



**CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS**  
**UNIDADE ARAXÁ**  
**ENGENHARIA DE MINAS**

**HÊNILA TUANE DE PAULA SOUZA**

**CARACTERIZAÇÃO DO PÓ DE BRITA PARA UTILIZAÇÃO COMO**  
**AGREGADO MIÚDO EM CONCRETOS DURÁVEIS**

Araxá – MG

2022

**HÊNILA TUANE DE PAULA SOUZA**

**CARACTERIZAÇÃO DO PÓ DE BRITA PARA UTILIZAÇÃO COMO  
AGREGADO MIÚDO EM CONCRETOS DURAVÉIS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - Unidade Araxá, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Minas

Orientador(a): Dr.(a) Marcela Maira Nascimento de Souza Soares.

Coorientador(a): Me.(a) Rayanne de Jesus Andrade Fidelis.

Araxá – MG

2022

**HÊNILA TUANE DE PAULA SOUZA**

**CARACTERIZAÇÃO DO PÓ DE BRITA PARA UTILIZAÇÃO COMO AGREGADO  
MIÚDO EM CONCRETOS DURÁVEIS**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao Centro Federal de  
Educação Tecnológica de Minas Gerais -  
Unidade Araxá, como requisito parcial para  
obtenção do grau de Bacharel em  
Engenharia de Minas.

Data de Defesa: Araxá, 10 de fevereiro de 2022.

---

Marcela Maira Nascimento de Souza Soares.

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - Unidade Araxá

---

Alexander Martin Silveira Gimenez

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - Unidade Araxá

---

Delma Pereira Caixeta.

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - Unidade Araxá

---

Rayanne de Jesus Andrade Fidelis.

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - Unidade Belo Horizonte

## DEDICATÓRIA

*Aos meus pais, amigos e professores,  
que sempre me fizeram acreditar na realização  
dos meus sonhos e trabalharam muito para que eu pudesse realizá-los.*

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus por ter me dado saúde e força para superar as dificuldades. Aos meus pais e familiares que me incentivaram e apoiaram até o encerramento deste ciclo, vocês terão minha eterna gratidão.

Aos amigos, que sempre estiveram ao meu lado, obrigada pela amizade incondicional e pelo apoio demonstrado ao longo de todo o período de tempo em que me dediquei a esta etapa.

Meus agradecimentos aos companheiros que fizeram parte da minha formação e que vão continuar presentes em minha vida, em especial Amanda Luzia, Bárbara Alvarenga, Daiane Campos, Guilherme Henrique, Larissa Caroline, Márcio Eustáquio, Milena Teixeira e Naim Ayache.

Aos professores, por todos os conselhos, ajuda e paciência com a qual guiaram o meu aprendizado. Em especial à Marcela Maira Nascimento de Souza Soares e Rayanne de Jesus Andrade, pela orientação, apoio e confiança.

A todos que direta ou indiretamente fizeram parte de minha formação, o meu muito obrigada!

*“Você tem que agir como se fosse possível  
transformar radicalmente o mundo.  
E você tem que fazer isso o tempo todo.”*

*ANGELA DAVIS*

## RESUMO

A mineração de brita é uma atividade de extrema importância para o país. Entretanto, notam-se os impactos em potencial gerados pela exploração do recurso para o meio ambiente. A utilização de sub produtos da mineração de brita vem sendo estudada a fim de avaliar seus possíveis usos, principalmente na construção civil, setor que demanda grande quantidade de agregados para confecção do concreto. A caracterização permite o conhecimento das características relevantes do material, com objetivo de avaliar e otimizar o mesmo, a fim de gerar uma melhoria em sua aplicação industrial. O pó de brita é um subproduto da mineradora Santa Helena, localizada no município de Ibiá, em Minas Gerais. Esta pesquisa teve como objetivo geral, avaliar o desempenho do concreto a substituição total da areia grossa por pó de brita, a substituição de 50% da areia grossa por pó de brita e a substituição total da areia grossa por pó de brita lavado . Como objetivo específico, dosar e moldar os corpos de prova de concreto para atingir uma resistência de 25 MPa aos 28 dias e uma consistência de aproximadamente 120 mm para diferentes substituições do subproduto, além de caracterizar os materiais constituintes do concreto e do pó de brita. Para avaliar o desempenho do concreto foram realizados ensaios de determinação da consistência através do abatimento do tronco de cone, resistência à compressão e ensaio de absorção de água por imersão aos 7 dias de cura. Os resultados dos ensaios mostram que a substituição da areia grossa ao pó de brita é eficiente e atende aos parâmetros de resistência à compressão e absorção de água.

