúbica
GN-40-IQ-DF-CP75	25	76,30	35,50	26,20	0,5	0,7	Cúbica
GN-40-IQ-DF-CP76	25	50,00	45,40	22,05	0,9	0,5	Cúbica
GN-40-IQ-DF-CP77	25	73,55	32,70	20,85	0,4	0,6	Alongada
GN-40-IQ-DF-CP78	25	47,65	44,00	23,55	0,9	0,5	Cúbica
GN-40-IQ-DF-CP79	25	62,95	42,85	24,45	0,7	0,6	Cúbica
GN-40-IQ-DF-CP80	25	66,00	32,35	27,40	0,5	0,8	Cúbica
GN-40-IQ-DF-CP81	25	58,20	36,50	12,50	0,6	0,3	Lamelar
GN-40-IQ-DF-CP82	25	49,35	39,25	25,30	0,8	0,6	Cúbica
GN-40-IQ-DF-CP83	25	53,30	39,60	22,15	0,7	0,6	Cúbica
GN-40-IQ-DF-CP84	25	61,60	39,15	22,50	0,6	0,6	Cúbica
GN-40-IQ-DF-CP85	25	81,70	45,40	20,50	0,6	0,5	Cúbica
GN-40-IQ-DF-CP86	25	48,65	28,75	26,85	0,6	0,9	Cúbica
GN-40-IQ-DF-CP87	25	60,70	42,50	23,60	0,7	0,6	Cúbica
GN-40-IQ-DF-CP88	25	53,00	39,80	22,45	0,8	0,6	Cúbica
GN-40-IQ-DF-CP89	25	54,15	33,20	18,85	0,6	0,6	Cúbica

Corpo de prova	Peneira (mm)	a (mm)	b (mm)	c (mm)	b/a	c/b	Classificação
GN-40-IQ-DF-CP90	25	43,00	32,00	18,60	0,7	0,6	Cúbica
GN-40-IQ-DF-CP91	25	52,35	32,50	22,00	0,6	0,7	Cúbica
GN-40-IQ-DF-CP92	25	50,60	31,40	27,95	0,6	0,9	Cúbica
GN-40-IQ-DF-CP93	25	34,75	33,00	25,15	0,9	0,8	Cúbica
GN-40-IQ-DF-CP94	25	41,40	34,75	27,55	0,8	0,8	Cúbica
GN-40-IQ-DF-CP95	19	57,00	25,45	18,20	0,4	0,7	Alongada
GN-40-IQ-DF-CP96	19	50,70	27,75	25,00	0,5	0,9	Cúbica
GN-40-IQ-DF-CP97	19	35,60	26,30	24,20	0,7	0,9	Cúbica
GN-40-IQ-DF-CP98	19	48,90	27,30	25,30	0,6	0,9	Cúbica
GN-40-IQ-DF-CP99	19	44,60	34,05	20,30	0,8	0,6	Cúbica
GN-40-IQ-DF-CP100	19	42,25	31,90	10,00	0,8	0,3	Lamelar

Tabela 30 – Dados do ensaio de determinação da forma da ES-00-DF (arquivo pessoal).

Corpo de prova	Peneira (mm)	a (mm)	b (mm)	c (mm)	b/a	c/b	Classificação
ES-00-DF-CP1	63	96,15	75,90	48,50	0,8	0,6	Cúbica
ES-00-DF-CP2	63	70,55	67,95	47,15	1,0	0,7	Cúbica
ES-00-DF-CP3	63	91,90	70,45	68,15	0,8	1,0	Cúbica
ES-00-DF-CP4	63	85,20	62,70	55,30	0,7	0,9	Cúbica
ES-00-DF-CP5	63	90,85	60,00	47,70	0,7	0,8	Cúbica
ES-00-DF-CP6	63	93,50	72,10	47,10	0,8	0,7	Cúbica
ES-00-DF-CP7	63	88,50	79,10	64,30	0,9	0,8	Cúbica
ES-00-DF-CP8	63	112,05	81,12	52,40	0,7	0,6	Cúbica
ES-00-DF-CP9	63	97,30	68,50	67,00	0,7	1,0	Cúbica
ES-00-DF-CP10	63	84,65	71,10	66,90	0,8	0,9	Cúbica
ES-00-DF-CP11	50	62,45	43,70	43,55	0,7	1,0	Cúbica
ES-00-DF-CP12	50	67,15	59,15	46,25	0,9	0,8	Cúbica
ES-00-DF-CP13	50	61,85	61,25	41,25	1,0	0,7	Cúbica
ES-00-DF-CP14	50	64,15	62,55	58,05	1,0	0,9	Cúbica
ES-00-DF-CP15	50	72,35	57,15	41,95	0,8	0,7	Cúbica
ES-00-DF-CP16	50	64,70	60,00	38,45	0,9	0,6	Cúbica

Corpo de prova	Peneira (mm)	a (mm)	b (mm)	c (mm)	b/a	c/b	Classificação
ES-00-DF-CP17	50	62,45	56,00	42,60	0,9	0,8	Cúbica
ES-00-DF-CP18	50	58,75	57,40	39,40	1,0	0,7	Cúbica
ES-00-DF-CP19	50	70,50	57,75	44,55	0,8	0,8	Cúbica
ES-00-DF-CP20	50	64,35	61,30	40,30	1,0	0,7	Cúbica
ES-00-DF-CP21	50	71,75	53,50	52,35	0,7	1,0	Cúbica
ES-00-DF-CP22	50	77,65	62,40	52,60	0,8	0,8	Cúbica
ES-00-DF-CP23	50	84,50	74,95	43,05	0,9	0,6	Cúbica
ES-00-DF-CP24	50	69,45	60,25	52,10	0,9	0,9	Cúbica
ES-00-DF-CP25	50	95,15	64,40	41,30	0,7	0,6	Cúbica
ES-00-DF-CP26	50	68,20	57,45	45,15	0,8	0,8	Cúbica
ES-00-DF-CP27	50	63,65	58,10	50,00	0,9	0,9	Cúbica
ES-00-DF-CP28	50	67,65	55,25	42,00	0,8	0,8	Cúbica
ES-00-DF-CP29	50	88,80	63,90	54,05	0,7	0,8	Cúbica
ES-00-DF-CP30	38	46,20	37,20	37,10	0,8	1,0	Cúbica
ES-00-DF-CP31	38	53,35	42,05	38,50	0,8	0,9	Cúbica
ES-00-DF-CP32	38	52,30	50,35	34,30	1,0	0,7	Cúbica
ES-00-DF-CP33	38	40,30	35,60	33,90	0,9	1,0	Cúbica
ES-00-DF-CP34	38	45,00	40,55	36,45	0,9	0,9	Cúbica
ES-00-DF-CP35	38	66,65	42,90	34,85	0,6	0,8	Cúbica
ES-00-DF-CP36	38	55,10	50,70	43,70	0,9	0,9	Cúbica
ES-00-DF-CP37	38	65,45	41,05	37,65	0,6	0,9	Cúbica
ES-00-DF-CP38	38	57,80	51,65	44,85	0,9	0,9	Cúbica
ES-00-DF-CP39	38	78,10	51,10	40,95	0,7	0,8	Cúbica
ES-00-DF-CP40	38	61,30	46,70	44,25	0,8	0,9	Cúbica
ES-00-DF-CP41	38	51,45	50,00	48,30	1,0	1,0	Cúbica
ES-00-DF-CP42	38	49,05	40,20	32,90	0,8	0,8	Cúbica
ES-00-DF-CP43	38	44,30	43,95	32,70	1,0	0,7	Cúbica
ES-00-DF-CP44	38	54,45	43,90	31,60	0,8	0,7	Cúbica
ES-00-DF-CP45	38	42,40	40,15	35,10	0,9	0,9	Cúbica
ES-00-DF-CP46	38	62,30	45,75	22,50	0,7	0,5	Cúbica
ES-00-DF-CP47	38	45,45	42,40	35,20	0,9	0,8	Cúbica
ES-00-DF-CP48	38	70,30	40,65	38,40	0,6	0,9	Cúbica
ES-00-DF-CP49	38	50,40	44,10	34,35	0,9	0,8	Cúbica

Corpo de prova	Peneira (mm)	a (mm)	b (mm)	c (mm)	b/a	c/b	Classificação
ES-00-DF-CP50	38	62,05	54,15	32,20	0,9	0,6	Cúbica
ES-00-DF-CP51	38	45,30	44,40	39,05	1,0	0,9	Cúbica
ES-00-DF-CP52	38	53,70	43,35	33,30	0,8	0,8	Cúbica
ES-00-DF-CP53	38	62,55	55,90	41,10	0,9	0,7	Cúbica
ES-00-DF-CP54	38	61,40	47,05	31,80	0,8	0,7	Cúbica
ES-00-DF-CP55	38	62,15	45,80	39,35	0,7	0,9	Cúbica
ES-00-DF-CP56	38	84,45	43,10	42,85	0,5	1,0	Cúbica
ES-00-DF-CP57	38	42,60	38,00	35,90	0,9	0,9	Cúbica
ES-00-DF-CP58	38	77,60	43,35	33,05	0,6	0,8	Cúbica
ES-00-DF-CP59	38	58,50	45,10	37,10	0,8	0,8	Cúbica
ES-00-DF-CP60	38	55,65	38,35	31,60	0,7	0,8	Cúbica
ES-00-DF-CP61	38	56,10	46,35	42,65	0,8	0,9	Cúbica
ES-00-DF-CP62	38	77,50	46,30	28,55	0,6	0,6	Cúbica
ES-00-DF-CP63	38	66,75	53,05	43,80	0,8	0,8	Cúbica
ES-00-DF-CP64	38	63,65	46,25	39,75	0,7	0,9	Cúbica
ES-00-DF-CP65	38	84,95	45,40	43,15	0,5	1,0	Cúbica
ES-00-DF-CP66	38	66,00	51,05	30,60	0,8	0,6	Cúbica
ES-00-DF-CP67	38	62,40	45,10	28,05	0,7	0,6	Cúbica
ES-00-DF-CP68	38	77,55	38,60	33,35	0,5	0,9	Cúbica
ES-00-DF-CP69	38	67,35	56,75	28,80	0,8	0,5	Cúbica
ES-00-DF-CP70	38	56,10	43,10	27,85	0,8	0,6	Cúbica
ES-00-DF-CP71	25	44,60	35,85	25,75	0,8	0,7	Cúbica
ES-00-DF-CP72	25	49,70	38,60	18,40	0,8	0,5	Cúbica
ES-00-DF-CP73	25	46,50	38,95	19,55	0,8	0,5	Cúbica
ES-00-DF-CP74	25	35,75	32,30	25,90	0,9	0,8	Cúbica
ES-00-DF-CP75	25	50,05	38,35	23,50	0,8	0,6	Cúbica
ES-00-DF-CP76	25	41,15	37,30	35,00	0,9	0,9	Cúbica
ES-00-DF-CP77	25	39,55	37,45	24,20	0,9	0,6	Cúbica
ES-00-DF-CP78	25	34,50	30,10	25,25	0,9	0,8	Cúbica
ES-00-DF-CP79	25	44,15	30,40	29,00	0,7	1,0	Cúbica
ES-00-DF-CP80	25	40,85	30,45	23,55	0,7	0,8	Cúbica
ES-00-DF-CP81	25	35,00	30,70	23,90	0,9	0,8	Cúbica
ES-00-DF-CP82	25	44,20	35,20	24,95	0,8	0,7	Cúbica

Corpo de prova	Peneira (mm)	a (mm)	b (mm)	c (mm)	b/a	c/b	Classificação
ES-00-DF-CP83	25	42,35	38,75	26,20	0,9	0,7	Cúbica
ES-00-DF-CP84	25	39,55	37,25	32,00	0,9	0,9	Cúbica
ES-00-DF-CP85	25	38,65	32,65	28,90	0,8	0,9	Cúbica
ES-00-DF-CP86	25	48,60	34,00	20,65	0,7	0,6	Cúbica
ES-00-DF-CP87	25	50,90	43,30	23,45	0,9	0,5	Cúbica
ES-00-DF-CP88	25	42,20	41,30	32,20	1,0	0,8	Cúbica
ES-00-DF-CP89	25	80,25	35,80	16,70	0,4	0,5	Alongada
ES-00-DF-CP90	25	38,40	34,25	32,60	0,9	1,0	Cúbica
ES-00-DF-CP91	25	57,80	37,80	34,15	0,7	0,9	Cúbica
ES-00-DF-CP92	25	34,15	34,15	20,30	1,0	0,6	Cúbica
ES-00-DF-CP93	25	35,10	34,05	34,00	1,0	1,0	Cúbica
ES-00-DF-CP94	25	42,25	40,90	28,30	1,0	0,7	Cúbica
ES-00-DF-CP95	25	37,35	29,90	28,90	0,8	1,0	Cúbica
ES-00-DF-CP96	25	46,20	35,60	22,70	0,8	0,6	Cúbica
ES-00-DF-CP97	25	38,05	37,90	23,30	1,0	0,6	Cúbica
ES-00-DF-CP98	25	50,55	46,45	23,20	0,9	0,5	Cúbica
ES-00-DF-CP99	19	26,80	20,55	10,30	0,8	0,5	Cúbica
ES-00-DF-CP100	19	21,90	21,50	16,65	1,0	0,8	Cúbica

Tabela 31 – Dados do ensaio de determinação da forma da ES-25-IF-DF (arquivo pessoal).

Corpo de prova	Peneira (mm)	a (mm)	b (mm)	c (mm)	b/a	c/b	Classificação
ES-25-IF-DF-CP1	63	85,00	83,90	51,10	1,0	0,6	Cúbica
ES-25-IF-DF-CP2	63	89,50	83,30	35,70	0,9	0,4	Lamelar
ES-25-IF-DF-CP3	50	108,60	73,30	58,40	0,7	0,8	Cúbica
ES-25-IF-DF-CP4	50	60,00	56,00	39,10	0,9	0,7	Cúbica
ES-25-IF-DF-CP5	50	70,25	62,10	50,90	0,9	0,8	Cúbica
ES-25-IF-DF-CP6	50	74,00	69,75	39,30	0,9	0,6	Cúbica
ES-25-IF-DF-CP7	50	72,20	65,10	48,15	0,9	0,7	Cúbica
ES-25-IF-DF-CP8	50	78,95	60,80	40,40	0,8	0,7	Cúbica
ES-25-IF-DF-CP9	50	73,90	52,80	48,90	0,7	0,9	Cúbica

Corpo de prova	Peneira (mm)	a (mm)	b (mm)	c (mm)	b/a	c/b	Classificação
ES-25-IF-DF-CP10	50	72,50	67,40	56,60	0,9	0,8	Cúbica
ES-25-IF-DF-CP11	50	69,65	62,30	43,00	0,9	0,7	Cúbica
ES-25-IF-DF-CP12	50	76,10	64,20	36,80	0,8	0,6	Cúbica
ES-25-IF-DF-CP13	50	85,15	52,15	48,80	0,6	0,9	Cúbica
ES-25-IF-DF-CP14	50	72,00	58,50	50,15	0,8	0,9	Cúbica
ES-25-IF-DF-CP15	50	82,00	66,00	41,65	0,8	0,6	Cúbica
ES-25-IF-DF-CP16	50	81,20	66,90	39,15	0,8	0,6	Cúbica
ES-25-IF-DF-CP17	50	75,60	66,00	53,90	0,9	0,8	Cúbica
ES-25-IF-DF-CP18	50	102,70	59,15	53,00	0,6	0,9	Cúbica
ES-25-IF-DF-CP19	38	69,20	56,10	44,50	0,8	0,8	Cúbica
ES-25-IF-DF-CP20	38	62,20	48,70	45,70	0,8	0,9	Cúbica
ES-25-IF-DF-CP21	38	50,60	45,25	42,30	0,9	0,9	Cúbica
ES-25-IF-DF-CP22	38	64,30	44,40	40,25	0,7	0,9	Cúbica
ES-25-IF-DF-CP23	38	73,00	47,90	35,30	0,7	0,7	Cúbica
ES-25-IF-DF-CP24	38	76,80	47,90	45,00	0,6	0,9	Cúbica
ES-25-IF-DF-CP25	38	64,10	49,90	44,40	0,8	0,9	Cúbica
ES-25-IF-DF-CP26	38	75,30	49,40	48,00	0,7	1,0	Cúbica
ES-25-IF-DF-CP27	38	55,10	44,70	35,00	0,8	0,8	Cúbica
ES-25-IF-DF-CP28	38	56,00	48,00	35,60	0,9	0,7	Cúbica
ES-25-IF-DF-CP29	38	61,40	34,60	33,00	0,6	1,0	Cúbica
ES-25-IF-DF-CP30	38	54,00	42,00	41,40	0,8	1,0	Cúbica
ES-25-IF-DF-CP31	38	66,10	58,00	41,90	0,9	0,7	Cúbica
ES-25-IF-DF-CP32	38	71,70	46,40	42,45	0,6	0,9	Cúbica
ES-25-IF-DF-CP33	38	51,00	40,00	32,00	0,8	0,8	Cúbica
ES-25-IF-DF-CP34	38	62,10	43,00	40,50	0,7	0,9	Cúbica
ES-25-IF-DF-CP35	38	61,80	40,00	39,60	0,6	1,0	Cúbica
ES-25-IF-DF-CP36	38	62,30	47,00	34,50	0,8	0,7	Cúbica
ES-25-IF-DF-CP37	38	50,55	41,10	30,80	0,8	0,7	Cúbica
ES-25-IF-DF-CP38	38	53,10	35,40	31,20	0,7	0,9	Cúbica
ES-25-IF-DF-CP39	38	62,30	51,00	21,00	0,8	0,4	Lamelar
ES-25-IF-DF-CP40	38	53,40	51,00	37,90	1,0	0,7	Cúbica
ES-25-IF-DF-CP41	38	74,40	40,70	29,00	0,5	0,7	Cúbica
ES-25-IF-DF-CP42	38	70,80	51,70	28,00	0,7	0,5	Cúbica

Corpo de prova	Peneira (mm)	a (mm)	b (mm)	c (mm)	b/a	c/b	Classificação
ES-25-IF-DF-CP43	38	45,00	36,20	29,75	0,8	0,8	Cúbica
ES-25-IF-DF-CP44	38	58,30	39,00	33,20	0,7	0,9	Cúbica
ES-25-IF-DF-CP45	38	67,65	62,00	32,65	0,9	0,5	Cúbica
ES-25-IF-DF-CP46	38	60,55	39,00	26,65	0,6	0,7	Cúbica
ES-25-IF-DF-CP47	38	48,20	41,65	24,00	0,9	0,6	Cúbica
ES-25-IF-DF-CP48	38	63,25	48,00	39,80	0,8	0,8	Cúbica
ES-25-IF-DF-CP49	38	70,65	45,30	40,90	0,6	0,9	Cúbica
ES-25-IF-DF-CP50	38	50,00	48,10	26,00	1,0	0,5	Cúbica
ES-25-IF-DF-CP51	38	47,00	40,00	34,60	0,9	0,9	Cúbica
ES-25-IF-DF-CP52	38	50,20	40,20	31,35	0,8	0,8	Cúbica
ES-25-IF-DF-CP53	38	65,00	63,75	29,45	1,0	0,5	Cúbica
ES-25-IF-DF-CP54	38	58,00	52,80	40,75	0,9	0,8	Cúbica
ES-25-IF-DF-CP55	38	69,00	45,60	40,00	0,7	0,9	Cúbica
ES-25-IF-DF-CP56	38	45,50	39,00	33,00	0,9	0,8	Cúbica
ES-25-IF-DF-CP57	38	66,20	48,70	29,00	0,7	0,6	Cúbica
ES-25-IF-DF-CP58	38	55,00	41,90	37,20	0,8	0,9	Cúbica
ES-25-IF-DF-CP59	38	63,00	53,00	33,25	0,8	0,6	Cúbica
ES-25-IF-DF-CP60	38	58,80	42,60	32,10	0,7	0,8	Cúbica
ES-25-IF-DF-CP61	38	73,00	45,00	43,00	0,6	1,0	Cúbica
ES-25-IF-DF-CP62	38	57,55	47,50	39,45	0,8	0,8	Cúbica
ES-25-IF-DF-CP63	38	61,20	41,00	32,70	0,7	0,8	Cúbica
ES-25-IF-DF-CP64	38	58,75	41,80	39,90	0,7	1,0	Cúbica
ES-25-IF-DF-CP65	38	52,00	41,90	38,35	0,8	0,9	Cúbica
ES-25-IF-DF-CP66	25	52,05	37,00	34,50	0,7	0,9	Cúbica
ES-25-IF-DF-CP67	25	45,70	33,40	30,60	0,7	0,9	Cúbica
ES-25-IF-DF-CP68	25	54,60	48,00	28,35	0,9	0,6	Cúbica
ES-25-IF-DF-CP69	25	38,80	29,15	27,85	0,8	1,0	Cúbica
ES-25-IF-DF-CP70	25	41,35	34,00	19,75	0,8	0,6	Cúbica
ES-25-IF-DF-CP71	25	47,90	43,80	29,30	0,9	0,7	Cúbica
ES-25-IF-DF-CP72	25	45,35	37,00	27,75	0,8	0,8	Cúbica
ES-25-IF-DF-CP73	25	50,10	36,60	23,35	0,7	0,6	Cúbica
ES-25-IF-DF-CP74	25	44,00	40,90	24,10	0,9	0,6	Cúbica
ES-25-IF-DF-CP75	25	49,00	31,60	29,30	0,6	0,9	Cúbica

Corpo de prova	Peneira (mm)	a (mm)	b (mm)	c (mm)	b/a	c/b	Classificação
ES-25-IF-DF-CP76	25	44,65	32,70	28,90	0,7	0,9	Cúbica
ES-25-IF-DF-CP77	25	50,50	39,75	34,05	0,8	0,9	Cúbica
ES-25-IF-DF-CP78	25	42,25	36,00	18,00	0,9	0,5	Cúbica
ES-25-IF-DF-CP79	25	46,00	39,80	35,35	0,9	0,9	Cúbica
ES-25-IF-DF-CP80	25	49,50	40,70	34,20	0,8	0,8	Cúbica
ES-25-IF-DF-CP81	25	48,00	41,90	28,25	0,9	0,7	Cúbica
ES-25-IF-DF-CP82	25	35,10	33,00	27,30	0,9	0,8	Cúbica
ES-25-IF-DF-CP83	25	39,60	27,95	17,50	0,7	0,6	Cúbica
ES-25-IF-DF-CP84	25	46,00	43,10	33,25	0,9	0,8	Cúbica
ES-25-IF-DF-CP85	25	41,10	36,60	26,60	0,9	0,7	Cúbica
ES-25-IF-DF-CP86	25	41,20	26,55	21,70	0,6	0,8	Cúbica
ES-25-IF-DF-CP87	25	44,35	31,40	22,55	0,7	0,7	Cúbica
ES-25-IF-DF-CP88	25	52,50	32,60	25,20	0,6	0,8	Cúbica
ES-25-IF-DF-CP89	25	44,00	38,70	26,70	0,9	0,7	Cúbica
ES-25-IF-DF-CP90	25	38,70	35,65	32,10	0,9	0,9	Cúbica
ES-25-IF-DF-CP91	25	43,15	32,10	23,70	0,7	0,7	Cúbica
ES-25-IF-DF-CP92	25	44,65	34,15	28,50	0,8	0,8	Cúbica
ES-25-IF-DF-CP93	25	45,90	30,90	27,00	0,7	0,9	Cúbica
ES-25-IF-DF-CP94	25	52,00	46,60	25,30	0,9	0,5	Cúbica
ES-25-IF-DF-CP95	25	34,70	33,60	19,85	1,0	0,6	Cúbica
ES-25-IF-DF-CP96	25	38,85	27,25	26,15	0,7	1,0	Cúbica
ES-25-IF-DF-CP97	19	40,80	31,40	22,10	0,8	0,7	Cúbica
ES-25-IF-DF-CP98	19	50,25	32,40	19,40	0,6	0,6	Cúbica
ES-25-IF-DF-CP99	19	46,90	30,30	22,85	0,6	0,8	Cúbica
ES-25-IF-DF-CP100	19	38,85	24,85	20,10	0,6	0,8	Cúbica

Tabela 32 – Dados do ensaio de determinação da forma da ES-50-IF-DF (arquivo pessoal).