**PALAVRAS-CHAVE: Caracterização, Pó de Brita, Agregado Alternativo, Sustentabilidade.**

## **ABSTRACT**

Crushed mining is an extremely important activity for the country. However, the potential impacts generated by the exploitation of the resource for the environment are noted. The use of by-products from crushed stone mining has been studied in order to evaluate their possible uses, especially in civil construction, a sector that demands a large amount of aggregates for making concrete. The characterization allows the knowledge of the relevant characteristics of the material, with the objective of evaluating and optimizing the material, in order to generate an improvement in its industrial application. Crushed powder is a by-product of the Santa Helena mining company, located in the municipality of Ibiá, in Minas Gerais. This research had as general objective, to evaluate the performance of the concrete the total substitution of the coarse sand for crushed dust, the substitution of 50% of the coarse sand for gravel dust and the total replacement of the coarse sand for washed gravel dust. As a specific objective, to dose and mold the concrete specimens to reach a strength of 25 MPa at 28 days and a consistency of approximately 120 mm for different substitutions of the by-product, in addition to characterizing the constituent materials of concrete and crushed stone powder. To evaluate the performance of the concrete, tests were carried out to determine the consistency through the slump of the truncated cone, compressive strength and water absorption test by immersion at 7 days of curing. The test results show that the replacement of coarse sand with crushed stone powder is efficient and meets the parameters of compressive strength and water absorption.

**KEYWORDS: Characterization, Crushed Powder, Alternative Aggregate, Sustainability.**



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<b>Figura 1</b> – Participação dos estados na produção nacional de brita	10
<b>Figura 2</b> – Fluxograma processo produtivo da extração de brita	10
<b>Figura 3</b> – Influência da ruptura de barragem em ação da empresa	13
<b>Figura 4</b> – Consumo de cimento em 2010	14
<b>Figura 5</b> – Classificação dos cimentos	15
<b>Figura 6</b> – Classificação dos cimentos e requisitos	16
<b>Figura 7</b> – Fluxograma processo produtivo da mineradora Santa Helena	27
<b>Figura 8</b> – Fluxograma da metodologia	29
<b>Figura 9</b> – Secagem do pó de brita	30
<b>Figura 10</b> – Homogeneização em pilha cônica	30
<b>Figura 11</b> – Homogeneização em pilha alongada	31
<b>Figura 12</b> – Processo de peneiramento	32
<b>Figura 13</b> – Limpidez da água	33
<b>Figura 14</b> – Conjunto: água, Erlenmeyer e pó de brita	34
<b>Figura 15</b> – Ensaio massa unitária	36
<b>Figura 16</b> – Fluxograma da metodologia	37
<b>Figura 17</b> – Confecção dos corpos de prova de referência	42
<b>Figura 18</b> – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone (concreto de referência)	43
<b>Figura 19</b> – Ensaio de resistência à compressão	44
<b>Figura 20</b> – Curva granulométrica do pó de brita	48
<b>Figura 21</b> – Limites NBR 7211 (ABNT, 2019)	49
<b>Figura 22</b> – Curva granulométrica da areia média	55
<b>Figura 23</b> – Curva granulométrica da areia grossa	57
<b>Figura 24</b> – Curva granulométrica da brita 0	58
<b>Figura 25</b> – Tonalidade após filtragem	60
<b>Figura 26</b> – Gráfico de absorção de água (%)	61
<b>Figura 27</b> – Gráfico de absorção de água e índice de vazios (%)	64
<b>Figura 28</b> – Resistência à compressão corpos 10 cm x 20 cm	67

## LISTA DE QUADROS E TABELAS

<b>Tabela 1</b> – Classificação do concreto .....	18
<b>Tabela 2</b> – Correlação entre consistência e trabalhabilidade .....	20
<b>Tabela 3</b> – Tabela de classe de consistência, abatimento e aplicações.....	20
<b>Tabela 4</b> – Classificação dos agregados miúdos conforme granulometria - NBR 7211 (ABNT, 2009) .....	23
<b>Tabela 5</b> – Classificação dos agregados miúdos conforme zonas - NBR 7211 (ABNT, 2009) .....	24
<b>Tabela 6</b> – Limites da NBR 7211 para material pulverulento (ABNT, 2009) .....	26
<b>Tabela 7</b> – Produtos da mineradora Santa Helena .....	27
<b>Tabela 8</b> – Conjunto de peneiras sucessivas para análise granulométrica .....	31
<b>Tabela 9</b> – Conjunto de peneiras sucessivas para análise granulométrica - brita 0 ..	38
<b>Tabela 10</b> – Quantidade de material para os corpos de prova referência .....	40
<b>Tabela 11</b> – Quantidade de material para os corpos de prova com substituição total do pó de brita a areia grossa.....	40
<b>Tabela 12</b> – Quantidade de material para os corpos de prova a substituição 50% de pó de brita .....	41
<b>Tabela 13</b> – Quantidade de material para os corpos de prova a substituição do pó de brita lavado a areia grossa .....	41
<b>Tabela 14</b> – Massa retida da granulométrica da amostra de pó de brita .....	47
<b>Tabela 15</b> – Resultados da distribuição granulométrica da amostra pó de brita.....	48
<b>Tabela 16</b> – Resultados teor de material pulverulento da amostra pó de brita .....	50
<b>Tabela 17</b> – Resultados teor de material pulverulento da amostra pó de brita após lavagem.....	50
<b>Tabela 18</b> – Resultados do ensaio de massa específica para amostra de pó de brita .....	50
<b>Tabela 19</b> – Resultados do ensaio de massa unitária para amostra de pó de brita..	51
<b>Tabela 20</b> – Resultados de elementos identificados na amostra de pó de brita .....	51
<b>Tabela 21</b> – Resultados de óxidos identificados na amostra de pó de brita .....	52
<b>Tabela 22</b> – Resultados do ensaio de massa unitária para constituintes do concreto .....	52
<b>Tabela 23</b> – Resultados do ensaio de massa específica para amostra de areia média .....	53

<b>Tabela 24</b> – Resultados do ensaio de massa específica para amostra de areia grossa .....	53
<b>Tabela 25</b> – Resultados do ensaio de massa específica para amostra de brita 0 ....	53
<b>Tabela 26</b> – Massa retida da distribuição granulométrica da amostra de areia média .....	54
<b>Tabela 27</b> – Resultados da distribuição granulométrica da areia média .....	55
<b>Tabela 28</b> – Massa retida da granulométrica da amostra de areia grossa .....	56
<b>Tabela 29</b> – Resultados da distribuição granulométrica da areia grossa .....	56
<b>Tabela 30</b> – Massa retida da distribuição granulométrica da amostra de brita 0 .....	57
<b>Tabela 31</b> – Resultados da distribuição granulométrica da brita 0.....	58
<b>Tabela 32</b> – Resultados da distribuição granulométrica da amostra de areia média	59
<b>Tabela 33</b> – Resultados da distribuição granulométrica da amostra de areia grossa .....	59
<b>Tabela 34</b> – Resultados do abatimento para os concretos de estudo .....	60
<b>Tabela 35</b> – Massas encontradas para ensaio de absorção de água para concreto referência .....	62
<b>Tabela 36</b> – Massas encontradas para ensaio de absorção de água para concreto com pó de brita em seu estado inicial a substituição total da areia grossa .....	62
<b>Tabela 37</b> – Massas encontradas para ensaio de absorção de água para concreto com pó de brita a 50% de substituição a areia grossa .....	63
<b>Tabela 38</b> – Massas encontradas para ensaio de absorção de água para os concretos com pó de brita lavado a substituição da areia grossa .....	63
<b>Tabela 39</b> – Resultados de resistência à compressão para os concretos de referência .....	65
<b>Tabela 40</b> – Resultados de resistência à compressão para os concretos com pó de brita em seu estado inicial a substituição a 50% da areia grossa .....	65
<b>Tabela 41</b> – Resultados de resistência à compressão para os concretos com pó de brita em seu estado inicial a substituição total da areia grossa.....	66
<b>Tabela 42</b> – Resultados de resistência à compressão para os para os concretos com pó de brita lavado a substituição da areia grossa .....	66