Corpo de prova	Peneira (mm)	a (mm)	b (mm)	c (mm)	b/a	c/b	Classificação
ES-50-IF-DF-CP1	63	84,20	68,65	55,85	0,8	0,8	Cúbica
ES-50-IF-DF-CP2	63	93,45	69,00	61,50	0,7	0,9	Cúbica

Corpo de prova	Peneira (mm)	a (mm)	b (mm)	c (mm)	b/a	c/b	Classificação
ES-50-IF-DF-CP3	50	91,35	71,60	44,50	0,8	0,6	Cúbica
ES-50-IF-DF-CP4	50	95,10	62,80	60,35	0,7	1,0	Cúbica
ES-50-IF-DF-CP5	50	77,85	58,90	57,05	0,8	1,0	Cúbica
ES-50-IF-DF-CP6	50	75,95	65,30	48,10	0,9	0,7	Cúbica
ES-50-IF-DF-CP7	50	71,30	57,40	56,35	0,8	1,0	Cúbica
ES-50-IF-DF-CP8	50	72,05	58,75	43,20	0,8	0,7	Cúbica
ES-50-IF-DF-CP9	50	83,40	51,20	43,30	0,6	0,8	Cúbica
ES-50-IF-DF-CP10	50	65,25	57,80	48,45	0,9	0,8	Cúbica
ES-50-IF-DF-CP11	50	69,95	58,65	57,25	0,8	1,0	Cúbica
ES-50-IF-DF-CP12	50	73,50	56,80	30,85	0,8	0,5	Cúbica
ES-50-IF-DF-CP13	50	80,95	65,10	47,85	0,8	0,7	Cúbica
ES-50-IF-DF-CP14	50	72,75	62,05	54,35	0,9	0,9	Cúbica
ES-50-IF-DF-CP15	50	61,10	50,50	46,00	0,8	0,9	Cúbica
ES-50-IF-DF-CP16	50	73,00	59,65	49,05	0,8	0,8	Cúbica
ES-50-IF-DF-CP17	50	67,65	62,20	28,20	0,9	0,5	Cúbica
ES-50-IF-DF-CP18	50	59,05	57,10	53,00	1,0	0,9	Cúbica
ES-50-IF-DF-CP19	38	48,45	45,50	45,30	0,9	1,0	Cúbica
ES-50-IF-DF-CP20	38	56,95	42,35	36,20	0,7	0,9	Cúbica
ES-50-IF-DF-CP21	38	67,55	47,45	34,95	0,7	0,7	Cúbica
ES-50-IF-DF-CP22	38	75,60	48,30	43,90	0,6	0,9	Cúbica
ES-50-IF-DF-CP23	38	59,10	41,80	26,85	0,7	0,6	Cúbica
ES-50-IF-DF-CP24	38	70,70	45,80	37,50	0,6	0,8	Cúbica
ES-50-IF-DF-CP25	38	49,00	43,10	37,35	0,9	0,9	Cúbica
ES-50-IF-DF-CP26	38	70,00	55,25	27,60	0,8	0,5	Cúbica
ES-50-IF-DF-CP27	38	57,80	47,70	34,35	0,8	0,7	Cúbica
ES-50-IF-DF-CP28	38	53,08	45,60	27,60	0,9	0,6	Cúbica
ES-50-IF-DF-CP29	38	69,55	48,10	38,10	0,7	0,8	Cúbica
ES-50-IF-DF-CP30	38	59,85	46,35	37,60	0,8	0,8	Cúbica
ES-50-IF-DF-CP31	38	47,05	45,15	29,45	1,0	0,7	Cúbica
ES-50-IF-DF-CP32	38	57,75	47,05	31,70	0,8	0,7	Cúbica
ES-50-IF-DF-CP33	38	58,20	52,50	27,70	0,9	0,5	Cúbica
ES-50-IF-DF-CP34	38	66,75	57,40	43,60	0,9	0,8	Cúbica
ES-50-IF-DF-CP35	38	54,90	41,60	36,55	0,8	0,9	Cúbica

Corpo de prova	Peneira (mm)	a (mm)	b (mm)	c (mm)	b/a	c/b	Classificação
ES-50-IF-DF-CP36	38	55,80	49,60	34,00	0,9	0,7	Cúbica
ES-50-IF-DF-CP37	38	39,80	39,55	37,30	1,0	0,9	Cúbica
ES-50-IF-DF-CP38	38	56,20	45,75	34,20	0,8	0,7	Cúbica
ES-50-IF-DF-CP39	38	48,55	39,50	41,35	0,8	1,0	Cúbica
ES-50-IF-DF-CP40	38	45,40	44,85	40,30	1,0	0,9	Cúbica
ES-50-IF-DF-CP41	38	52,80	44,45	41,10	0,8	0,9	Cúbica
ES-50-IF-DF-CP42	38	57,70	44,00	29,20	0,8	0,7	Cúbica
ES-50-IF-DF-CP43	38	71,05	52,70	35,40	0,7	0,7	Cúbica
ES-50-IF-DF-CP44	38	54,05	39,70	38,45	0,7	1,0	Cúbica
ES-50-IF-DF-CP45	38	77,70	43,25	42,50	0,6	1,0	Cúbica
ES-50-IF-DF-CP46	38	51,45	42,80	19,30	0,8	0,5	Cúbica
ES-50-IF-DF-CP47	38	64,55	52,85	37,65	0,8	0,7	Cúbica
ES-50-IF-DF-CP48	38	50,50	42,80	41,10	0,8	1,0	Cúbica
ES-50-IF-DF-CP49	38	43,40	39,65	41,20	0,9	1,0	Cúbica
ES-50-IF-DF-CP50	38	48,30	46,40	21,60	1,0	0,5	Cúbica
ES-50-IF-DF-CP51	38	69,85	45,25	36,00	0,6	0,8	Cúbica
ES-50-IF-DF-CP52	38	53,00	40,50	27,15	0,8	0,7	Cúbica
ES-50-IF-DF-CP53	38	53,00	42,35	38,50	0,8	0,9	Cúbica
ES-50-IF-DF-CP54	38	47,95	40,70	38,80	0,8	1,0	Cúbica
ES-50-IF-DF-CP55	38	60,80	57,15	39,35	0,9	0,7	Cúbica
ES-50-IF-DF-CP56	38	59,35	39,90	38,70	0,7	1,0	Cúbica
ES-50-IF-DF-CP57	38	46,90	45,35	37,05	1,0	0,8	Cúbica
ES-50-IF-DF-CP58	38	46,50	41,85	40,45	0,9	1,0	Cúbica
ES-50-IF-DF-CP59	38	54,85	50,60	36,45	0,9	0,7	Cúbica
ES-50-IF-DF-CP60	25	43,40	39,00	26,10	0,9	0,7	Cúbica
ES-50-IF-DF-CP61	25	56,95	30,80	28,70	0,5	0,9	Cúbica
ES-50-IF-DF-CP62	25	51,50	40,35	37,65	0,8	0,9	Cúbica
ES-50-IF-DF-CP63	25	46,35	36,75	26,80	0,8	0,7	Cúbica
ES-50-IF-DF-CP64	25	46,70	46,55	37,50	1,0	0,8	Cúbica
ES-50-IF-DF-CP65	25	64,00	36,70	32,20	0,6	0,9	Cúbica
ES-50-IF-DF-CP66	25	45,40	34,75	34,15	0,8	1,0	Cúbica
ES-50-IF-DF-CP67	25	63,45	35,45	18,80	0,6	0,5	Cúbica
ES-50-IF-DF-CP68	25	49,50	38,75	29,90	0,8	0,8	Cúbica

Corpo de prova	Peneira (mm)	a (mm)	b (mm)	c (mm)	b/a	c/b	Classificação
ES-50-IF-DF-CP69	25	38,20	33,55	32,15	0,9	1,0	Cúbica
ES-50-IF-DF-CP70	25	41,60	35,75	30,50	0,9	0,9	Cúbica
ES-50-IF-DF-CP71	25	42,70	41,45	29,40	1,0	0,7	Cúbica
ES-50-IF-DF-CP72	25	49,80	36,10	30,85	0,7	0,9	Cúbica
ES-50-IF-DF-CP73	25	44,95	37,00	31,65	0,8	0,9	Cúbica
ES-50-IF-DF-CP74	25	57,70	36,80	27,10	0,6	0,7	Cúbica
ES-50-IF-DF-CP75	25	40,70	37,20	25,35	0,9	0,7	Cúbica
ES-50-IF-DF-CP76	25	47,00	43,15	28,00	0,9	0,6	Cúbica
ES-50-IF-DF-CP77	25	43,60	37,80	28,05	0,9	0,7	Cúbica
ES-50-IF-DF-CP78	25	48,90	39,00	37,90	0,8	1,0	Cúbica
ES-50-IF-DF-CP79	25	50,40	34,60	31,25	0,7	0,9	Cúbica
ES-50-IF-DF-CP80	25	36,30	35,00	20,75	1,0	0,6	Cúbica
ES-50-IF-DF-CP81	25	40,90	35,35	29,80	0,9	0,8	Cúbica
ES-50-IF-DF-CP82	25	42,05	40,85	29,80	1,0	0,7	Cúbica
ES-50-IF-DF-CP83	25	40,60	39,05	25,70	1,0	0,7	Cúbica
ES-50-IF-DF-CP84	25	40,60	37,50	23,10	0,9	0,6	Cúbica
ES-50-IF-DF-CP85	25	40,60	33,10	32,15	0,8	1,0	Cúbica
ES-50-IF-DF-CP86	25	36,80	34,75	32,10	0,9	0,9	Cúbica
ES-50-IF-DF-CP87	25	52,75	36,60	32,80	0,7	0,9	Cúbica
ES-50-IF-DF-CP88	25	39,75	34,15	23,75	0,9	0,7	Cúbica
ES-50-IF-DF-CP89	25	43,30	37,10	26,40	0,9	0,7	Cúbica
ES-50-IF-DF-CP90	25	47,20	31,90	31,20	0,7	1,0	Cúbica
ES-50-IF-DF-CP91	25	59,30	40,10	36,75	0,7	0,9	Cúbica
ES-50-IF-DF-CP92	25	54,70	39,20	31,65	0,7	0,8	Cúbica
ES-50-IF-DF-CP93	25	39,80	35,70	28,45	0,9	0,8	Cúbica
ES-50-IF-DF-CP94	25	54,15	38,00	35,75	0,7	0,9	Cúbica
ES-50-IF-DF-CP95	25	49,05	43,75	37,05	0,9	0,8	Cúbica
ES-50-IF-DF-CP96	19	36,30	25,40	23,25	0,7	0,9	Cúbica
ES-50-IF-DF-CP97	19	28,20	26,00	23,80	0,9	0,9	Cúbica
ES-50-IF-DF-CP98	19	27,55	21,20	20,75	0,8	1,0	Cúbica
ES-50-IF-DF-CP99	19	26,60	21,55	20,00	0,8	0,9	Cúbica
ES-50-IF-DF-CP100	19	21,50	21,40	15,25	1,0	0,7	Cúbica

Tabela 33 – Dados do ensaio de determinação da forma da ES-75-IF-DF (arquivo pessoal).

Amostra	Peneira (mm)	a (mm)	b (mm)	c (mm)	b/a	c/b	Classificação
ES-75-IF-DF-CP1	63	81,05	66,95	61,65	0,8	0,9	Cúbica
ES-75-IF-DF-CP2	50	76,20	72,60	50,85	1,0	0,7	Cúbica
ES-75-IF-DF-CP3	50	71,55	63,70	60,55	0,9	1,0	Cúbica
ES-75-IF-DF-CP4	50	84,30	52,00	49,00	0,6	0,9	Cúbica
ES-75-IF-DF-CP5	50	84,00	79,45	52,05	0,9	0,7	Cúbica
ES-75-IF-DF-CP6	50	87,65	71,70	55,30	0,8	0,8	Cúbica
ES-75-IF-DF-CP7	50	72,75	71,75	65,30	1,0	0,9	Cúbica
ES-75-IF-DF-CP8	50	79,10	55,05	45,10	0,7	0,8	Cúbica
ES-75-IF-DF-CP9	50	93,10	67,90	46,25	0,7	0,7	Cúbica
ES-75-IF-DF-CP10	50	75,95	54,95	47,95	0,7	0,9	Cúbica
ES-75-IF-DF-CP11	50	68,70	60,10	37,30	0,9	0,6	Cúbica
ES-75-IF-DF-CP12	50	72,00	69,15	53,05	1,0	0,8	Cúbica
ES-75-IF-DF-CP13	50	89,00	63,65	39,80	0,7	0,6	Cúbica
ES-75-IF-DF-CP14	50	70,00	63,80	39,70	0,9	0,6	Cúbica
ES-75-IF-DF-CP15	50	67,45	54,70	52,20	0,8	1,0	Cúbica
ES-75-IF-DF-CP16	50	82,45	73,15	53,10	0,9	0,7	Cúbica
ES-75-IF-DF-CP17	50	90,90	72,20	61,00	0,8	0,8	Cúbica
ES-75-IF-DF-CP18	50	80,00	61,10	38,00	0,8	0,6	Cúbica
ES-75-IF-DF-CP19	50	65,70	56,45	41,00	0,9	0,7	Cúbica
ES-75-IF-DF-CP20	50	74,00	52,65	38,25	0,7	0,7	Cúbica
ES-75-IF-DF-CP21	50	74,15	57,05	49,15	0,8	0,9	Cúbica
ES-75-IF-DF-CP22	38	59,60	44,60	30,25	0,7	0,7	Cúbica
ES-75-IF-DF-CP23	38	49,15	37,10	29,25	0,8	0,8	Cúbica
ES-75-IF-DF-CP24	38	50,50	43,30	33,85	0,9	0,8	Cúbica
ES-75-IF-DF-CP25	38	57,50	40,20	35,50	0,7	0,9	Cúbica
ES-75-IF-DF-CP26	38	62,00	61,20	29,05	1,0	0,5	Cúbica
ES-75-IF-DF-CP27	38	58,80	38,70	35,90	0,7	0,9	Cúbica
ES-75-IF-DF-CP28	38	51,75	41,35	33,70	0,8	0,8	Cúbica
ES-75-IF-DF-CP29	38	61,55	43,45	39,65	0,7	0,9	Cúbica
ES-75-IF-DF-CP30	38	50,50	42,20	39,55	0,8	0,9	Cúbica

Amostra	Peneira (mm)	a (mm)	b (mm)	c (mm)	b/a	c/b	Classificação
ES-75-IF-DF-CP31	38	77,30	47,70	41,35	0,6	0,9	Cúbica
ES-75-IF-DF-CP32	38	67,20	40,75	36,00	0,6	0,9	Cúbica
ES-75-IF-DF-CP33	38	72,10	52,45	43,55	0,7	0,8	Cúbica
ES-75-IF-DF-CP34	38	52,15	49,25	42,55	0,9	0,9	Cúbica
ES-75-IF-DF-CP35	38	51,35	45,00	34,50	0,9	0,8	Cúbica
ES-75-IF-DF-CP36	38	64,10	39,25	38,95	0,6	1,0	Cúbica
ES-75-IF-DF-CP37	38	53,95	51,95	48,70	1,0	0,9	Cúbica
ES-75-IF-DF-CP38	38	86,85	52,20	45,10	0,6	0,9	Cúbica
ES-75-IF-DF-CP39	38	94,00	48,00	36,60	0,5	0,8	Cúbica
ES-75-IF-DF-CP40	38	62,00	49,80	49,00	0,8	1,0	Cúbica
ES-75-IF-DF-CP41	38	62,95	50,05	49,60	0,8	1,0	Cúbica
ES-75-IF-DF-CP42	38	63,20	49,65	27,20	0,8	0,5	Cúbica
ES-75-IF-DF-CP43	38	48,85	42,00	40,75	0,9	1,0	Cúbica
ES-75-IF-DF-CP44	38	62,80	47,15	45,70	0,8	1,0	Cúbica
ES-75-IF-DF-CP45	38	56,85	47,20	43,20	0,8	0,9	Cúbica
ES-75-IF-DF-CP46	38	48,80	41,80	33,20	0,9	0,8	Cúbica
ES-75-IF-DF-CP47	38	56,90	50,30	35,50	0,9	0,7	Cúbica
ES-75-IF-DF-CP48	38	55,40	53,10	35,70	1,0	0,7	Cúbica
ES-75-IF-DF-CP49	38	58,45	51,80	44,10	0,9	0,9	Cúbica
ES-75-IF-DF-CP50	38	56,80	49,75	29,50	0,9	0,6	Cúbica
ES-75-IF-DF-CP51	38	54,30	49,30	32,40	0,9	0,7	Cúbica
ES-75-IF-DF-CP52	38	52,05	38,20	36,35	0,7	1,0	Cúbica
ES-75-IF-DF-CP53	38	51,20	43,85	30,80	0,9	0,7	Cúbica
ES-75-IF-DF-CP54	38	54,30	51,00	32,25	0,9	0,6	Cúbica
ES-75-IF-DF-CP55	38	48,60	44,50	36,80	0,9	0,8	Cúbica
ES-75-IF-DF-CP56	38	42,65	40,75	32,30	1,0	0,8	Cúbica
ES-75-IF-DF-CP57	38	52,45	48,35	38,55	0,9	0,8	Cúbica
ES-75-IF-DF-CP58	38	62,35	50,70	38,80	0,8	0,8	Cúbica
ES-75-IF-DF-CP59	38	57,70	49,30	45,25	0,9	0,9	Cúbica
ES-75-IF-DF-CP60	38	55,60	44,15	39,80	0,8	0,9	Cúbica
ES-75-IF-DF-CP61	38	69,65	49,80	38,25	0,7	0,8	Cúbica
ES-75-IF-DF-CP62	38	80,00	52,70	49,75	0,7	0,9	Cúbica
ES-75-IF-DF-CP63	38	45,00	44,35	39,15	1,0	0,9	Cúbica

Amostra	Peneira (mm)	a (mm)	b (mm)	c (mm)	b/a	c/b	Classificação
ES-75-IF-DF-CP64	38	64,20	57,60	44,00	0,9	0,8	Cúbica
ES-75-IF-DF-CP65	38	54,65	40,30	27,60	0,7	0,7	Cúbica
ES-75-IF-DF-CP66	38	60,10	50,70	39,60	0,8	0,8	Cúbica
ES-75-IF-DF-CP67	38	58,30	48,00	42,90	0,8	0,9	Cúbica
ES-75-IF-DF-CP68	38	57,50	43,20	35,65	0,8	0,8	Cúbica
ES-75-IF-DF-CP69	38	77,55	52,75	51,00	0,7	1,0	Cúbica
ES-75-IF-DF-CP70	38	50,95	47,25	33,70	0,9	0,7	Cúbica
ES-75-IF-DF-CP71	25	47,00	37,00	23,50	0,8	0,6	Cúbica
ES-75-IF-DF-CP72	25	38,40	35,80	34,65	0,9	1,0	Cúbica
ES-75-IF-DF-CP73	25	50,40	35,00	26,30	0,7	0,8	Cúbica
ES-75-IF-DF-CP74	25	43,80	34,65	27,75	0,8	0,8	Cúbica
ES-75-IF-DF-CP75	25	42,60	36,60	30,00	0,9	0,8	Cúbica
ES-75-IF-DF-CP76	25	45,15	29,75	29,50	0,7	1,0	Cúbica
ES-75-IF-DF-CP77	25	39,50	39,00	31,00	1,0	0,8	Cúbica
ES-75-IF-DF-CP78	25	43,40	31,45	21,20	0,7	0,7	Cúbica
ES-75-IF-DF-CP79	25	36,00	32,40	30,80	0,9	1,0	Cúbica
ES-75-IF-DF-CP80	25	41,25	37,00	32,80	0,9	0,9	Cúbica
ES-75-IF-DF-CP81	25	47,20	33,85	32,80	0,7	1,0	Cúbica
ES-75-IF-DF-CP82	25	56,00	37,10	22,40	0,7	0,6	Cúbica
ES-75-IF-DF-CP83	25	42,20	29,10	28,70	0,7	1,0	Cúbica
ES-75-IF-DF-CP84	25	50,30	39,70	33,00	0,8	0,8	Cúbica
ES-75-IF-DF-CP85	25	50,70	41,70	37,80	0,8	0,9	Cúbica
ES-75-IF-DF-CP86	25	39,75	39,75	25,20	1,0	0,6	Cúbica
ES-75-IF-DF-CP87	25	39,20	37,80	28,50	1,0	0,8	Cúbica
ES-75-IF-DF-CP88	25	58,35	40,20	31,15	0,7	0,8	Cúbica
ES-75-IF-DF-CP89	25	52,65	37,75	36,60	0,7	1,0	Cúbica
ES-75-IF-DF-CP90	25	48,10	34,95	34,20	0,7	1,0	Cúbica
ES-75-IF-DF-CP91	25	48,10	36,10	30,60	0,8	0,8	Cúbica
ES-75-IF-DF-CP92	25	51,00	35,65	35,50	0,7	1,0	Cúbica
ES-75-IF-DF-CP93	25	51,00	38,25	32,80	0,8	0,9	Cúbica
ES-75-IF-DF-CP94	25	41,20	39,65	26,75	1,0	0,7	Cúbica
ES-75-IF-DF-CP95	25	53,00	33,45	29,65	0,6	0,9	Cúbica
ES-75-IF-DF-CP96	25	40,00	36,40	34,35	0,9	0,9	Cúbica

Amostra	Peneira (mm)	a (mm)	b (mm)	c (mm)	b/a	c/b	Classificação
ES-75-IF-DF-CP97	25	49,50	40,85	29,85	0,8	0,7	Cúbica
ES-75-IF-DF-CP98	19	33,85	27,65	23,00	0,8	0,8	Cúbica
ES-75-IF-DF-CP99	19	28,10	23,90	21,15	0,9	0,9	Cúbica
ES-75-IF-DF-CP100	19	27,75	21,55	17,80	0,8	0,8	Cúbica

Tabela 34 – Dados do ensaio de determinação da forma da ES-20-IQ-DF (arquivo pessoal).