## LISTA DE EQUAÇÕES

<b>Equação 1</b> – Teor de material pulverulento .....	33
<b>Equação 2</b> – Massa específica.....	34
<b>Equação 3</b> – Volume de água .....	35
<b>Equação 4</b> – Massa unitária .....	35
<b>Equação 5</b> – Massa específica do cimento .....	39
<b>Equação 6</b> – Volume para massa específica do cimento .....	40
<b>Equação 7</b> – Resistência à compressão .....	44
<b>Equação 8</b> – Absorção de água .....	45
<b>Equação 9</b> – Índice de vazios.....	45
<b>Equação 10</b> – Massa específica real do concreto .....	45

## **LISTA DE ABREVIACOES E SIGLAS**

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

CEFET MG – Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais

DEMAT – Departamento de Engenharia de Materiais

DRM – Desvio Relativo Máximo

DNPM – Departamento Nacional de Produção Mineral

IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis

NBR – Norma Brasileira Regulamentadora

NM – Norma Mercosul

OBS – Observação

PAE – Plano de Aproveitamento Econmico

## LISTA DE SÍMBOLOS

% – Porcentagem

mm – Milímetro

” – Polegadas

MPa – Mega Pascal

km- Quilômetro

$\mu\text{m}$  – Micrômetros

cm – Centímetro

# – Mesh

g – Grama

kg – Quilograma

l – Litro

ml – Mililitros

$\text{m}^3$  – Metro cúbico

$\text{cm}^3$  – Centímetro cúbico

$\text{dm}^3$  – Decímetro cúbico

$\text{mm}^2$  – Milímetro quadrado

$\text{g}/\text{cm}^3$  – Gramas por centímetro cúbico

$\text{kg}/\text{m}^3$  – Quilograma por metro cúbico

Si – Silício

K – Potássio

Al – Alumínio

Fe – Ferro

Ca – Cálcio

$\text{SiO}_2$  – Óxido de silício

$\text{Al}_2\text{O}_3$  – Óxido de alumínio

$\text{K}_2\text{O}_3$  – Óxido de potássio

$\text{Fe}_2\text{O}_3$  – Óxido de ferro

CaO – Óxido de cálcio

$^{\circ}\text{C}$  – Graus Celsius

N- Newton

KN – KiloNewton

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>6</b>
<b>2. REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>8</b>
2.1 A MINERAÇÃO.....	8
2.1.1 <i>Mineração de brita</i> .....	9
2.1.2 <i>Aproveitamento de rejeitos e subprodutos da mineração</i> .....	12
2.2 O CONCRETO .....	13
2.2.1 <i>Materiais constituintes do concreto</i> .....	14
2.2.1.1 Cimento Portland.....	14
2.2.1.2 Agregados .....	16
2.2.1.3 Água .....	17
2.2.1.4 Aditivos e adições.....	17
2.3 DURABILIDADE DO CONCRETO.....	17
2.4 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO .....	18
2.4.1 <i>Absorção de água, índice de vazios e massa específica do concreto</i> .....	19
2.4.2 <i>Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone</i> .....	19
2.4.2 <i>Moldagem, adensamento e capeamento</i> .....	21
2.5 USO DE AGREGADOS ALTERNATIVOS .....	21
2.5.1 <i>Utilização do pó de brita como agregado miúdo</i> .....	22
2.6 CARACTERIZAÇÃO DE MATERIAIS.....	23
2.6.1 <i>Análise granulométrica</i> .....	23
2.6.2 <i>Massa específica</i> .....	24
2.6.3 <i>Massa unitária</i> .....	25
2.6.4 <i>Fluorescência de raios X</i> .....	25
2.6.5 <i>Teor de material pulverulento</i> .....	25
2.6.6 <i>Teor de matéria orgânica</i> .....	26
2.7 SANTA HELENA MINERAÇÃO .....	26
<b>3. METODOLOGIA .....</b>	<b>27</b>
3.1 CARACTERIZAÇÃO DO PÓ DE BRITA.....	29
3.1.1 <i>Homogeneização</i> .....	29
3.1.2 <i>Análise granulométrica</i> .....	31