Corpo de prova	Peneira (mm)	a (mm)	b (mm)	c (mm)	b/a	c/b	Classificação
ES-20-IQ-DF-CP1	63	96,10	92,30	51,70	1,0	0,6	Cúbica
ES-20-IQ-DF-CP2	63	104,40	61,80	61,00	0,6	1,0	Cúbica
ES-20-IQ-DF-CP3	63	79,10	68,00	33,50	0,9	0,5	Cúbica
ES-20-IQ-DF-CP4	50	84,35	65,90	30,65	0,8	0,5	Cúbica
ES-20-IQ-DF-CP5	50	70,00	55,90	51,30	0,8	0,9	Cúbica
ES-20-IQ-DF-CP6	50	90,00	68,30	48,90	0,8	0,7	Cúbica
ES-20-IQ-DF-CP7	50	77,45	72,35	57,60	0,9	0,8	Cúbica
ES-20-IQ-DF-CP8	50	84,25	68,20	43,35	0,8	0,6	Cúbica
ES-20-IQ-DF-CP9	50	69,85	69,00	44,60	1,0	0,6	Cúbica
ES-20-IQ-DF-CP10	50	72,20	60,50	42,75	0,8	0,7	Cúbica
ES-20-IQ-DF-CP11	50	64,10	63,45	62,80	1,0	1,0	Cúbica
ES-20-IQ-DF-CP12	50	72,45	57,70	49,50	0,8	0,9	Cúbica
ES-20-IQ-DF-CP13	50	93,65	58,90	58,85	0,6	1,0	Cúbica
ES-20-IQ-DF-CP14	50	93,00	67,50	63,55	0,7	0,9	Cúbica
ES-20-IQ-DF-CP15	50	80,35	63,80	41,35	0,8	0,6	Cúbica
ES-20-IQ-DF-CP16	50	71,30	68,40	42,45	1,0	0,6	Cúbica
ES-20-IQ-DF-CP17	50	72,60	61,90	42,30	0,9	0,7	Cúbica
ES-20-IQ-DF-CP18	50	88,80	70,70	50,00	0,8	0,7	Cúbica
ES-20-IQ-DF-CP19	38	83,20	49,80	40,05	0,6	0,8	Cúbica
ES-20-IQ-DF-CP20	38	65,60	50,75	46,00	0,8	0,9	Cúbica
ES-20-IQ-DF-CP21	38	62,65	48,40	24,05	0,8	0,5	Cúbica
ES-20-IQ-DF-CP22	38	57,30	43,05	39,00	0,8	0,9	Cúbica
ES-20-IQ-DF-CP23	38	75,05	52,30	45,15	0,7	0,9	Cúbica

Corpo de prova	Peneira (mm)	a (mm)	b (mm)	c (mm)	b/a	c/b	Classificação
ES-20-IQ-DF-CP24	38	60,00	46,00	46,50	0,8	1,0	Cúbica
ES-20-IQ-DF-CP25	38	51,00	49,00	26,00	1,0	0,5	Cúbica
ES-20-IQ-DF-CP26	38	79,50	49,50	41,80	0,6	0,8	Cúbica
ES-20-IQ-DF-CP27	38	59,00	52,00	38,00	0,9	0,7	Cúbica
ES-20-IQ-DF-CP28	38	50,00	40,00	29,25	0,8	0,7	Cúbica
ES-20-IQ-DF-CP29	38	62,55	45,45	37,00	0,7	0,8	Cúbica
ES-20-IQ-DF-CP30	38	64,00	49,00	30,00	0,8	0,6	Cúbica
ES-20-IQ-DF-CP31	38	55,00	47,70	36,30	0,9	0,8	Cúbica
ES-20-IQ-DF-CP32	38	56,00	54,50	44,00	1,0	0,8	Cúbica
ES-20-IQ-DF-CP33	38	69,00	48,60	35,00	0,7	0,7	Cúbica
ES-20-IQ-DF-CP34	38	68,70	48,00	37,70	0,7	0,8	Cúbica
ES-20-IQ-DF-CP35	38	73,20	47,00	45,30	0,6	1,0	Cúbica
ES-20-IQ-DF-CP36	38	71,00	49,70	46,50	0,7	0,9	Cúbica
ES-20-IQ-DF-CP37	38	53,30	41,00	37,90	0,8	0,9	Cúbica
ES-20-IQ-DF-CP38	38	46,30	38,35	30,70	0,8	0,8	Cúbica
ES-20-IQ-DF-CP39	38	76,30	45,00	44,00	0,6	1,0	Cúbica
ES-20-IQ-DF-CP40	38	62,00	48,00	33,00	0,8	0,7	Cúbica
ES-20-IQ-DF-CP41	38	77,00	49,90	42,00	0,6	0,8	Cúbica
ES-20-IQ-DF-CP42	38	56,00	55,00	28,00	1,0	0,5	Cúbica
ES-20-IQ-DF-CP43	38	55,00	47,00	46,00	0,9	1,0	Cúbica
ES-20-IQ-DF-CP44	38	59,40	51,40	28,00	0,9	0,5	Cúbica
ES-20-IQ-DF-CP45	38	80,20	50,50	45,55	0,6	0,9	Cúbica
ES-20-IQ-DF-CP46	38	65,60	55,30	40,50	0,8	0,7	Cúbica
ES-20-IQ-DF-CP47	38	70,90	52,40	35,60	0,7	0,7	Cúbica
ES-20-IQ-DF-CP48	38	54,40	48,60	34,20	0,9	0,7	Cúbica
ES-20-IQ-DF-CP49	38	84,40	58,80	52,00	0,7	0,9	Cúbica
ES-20-IQ-DF-CP50	38	53,10	52,00	30,00	1,0	0,6	Cúbica
ES-20-IQ-DF-CP51	38	60,50	55,00	38,50	0,9	0,7	Cúbica
ES-20-IQ-DF-CP52	38	51,50	38,80	33,55	0,8	0,9	Cúbica
ES-20-IQ-DF-CP53	38	74,70	56,40	27,80	0,8	0,5	Cúbica
ES-20-IQ-DF-CP54	38	63,40	40,80	36,20	0,6	0,9	Cúbica
ES-20-IQ-DF-CP55	38	61,30	53,00	34,60	0,9	0,7	Cúbica
ES-20-IQ-DF-CP56	38	68,50	44,00	28,80	0,6	0,7	Cúbica

Corpo de prova	Peneira (mm)	a (mm)	b (mm)	c (mm)	b/a	c/b	Classificação
ES-20-IQ-DF-CP57	38	66,00	44,20	38,30	0,7	0,9	Cúbica
ES-20-IQ-DF-CP58	38	61,00	50,00	42,00	0,8	0,8	Cúbica
ES-20-IQ-DF-CP59	38	61,50	48,90	33,30	0,8	0,7	Cúbica
ES-20-IQ-DF-CP60	38	57,40	45,00	28,00	0,8	0,6	Cúbica
ES-20-IQ-DF-CP61	38	57,00	45,30	41,40	0,8	0,9	Cúbica
ES-20-IQ-DF-CP62	25	57,00	37,00	26,30	0,6	0,7	Cúbica
ES-20-IQ-DF-CP63	25	47,30	38,00	33,00	0,8	0,9	Cúbica
ES-20-IQ-DF-CP64	25	45,00	35,60	28,30	0,8	0,8	Cúbica
ES-20-IQ-DF-CP65	25	67,70	31,40	30,50	0,5	1,0	Cúbica
ES-20-IQ-DF-CP66	25	41,40	35,50	28,00	0,9	0,8	Cúbica
ES-20-IQ-DF-CP67	25	64,00	37,00	28,45	0,6	0,8	Cúbica
ES-20-IQ-DF-CP68	25	65,30	30,50	30,00	0,5	1,0	Cúbica
ES-20-IQ-DF-CP69	25	44,00	36,00	21,70	0,8	0,6	Cúbica
ES-20-IQ-DF-CP70	25	43,55	40,35	26,00	0,9	0,6	Cúbica
ES-20-IQ-DF-CP71	25	50,50	35,00	26,70	0,7	0,8	Cúbica
ES-20-IQ-DF-CP72	25	64,00	40,00	32,00	0,6	0,8	Cúbica
ES-20-IQ-DF-CP73	25	51,00	32,80	28,00	0,6	0,9	Cúbica
ES-20-IQ-DF-CP74	25	60,00	44,60	17,00	0,7	0,4	Lamelar
ES-20-IQ-DF-CP75	25	53,70	34,50	32,00	0,6	0,9	Cúbica
ES-20-IQ-DF-CP76	25	48,00	31,50	29,25	0,7	0,9	Cúbica
ES-20-IQ-DF-CP77	25	66,70	36,45	29,00	0,5	0,8	Cúbica
ES-20-IQ-DF-CP78	25	43,00	32,00	29,00	0,7	0,9	Cúbica
ES-20-IQ-DF-CP79	25	40,60	33,90	22,00	0,8	0,6	Cúbica
ES-20-IQ-DF-CP80	25	62,70	43,70	22,65	0,7	0,5	Cúbica
ES-20-IQ-DF-CP81	25	59,00	42,20	34,70	0,7	0,8	Cúbica
ES-20-IQ-DF-CP82	25	43,30	43,00	29,20	1,0	0,7	Cúbica
ES-20-IQ-DF-CP83	25	45,60	40,85	30,90	0,9	0,8	Cúbica
ES-20-IQ-DF-CP84	25	51,00	43,80	36,45	0,9	0,8	Cúbica
ES-20-IQ-DF-CP85	25	51,00	43,75	25,00	0,9	0,6	Cúbica
ES-20-IQ-DF-CP86	25	51,70	50,80	34,30	1,0	0,7	Cúbica
ES-20-IQ-DF-CP87	25	36,80	30,10	29,60	0,8	1,0	Cúbica
ES-20-IQ-DF-CP88	25	49,00	38,55	27,60	0,8	0,7	Cúbica
ES-20-IQ-DF-CP89	25	57,20	28,90	15,66	0,5	0,5	Cúbica

Corpo de prova	Peneira (mm)	a (mm)	b (mm)	c (mm)	b/a	c/b	Classificação
ES-20-IQ-DF-CP90	25	50,50	34,10	25,65	0,7	0,8	Cúbica
ES-20-IQ-DF-CP91	25	43,00	40,75	26,70	0,9	0,7	Cúbica
ES-20-IQ-DF-CP92	25	49,00	38,10	22,20	0,8	0,6	Cúbica
ES-20-IQ-DF-CP93	25	47,80	42,00	36,00	0,9	0,9	Cúbica
ES-20-IQ-DF-CP94	25	42,00	30,60	19,65	0,7	0,6	Cúbica
ES-20-IQ-DF-CP95	25	41,00	32,50	22,90	0,8	0,7	Cúbica
ES-20-IQ-DF-CP96	25	43,00	37,80	34,30	0,9	0,9	Cúbica
ES-20-IQ-DF-CP97	19	37,90	31,00	20,30	0,8	0,7	Cúbica
ES-20-IQ-DF-CP98	19	32,40	32,00	13,80	1,0	0,4	Lamelar
ES-20-IQ-DF-CP99	19	39,60	25,80	12,85	0,7	0,5	Cúbica
ES-20-IQ-DF-CP100	19	43,20	29,00	11,35	0,7	0,4	Lamelar

Tabela 35 – Dados do ensaio de determinação da forma da ES-40-IQ-DF (arquivo pessoal).

Corpo de prova	Peneira (mm)	a (mm)	b (mm)	c (mm)	b/a	c/b	Classificação
ES-40-IQ-DF-CP1	63	94,00	91,50	54,00	1,0	0,6	Cúbica
ES-40-IQ-DF-CP2	63	102,00	77,10	53,30	0,8	0,7	Cúbica
ES-40-IQ-DF-CP3	63	75,95	68,40	49,30	0,9	0,7	Cúbica
ES-40-IQ-DF-CP4	63	82,70	80,80	56,70	1,0	0,7	Cúbica
ES-40-IQ-DF-CP5	63	95,70	74,20	45,70	0,8	0,6	Cúbica
ES-40-IQ-DF-CP6	50	81,45	61,25	51,05	0,8	0,8	Cúbica
ES-40-IQ-DF-CP7	50	78,40	76,15	53,20	1,0	0,7	Cúbica
ES-40-IQ-DF-CP8	50	80,45	67,10	42,65	0,8	0,6	Cúbica
ES-40-IQ-DF-CP9	50	62,70	52,90	32,20	0,8	0,6	Cúbica
ES-40-IQ-DF-CP10	50	64,85	63,75	49,80	1,0	0,8	Cúbica
ES-40-IQ-DF-CP11	50	87,60	59,40	45,50	0,7	0,8	Cúbica
ES-40-IQ-DF-CP12	50	67,25	49,90	52,20	0,7	1,0	Cúbica
ES-40-IQ-DF-CP13	50	63,50	58,55	36,15	0,9	0,6	Cúbica
ES-40-IQ-DF-CP14	50	93,90	68,50	55,90	0,7	0,8	Cúbica
ES-40-IQ-DF-CP15	50	65,70	57,15	29,05	0,9	0,5	Cúbica
ES-40-IQ-DF-CP16	50	73,00	58,45	32,45	0,8	0,6	Cúbica

Corpo de prova	Peneira (mm)	a (mm)	b (mm)	c (mm)	b/a	c/b	Classificação
ES-40-IQ-DF-CP17	50	64,60	50,55	49,40	0,8	1,0	Cúbica
ES-40-IQ-DF-CP18	50	78,45	61,70	57,40	0,8	0,9	Cúbica
ES-40-IQ-DF-CP19	50	96,50	64,60	55,60	0,7	0,9	Cúbica
ES-40-IQ-DF-CP20	50	86,45	65,55	41,75	0,8	0,6	Cúbica
ES-40-IQ-DF-CP21	50	75,45	62,90	43,20	0,8	0,7	Cúbica
ES-40-IQ-DF-CP22	50	69,15	62,30	58,00	0,9	0,9	Cúbica
ES-40-IQ-DF-CP23	50	116,20	77,90	59,40	0,7	0,8	Cúbica
ES-40-IQ-DF-CP24	38	70,40	42,35	32,25	0,6	0,8	Cúbica
ES-40-IQ-DF-CP25	38	62,70	58,80	46,75	0,9	0,8	Cúbica
ES-40-IQ-DF-CP26	38	60,05	52,90	34,70	0,9	0,7	Cúbica
ES-40-IQ-DF-CP27	38	84,00	54,50	32,70	0,6	0,6	Cúbica
ES-40-IQ-DF-CP28	38	50,60	44,90	37,60	0,9	0,8	Cúbica
ES-40-IQ-DF-CP29	38	53,45	47,40	40,90	0,9	0,9	Cúbica
ES-40-IQ-DF-CP30	38	76,35	47,35	44,90	0,6	0,9	Cúbica
ES-40-IQ-DF-CP31	38	45,40	45,00	38,20	1,0	0,8	Cúbica
ES-40-IQ-DF-CP32	38	50,45	50,00	37,35	1,0	0,7	Cúbica
ES-40-IQ-DF-CP33	38	64,90	44,70	42,10	0,7	0,9	Cúbica
ES-40-IQ-DF-CP34	38	60,00	46,45	40,50	0,8	0,9	Cúbica
ES-40-IQ-DF-CP35	38	70,40	50,00	50,00	0,7	1,0	Cúbica
ES-40-IQ-DF-CP36	38	48,40	46,35	35,60	1,0	0,8	Cúbica
ES-40-IQ-DF-CP37	38	107,50	57,30	47,10	0,5	0,8	Cúbica
ES-40-IQ-DF-CP38	38	66,10	62,10	45,00	0,9	0,7	Cúbica
ES-40-IQ-DF-CP39	38	68,85	55,45	38,65	0,8	0,7	Cúbica
ES-40-IQ-DF-CP40	38	48,55	45,60	26,35	0,9	0,6	Cúbica
ES-40-IQ-DF-CP41	38	55,40	44,15	32,65	0,8	0,7	Cúbica
ES-40-IQ-DF-CP42	38	57,30	53,00	38,85	0,9	0,7	Cúbica
ES-40-IQ-DF-CP43	38	56,80	55,75	36,50	1,0	0,7	Cúbica
ES-40-IQ-DF-CP44	38	55,50	42,15	38,80	0,8	0,9	Cúbica
ES-40-IQ-DF-CP45	38	55,70	42,35	38,30	0,8	0,9	Cúbica
ES-40-IQ-DF-CP46	38	62,20	43,00	31,40	0,7	0,7	Cúbica
ES-40-IQ-DF-CP47	38	60,40	42,20	28,00	0,7	0,7	Cúbica
ES-40-IQ-DF-CP48	38	63,75	53,15	46,60	0,8	0,9	Cúbica
ES-40-IQ-DF-CP49	38	70,10	46,50	25,05	0,7	0,5	Cúbica

Corpo de prova	Peneira (mm)	a (mm)	b (mm)	c (mm)	b/a	c/b	Classificação
ES-40-IQ-DF-CP50	38	53,20	44,15	27,60	0,8	0,6	Cúbica
ES-40-IQ-DF-CP51	38	46,70	46,65	34,40	1,0	0,7	Cúbica
ES-40-IQ-DF-CP52	38	51,00	41,40	34,90	0,8	0,8	Cúbica
ES-40-IQ-DF-CP53	38	63,30	44,25	39,00	0,7	0,9	Cúbica
ES-40-IQ-DF-CP54	38	50,40	44,90	30,65	0,9	0,7	Cúbica
ES-40-IQ-DF-CP55	38	57,55	51,15	43,60	0,9	0,9	Cúbica
ES-40-IQ-DF-CP56	38	60,05	49,90	48,95	0,8	1,0	Cúbica
ES-40-IQ-DF-CP57	38	52,10	48,15	41,80	0,9	0,9	Cúbica
ES-40-IQ-DF-CP58	38	52,80	41,10	26,00	0,8	0,6	Cúbica
ES-40-IQ-DF-CP59	38	69,70	58,30	47,50	0,8	0,8	Cúbica
ES-40-IQ-DF-CP60	38	47,75	42,85	26,20	0,9	0,6	Cúbica
ES-40-IQ-DF-CP61	38	50,45	43,70	38,10	0,9	0,9	Cúbica
ES-40-IQ-DF-CP62	38	46,90	38,60	38,40	0,8	1,0	Cúbica
ES-40-IQ-DF-CP63	38	68,10	38,50	33,15	0,6	0,9	Cúbica
ES-40-IQ-DF-CP64	25	57,15	39,40	25,40	0,7	0,6	Cúbica
ES-40-IQ-DF-CP65	25	40,50	37,05	27,00	0,9	0,7	Cúbica
ES-40-IQ-DF-CP66	25	41,60	34,20	30,95	0,8	0,9	Cúbica
ES-40-IQ-DF-CP67	25	50,60	38,65	25,15	0,8	0,7	Cúbica
ES-40-IQ-DF-CP68	25	43,85	43,35	34,70	1,0	0,8	Cúbica
ES-40-IQ-DF-CP69	25	43,55	41,30	36,80	0,9	0,9	Cúbica
ES-40-IQ-DF-CP70	25	42,40	32,35	30,55	0,8	0,9	Cúbica
ES-40-IQ-DF-CP71	25	48,10	42,40	40,65	0,9	1,0	Cúbica
ES-40-IQ-DF-CP72	25	48,50	36,10	21,90	0,7	0,6	Cúbica
ES-40-IQ-DF-CP73	25	44,80	44,50	29,50	1,0	0,7	Cúbica
ES-40-IQ-DF-CP74	25	59,00	37,45	29,20	0,6	0,8	Cúbica
ES-40-IQ-DF-CP75	25	41,80	32,40	29,65	0,8	0,9	Cúbica
ES-40-IQ-DF-CP76	25	37,45	33,90	25,85	0,9	0,8	Cúbica
ES-40-IQ-DF-CP77	25	44,00	32,90	24,90	0,7	0,8	Cúbica
ES-40-IQ-DF-CP78	25	62,75	38,10	29,30	0,6	0,8	Cúbica
ES-40-IQ-DF-CP79	25	32,05	28,35	25,35	0,9	0,9	Cúbica
ES-40-IQ-DF-CP80	25	52,45	35,20	34,90	0,7	1,0	Cúbica
ES-40-IQ-DF-CP81	25	46,70	38,30	38,25	0,8	1,0	Cúbica
ES-40-IQ-DF-CP82	25	44,70	29,40	17,85	0,7	0,6	Cúbica

Corpo de prova	Peneira (mm)	a (mm)	b (mm)	c (mm)	b/a	c/b	Classificação
ES-40-IQ-DF-CP83	25	44,90	41,65	36,35	0,9	0,9	Cúbica
ES-40-IQ-DF-CP84	25	66,75	33,35	31,65	0,5	0,9	Cúbica
ES-40-IQ-DF-CP85	25	41,45	35,5	28,80	0,9	0,8	Cúbica
ES-40-IQ-DF-CP86	25	43,90	39,00	26,50	0,9	0,7	Cúbica
ES-40-IQ-DF-CP87	25	60,85	41,10	25,20	0,7	0,6	Cúbica
ES-40-IQ-DF-CP88	25	40,30	32,95	25,40	0,8	0,8	Cúbica
ES-40-IQ-DF-CP89	25	41,60	37,25	29,00	0,9	0,8	Cúbica
ES-40-IQ-DF-CP90	25	41,00	31,95	25,95	0,8	0,8	Cúbica
ES-40-IQ-DF-CP91	25	43,30	38,80	23,65	0,9	0,6	Cúbica
ES-40-IQ-DF-CP92	25	36,65	27,55	24,50	0,8	0,9	Cúbica
ES-40-IQ-DF-CP93	25	49,15	41,15	36,20	0,8	0,9	Cúbica
ES-40-IQ-DF-CP94	25	37,30	30,85	21,30	0,8	0,7	Cúbica
ES-40-IQ-DF-CP95	25	46,70	38,40	31,15	0,8	0,8	Cúbica
ES-40-IQ-DF-CP96	25	36,30	31,65	19,00	0,9	0,6	Cúbica
ES-40-IQ-DF-CP97	19	34,10	21,70	14,90	0,6	0,7	Cúbica
ES-40-IQ-DF-CP98	19	28,85	25,05	20,60	0,9	0,8	Cúbica
ES-40-IQ-DF-CP99	19	30,25	28,15	24,70	0,9	0,9	Cúbica
ES-40-IQ-DF-CP100	19	33,50	31,30	17,05	0,9	0,5	Cúbica

A.3 Determinação da massa específica aparente, porosidade aparente e absorção de água

Tabela 36 – Dados dos ensaios de determinação da massa específica aparente, porosidade aparente e absorção de água do BA-00-ME (arquivo pessoal).