3.1.3	<i>Ensaio índice de material pulverulento</i>	33
3.1.4	<i>Ensaio massa específica</i>	34
3.1.5	<i>Ensaio massa unitária</i>	35
3.1.6	<i>Ensaio fluorescência de raios X</i>	36
3.1.7	<i>Lavagem do pó de brita</i>	36
3.2	CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS CONSTITUINTES DO CONCRETO	37
3.2.1	<i>Ensaio massa específica</i>	37
3.2.2	<i>Ensaio massa unitária</i>	38
3.2.3	<i>Ensaio índice de material pulverulento</i>	38
3.2.4	<i>Análise granulométrica</i>	38
3.2.5	<i>Ensaio teor de matéria orgânica</i>	39
3.2.6	<i>Ensaio de massa específica do cimento</i>	39
3.3	DOSAGEM DO CONCRETO E CONFEÇÃO DOS CORPOS DE PROVA	40
3.3.1	<i>Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone</i>	43
3.3.2	<i>Ensaio de resistência à compressão</i>	43
3.3.3	<i>Ensaio de absorção de água, índice de vazios e massa específica do concreto</i>	44
<b>4.</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b>	<b>47</b>
4.1	RESULTADOS E DISCUSSÃO DO PÓ DE BRITA	47
4.1.1	<i>Análise granulométrica</i>	47
4.1.2	<i>Teor de material pulverulento</i>	49
4.1.3	<i>Massa específica</i>	50
4.1.4	<i>Massa unitária</i>	51
4.1.5	<i>Fluorescência de raios X</i>	51
4.2	RESULTADOS E DISCUSSÃO DOS MATERIAIS CONSTITUINTES DO CONCRETO	52
4.2.1	<i>Massa unitária</i>	52
4.2.2	<i>Massa específica</i>	53
4.2.3	<i>Análise granulométrica</i>	54
4.2.4	<i>Teor de material pulverulento</i>	59
4.2.5	<i>Teor de matéria orgânica</i>	59
4.3	RESULTADOS DO CONCRETO	60
4.3.1	<i>Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone</i>	60
4.3.2	<i>Absorção de água, índice de vazios e massa específica do concreto</i>	62



4.3.3 Resistência à compressão.....	64
<b>5. CONCLUSÃO .....</b>	<b>69</b>
<b>6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>71</b>

## 1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento sustentável é uma ação extremamente importante, visto que a preservação do meio ambiente é essencial para as gerações futuras. Os impactos ambientais e socioeconômicos causados pela mineração de brita são diversos, como por exemplo, exaustão das minas, desmatamento, modificação da paisagem, afugento da fauna, poluição sonora entre outros (CALAES, 2007).

No entanto, a atividade mineradora é indispensável, devido ao fornecimento de matérias primas, geração de empregos diretos e indiretos e melhoria na infraestrutura das cidades por construções de habitações, pavimentação de estradas e saneamento, desta forma, é considerável a conciliação dos processos produtivos com a preservação do meio ambiente. A reutilização de materiais sem valor econômico ou utilização de subprodutos na indústria, é um fator crescente na mineração, visando melhor aproveitamento e menores impactos ambientais oriundos da atividade. Destaca-se no ramo, a busca por agregados alternativos na construção civil, pelo excesso de demanda destes materiais no setor. Como justificativa do trabalho, apresenta-se o alto custo quando há o aumento das distâncias das pedreiras ou portos de areia (agregado convencional) para o mercado consumidor, sendo assim, a utilização de um subproduto se mostra economicamente viável, além de reduzir os efeitos ambientais da extração de agregados.