Corpo de prova	M_{sat} (g)	M_{sub} (g)	M_{sec} (g)	ρ_a	η_a	α_a
BA-00-ME-CP1	147,21	93,48	140,61	2,62	12,28%	4,69%
BA-00-ME-CP2	165,82	106,08	162,85	2,73	4,97%	1,82%
BA-00-ME-CP3	113,66	71,47	108,96	2,58	11,14%	4,31%
BA-00-ME-CP4	161,23	102,05	155,66	2,63	9,41%	3,58%
BA-00-ME-CP5	254,95	165,25	251,12	2,80	4,27%	1,53%
BA-00-ME-CP6	105,21	66,71	100,31	2,61	12,73%	4,88%
BA-00-ME-CP7	86,26	56,32	85,48	2,86	2,61%	0,91%
BA-00-ME-CP8	82,48	53,35	81,04	2,78	4,94%	1,78%
BA-00-ME-CP9	76,87	49,02	73,64	2,64	11,60%	4,39%
BA-00-ME-CP10	68,56	45,17	67,58	2,89	4,19%	1,45%

Tabela 37 – Dados dos ensaios de determinação da massa específica aparente, porosidade aparente e absorção de água do BA-25-IF-ME (arquivo pessoal).

Corpo de prova	M_{sat} (g)	M_{sub} (g)	M_{sec} (g)	ρ_a	η_a	α_a
BA-25-IF-ME-CP1	125,88	76,81	125,34	2,55	1,10%	0,43%
BA-25-IF-ME-CP2	107,25	65,13	106,66	2,53	1,40%	0,55%
BA-25-IF-ME-CP3	107,37	60,29	104,41	2,22	6,29%	2,83%
BA-25-IF-ME-CP4	67,19	33,09	64,36	1,89	8,30%	4,40%
BA-25-IF-ME-CP5	67,64	35,95	63,66	2,01	12,56%	6,25%
BA-25-IF-ME-CP6	55,15	27,57	52,62	1,91	9,17%	4,81%
BA-25-IF-ME-CP7	116,65	70,94	109,84	2,40	14,90%	6,20%
BA-25-IF-ME-CP8	31,40	10,21	31,00	1,46	1,89%	1,29%
BA-25-IF-ME-CP9	108,28	55,38	104,04	1,97	8,02%	4,08%
BA-25-IF-ME-CP10	141,57	85,90	140,66	2,53	1,63%	0,65%

Tabela 38 – Dados dos ensaios de determinação da massa específica aparente, porosidade aparente e absorção de água do BA-50-IF-ME (arquivo pessoal).

Corpo de prova	M_{sat} (g)	M_{sub} (g)	M_{sec} (g)	ρ_a	η_a	α_a
BA-50-IF-ME-CP1	110,36	62,30	109,93	2,29	0,89%	0,39%
BA-50-IF-ME-CP2	81,67	41,62	81,12	2,03	1,37%	0,68%
BA-50-IF-ME-CP3	142,66	82,39	139,69	2,32	4,93%	2,13%
BA-50-IF-ME-CP4	114,16	62,92	109,74	2,14	8,63%	4,03%
BA-50-IF-ME-CP5	107,58	56,09	103,59	2,01	7,75%	3,85%
BA-50-IF-ME-CP6	96,87	64,20	93,71	2,87	9,67%	3,37%
BA-50-IF-ME-CP7	120,29	68,95	119,53	2,33	1,48%	0,64%
BA-50-IF-ME-CP8	117,38	70,24	116,16	2,46	2,59%	1,05%
BA-50-IF-ME-CP9	84,69	55,10	84,28	2,85	1,39%	0,49%
BA-50-IF-ME-CP10	100,24	58,47	99,66	2,39	1,39%	0,58%

Tabela 39 – Dados dos ensaios de determinação da massa específica aparente, porosidade aparente e absorção de água do BA-75-IF-ME (arquivo pessoal).

Corpo de prova	M_{sat} (g)	M_{sub} (g)	M_{sec} (g)	ρ_a	η_a	α_a
BA-75-IF-ME-CP1	73,64	34,00	72,96	1,84	1,72%	0,93%
BA-75-IF-ME-CP2	119,79	73,64	118,56	2,57	2,67%	1,04%
BA-75-IF-ME-CP3	127,27	56,59	121,53	1,72	8,12%	4,72%
BA-75-IF-ME-CP4	92,12	48,85	91,68	2,12	1,02%	0,48%
BA-75-IF-ME-CP5	102,26	45,81	98,51	1,75	6,64%	3,81%
BA-75-IF-ME-CP6	113,14	65,62	108,84	2,29	9,05%	3,95%
BA-75-IF-ME-CP7	153,15	81,69	152,45	2,13	0,98%	0,46%
BA-75-IF-ME-CP8	152,90	98,70	152,28	2,81	1,14%	0,41%
BA-75-IF-ME-CP9	90,91	60,62	89,90	2,97	3,33%	1,12%
BA-75-IF-ME-CP10	183,55	118,04	182,77	2,79	1,19%	0,43%

Tabela 40 – Dados dos ensaios de determinação da massa específica aparente, porosidade aparente e absorção de água do BA-20-IQ-ME (arquivo pessoal).

Corpo de prova	M_{sat} (g)	M_{sub} (g)	M_{sec} (g)	ρ_a	η_a	α_a
BA-20-IQ-ME-CP1	103,58	62,00	98,57	2,37	12,05%	5,08%
BA-20-IQ-ME-CP2	80,63	34,98	76,66	1,68	8,70%	5,18%
BA-20-IQ-ME-CP3	109,17	62,77	107,51	2,32	3,58%	1,54%
BA-20-IQ-ME-CP4	127,62	72,01	126,80	2,28	1,47%	0,65%
BA-20-IQ-ME-CP5	91,63	44,88	90,94	1,95	1,48%	0,76%
BA-20-IQ-ME-CP6	164,94	92,20	164,07	2,26	1,20%	0,53%
BA-20-IQ-ME-CP7	136,97	69,92	136,50	2,04	0,70%	0,34%
BA-20-IQ-ME-CP8	124,39	67,38	123,68	2,17	1,25%	0,57%
BA-20-IQ-ME-CP9	108,23	66,23	105,46	2,51	6,60%	2,63%
BA-20-IQ-ME-CP10	163,38	101,34	162,20	2,61	1,90%	0,73%

Tabela 41 – Dados dos ensaios de determinação da massa específica aparente, porosidade aparente e absorção de água do BA-40-IQ-ME (arquivo pessoal).

Corpo de prova	M_{sat} (g)	M_{sub} (g)	M_{sec} (g)	ρ_a	η_a	α_a
BA-40-IQ-ME-CP1	195,35	118,25	194,67	2,52	0,88%	0,35%
BA-40-IQ-ME-CP2	123,70	80,66	122,91	2,86	1,84%	0,64%
BA-40-IQ-ME-CP3	98,06	47,60	95,91	1,90	4,26%	2,24%
BA-40-IQ-ME-CP4	112,42	57,75	111,89	2,05	0,97%	0,47%
BA-40-IQ-ME-CP5	148,38	88,25	146,26	2,43	3,53%	1,45%
BA-40-IQ-ME-CP6	126,14	64,48	125,36	2,03	1,27%	0,62%
BA-40-IQ-ME-CP7	85,15	64,14	84,06	4,00	5,19%	1,30%
BA-40-IQ-ME-CP8	56,02	19,38	54,30	1,48	4,69%	3,17%
BA-40-IQ-ME-CP9	145,78	92,84	145,21	2,74	1,08%	0,39%
BA-40-IQ-ME-CP10	102,72	59,90	100,81	2,35	4,46%	1,89%

Tabela 42 – Dados dos ensaios de determinação da massa específica aparente, porosidade aparente e absorção de água do GN-00-ME (arquivo pessoal).

Corpo de prova	M_{sat} (g)	M_{sub} (g)	M_{sec} (g)	ρ_a	η_a	α_a
GN-00-ME-CP1	297,92	184,31	296,12	2,61	1,58%	0,61%
GN-00-ME-CP2	216,20	134,07	215,27	2,62	1,13%	0,43%
GN-00-ME-CP3	84,20	51,86	83,43	2,58	2,38%	0,92%
GN-00-ME-CP4	120,75	74,41	119,61	2,58	2,46%	0,95%
GN-00-ME-CP5	129,08	79,70	128,80	2,61	0,57%	0,22%
GN-00-ME-CP6	143,38	88,60	142,36	2,60	1,86%	0,72%
GN-00-ME-CP7	108,06	66,78	107,50	2,60	1,36%	0,52%
GN-00-ME-CP8	173,99	107,40	173,50	2,61	0,74%	0,28%
GN-00-ME-CP9	103,01	63,21	102,00	2,56	2,54%	0,99%
GN-00-ME-CP10	203,25	125,90	202,08	2,61	1,51%	0,58%

Tabela 43 – Dados dos ensaios de determinação da massa específica aparente, porosidade aparente e absorção de água do GN-25-IF-ME (arquivo pessoal).

Corpo de prova	M_{sat} (g)	M_{sub} (g)	M_{sec} (g)	ρ_a	η_a	α_a
GN-25-IF-ME-CP1	289,39	151,33	288,64	2,09	0,54%	0,26%
GN-25-IF-ME-CP2	200,69	121,86	200,06	2,54	0,80%	0,31%
GN-25-IF-ME-CP3	219,37	126,96	218,80	2,37	0,62%	0,26%
GN-25-IF-ME-CP4	210,80	119,41	210,15	2,30	0,71%	0,31%
GN-25-IF-ME-CP5	210,51	114,82	209,95	2,19	0,59%	0,27%
GN-25-IF-ME-CP6	155,76	83,75	155,32	2,16	0,61%	0,28%
GN-25-IF-ME-CP7	237,61	137,12	236,90	2,36	0,71%	0,30%
GN-25-IF-ME-CP8	174,89	115,36	174,40	2,93	0,82%	0,28%
GN-25-IF-ME-CP9	143,27	74,92	142,75	2,09	0,76%	0,36%
GN-25-IF-ME-CP10	201,70	106,50	201,18	2,11	0,55%	0,26%

Tabela 44 – Dados dos ensaios de determinação da massa específica aparente, porosidade aparente e absorção de água do GN-50-IF-ME (arquivo pessoal).

Corpo de prova	M_{sat} (g)	M_{sub} (g)	M_{sec} (g)	ρ_a	η_a	α_a
GN-50-IF-ME-CP1	49,91	29,54	49,75	2,44	0,79%	0,32%
GN-50-IF-ME-CP2	123,38	70,21	122,99	2,31	0,73%	0,32%
GN-50-IF-ME-CP3	97,58	53,05	97,30	2,19	0,63%	0,29%
GN-50-IF-ME-CP4	198,74	121,71	198,25	2,57	0,64%	0,25%
GN-50-IF-ME-CP5	128,82	70,84	128,46	2,22	0,62%	0,28%
GN-50-IF-ME-CP6	77,02	40,00	76,76	2,07	0,70%	0,34%
GN-50-IF-ME-CP7	192,08	115,70	191,53	2,51	0,72%	0,29%
GN-50-IF-ME-CP8	155,16	92,31	154,72	2,46	0,70%	0,28%
GN-50-IF-ME-CP9	123,11	77,11	122,77	2,67	0,74%	0,28%
GN-50-IF-ME-CP10	132,72	68,10	132,26	2,05	0,71%	0,35%

Tabela 45 – Dados dos ensaios de determinação da massa específica aparente, porosidade aparente e absorção de água do GN-75-IF-ME (arquivo pessoal).

Corpo de prova	M_{sat} (g)	M_{sub} (g)	M_{sec} (g)	ρ_a	η_a	α_a
GN-75-IF-ME-CP1	99,68	56,06	99,38	2,28	0,69%	0,30%
GN-75-IF-ME-CP2	63,25	37,58	63,06	2,46	0,74%	0,30%
GN-75-IF-ME-CP3	139,56	69,97	139,12	2,00	0,63%	0,32%
GN-75-IF-ME-CP4	194,00	109,53	193,35	2,29	0,77%	0,34%
GN-75-IF-ME-CP5	112,91	67,58	112,55	2,48	0,79%	0,32%
GN-75-IF-ME-CP6	239,40	124,07	238,67	2,07	0,63%	0,31%
GN-75-IF-ME-CP7	138,76	72,07	138,21	2,07	0,82%	0,40%
GN-75-IF-ME-CP8	133,34	75,95	132,99	2,32	0,61%	0,26%
GN-75-IF-ME-CP9	109,47	59,44	109,14	2,18	0,66%	0,30%
GN-75-IF-ME-CP10	104,61	52,21	104,22	1,99	0,74%	0,37%

Tabela 46 – Dados dos ensaios de determinação da massa específica aparente, porosidade aparente e absorção de água do GN-20-IQ-ME (arquivo pessoal).

Corpo de prova	M_{sat} (g)	M_{sub} (g)	M_{sec} (g)	ρ_a	η_a	α_a
GN-20-IQ-ME-CP1	193,38	111,33	192,63	2,35	0,91%	0,39%
GN-20-IQ-ME-CP2	129,44	80,58	128,98	2,64	0,94%	0,36%
GN-20-IQ-ME-CP3	246,55	143,60	245,63	2,39	0,89%	0,37%
GN-20-IQ-ME-CP4	181,89	103,31	181,35	2,31	0,69%	0,30%
GN-20-IQ-ME-CP5	317,48	191,23	316,41	2,51	0,85%	0,34%
GN-20-IQ-ME-CP6	141,30	81,81	140,85	2,37	0,76%	0,32%
GN-20-IQ-ME-CP7	104,02	52,18	103,68	2,00	0,66%	0,33%
GN-20-IQ-ME-CP8	211,94	123,91	211,31	2,40	0,72%	0,30%
GN-20-IQ-ME-CP9	170,58	90,16	169,99	2,11	0,73%	0,35%
GN-20-IQ-ME-CP10	246,65	157,15	245,97	2,75	0,76%	0,28%

Tabela 47 – Dados dos ensaios de determinação da massa específica aparente, porosidade aparente e absorção de água do GN-40-IQ-ME (arquivo pessoal).

Corpo de prova	M_{sat} (g)	M_{sub} (g)	M_{sec} (g)	ρ_a	η_a	α_a
GN-40-IQ-ME-CP1	125,12	71,75	124,67	2,34	0,84%	0,36%
GN-40-IQ-ME-CP2	83,57	48,74	83,34	2,39	0,66%	0,28%
GN-40-IQ-ME-CP3	136,31	74,40	135,82	2,19	0,79%	0,36%
GN-40-IQ-ME-CP4	111,79	55,94	111,31	1,99	0,86%	0,43%
GN-40-IQ-ME-CP5	194,44	107,47	193,70	2,23	0,85%	0,38%
GN-40-IQ-ME-CP6	100,50	44,89	100,10	1,80	0,72%	0,40%
GN-40-IQ-ME-CP7	176,65	92,83	175,57	2,09	1,29%	0,62%
GN-40-IQ-ME-CP8	116,58	76,51	116,14	2,90	1,10%	0,38%
GN-40-IQ-ME-CP9	264,92	141,72	264,02	2,14	0,73%	0,34%
GN-40-IQ-ME-CP10	151,13	78,46	150,59	2,07	0,74%	0,36%

Tabela 48 – Dados dos ensaios de determinação da massa específica aparente, porosidade aparente e absorção de água da ES-00-ME (arquivo pessoal).

Corpo de prova	M_{sat} (g)	M_{sub} (g)	M_{sec} (g)	ρ_a	η_a	α_a
ES-00-ME-CP1	198,53	143,83	195,72	3,58	5,14%	1,44%
ES-00-ME-CP2	179,20	125,47	176,18	3,28	5,62%	1,71%
ES-00-ME-CP3	133,08	96,42	131,87	3,60	3,30%	0,92%
ES-00-ME-CP4	166,33	117,89	163,34	3,37	6,17%	1,83%
ES-00-ME-CP5	125,23	83,00	122,44	2,90	6,61%	2,28%
ES-00-ME-CP6	167,05	120,29	164,69	3,52	5,05%	1,43%
ES-00-ME-CP7	98,62	64,10	97,92	2,84	2,03%	0,71%
ES-00-ME-CP8	202,70	147,78	199,85	3,64	5,19%	1,43%
ES-00-ME-CP9	139,32	101,23	138,06	3,62	3,31%	0,91%
ES-00-ME-CP10	244,46	176,35	243,81	3,58	0,95%	0,27%

Tabela 49 – Dados dos ensaios de determinação da massa específica aparente, porosidade aparente e absorção de água da ES-25-IF-ME (arquivo pessoal).

Corpo de prova	M_{sat} (g)	M_{sub} (g)	M_{sec} (g)	ρ_a	η_a	α_a
ES-25-IF-ME-CP1	121,35	76,59	119,58	2,67	3,95%	1,48%
ES-25-IF-ME-CP2	204,31	133,18	203,41	2,86	1,27%	0,44%
ES-25-IF-ME-CP3	166,17	115,97	164,83	3,28	2,67%	0,81%
ES-25-IF-ME-CP4	180,78	124,82	180,53	3,23	0,45%	0,14%
ES-25-IF-ME-CP5	209,38	121,52	207,21	2,36	2,47%	1,05%
ES-25-IF-ME-CP6	333,94	218,10	333,53	2,88	0,35%	0,12%
ES-25-IF-ME-CP7	156,56	102,03	156,38	2,87	0,33%	0,12%
ES-25-IF-ME-CP8	192,67	127,19	191,26	2,92	2,15%	0,74%
ES-25-IF-ME-CP9	149,00	89,40	148,54	2,49	0,77%	0,31%
ES-25-IF-ME-CP10	214,66	141,66	214,28	2,94	0,52%	0,18%

Tabela 50 – Dados dos ensaios de determinação da massa específica aparente, porosidade aparente e absorção de água da ES-50-IF-ME (arquivo pessoal).

Corpo de prova	M_{sat} (g)	M_{sub} (g)	M_{sec} (g)	ρ_a	η_a	α_a
ES-50-IF-ME-CP1	152,45	103,01	151,92	3,07	1,07%	0,35%
ES-50-IF-ME-CP2	133,90	84,97	133,16	2,72	1,51%	0,56%
ES-50-IF-ME-CP3	142,80	95,88	141,86	3,02	2,00%	0,66%
ES-50-IF-ME-CP4	347,66	231,28	345,74	2,97	1,65%	0,56%
ES-50-IF-ME-CP5	286,59	199,52	285,06	3,27	1,76%	0,54%
ES-50-IF-ME-CP6	165,37	112,03	164,48	3,08	1,67%	0,54%
ES-50-IF-ME-CP7	137,99	83,44	135,98	2,49	3,68%	1,48%
ES-50-IF-ME-CP8	71,62	32,23	71,02	1,80	1,52%	0,84%
ES-50-IF-ME-CP9	102,93	62,77	101,97	2,54	2,39%	0,94%
ES-50-IF-ME-CP10	195,45	127,79	193,64	2,86	2,68%	0,93%

Tabela 51 – Dados dos ensaios de determinação da massa específica aparente, porosidade aparente e absorção de água da ES-75-IF-ME (arquivo pessoal).

Amostra	M_{sat} (g)	M_{sub} (g)	M_{sec} (g)	ρ_a	η_a	α_a
ES-75-IF-ME-CP1	97,20	53,92	96,03	2,22	2,70%	1,22%
ES-75-IF-ME-CP2	98,08	54,50	97,53	2,24	1,26%	0,56%
ES-75-IF-ME-CP3	87,15	46,28	86,64	2,12	1,25%	0,59%
ES-75-IF-ME-CP4	119,45	75,52	118,72	2,70	1,66%	0,61%
ES-75-IF-ME-CP5	114,91	70,28	113,72	2,55	2,67%	1,05%
ES-75-IF-ME-CP6	219,08	139,94	218,48	2,76	0,76%	0,27%
ES-75-IF-ME-CP7	325,19	219,97	324,11	3,08	1,03%	0,33%
ES-75-IF-ME-CP8	322,74	206,65	320,01	2,76	2,35%	0,85%
ES-75-IF-ME-CP9	135,59	88,74	135,00	2,88	1,26%	0,44%
ES-75-IF-ME-CP10	202,81	100,25	195,88	1,91	6,76%	3,54%

Tabela 52 – Dados dos ensaios de determinação da massa específica aparente, porosidade aparente e absorção de água da ES-20-IQ-ME (arquivo pessoal).

Corpo de prova	M_{sat} (g)	M_{sub} (g)	M_{sec} (g)	ρ_a	η_a	α_a
ES-20-IQ-ME-CP1	142,51	99,30	141,57	3,28	2,18%	0,66%
ES-20-IQ-ME-CP2	125,26	71,21	123,77	2,29	2,76%	1,20%
ES-20-IQ-ME-CP3	118,45	69,34	116,99	2,38	2,97%	1,25%
ES-20-IQ-ME-CP4	175,87	113,20	173,80	2,77	3,30%	1,19%
ES-20-IQ-ME-CP5	195,66	129,24	193,93	2,92	2,60%	0,89%
ES-20-IQ-ME-CP6	317,19	206,89	314,14	2,85	2,77%	0,97%
ES-20-IQ-ME-CP7	207,22	133,37	205,86	2,79	1,84%	0,66%
ES-20-IQ-ME-CP8	381,35	256,76	379,75	3,05	1,28%	0,42%
ES-20-IQ-ME-CP9	306,72	204,57	304,98	2,99	1,70%	0,57%
ES-20-IQ-ME-CP10	439,38	290,78	435,39	2,93	2,69%	0,92%

Tabela 53 – Dados dos ensaios de determinação da massa específica aparente, porosidade aparente e absorção de água da ES-40-IQ-ME (arquivo pessoal).

Corpo de prova	M_{sat} (g)	M_{sub} (g)	M_{sec} (g)	ρ_a	η_a	α_a
ES-40-IQ-ME-CP1	118,76	73,26	117,89	2,59	1,91%	0,74%
ES-40-IQ-ME-CP2	173,41	109,91	171,32	2,70	3,29%	1,22%
ES-40-IQ-ME-CP3	145,96	97,18	145,09	2,97	1,78%	0,60%
ES-40-IQ-ME-CP4	135,30	83,96	133,11	2,59	4,27%	1,65%
ES-40-IQ-ME-CP5	138,44	85,59	136,78	2,59	3,14%	1,21%
ES-40-IQ-ME-CP6	168,23	108,96	166,57	2,81	2,80%	1,00%
ES-40-IQ-ME-CP7	143,26	69,61	141,88	1,93	1,87%	0,97%
ES-40-IQ-ME-CP8	150,66	88,34	148,18	2,38	3,98%	1,67%
ES-40-IQ-ME-CP9	227,86	135,33	224,94	2,43	3,16%	1,30%
ES-40-IQ-ME-CP10	164,72	93,81	164,00	2,31	1,02%	0,44%

A.4 Determinação da massa unitária no estado solto

Tabela 54 – Calibração da caixa do ensaio de determinação da massa unitária no estado solto (arquivo pessoal).

Parâmetro	Valor
m_r (kg)	6,944
m_{r+w} (kg)	22,335
T_w (°C)	20,6
$\rho_w - 20,6\text{ °C}$ (kg/m ³)	998,07
V (m³)	0,015421

Tabela 55 – Dados dos ensaios de determinação da massa unitária no estado solto e do índice de volume de vazios do basalto (arquivo pessoal).

Corpo de prova	m_{ar} (kg)	m_r (kg)	ρ_{ap} (kg/m³)	d_1	E_v
BA-00-MU-CP1	27,450	6,928	1330,80	2,71	50,9%
BA-00-MU-CP2	27,832	6,928	1355,58	2,71	49,9%
BA-00-MU-CP3	27,756	6,928	1350,65	2,71	50,1%
BA-25-IF-MU-CP1	28,101	6,912	1374,06	2,15	35,9%
BA-25-IF-MU-CP2	27,813	6,912	1355,38	2,15	36,7%
BA-25-IF-MU-CP3	27,860	6,912	1358,43	2,15	36,6%
BA-50-IF-MU-CP1	28,141	6,900	1377,43	2,37	41,7%
BA-50-IF-MU-CP2	28,012	6,900	1369,06	2,37	42,1%
BA-50-IF-MU-CP3	28,075	6,900	1373,15	2,37	41,9%
BA-75-IF-MU-CP1	28,380	6,898	1393,06	2,30	39,3%
BA-75-IF-MU-CP2	28,109	6,898	1375,48	2,30	40,0%
BA-75-IF-MU-CP3	28,388	6,898	1393,58	2,30	39,3%
BA-20-IQ-MU-CP1	27,842	6,902	1357,91	2,22	38,7%
BA-20-IQ-MU-CP2	28,214	6,902	1382,03	2,22	37,6%
BA-20-IQ-MU-CP3	28,040	6,902	1370,75	2,22	38,1%
BA-40-IQ-MU-CP1	29,240	6,907	1448,24	2,44	40,5%
BA-40-IQ-MU-CP2	29,476	6,907	1463,55	2,44	39,8%
BA-40-IQ-MU-CP3	29,773	6,907	1482,81	2,44	39,0%

Tabela 56 – Dados dos ensaios de determinação da massa unitária no estado solto e do índice de volume de vazios do gnaissé (arquivo pessoal).

Corpo de prova	m_{ar} (kg)	m_r (kg)	ρ_{ap} (kg/m³)	d₁	E_v
GN-00-MU-CP1	25,252	6,917	1188,98	2,60	54,1%
GN-00-MU-CP2	25,551	6,917	1208,37	2,60	53,4%
GN-00-MU-CP3	25,485	6,917	1204,09	2,60	53,6%
GN-25-IF-MU-CP1	25,814	6,912	1225,75	2,31	46,9%
GN-25-IF-MU-CP2	25,522	6,912	1206,81	2,31	47,7%
GN-25-IF-MU-CP3	25,937	6,912	1233,73	2,31	46,6%
GN-50-IF-MU-CP1	26,292	6,900	1257,53	2,35	46,4%
GN-50-IF-MU-CP2	26,252	6,900	1254,93	2,35	46,5%
GN-50-IF-MU-CP3	26,227	6,900	1253,31	2,35	46,5%
GN-75-IF-MU-CP1	26,258	6,898	1255,45	2,21	43,2%
GN-75-IF-MU-CP2	26,499	6,898	1271,08	2,21	42,5%
GN-75-IF-MU-CP3	26,304	6,898	1258,43	2,21	43,0%
GN-20-IQ-MU-CP1	26,062	6,902	1242,48	2,38	47,7%
GN-20-IQ-MU-CP2	26,367	6,902	1262,26	2,38	46,9%
GN-20-IQ-MU-CP3	26,007	6,902	1238,91	2,38	47,9%
GN-40-IQ-MU-CP1	26,319	6,907	1258,82	2,22	43,1%
GN-40-IQ-MU-CP2	26,255	6,907	1254,67	2,22	43,2%
GN-40-IQ-MU-CP3	26,088	6,907	1243,84	2,22	43,7%

Tabela 57 – Dados dos ensaios de determinação da massa unitária no estado solto e do índice de volume de vazios da escória de aciaria LD (arquivo pessoal).

Corpo de prova	m_{ar} (kg)	m_r (kg)	ρ_{ap} (kg/m³)	d₁	E_v
ES-00-MU-CP1	32,293	6,917	1645,57	3,39	51,4%
ES-00-MU-CP2	32,188	6,917	1638,76	3,39	51,6%
ES-00-MU-CP3	32,507	6,917	1659,45	3,39	51,0%
ES-25-IF-MU-CP1	31,997	6,912	1626,70	2,85	42,8%
ES-25-IF-MU-CP2	31,751	6,912	1610,75	2,85	43,4%
ES-25-IF-MU-CP3	31,813	6,912	1614,77	2,85	43,2%
ES-50-IF-MU-CP1	32,410	6,900	1654,26	2,78	40,5%
ES-50-IF-MU-CP2	32,823	6,900	1681,05	2,78	39,5%
ES-50-IF-MU-CP3	32,350	6,900	1650,37	2,78	40,6%
ES-75-IF-MU-CP1	32,565	6,898	1664,44	2,52	33,9%
ES-75-IF-MU-CP2	32,640	6,898	1669,31	2,52	33,7%
ES-75-IF-MU-CP3	32,280	6,898	1645,96	2,52	34,6%
ES-20-IQ-MU-CP1	32,417	6,902	1654,59	2,82	41,3%
ES-20-IQ-MU-CP2	32,146	6,902	1637,01	2,82	41,9%
ES-20-IQ-MU-CP3	32,323	6,902	1648,49	2,82	41,5%
ES-40-IQ-MU-CP1	31,196	6,907	1575,08	2,53	37,6%
ES-40-IQ-MU-CP2	30,896	6,907	1555,63	2,53	38,4%
ES-40-IQ-MU-CP3	31,187	6,907	1574,50	2,53	37,7%

APÊNDICE B – DADOS DOS ENSAIOS DE DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS DE RESISTÊNCIA MECÂNICA

B.1 Determinação da resistência ao choque

Tabela 58 – Dados dos ensaios de determinação da resistência ao choque do basalto (arquivo pessoal).

Corpo de prova	nº de fragmentos	m _i (g)	m _f (g)	T
BA-00-CH-CP1	20	170,30	143,24	18,89%
BA-00-CH-CP2	20	161,72	133,85	20,82%
BA-00-CH-CP3	20	153,45	123,58	24,17%
BA-25-IF-CH-CP1	20	172,77	142,11	21,57%
BA-25-IF-CH-CP2	20	200,82	162,62	23,49%
BA-25-IF-CH-CP3	20	184,79	166,48	11,00%
BA-50-IF-CH-CP1	20	180,20	150,30	19,89%
BA-50-IF-CH-CP2	20	181,50	147,40	23,13%
BA-50-IF-CH-CP3	20	182,14	149,50	21,83%
BA-75-IF-CH-CP1	20	175,23	143,21	22,36%
BA-75-IF-CH-CP2	20	175,11	146,73	19,34%
BA-75-IF-CH-CP3	20	206,65	180,21	14,67%
BA-20-IQ-CH-CP1	20	162,25	119,42	35,87%
BA-20-IQ-CH-CP2	20	164,11	117,9	39,19%
BA-20-IQ-CH-CP3	20	163,85	130,71	25,35%
BA-40-IQ-CH	20	137,54	93,44	47,20%

Tabela 59 – Dados dos ensaios de determinação da resistência ao choque do gnaisse (arquivo pessoal).

Corpo de prova	nº de fragmentos	m_i (g)	m_f (g)	T
GN-00-CH-CP1	20	145,62	114,78	26,87%
GN-00-CH-CP2	20	161,1	133,77	20,43%
GN-00-CH-CP3	20	147,2	116,72	26,11%
GN-25-IF-CH-CP1	20	137,26	105,22	30,45%
GN-25-IF-CH-CP2	20	144,08	112,41	28,17%
GN-25-IF-CH-CP3	20	155,82	124,45	25,21%
GN-50-IF-CH-CP1	20	143,34	113,6	26,18%
GN-50-IF-CH-CP2	20	144,64	119,01	21,54%
GN-50-IF-CH-CP3	20	152,01	129,99	16,94%
GN-75-IF-CH-CP1	20	146,87	112,96	30,02%
GN-75-IF-CH-CP2	20	150,21	114,58	31,10%
GN-75-IF-CH-CP3	20	165,55	134,29	23,28%
GN-20-IQ-CH-CP1	20	148,07	103,12	43,59%
GN-20-IQ-CH-CP2	20	146,02	106,36	37,29%
GN-20-IQ-CH-CP3	20	142,40	104,62	36,11%
GN-40-IQ-CH-CP1	20	142,06	98,64	44,02%
GN-40-IQ-CH-CP2	20	153,85	109,79	40,13%
GN-40-IQ-CH-CP3	20	147,25	96,70	52,28%

Tabela 60 – Dados dos ensaios de determinação da resistência ao choque da escória de aciaria LD (arquivo pessoal).

Corpo de prova	nº de fragmentos	m_i (g)	m_f (g)	T
ES-00-CH-CP1	20	196,40	181,39	8,27%
ES-00-CH-CP2	20	217,62	200,79	8,38%
ES-00-CH-CP3	20	210,62	196,92	6,96%
ES-25-IF-CH-CP1	20	172,99	148,29	16,66%
ES-25-IF-CH-CP2	20	203,97	184,54	10,53%
ES-25-IF-CH-CP3	20	194,99	177,24	10,01%
ES-50-IF-CH-CP1	20	187,65	165,82	13,16%
ES-50-IF-CH-CP2	20	189,54	171,57	10,47%
ES-50-IF-CH-CP3	20	195,14	170,38	14,53%
ES-75-IF-CH-CP1	20	197,95	178,4	10,96%
ES-75-IF-CH-CP2	20	147,28	132,46	11,19%
ES-75-IF-CH-CP3	20	199,04	179,3	11,01%
ES-20-IQ-CH-CP1	20	187,65	165,82	13,16%
ES-20-IQ-CH-CP2	20	189,54	171,57	10,47%
ES-20-IQ-CH-CP3	20	195,14	170,38	14,53%
ES-40-IQ-CH-CP1	20	189,82	153,7	23,50%
ES-40-IQ-CH-CP2	20	185,62	151,02	22,91%
ES-40-IQ-CH-CP3	20	183,53	152,03	20,72%

B.2 Determinação da resistência à abrasão

Tabela 61 – Dados dos ensaios de determinação da resistência à abrasão do basalto (arquivo pessoal).

Corpo de prova	Graduação	nº de esferas	m (g)	m₁ (g)	P
BA-00-AB-CP1	F	12	10074	8264	17,97%
BA-00-AB-CP2	F	12	10072	8176	18,82%
BA-25-IF-AB	F	12	10,055	8,332	17,14%
BA-50-IF-AB	F	12	10,068	8,165	18,90%
BA-75-IF-AB	F	12	10,067	8,157	18,97%
BA-20-IQ-AB	F	12	10,068	8,085	19,70%
BA-40-IQ-AB	F	12	10,082	7,570	24,92%

Tabela 62 – Dados dos ensaios de determinação da resistência à abrasão do gnaiss (arquivo pessoal).

Corpo de prova	Graduação	nº de esferas	m (g)	m₁ (g)	P
GN-00-AB-CP1	F	12	10079	7511	25,48%
GN-00-AB-CP2	F	12	10028	7323	26,97%
GN-25-IF-AB	F	12	10,016	7,495	25,17%
GN-50-IF-AB	F	12	10,034	7,391	26,34%
GN-75-IF-AB	F	12	10,086	7,466	25,98%
GN-20-IQ-AB	F	12	10,073	7,181	28,71%
GN-40-IQ-AB	F	12	10,055	6,916	31,22%

Tabela 63 – Dados dos ensaios de determinação da resistência à abrasão da escória de aciaria LD (arquivo pessoal).

Corpo de prova	Graduação	nº de esferas	m (g)	m₁ (g)	P
ES-00-AB-CP1	F	12	10066	8937	11,22%
ES-00-AB-CP2	F	12	10063	8889	11,67%
ES-25-IF-AB	F	12	10,033	8,901	11,28%
ES-50-IF-AB	F	12	10,064	8,916	11,41%
GN-75-IF-AB	F	12	10,086	7,466	25,98%
ES-20-IQ-AB	F	12	10,079	7,673	23,87%
ES-40-IQ-AB	F	12	10,045	7,116	29,16%

B.3 Determinação da resistência à carga pontual

Tabela 64 – Quantidade de partículas retidas nas peneiras para o ensaio de determinação da resistência à carga pontual do basalto (arquivo pessoal).

Intemperismo	nº de ciclos	Peneira (mm)		
		19,0	25,0	37,5
Inicial		4	8	8
Físico	25	5	7	8
	50	4	7	9
	75	5	6	9
Químico	20	4	9	7
	40	6	7	7

Tabela 65 – Quantidade de partículas retidas nas peneiras para o ensaio de determinação da resistência carga pontual do gnaisse (arquivo pessoal).

Intemperismo	nº de ciclos	Peneira (mm)		
		19,0	25,0	37,5
Inicial		2	12	6
Físico	25	1	11	8
	50	1	9	10
	75	1	10	9
Químico	20	1	10	9
	40	1	10	9

Tabela 66 – Quantidade de partículas retidas nas peneiras para o ensaio de determinação da resistência carga pontual da escória de aciaria LD (arquivo pessoal).

Intemperismo	nº de ciclos	Peneira (mm)		
		19,0	25,0	37,5
	Inicial	1	8	11
Físico	25	1	8	11
	50	1	9	10
	75	1	7	12
Químico	20	1	9	10
	40	1	8	11

Tabela 67 – Dados do ensaio de determinação da resistência à carga pontual do BA-00-PL (arquivo pessoal).

Corpo de prova	L (mm)	W ₁ (mm)	W ₂ (mm)	W (mm)	D (mm)	P _{máx.} (kN)
BA-00-PL-CP1	33,60	46,40	46,70	46,55	34,50	21,0
BA-00-PL-CP2	35,65	45,00	42,55	43,78	24,30	11,0
BA-00-PL-CP3	27,45	42,75	33,20	37,98	32,40	13,0
BA-00-PL-CP4	38,15	53,00	32,00	42,50	25,70	20,5
BA-00-PL-CP5	30,50	49,90	37,20	43,55	29,90	23,0
BA-00-PL-CP6	33,45	52,85	36,00	44,43	27,30	13,0
BA-00-PL-CP7	31,70	45,80	35,00	40,40	28,10	18,0
BA-00-PL-CP8	34,00	30,20	24,10	27,15	26,30	15,0
BA-00-PL-CP9	29,40	33,00	27,20	30,10	21,00	20,5
BA-00-PL-CP10	27,95	34,40	28,80	31,60	25,30	4,0
BA-00-PL-CP11	28,25	27,30	23,40	25,35	20,00	8,0
BA-00-PL-CP12	24,75	37,70	37,90	37,80	26,40	7,0
BA-00-PL-CP13	23,80	34,70	39,20	36,95	24,60	11,0
BA-00-PL-CP14	27,25	25,00	26,30	25,65	22,35	8,0
BA-00-PL-CP15	22,50	34,20	28,20	31,20	25,00	9,0
BA-00-PL-CP16	17,80	28,00	24,40	26,20	22,00	9,5
BA-00-PL-CP17	21,70	21,45	17,50	19,48	18,70	14,0
BA-00-PL-CP18	13,20	20,00	22,00	21,00	13,65	3,65
BA-00-PL-CP19	16,50	21,10	17,10	19,10	16,15	8,5
BA-00-PL-CP20	16,40	21,10	26,10	23,60	15,50	2,50

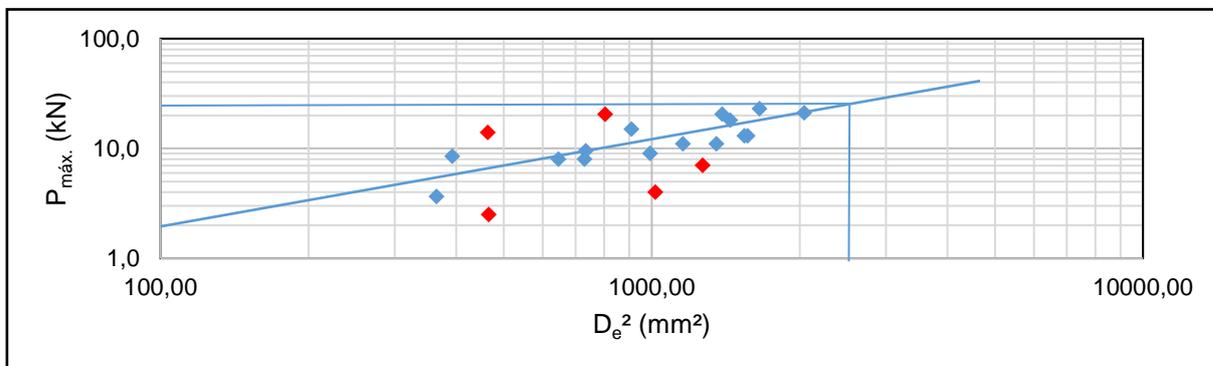


Figura 120 – Obtenção de P_{máx.(50)} para o BA-00-PL (arquivo pessoal).

Tabela 68 – Dados do ensaio de determinação da resistência à carga pontual do BA-25-IF-PL (arquivo pessoal).

Corpo de prova	L (mm)	W ₁ (mm)	W ₂ (mm)	W (mm)	D (mm)	P _{máx.} (kN)
BA-25-IF-PL-CP1	31,20	33,40	39,05	36,23	21,50	18,0
BA-25-IF-PL-CP2	34,80	41,00	27,70	34,35	26,20	19,0
BA-25-IF-PL-CP3	26,10	29,00	35,20	32,10	26,35	17,0
BA-25-IF-PL-CP4	24,25	21,80	26,05	23,93	24,00	11,0
BA-25-IF-PL-CP5	28,70	35,75	43,70	39,73	18,45	18,0
BA-25-IF-PL-CP6	32,35	34,40	33,05	33,73	32,20	32,0
BA-25-IF-PL-CP7	21,95	28,30	18,45	23,38	18,35	15,0
BA-25-IF-PL-CP8	21,55	22,10	22,70	22,40	14,30	11,5
BA-25-IF-PL-CP9	37,80	39,30	31,25	35,28	24,70	15,5
BA-25-IF-PL-CP10	29,75	36,65	20,95	28,80	31,45	19,5
BA-25-IF-PL-CP11	19,60	28,45	28,20	28,33	24,70	12,5
BA-25-IF-PL-CP12	21,80	30,75	26,25	28,50	16,85	7,0
BA-25-IF-PL-CP13	24,70	25,00	18,55	21,78	14,25	9,5
BA-25-IF-PL-CP14	20,10	22,55	19,90	21,23	16,95	5,5
BA-25-IF-PL-CP15	26,00	22,90	16,60	19,75	18,30	16,5
BA-25-IF-PL-CP16	20,75	31,90	21,95	26,93	20,75	14,5
BA-25-IF-PL-CP17	18,35	24,55	29,80	27,18	16,80	6,0
BA-25-IF-PL-CP18	45,30	40,50	31,70	36,10	32,40	25,5
BA-25-IF-PL-CP19	38,15	37,80	47,20	42,50	35,70	19,0
BA-25-IF-PL-CP20	20,75	15,35	16,40	15,88	16,50	2,65

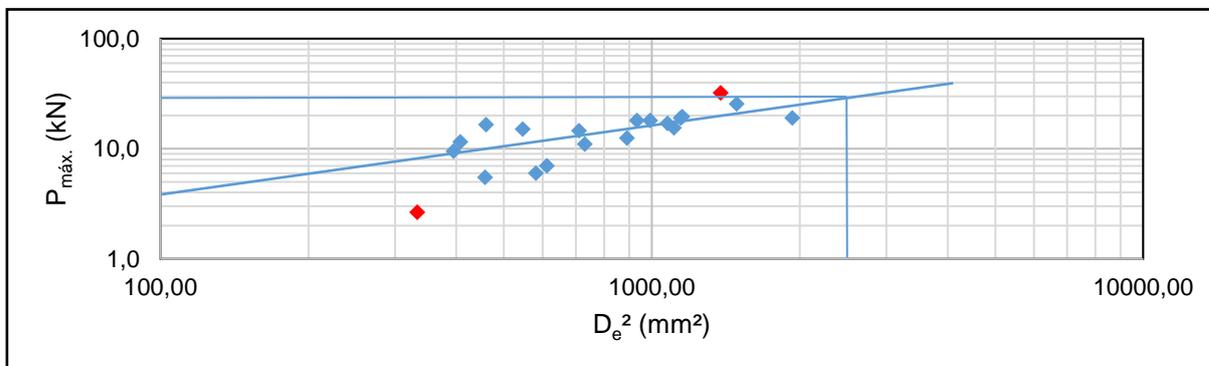


Figura 121 – Obtenção de P_{máx.(50)} para o BA-25-IF-PL (arquivo pessoal).