Os parâmetros do concreto a serem avaliados são a consistência, a resistência à compressão e absorção de água, sendo incluso neste último parametro: índice de vazios e massa específica do material. Para Mehta e Monteiro (2014), a resistência do concreto é a propriedade mais valorizada por projetistas e engenheiros de controle de qualidade. A durabilidade do concreto é um parâmetro determinante para seu desempenho. O meio mais frequente de agentes agressivos entrarem em contato com o material é através dos poros, que possuem como vetor a água e ocorre através do mecanismo de absorção capilar (CINCOTTO; HELENE, 1994).

A caracterização de materiais permite a compreensão das características mais importantes do material, para que seja otimizado gerando uma melhor aplicação industrial. O pó de brita será caracterizado física e quimicamente através do ensaio de análise granulométrica por peneiramento, ensaio de composição química, índice de material pulverulento e ensaio de fluorescência de raios X. Acredita-se que os

resultados obtidos pelo processo de caracterização proporcionará a compressão de diversos aspectos relacionados à composição e estrutura do pó de brita. O possível uso do subproduto será avaliado pelo desempenho do concreto, já que este material se trata de um dos mais utilizados na indústria civil e aproximadamente 70% das características dos agregados influenciam em seu desempenho.

O objetivo geral deste trabalho é analisar o uso do pó de brita, utilizando o material em concreto em diferentes condições de substituições do agregado miúdo (areia grossa) a fim de obter um produto durável e sustentável. O material, trata-se de um subproduto da mineradora Santa Helena, localizada no município de Ibiá em Minas Gerais. Como objetivos específicos foram: caracterizar os materiais utilizados para fabricação do concreto; dosar e produzir o concreto de referência, a substituição total da areia grossa pelo pó de brita em seu estado inicial, a substituição de 50% do material a areia grossa e a substituição total da areia grossa com o pó de brita lavado em laboratório; analisar a consistência pela determinação de abatimento de cone, a resistência à compressão e o índice de absorção de água do concreto produzido aos 7 dias de cura.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

Nesta seção aborda-se os aspectos da mineração, especialmente a extração de brita, detalhando seus impactos positivos e negativos para o meio ambiente e sociedade. Aborda-se também, a utilização de subprodutos e rejeitos oriundos da atividade e a importância da caracterização destes materiais. Apresenta-se ainda, as características do concreto em função da substituição total da areia grossa do material por pó de brita para sua produção.

### 2.1 A mineração

A extração de bens minerais é uma atividade necessária para o desenvolvimento da humanidade. De acordo com Silva (2010), a mineração tem uma grande relevância para o desenvolvimento social e econômico no ambiente, pois a atividade é uma base de formação produtiva ocasionada pela extração de recursos naturais até o impulsionamento de diversos setores da indústria. Há ainda, a geração de empregos diretos e indiretos, melhoria da qualidade de vida e infraestrutura de cidades.

Entretanto, a atividade é um processo capaz de modificar o relevo e interferir diretamente no meio ambiente. Os principais problemas relacionados a mineração envolvem a saúde de funcionários, mudanças do cenário, poluição de recursos hídricos e geração de poeiras e ruídos provenientes do desmonte de rochas por explosivos (MONTEIRO, 2017).

Segundo Bacci (2006), os problemas ambientais da mineração são oriundos das diversas fases da extração, como a abertura da cava, na qual ocorre a retirada da vegetação, escavações, movimentação de terra, alteração da paisagem local, uso de explosivos no desmonte de rocha onde se tem ultra lançamento, vibração do terreno, geração de poeiras, ruídos e gases tóxicos, transporte e a etapa de beneficiamento de minérios que requer uma alta quantidade de água para os processos de britagem, moagem, flotação e lixiviação.

Agravando o cenário da atividade, Barreto (2001) cita como um problema, a ineficiência da comunicação e interação com a comunidade e órgãos públicos, além da não abordagem da educação ambiental no local em que se desenvolve a atividade. Desta forma, a sustentabilidade na atividade se torna primordial, visto que os recursos

minerais não são renováveis (GOMES, 2017).