Tabela 69 – Dados do ensaio de determinação da resistência à carga pontual do BA-50-IF-PL (arquivo pessoal).

Corpo de prova	L (mm)	W ₁ (mm)	W ₂ (mm)	W (mm)	D (mm)	P _{máx.} (kN)
BA-50-IF-PL-CP1	25,75	29,50	31,45	30,48	12,85	8,5
BA-50-IF-PL-CP2	25,20	24,65	27,00	25,83	17,15	12,0
BA-50-IF-PL-CP3	23,00	17,55	21,55	19,55	19,60	6,0
BA-50-IF-PL-CP4	39,35	41,05	54,25	47,65	27,00	24,5
BA-50-IF-PL-CP5	18,15	25,10	24,00	24,55	14,30	3,00
BA-50-IF-PL-CP6	25,95	34,90	37,55	36,23	23,35	14,0
BA-50-IF-PL-CP7	15,50	16,15	26,00	21,08	12,20	7,0
BA-50-IF-PL-CP8	20,45	26,65	23,15	24,90	16,70	7,0
BA-50-IF-PL-CP9	41,45	43,05	54,70	48,88	22,80	13,0
BA-50-IF-PL-CP10	25,25	35,90	36,95	36,43	16,75	6,0
BA-50-IF-PL-CP11	25,60	44,10	49,10	46,60	24,15	27,0
BA-50-IF-PL-CP12	34,50	42,65	29,25	35,95	26,95	31,0
BA-50-IF-PL-CP13	21,50	22,15	23,20	22,68	16,80	13,0
BA-50-IF-PL-CP14	27,90	48,30	53,00	50,65	29,60	25,5
BA-50-IF-PL-CP15	33,75	38,90	27,50	33,20	26,65	1,90
BA-50-IF-PL-CP16	25,25	31,35	30,75	31,05	14,90	9,5
BA-50-IF-PL-CP17	41,80	47,70	45,75	46,73	29,05	6,0
BA-50-IF-PL-CP18	35,20	49,25	53,60	51,43	25,10	13,5
BA-50-IF-PL-CP19	34,40	55,60	54,00	54,80	30,25	11,5
BA-50-IF-PL-CP20	27,75	47,05	46,00	46,53	33,30	29,0

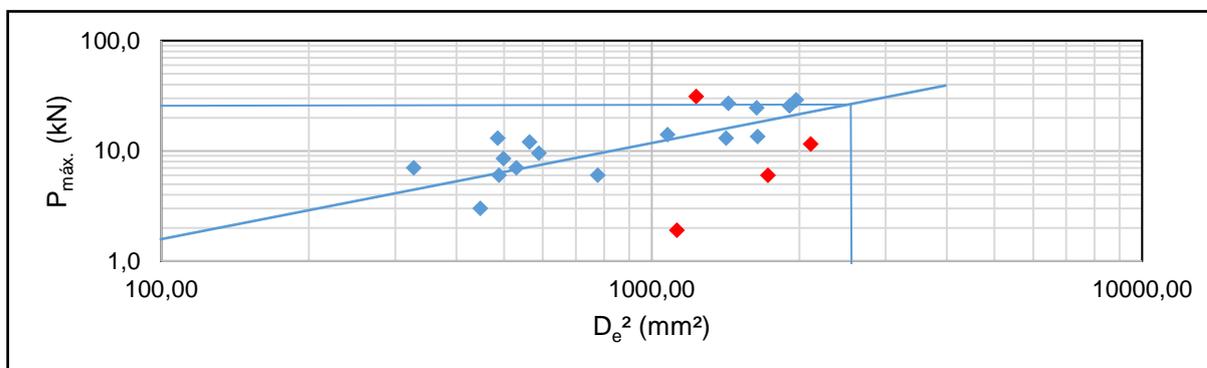


Figura 122 – Obtenção de P_{máx.(50)} para o BA-50-IF-PL (arquivo pessoal).

Tabela 70 – Dados do ensaio de determinação da resistência à carga pontual do BA-75-IF-PL (arquivo pessoal).

Corpo de prova	L (mm)	W ₁ (mm)	W ₂ (mm)	W (mm)	D (mm)	P _{máx.} (kN)
BA-75-IF-PL-CP1	35,00	44,65	35,00	39,83	21,90	23,0
BA-75-IF-PL-CP2	52,00	33,15	40,50	36,83	30,20	21,5
BA-75-IF-PL-CP3	21,55	34,40	44,20	39,30	30,15	17,0
BA-75-IF-PL-CP4	55,20	49,25	61,80	55,53	32,45	20,0
BA-75-IF-PL-CP5	30,75	42,30	50,60	46,45	38,60	13,50
BA-75-IF-PL-CP6	32,40	27,60	27,00	27,30	27,85	19,0
BA-75-IF-PL-CP7	31,25	26,45	25,20	25,83	15,70	12,0
BA-75-IF-PL-CP8	23,00	20,10	25,75	22,93	19,80	5,0
BA-75-IF-PL-CP9	18,10	19,95	17,00	18,48	14,40	6,0
BA-75-IF-PL-CP10	30,10	18,60	23,00	20,80	17,75	4,2
BA-75-IF-PL-CP11	26,50	40,50	38,00	39,25	23,45	11,5
BA-75-IF-PL-CP12	31,10	40,20	51,70	45,95	21,15	6,0
BA-75-IF-PL-CP13	28,20	48,00	43,15	45,58	34,25	14,5
BA-75-IF-PL-CP14	20,50	36,20	38,40	37,30	21,50	3,3
BA-75-IF-PL-CP15	32,65	35,25	37,95	36,60	34,25	22,5
BA-75-IF-PL-CP16	34,30	54,05	48,40	51,23	30,60	31,5
BA-75-IF-PL-CP17	30,30	38,50	42,35	40,43	26,25	7,0
BA-75-IF-PL-CP18	21,50	37,30	30,00	33,65	21,65	17,0
BA-75-IF-PL-CP19	25,20	23,70	18,45	21,08	16,90	4,5
BA-75-IF-PL-CP20	20,65	39,15	35,30	37,23	24,50	25,5

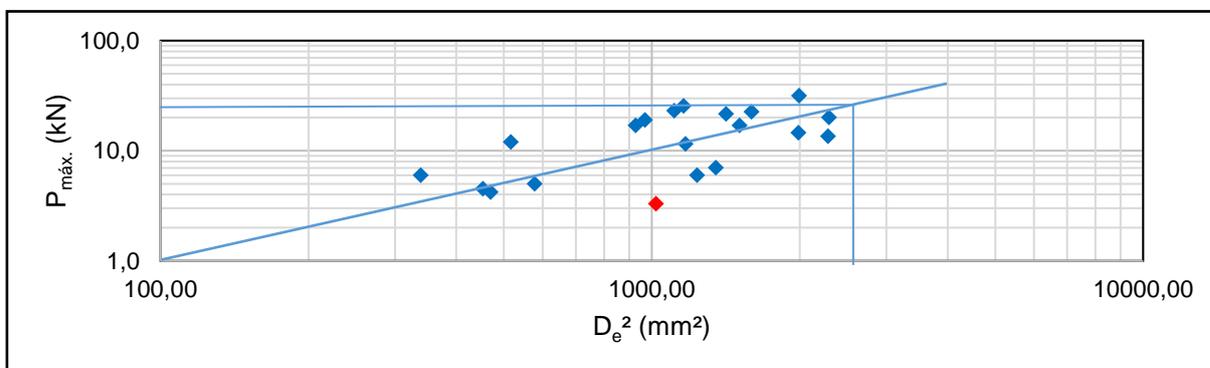


Figura 123 – Obtenção de $P_{máx.(50)}$ para o BA-75-IF-PL (arquivo pessoal).

Tabela 71 – Dados do ensaio de determinação da resistência à carga pontual do BA-20-IQ-PL (arquivo pessoal).

Corpo de prova	L (mm)	W ₁ (mm)	W ₂ (mm)	W (mm)	D (mm)	P _{máx.} (kN)
BA-20-IQ-PL-CP1	32,40	60,70	54,05	57,38	27,20	17,5
BA-20-IQ-PL-CP2	34,30	47,00	38,65	42,83	29,70	21,5
BA-20-IQ-PL-CP3	34,80	46,25	40,00	43,13	22,20	14,0
BA-20-IQ-PL-CP4	22,55	30,90	30,60	30,75	15,70	5,0
BA-20-IQ-PL-CP5	31,15	40,85	48,15	44,50	25,45	16,0
BA-20-IQ-PL-CP6	22,05	18,15	20,85	19,50	15,20	6,0
BA-20-IQ-PL-CP7	29,70	42,05	42,40	42,23	22,35	17,0
BA-20-IQ-PL-CP8	24,75	39,90	38,80	39,35	24,50	9,0
BA-20-IQ-PL-CP9	31,05	47,05	38,60	42,83	25,45	22,5
BA-20-IQ-PL-CP10	48,85	44,50	46,70	45,60	20,70	16,0
BA-20-IQ-PL-CP11	33,60	29,85	35,20	32,53	23,75	18,0
BA-20-IQ-PL-CP12	26,35	23,40	24,70	24,05	22,80	10,0
BA-20-IQ-PL-CP13	21,05	34,25	35,35	34,80	27,60	22,0
BA-20-IQ-PL-CP14	21,95	23,80	31,70	27,75	22,30	10,0
BA-20-IQ-PL-CP15	33,55	31,80	34,15	32,98	18,45	12,0
BA-20-IQ-PL-CP16	22,15	31,60	24,40	28,00	21,70	16,5
BA-20-IQ-PL-CP17	19,60	24,50	29,40	26,95	19,90	7,0
BA-20-IQ-PL-CP18	24,50	43,80	37,30	40,55	18,35	13,0
BA-20-IQ-PL-CP19	23,20	26,20	30,00	28,10	15,00	8,0
BA-20-IQ-PL-CP20	20,05	26,00	18,65	22,33	15,35	10,0

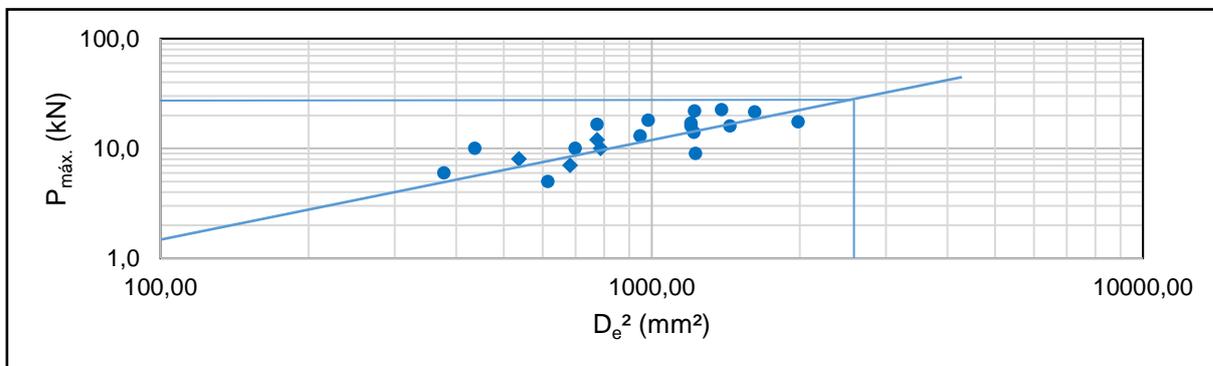


Figura 124 – Obtenção de $P_{máx.(50)}$ para o BA-20-IQ-PL (arquivo pessoal).

Tabela 72 – Dados do ensaio de determinação da resistência à carga pontual do BA-40-IQ-PL (arquivo pessoal).

Corpo de prova	L (mm)	W ₁ (mm)	W ₂ (mm)	W (mm)	D (mm)	P _{máx.} (kN)
BA-40-IQ-PL-CP1	41,30	44,50	40,00	42,25	26,55	26,0
BA-40-IQ-PL-CP2	32,05	43,00	43,55	43,28	26,80	18,0
BA-40-IQ-PL-CP3	31,00	51,60	42,55	47,08	39,50	23,0
BA-40-IQ-PL-CP4	29,90	29,90	28,25	29,08	17,45	10,0
BA-40-IQ-PL-CP5	23,00	30,00	32,85	31,43	21,00	6,00
BA-40-IQ-PL-CP6	27,50	32,70	31,70	32,20	24,10	16,5
BA-40-IQ-PL-CP7	31,20	45,50	34,70	40,10	23,50	17,5
BA-40-IQ-PL-CP8	26,70	43,20	39,00	41,10	24,30	20,5
BA-40-IQ-PL-CP9	26,80	39,65	34,00	36,83	31,30	18,0
BA-40-IQ-PL-CP10	32,00	32,00	21,30	26,65	23,30	19,5
BA-40-IQ-PL-CP11	20,25	35,30	22,55	28,93	15,75	12,5
BA-40-IQ-PL-CP12	32,20	25,90	19,10	22,50	22,00	18,5
BA-40-IQ-PL-CP13	25,65	31,45	28,55	30,00	27,35	14,5
BA-40-IQ-PL-CP14	26,75	34,10	33,30	33,70	16,30	13,0
BA-40-IQ-PL-CP15	26,50	39,70	37,75	38,73	19,20	4,5
BA-40-IQ-PL-CP16	21,55	21,30	17,45	19,38	13,75	10,5
BA-40-IQ-PL-CP17	18,25	18,70	23,80	21,25	13,95	1,85
BA-40-IQ-PL-CP18	12,85	21,80	21,10	21,45	16,85	5,3
BA-40-IQ-PL-CP19	17,80	21,00	19,90	20,45	17,55	7,0
BA-40-IQ-PL-CP20	18,00	19,70	24,00	21,85	14,00	1,70

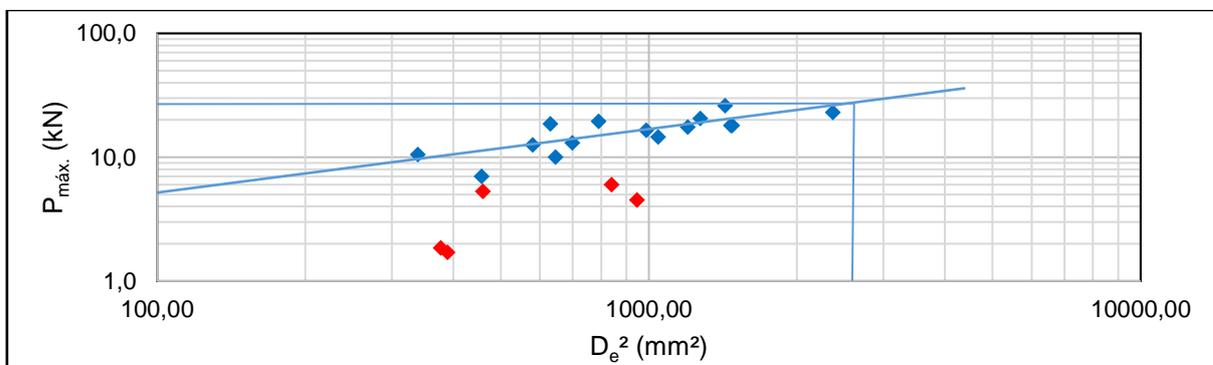


Figura 125 – Obtenção de P_{máx.(50)} para o BA-40-IQ-PL (arquivo pessoal).

Tabela 73 – Dados do ensaio de determinação da resistência à carga pontual do GN-00-PL (arquivo pessoal).

Corpo de prova	L (mm)	W ₁ (mm)	W ₂ (mm)	W (mm)	D (mm)	P _{máx.} (kN)
GN-00-PL-CP1	26,60	39,80	40,85	40,33	21,85	23,5
GN-00-PL-CP2	33,55	29,90	32,50	31,20	26,60	11,5
GN-00-PL-CP3	34,25	45,00	37,45	41,23	40,35	21,0
GN-00-PL-CP4	40,05	32,95	31,90	32,43	28,10	4,10
GN-00-PL-CP5	34,95	45,30	47,80	46,55	29,15	13,0
GN-00-PL-CP6	46,50	35,10	30,65	32,88	23,30	11,0
GN-00-PL-CP7	44,10	39,70	46,15	42,93	25,20	9,0
GN-00-PL-CP8	41,35	35,35	38,15	36,75	26,10	15,5
GN-00-PL-CP9	26,20	38,20	39,20	38,70	23,60	8,5
GN-00-PL-CP10	28,45	28,65	29,70	29,18	23,70	10,0
GN-00-PL-CP11	24,60	39,00	43,00	41,00	22,30	12,5
GN-00-PL-CP12	35,45	25,95	19,20	22,58	20,80	9,0
GN-00-PL-CP13	29,85	42,75	33,80	38,28	23,65	7,0
GN-00-PL-CP14	22,05	36,30	29,65	32,98	19,55	8,0
GN-00-PL-CP15	22,05	31,85	33,10	32,48	26,95	8,0
GN-00-PL-CP16	21,35	31,45	40,10	35,78	27,70	11,5
GN-00-PL-CP17	20,15	37,15	30,50	33,83	23,00	12,5
GN-00-PL-CP18	20,85	36,60	26,30	31,45	23,00	8,0
GN-00-PL-CP19	19,65	20,10	21,20	20,65	19,90	5,5
GN-00-PL-CP20	21,50	22,50	22,70	22,60	15,10	4,0

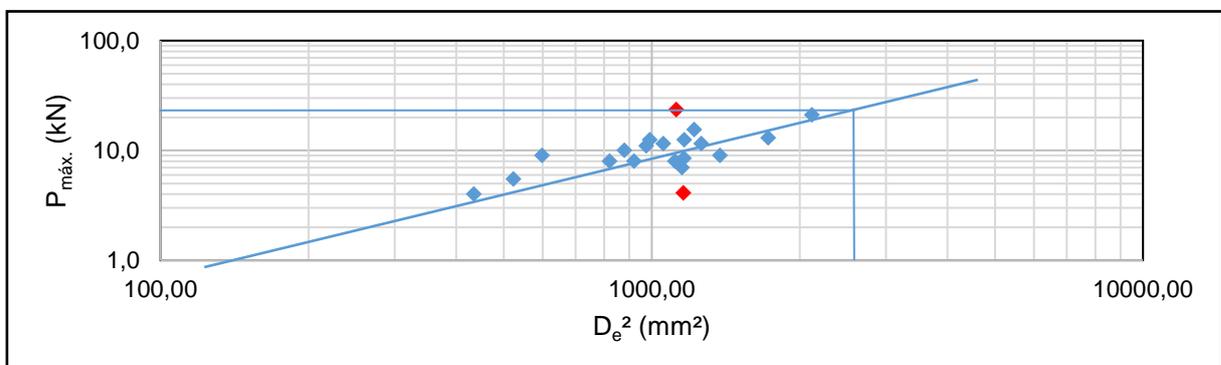


Figura 126 – Obtenção de P_{máx.(50)} para o GN-00-PL (arquivo pessoal).

Tabela 74 – Dados do ensaio de determinação da resistência à carga pontual do GN-25-IF-PL (arquivo pessoal).

Corpo de prova	L (mm)	W ₁ (mm)	W ₂ (mm)	W (mm)	D (mm)	P _{máx.} (kN)
GN-25-IF-PL-CP1	28,95	33,50	39,25	36,38	19,15	11,0
GN-25-IF-PL-CP2	29,10	42,40	39,70	41,05	26,00	17,5
GN-25-IF-PL-CP3	27,40	31,40	33,60	32,50	25,50	14,5
GN-25-IF-PL-CP4	22,80	34,65	25,20	29,93	23,30	12,0
GN-25-IF-PL-CP5	32,20	31,50	26,95	29,23	21,00	9,5
GN-25-IF-PL-CP6	36,40	60,00	57,40	58,70	20,00	14,0
GN-25-IF-PL-CP7	34,10	31,00	31,60	31,30	23,30	11,0
GN-25-IF-PL-CP8	24,80	45,40	30,00	37,70	27,80	14,0
GN-25-IF-PL-CP9	29,15	28,00	25,60	26,80	26,40	11,0
GN-25-IF-PL-CP10	31,50	48,80	34,80	41,80	23,30	14,5
GN-25-IF-PL-CP11	31,65	54,90	23,40	39,15	31,30	13,5
GN-25-IF-PL-CP12	33,30	41,10	44,60	42,85	26,90	22,0
GN-25-IF-PL-CP13	29,75	35,00	42,50	38,75	26,25	16,5
GN-25-IF-PL-CP14	32,55	43,00	42,80	42,90	19,90	9,0
GN-25-IF-PL-CP15	20,70	41,80	46,95	44,38	19,90	10,5
GN-25-IF-PL-CP16	37,60	34,30	40,25	37,28	26,95	5,5
GN-25-IF-PL-CP17	26,25	39,40	52,30	45,85	32,30	11,0
GN-25-IF-PL-CP18	26,40	26,90	20,75	23,83	20,20	6,0
GN-25-IF-PL-CP19	25,35	28,70	30,50	29,60	16,90	6,0
GN-25-IF-PL-CP20	21,00	22,20	24,80	23,50	14,65	5,0

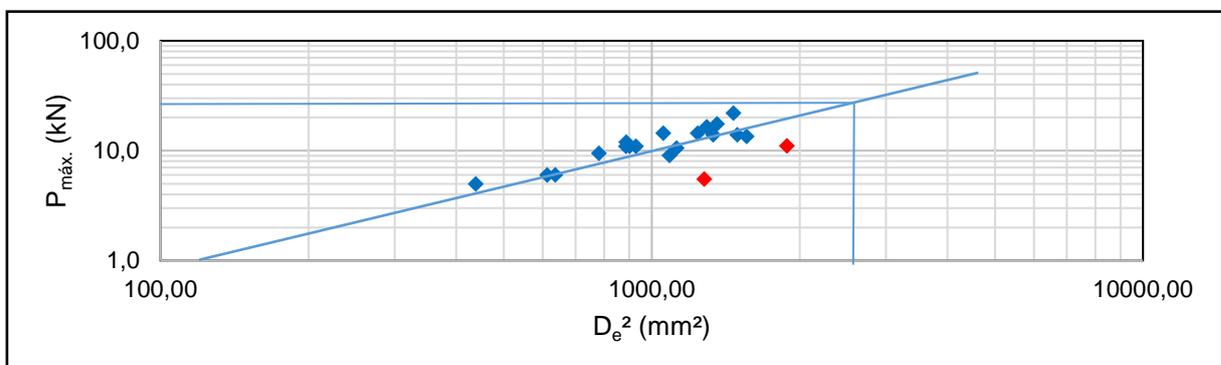


Figura 127 – Obtenção de $P_{máx.(50)}$ para o GN-25-IF-PL (arquivo pessoal).

Tabela 75 – Dados do ensaio de determinação da resistência à carga pontual do GN-50-IF-PL (arquivo pessoal).

Corpo de prova	L (mm)	W ₁ (mm)	W ₂ (mm)	W (mm)	D (mm)	P _{máx.} (kN)
GN-50-IF-PL-CP1	30,55	50,50	48,25	49,38	21,10	12,0
GN-50-IF-PL-CP2	38,90	47,50	47,20	47,35	23,20	12,0
GN-50-IF-PL-CP3	27,40	41,55	44,25	42,90	20,90	10,5
GN-50-IF-PL-CP4	46,10	33,90	41,55	37,73	34,10	19,0
GN-50-IF-PL-CP5	31,70	32,45	39,30	35,88	22,90	13,00
GN-50-IF-PL-CP6	29,30	41,00	39,80	40,40	24,20	14,0
GN-50-IF-PL-CP7	22,15	19,70	27,30	23,50	14,00	5,5
GN-50-IF-PL-CP8	28,55	29,10	28,15	28,63	18,70	12,0
GN-50-IF-PL-CP9	17,65	31,20	34,00	32,60	17,30	7,5
GN-50-IF-PL-CP10	24,70	29,60	39,50	34,55	19,30	6,0
GN-50-IF-PL-CP11	31,10	30,45	29,35	29,90	17,40	9,0
GN-50-IF-PL-CP12	27,50	37,80	41,55	39,68	23,25	11,0
GN-50-IF-PL-CP13	39,60	48,55	44,15	46,35	25,20	15,0
GN-50-IF-PL-CP14	26,40	25,60	29,75	27,68	15,35	7,0
GN-50-IF-PL-CP15	24,80	31,10	33,80	32,45	22,35	8,0
GN-50-IF-PL-CP16	25,60	35,10	24,35	29,73	20,45	8,5
GN-50-IF-PL-CP17	33,30	33,10	42,70	37,90	27,40	11,6
GN-50-IF-PL-CP18	32,50	32,05	30,95	31,50	21,50	9,0
GN-50-IF-PL-CP19	34,20	37,75	49,25	43,50	28,60	13,0
GN-50-IF-PL-CP20	35,10	49,00	36,15	42,58	26,35	12,0

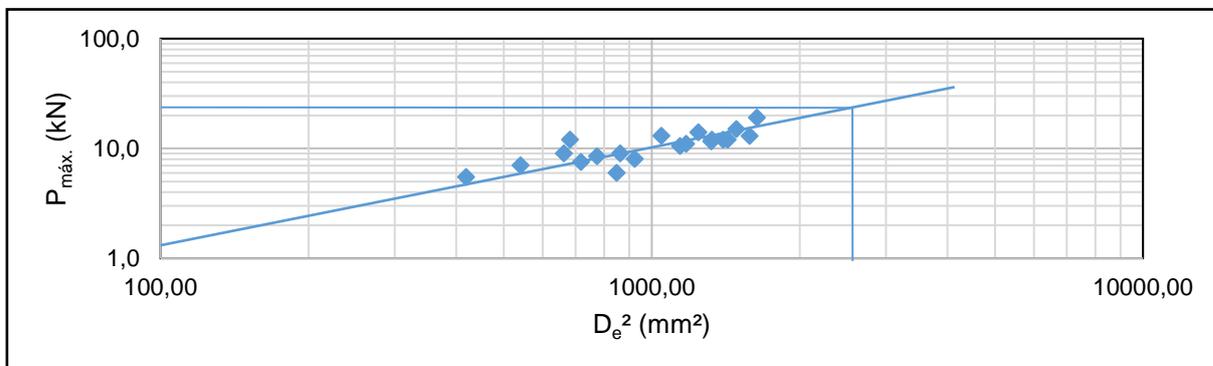


Figura 128 – Obtenção de P_{máx.(50)} para o GN-50-IF-PL (arquivo pessoal).

Tabela 76 – Dados do ensaio de determinação da resistência à carga pontual do GN-75-IF-PL (arquivo pessoal)

Corpo de prova	L (mm)	W ₁ (mm)	W ₂ (mm)	W (mm)	D (mm)	P _{máx.} (kN)
GN-75-IF-PL-CP1	30,70	51,85	57,00	54,43	34,05	23,5
GN-75-IF-PL-CP2	44,05	33,55	41,10	37,33	22,10	13,5
GN-75-IF-PL-CP3	30,00	43,10	51,45	47,28	33,60	21,5
GN-75-IF-PL-CP4	31,85	53,35	52,60	52,98	31,85	22,5
GN-75-IF-PL-CP5	31,65	37,50	41,85	39,68	38,35	24,00
GN-75-IF-PL-CP6	35,20	30,00	39,65	34,83	26,00	14,5
GN-75-IF-PL-CP7	29,00	35,40	37,20	36,30	15,70	7,0
GN-75-IF-PL-CP8	35,10	28,30	34,00	31,15	17,30	6,0
GN-75-IF-PL-CP9	41,10	46,45	49,80	48,13	25,50	9,0
GN-75-IF-PL-CP10	41,95	53,15	49,80	51,48	27,00	16,0
GN-75-IF-PL-CP11	28,45	29,50	36,00	32,75	22,70	8,5
GN-75-IF-PL-CP12	33,70	33,55	34,80	34,18	19,80	6,0
GN-75-IF-PL-CP13	28,45	41,65	46,35	44,00	24,15	12,0
GN-75-IF-PL-CP14	26,90	25,80	19,10	22,45	22,45	11,5
GN-75-IF-PL-CP15	28,65	42,35	32,45	37,40	24,65	5,1
GN-75-IF-PL-CP16	27,05	38,65	30,30	34,48	17,20	7,0
GN-75-IF-PL-CP17	28,90	32,00	42,90	37,45	18,40	8,0
GN-75-IF-PL-CP18	21,65	30,30	37,50	33,90	27,45	11,0
GN-75-IF-PL-CP19	23,85	19,20	21,85	20,53	13,65	4,9
GN-75-IF-PL-CP20	20,65	31,70	38,80	35,25	23,00	13,0

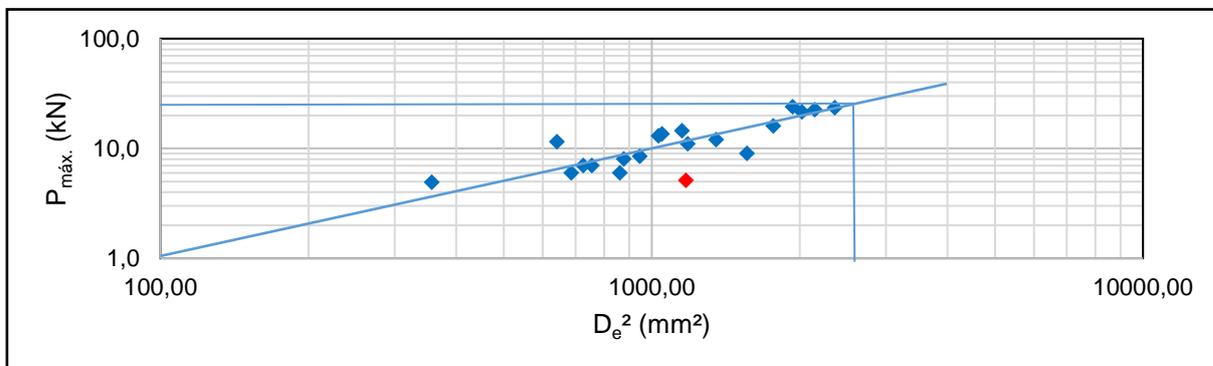


Figura 129 – Obtenção de P_{máx.(50)} para o GN-75-IF-PL (arquivo pessoal).

Tabela 77 – Dados do ensaio de determinação da resistência à carga pontual do GN-20-IQ-PL (arquivo pessoal)

Corpo de prova	L (mm)	W ₁ (mm)	W ₂ (mm)	W (mm)	D (mm)	P _{máx.} (kN)
GN-20-IQ-PL-CP1	27,50	40,95	41,60	41,28	31,00	10,0
GN-20-IQ-PL-CP2	35,60	50,70	36,95	43,83	26,50	16,5
GN-20-IQ-PL-CP3	46,00	45,25	38,80	42,03	23,10	9,5
GN-20-IQ-PL-CP4	28,25	51,15	49,65	50,40	22,85	11,0
GN-20-IQ-PL-CP5	45,45	49,35	38,50	43,93	27,10	10,0
GN-20-IQ-PL-CP6	30,80	40,35	41,35	40,85	25,55	12,0
GN-20-IQ-PL-CP7	36,45	54,65	38,70	46,68	21,60	13,0
GN-20-IQ-PL-CP8	31,05	41,75	45,20	43,48	26,90	15,0
GN-20-IQ-PL-CP9	43,85	32,95	32,20	32,58	20,15	13,0
GN-20-IQ-PL-CP10	32,75	23,35	28,10	25,73	19,45	7,0
GN-20-IQ-PL-CP11	31,25	30,00	36,80	33,40	35,00	15,0
GN-20-IQ-PL-CP12	26,45	30,65	35,45	33,05	28,55	10,5
GN-20-IQ-PL-CP13	24,60	26,00	30,70	28,35	16,65	6,0
GN-20-IQ-PL-CP14	37,20	33,60	36,60	35,10	20,00	7,0
GN-20-IQ-PL-CP15	25,50	34,60	33,20	33,90	23,55	11,5
GN-20-IQ-PL-CP16	29,85	36,35	39,65	38,00	22,60	18,0
GN-20-IQ-PL-CP17	33,65	30,15	34,65	32,40	26,20	10,0
GN-20-IQ-PL-CP18	24,35	34,05	32,90	33,48	22,55	6,0
GN-20-IQ-PL-CP19	25,70	35,35	29,85	32,60	22,20	5,0
GN-20-IQ-PL-CP20	26,10	27,10	21,15	24,13	18,95	7,0

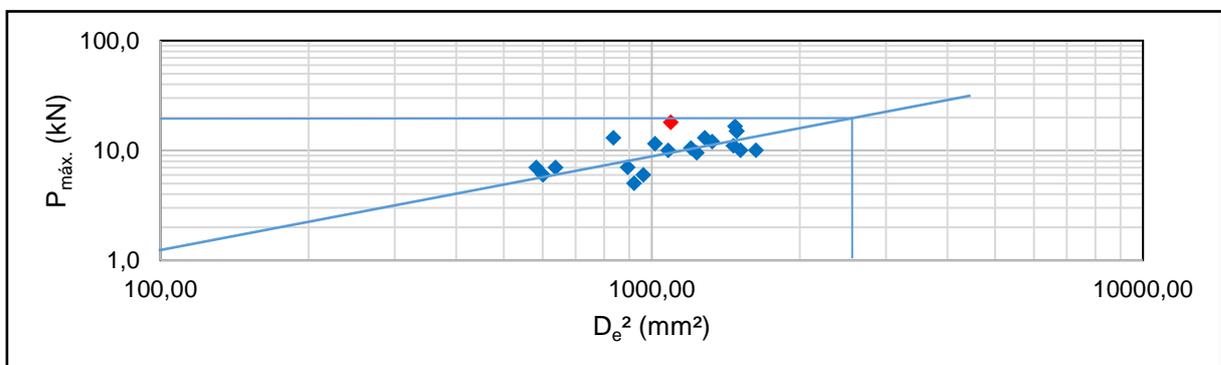


Figura 130 – Obtenção de $P_{máx.(50)}$ para o GN-20-IQ-PL (arquivo pessoal).

Tabela 78 – Dados do ensaio de determinação da resistência à carga pontual do GN-40-IQ-PL (arquivo pessoal).

Corpo de prova	L (mm)	W ₁ (mm)	W ₂ (mm)	W (mm)	D (mm)	P _{máx.} (kN)
GN-40-IQ-PL-CP1	28,60	35,70	29,70	32,70	19,20	8,0
GN-40-IQ-PL-CP2	27,10	35,15	37,65	36,40	19,20	10,5
GN-40-IQ-PL-CP3	27,70	45,70	46,80	46,25	20,00	8,0
GN-40-IQ-PL-CP4	20,65	31,10	35,55	33,33	15,60	4,0
GN-40-IQ-PL-CP5	26,95	40,00	41,50	40,75	17,95	6,50
GN-40-IQ-PL-CP6	39,95	47,00	45,70	46,35	24,80	16,5
GN-40-IQ-PL-CP7	29,70	27,70	27,90	27,80	20,10	5,0
GN-40-IQ-PL-CP8	34,50	46,75	48,30	47,53	22,40	9,0
GN-40-IQ-PL-CP9	24,15	40,05	35,65	37,85	21,70	7,0
GN-40-IQ-PL-CP10	32,50	31,65	46,50	39,08	22,55	18,5
GN-40-IQ-PL-CP11	19,40	20,60	24,35	22,48	14,85	3,5
GN-40-IQ-PL-CP12	30,80	26,90	37,70	32,30	20,15	6,0
GN-40-IQ-PL-CP13	20,40	25,70	26,45	26,08	23,00	7,5
GN-40-IQ-PL-CP14	24,90	30,70	38,00	34,35	27,60	10,0
GN-40-IQ-PL-CP15	22,40	35,00	31,00	33,00	25,35	4,5
GN-40-IQ-PL-CP16	27,65	52,30	46,20	49,25	31,00	11,0
GN-40-IQ-PL-CP17	31,80	48,90	58,95	53,93	21,45	14,5
GN-40-IQ-PL-CP18	30,85	44,20	51,95	48,08	31,10	11,5
GN-40-IQ-PL-CP19	32,85	47,90	52,00	49,95	24,35	7,5
GN-40-IQ-PL-CP20	22,75	32,80	33,55	33,18	20,30	4,5

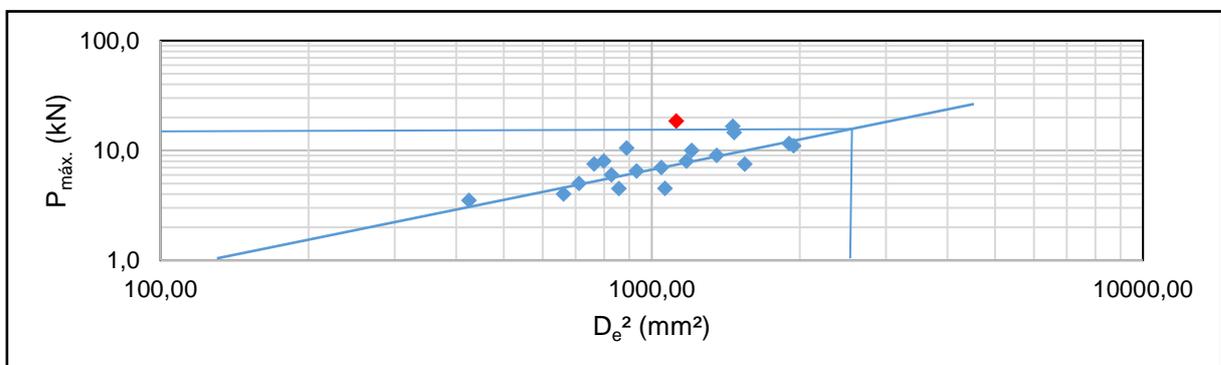


Figura 131 – Obtenção de P_{máx.(50)} para o GN-40-IQ-PL (arquivo pessoal).

Tabela 79 – Dados do ensaio de determinação da resistência à carga pontual da ES-00-PL (arquivo pessoal).

Corpo de prova	L (mm)	W ₁ (mm)	W ₂ (mm)	W (mm)	D (mm)	P _{máx.} (kN)
ES-00-PL-CP1	39,20	48,30	50,65	49,48	35,00	34,5
ES-00-PL-CP2	26,45	34,50	38,45	36,48	18,70	18,5
ES-00-PL-CP3	37,10	47,15	51,80	49,48	27,30	16,0
ES-00-PL-CP4	23,60	28,05	31,20	29,63	24,15	20,5
ES-00-PL-CP5	25,50	39,70	39,10	39,40	21,65	14,0
ES-00-PL-CP6	37,85	41,80	43,30	42,55	30,30	14,0
ES-00-PL-CP7	20,10	24,70	28,90	26,80	18,40	7,0
ES-00-PL-CP8	24,00	31,50	34,05	32,78	27,70	19,0
ES-00-PL-CP9	23,85	32,60	33,10	32,85	21,80	11,0
ES-00-PL-CP10	35,20	39,90	43,45	41,68	39,55	13,0
ES-00-PL-CP11	25,00	37,70	40,80	39,25	24,50	10,5
ES-00-PL-CP12	25,35	38,55	36,80	37,68	20,75	10,0
ES-00-PL-CP13	22,85	22,00	27,10	24,55	21,45	9,0
ES-00-PL-CP14	38,70	37,00	43,05	40,03	27,65	34,0
ES-00-PL-CP15	23,50	24,00	30,00	27,00	26,45	10,0
ES-00-PL-CP16	21,20	24,65	36,50	30,58	25,95	13,0
ES-00-PL-CP17	20,50	33,00	39,45	36,23	28,90	21,0
ES-00-PL-CP18	16,50	20,45	25,00	22,73	12,60	5,0
ES-00-PL-CP19	27,00	39,50	54,55	47,03	36,45	6,0
ES-00-PL-CP20	28,80	44,00	53,40	48,70	26,90	9,0

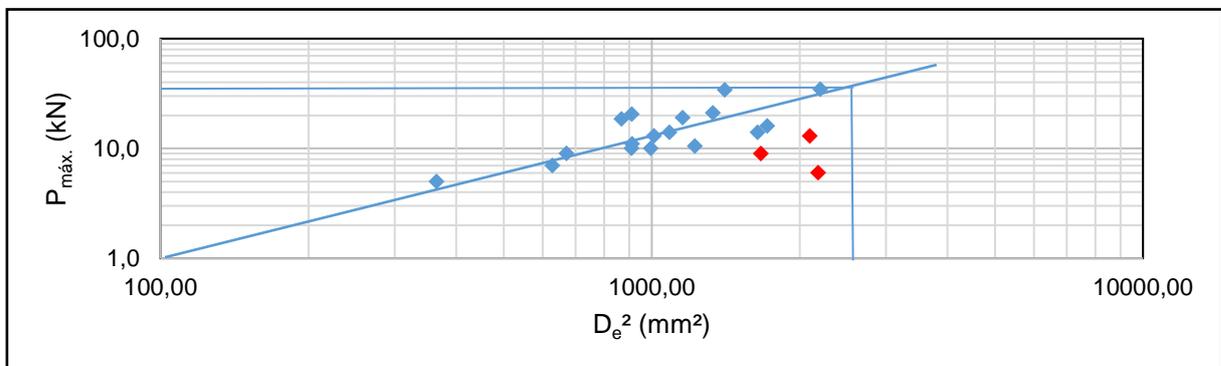


Figura 132 – Obtenção de P_{máx.(50)} para a ES-00-PL (arquivo pessoal).

Tabela 80 – Dados do ensaio de determinação da resistência à carga pontual da ES-25-IF-PL (arquivo pessoal)

Corpo de prova	L (mm)	W ₁ (mm)	W ₂ (mm)	W (mm)	D (mm)	P _{máx.} (kN)
ES-25-IF-PL-CP1	37,75	54,90	43,10	49,00	38,90	25,5
ES-25-IF-PL-CP2	31,10	42,50	42,70	42,60	35,85	15,0
ES-25-IF-PL-CP3	30,50	37,45	45,25	41,35	38,90	14,0
ES-25-IF-PL-CP4	31,25	38,00	35,00	36,50	30,65	5,0
ES-25-IF-PL-CP5	23,90	40,55	44,30	42,43	23,85	13,0
ES-25-IF-PL-CP6	32,35	35,90	53,50	44,70	31,25	16,0
ES-25-IF-PL-CP7	28,50	39,90	36,55	38,23	34,10	24,0
ES-25-IF-PL-CP8	24,45	38,85	45,85	42,35	26,75	6,0
ES-25-IF-PL-CP9	27,85	35,75	40,25	38,00	21,40	-
ES-25-IF-PL-CP10	27,50	34,85	38,20	36,53	29,15	20,0
ES-25-IF-PL-CP11	24,45	27,60	28,90	28,25	26,25	15,0
ES-25-IF-PL-CP12	30,40	37,20	45,70	41,45	29,60	11,0
ES-25-IF-PL-CP13	21,20	36,15	31,30	33,73	23,70	23,0
ES-25-IF-PL-CP14	28,85	34,80	35,00	34,90	23,50	15,0
ES-25-IF-PL-CP15	20,00	31,90	29,90	30,90	28,90	24,0
ES-25-IF-PL-CP16	18,15	30,85	34,40	32,63	24,20	14,0
ES-25-IF-PL-CP17	21,65	31,70	32,00	31,85	24,25	11,0
ES-25-IF-PL-CP18	20,50	25,30	32,20	28,75	25,80	8,0
ES-25-IF-PL-CP19	18,70	32,60	25,35	28,98	26,75	21,0
ES-25-IF-PL-CP20	16,75	21,85	22,15	22,00	17,70	4,35

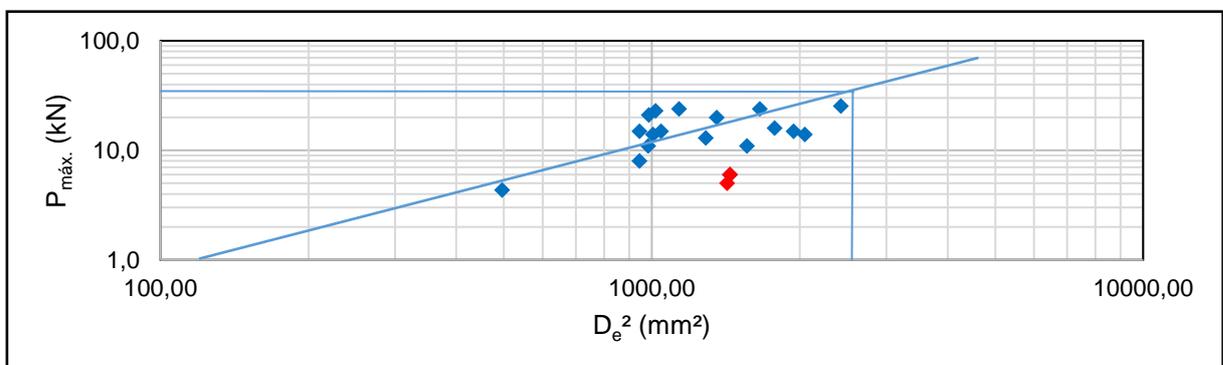


Figura 133 – Obtenção de $P_{máx.(50)}$ para a ES-25-IF-PL (arquivo pessoal).

Tabela 81 – Dados do ensaio de determinação da resistência à carga pontual da ES-50-IF-PL (arquivo pessoal).

Corpo de prova	L (mm)	W ₁ (mm)	W ₂ (mm)	W (mm)	D (mm)	P _{máx.} (kN)
ES-50-IF-PL-CP1	27,20	34,10	42,55	38,33	20,50	23,5
ES-50-IF-PL-CP2	27,65	31,65	21,20	26,43	26,45	19,0
ES-50-IF-PL-CP3	20,90	34,20	28,70	31,45	22,40	6,0
ES-50-IF-PL-CP4	19,80	38,95	30,10	34,53	24,25	12,0
ES-50-IF-PL-CP5	20,60	33,55	41,90	37,73	30,15	14,00
ES-50-IF-PL-CP6	35,90	46,80	36,35	41,58	36,25	27,0
ES-50-IF-PL-CP7	29,00	36,10	30,85	33,48	17,65	11,0
ES-50-IF-PL-CP8	35,05	42,00	43,60	42,80	27,50	6,0
ES-50-IF-PL-CP9	29,05	38,15	32,30	35,23	22,40	8,0
ES-50-IF-PL-CP10	36,10	33,30	40,25	36,78	25,15	12,0
ES-50-IF-PL-CP11	29,40	42,85	36,40	39,63	33,60	26,0
ES-50-IF-PL-CP12	22,05	32,00	35,70	33,85	19,60	8,0
ES-50-IF-PL-CP13	26,90	44,10	42,60	43,35	31,00	17,0
ES-50-IF-PL-CP14	18,85	30,10	35,05	32,58	21,75	10,0
ES-50-IF-PL-CP15	38,55	52,55	57,65	55,10	37,15	5,0
ES-50-IF-PL-CP16	30,90	35,85	40,25	38,05	30,65	6,0
ES-50-IF-PL-CP17	25,70	34,50	36,00	35,25	32,85	21,0
ES-50-IF-PL-CP18	19,35	25,65	35,00	30,33	28,10	13,0
ES-50-IF-PL-CP19	32,10	44,65	44,70	44,68	35,35	25,0
ES-50-IF-PL-CP20	31,55	55,00	49,40	52,20	30,70	11,0

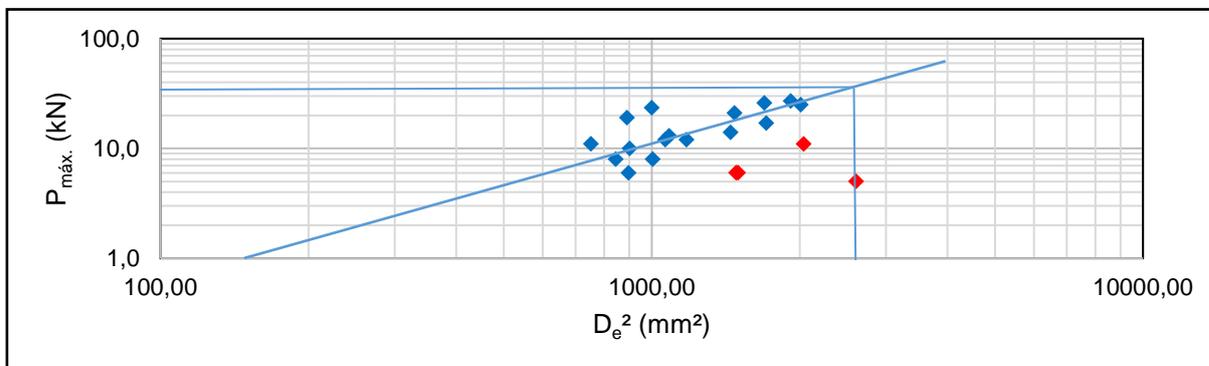


Figura 134 – Obtenção de P_{máx.(50)} para a ES-50-IF-PL (arquivo pessoal).

Tabela 82 – Dados do ensaio de determinação da resistência à carga pontual da ES-75-IF-PL (arquivo pessoal).

Corpo de prova	L (mm)	W ₁ (mm)	W ₂ (mm)	W (mm)	D (mm)	P _{máx.} (kN)
ES-75-IF-PL-CP1	52,95	30,00	42,90	36,45	40,35	10,6
ES-75-IF-PL-CP2	28,30	33,11	34,70	33,91	22,95	6,5
ES-75-IF-PL-CP3	21,35	24,85	39,30	32,08	21,95	15,0
ES-75-IF-PL-CP4	18,00	27,00	30,60	28,80	21,70	5,2
ES-75-IF-PL-CP5	28,00	25,00	33,45	29,23	24,75	22,5
ES-75-IF-PL-CP6	24,25	30,50	30,30	30,40	26,45	10,5
ES-75-IF-PL-CP7	31,30	46,50	42,65	44,58	37,90	30,0
ES-75-IF-PL-CP8	27,05	21,00	43,35	32,18	29,45	9,0
ES-75-IF-PL-CP9	27,10	46,20	44,00	45,10	22,60	15,0
ES-75-IF-PL-CP10	22,45	22,65	37,70	30,18	27,95	14,5
ES-75-IF-PL-CP11	27,05	36,00	37,00	36,50	18,00	9,5
ES-75-IF-PL-CP12	28,15	54,20	52,95	53,58	32,90	7,5
ES-75-IF-PL-CP13	22,00	31,25	32,35	31,80	23,00	17,5
ES-75-IF-PL-CP14	26,30	32,60	42,10	37,35	26,65	18,0
ES-75-IF-PL-CP15	28,30	40,00	45,70	42,85	36,80	11,5
ES-75-IF-PL-CP16	32,25	40,00	37,00	38,50	35,40	5,5
ES-75-IF-PL-CP17	29,75	45,35	28,00	36,68	24,55	10,5
ES-75-IF-PL-CP18	23,90	34,00	36,95	35,48	25,55	7,0
ES-75-IF-PL-CP19	23,40	36,50	44,30	40,40	29,20	6,0
ES-75-IF-PL-CP20	17,80	26,90	26,30	26,60	14,60	5,0

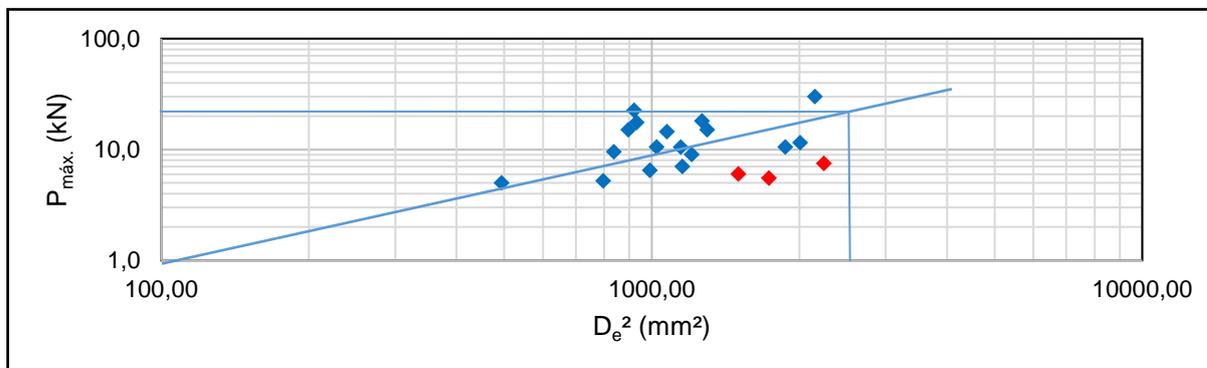


Figura 135 – Obtenção de P_{máx.(50)} para a ES-75-IF-PL (arquivo pessoal).

Tabela 83 – Dados do ensaio de determinação da resistência à carga pontual da ES-20-IQ-PL (arquivo pessoal).

Corpo de prova	L (mm)	W ₁ (mm)	W ₂ (mm)	W (mm)	D (mm)	P _{máx.} (kN)
ES-20-IQ-PL-CP1	33,05	50,45	60,70	55,58	27,35	16,5
ES-20-IQ-PL-CP2	38,95	40,90	47,30	44,10	27,90	4,5
ES-20-IQ-PL-CP3	31,10	45,25	42,00	43,63	29,00	27,5
ES-20-IQ-PL-CP4	24,10	34,50	41,40	37,95	29,10	18,0
ES-20-IQ-PL-CP5	35,25	40,10	49,50	44,80	33,50	7,5
ES-20-IQ-PL-CP6	26,45	62,45	31,30	46,88	34,00	5,0
ES-20-IQ-PL-CP7	25,00	42,15	42,15	42,15	25,10	8,5
ES-20-IQ-PL-CP8	25,45	49,30	46,20	47,75	24,05	15,0
ES-20-IQ-PL-CP9	33,55	31,60	32,60	32,10	28,65	13,5
ES-20-IQ-PL-CP10	24,90	43,65	46,10	44,88	29,85	2,85
ES-20-IQ-PL-CP11	25,95	43,50	38,20	40,85	25,15	3,5
ES-20-IQ-PL-CP12	24,25	38,40	44,40	41,40	22,50	3,5
ES-20-IQ-PL-CP13	21,25	27,60	27,70	27,65	23,10	20,0
ES-20-IQ-PL-CP14	22,40	35,60	31,70	33,65	25,05	20,0
ES-20-IQ-PL-CP15	20,15	30,70	32,25	31,48	16,85	2,70
ES-20-IQ-PL-CP16	30,15	32,00	31,05	31,53	26,10	10,0
ES-20-IQ-PL-CP17	21,45	26,65	31,95	29,30	22,90	15,0
ES-20-IQ-PL-CP18	21,25	35,10	23,25	29,18	21,35	8,5
ES-20-IQ-PL-CP19	15,55	19,50	23,45	21,48	20,00	4,5
ES-20-IQ-PL-CP20	24,50	42,20	43,00	42,60	17,20	11,5

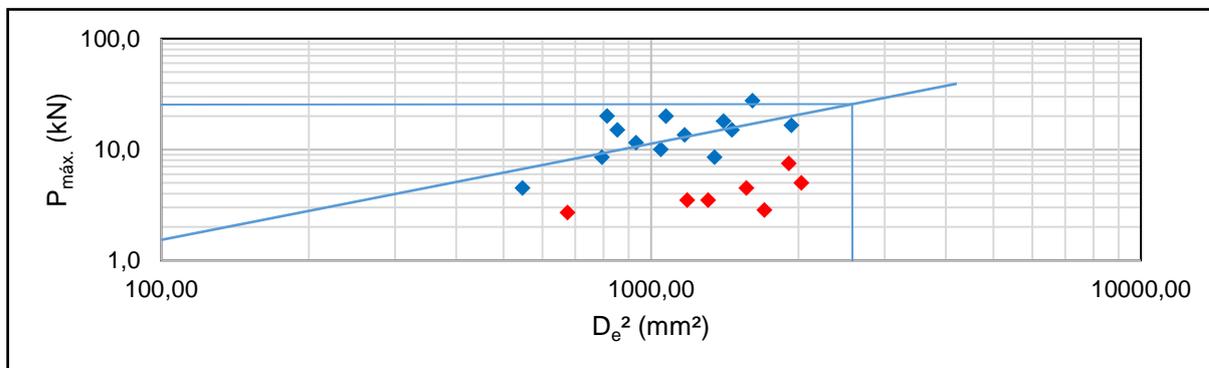


Figura 136 – Obtenção de P_{máx.(50)} para a ES-20-IQ-PL (arquivo pessoal).

Tabela 84 – Dados do ensaio de determinação da resistência à carga pontual da ES-40-IQ-PL (arquivo pessoal).

Corpo de prova	L (mm)	W ₁ (mm)	W ₂ (mm)	W (mm)	D (mm)	P _{máx.} (kN)
ES-40-IQ-PL-CP1	37,65	36,45	37,95	37,20	26,90	3,5
ES-40-IQ-PL-CP2	32,80	48,35	53,30	50,83	35,50	4,5
ES-40-IQ-PL-CP3	25,55	30,60	27,00	28,80	22,20	3,5
ES-40-IQ-PL-CP4	29,60	31,00	35,00	33,00	28,60	3,45
ES-40-IQ-PL-CP5	24,85	27,50	29,40	28,45	24,50	2,35
ES-40-IQ-PL-CP6	25,30	28,70	35,55	32,13	19,55	10,5
ES-40-IQ-PL-CP7	29,95	49,05	44,65	46,85	26,75	13,5
ES-40-IQ-PL-CP8	17,95	23,30	27,70	25,50	15,70	2,50
ES-40-IQ-PL-CP9	20,75	31,20	33,10	32,15	25,50	3,90
ES-40-IQ-PL-CP10	21,95	27,10	28,40	27,75	22,85	3,35
ES-40-IQ-PL-CP11	27,60	47,95	49,15	48,55	28,00	2,45
ES-40-IQ-PL-CP12	19,95	23,55	28,45	26,00	20,45	6,0
ES-40-IQ-PL-CP13	27,00	28,75	39,15	33,95	18,70	14,0
ES-40-IQ-PL-CP14	31,55	42,35	56,20	49,28	22,75	3,30
ES-40-IQ-PL-CP15	22,00	35,00	30,80	32,90	23,00	2,75
ES-40-IQ-PL-CP16	31,65	29,40	40,40	34,90	33,85	14,5
ES-40-IQ-PL-CP17	28,60	34,70	43,50	39,10	31,20	1,75
ES-40-IQ-PL-CP18	25,20	40,80	33,10	36,95	29,40	8,0
ES-40-IQ-PL-CP19	30,60	37,35	36,70	37,03	27,95	4,5
ES-40-IQ-PL-CP20	31,10	44,10	44,00	44,05	27,30	1,50

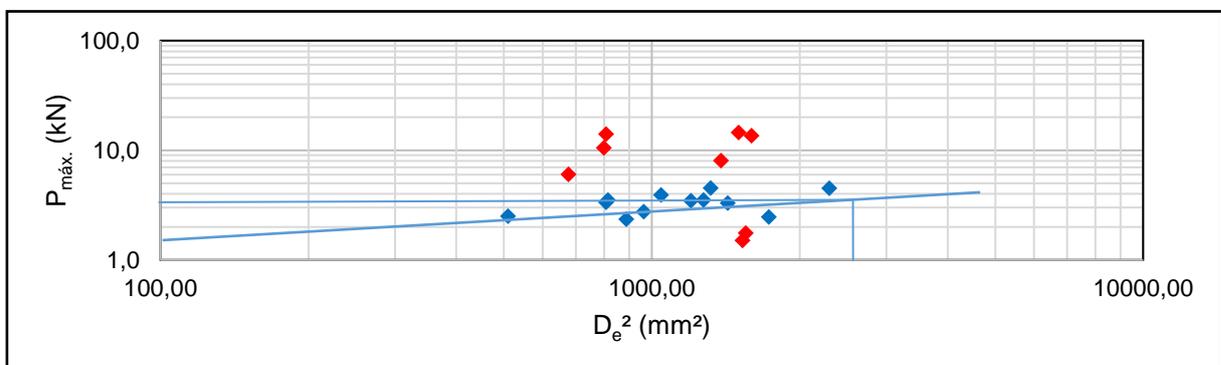


Figura 137 – Obtenção de P_{máx.(50)} para a ES-40-IQ-PL (arquivo pessoal).

APÊNDICE C – DADOS DOS ENSAIOS DE DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À INTEMPÉRIE

Tabela 85 – Dados dos ensaios de determinação da resistência à intempérie do basalto (arquivo pessoal).

Corpo de prova	M (g)	M _f (g)	R _i	Corpo de prova	M _i (g)	M _f (g)	R _i
BA-RI-20-CP1	146,75	88,60	39,63%	BA-RI-40-CP1	139,85	138,38	1,05%
BA-RI-20-CP2	136,76	135,04	1,26%	BA-RI-40-CP2	114,54	110,61	3,43%
BA-RI-20-CP3	186,53	182,17	2,34%	BA-RI-40-CP3	119,08	117,69	1,17%
BA-RI-20-CP4	145,32	143,33	1,37%	BA-RI-40-CP4	150,06	70,14	53,26%
BA-RI-20-CP5	146,32	144,99	0,91%	BA-RI-40-CP5	124,91	55,09	55,90%
BA-RI-20-CP6	149,36	148,12	0,83%	BA-RI-40-CP6	133,57	129,74	2,87%
BA-RI-20-CP7	162,95	160,85	1,29%	BA-RI-40-CP7	154,00	153,42	0,38%
BA-RI-20-CP8	114,26	21,28	81,38%	BA-RI-40-CP8	133,32	0,00	100,00%
BA-RI-20-CP9	122,08	0,00	100,00%	BA-RI-40-CP9	124,49	0,00	100,00%
BA-RI-20-CP10	158,75	0,00	100,00%	BA-RI-40-CP10	106,78	106,22	0,52%

Tabela 86 – Dados dos ensaios de determinação da resistência à intempérie do gnaisse (arquivo pessoal).

Corpo de prova	M _i (g)	M _f (g)	R _i	Corpo de prova	M _i (g)	M _f (g)	R _i
GN-RI-20-CP1	149,60	148,36	0,83%	GN-RI-40-CP1	144,27	130,86	9,30%
GN-RI-20-CP2	190,03	188,74	0,68%	GN-RI-40-CP2	146,46	144,77	1,15%
GN-RI-20-CP3	187,27	185,70	0,84%	GN-RI-40-CP3	157,44	139,32	11,51%
GN-RI-20-CP4	127,86	127,24	0,48%	GN-RI-40-CP4	139,69	130,91	6,29%
GN-RI-20-CP5	183,62	181,43	1,19%	GN-RI-40-CP5	180,63	155,30	14,02%
GN-RI-20-CP6	184,60	183,04	0,85%	GN-RI-40-CP6	140,81	131,69	6,48%
GN-RI-20-CP7	129,68	128,62	0,82%	GN-RI-40-CP7	154,43	137,21	11,15%
GN-RI-20-CP8	172,71	171,21	0,87%	GN-RI-40-CP8	151,21	113,72	24,79%
GN-RI-20-CP9	123,71	122,90	0,65%	GN-RI-40-CP9	137,90	123,37	10,54%
GN-RI-20-CP10	187,41	186,08	0,71%	GN-RI-40-CP10	130,69	112,66	13,80%

Tabela 87 – Dados dos ensaios de determinação da resistência à intempérie da escória de aciaria LD (arquivo pessoal).

Corpo de prova	M_i (g)	M_f (g)	R_i	Corpo de prova	M_i (g)	M_f (g)	R_i
ES-RI-20-CP1	176,19	176,63	-0,25%	ES-RI-40-CP1	184,48	199,29	-8,03%
ES-RI-20-CP2	151,23	150,69	0,36%	ES-RI-40-CP2	140,88	149,10	-5,83%
ES-RI-20-CP3	170,74	169,91	0,49%	ES-RI-40-CP3	123,80	135,29	-9,28%
ES-RI-20-CP4	197,52	197,55	-0,02%	ES-RI-40-CP4	179,80	188,64	-4,92%
ES-RI-20-CP5	144,26	144,74	-0,33%	ES-RI-40-CP5	152,51	126,92	16,78%
ES-RI-20-CP6	167,95	167,18	0,46%	ES-RI-40-CP6	129,61	130,15	-0,42%
ES-RI-20-CP7	153,67	152,77	0,59%	ES-RI-40-CP7	155,44	155,11	0,21%
ES-RI-20-CP8	170,98	170,35	0,37%	ES-RI-40-CP8	122,44	125,31	-2,34%
ES-RI-20-CP9	142,00	142,25	-0,18%	ES-RI-40-CP9	128,69	134,58	-4,58%
ES-RI-20-CP10	199,41	199,66	-0,13%	ES-RI-40-CP10	156,35	153,33	1,93%

ANEXO B – PROPRIEDADES GERAIS DAS ROCHAS ESTUDADAS

BASALTO	
<p>Tipo: rocha ígnea vulcânica, básica (pobre em sílica);</p> <p>Composição mineral: feldspato cálcico, piroxênio, olivina, feldspatoides (ou quartzo), vidro vulcânico e acessórios variados.</p> <p>Cor: marrom escuro a preto;</p> <p>Textura: afanítica (grãos invisíveis a olho nu);</p> <p>Estrutura: maciça. Por vezes com foliação de fluxo magmático e/ou vesicular/amigdaloidal;</p> <p>Resistência mecânica: alta;</p> <p>Durabilidade: alta;</p> <p>Dureza: 6;</p> <p>Porosidade: baixa;</p> <p>Permeabilidade: baixa;</p> <p>Massa específica: 2,80 – 3,00 g/cm³;</p> <p>Uso na construção civil: confecção de britas para fundação, pavimentação, muros, calçamentos, lastro de ferrovias, enrocamentos, como componente do concreto etc. Como rocha ornamental é utilizada para revestimentos de pisos, paredes, lavatórios, bancadas e mesas e acabamentos e decoração em geral.</p>	 <p>Foto: Geology - rocks & minerals Acesso em 10/11/2017</p>

Figura 139 – Síntese das principais características do basalto (VICTORIA, 201?).

GNAISSE	
<p>Tipo: rocha metamórfica proveniente de granitoides;</p> <p>Composição mineral: quartzo, feldspato, micas, anfibólio e acessórios em geral;</p> <p>Cor: variável (cinza, marrom, rosa, branco);</p> <p>Textura: granolepidoblástica;</p> <p>Estrutura: bandada;</p> <p>Resistência mecânica: alta;</p> <p>Durabilidade: alta;</p> <p>Dureza: 7;</p> <p>Porosidade: baixa;</p> <p>Permeabilidade: baixa;</p> <p>Massa específica: 2,50 – 2,70 g/cm³;</p> <p>Uso na construção civil: confecção de britas para fundação, pavimentação, muros, calçamentos, lastro de ferrovias, enrocamentos, como componente do concreto etc. Como rocha ornamental é utilizada para revestimentos de pisos, paredes, lavatórios, bancadas e mesas e acabamentos e decoração em geral.</p>	 <p>Foto: Geology - rocks & minerals Acesso em 10/11/2017</p>

Figura 140 – Síntese das principais características do gnaiss (VICTORIA, 201?).