O desenvolvimento sustentável unificado à necessidade da mineração é notoriamente viável, conforme o contexto citado. Sendo assim, atenta-se para a necessidade de uma nova postura ética, inclusa a responsabilidade tanto entre gerações passadas quanto a atual sociedade (MONTEIRO, 2017). Para Agra Filho (2010), a perspectiva da sustentabilidade condicionará mudanças profundas no processo de extração, como também, em estratégias de implementação.

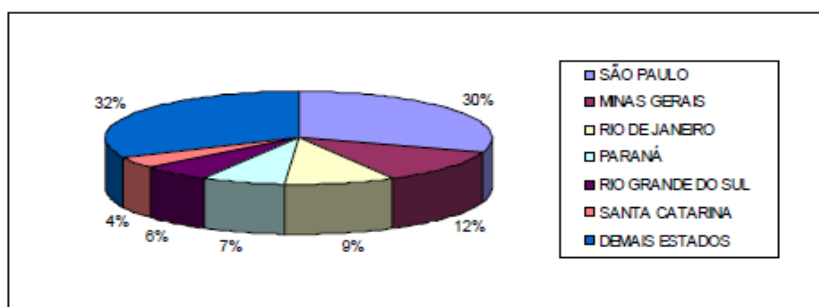
### **2.1.1 Mineração de brita**

A mineração de brita é uma atividade presente em todos setores da construção civil, devido a necessidade de utilização da matéria prima para infraestrutura de cidades, construção de rodovias, saneamento básico, entre outras aplicações (MONTEIRO, 2017). Conforme Monteiro (2017), em 2010 o mercado consumidor brasileiro destinava cerca de 70% do consumo de brita à mistura com cimento e os outros 30% à mistura com asfalto betuminoso.

A extração de brita pode ocorrer através de diversas rochas de acordo com suas características geológicas como o granito, gnaisse, basalto, diabásio, calcário e dolomito. Uma pequena porção se origina de quartzito e calcário (ENGIDASEW, 2014).

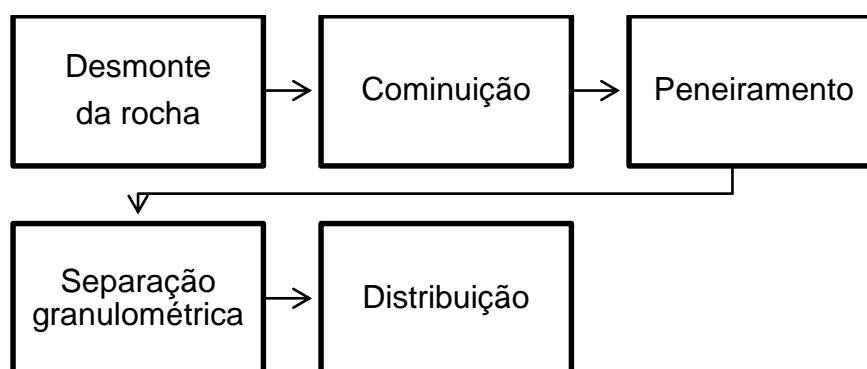
Conforme Aguirre (2010), as reservas de brita no Brasil são abundantes, porém, apresentam um baixo valor unitário, tornando a instalações das indústrias o mais próximo possível do mercado consumidor. As jazidas localizadas a mais de 100 km dos centros de consumidores são economicamente inviáveis (MONTEIRO, 2017).

De acordo com Valverde (2001), todos os estados brasileiros possuem reservas exploráveis de brita, com exceção do Acre. A Figura 1 apresenta a participação dos estados na produção nacional, sendo liderada por São Paulo (30%), Minas Gerais (12%), Rio de Janeiro (9%), Paraná (7%), Rio Grande do Sul (6%) e Santa Catarina (4%).



**Figura 1** – Participação dos estados na produção nacional de brita  
Fonte: (Valverde, 2001).

Segundo Silva (2005), a lavra de brita no Brasil geralmente ocorre pelo método de céu aberto, em encosta ou cava, utilizando explosivos. A escolha dos métodos se deve a fatores geológicos e econômicos do país. O beneficiamento ocorre através da cominuição mecânica da rocha desmontada no processo de lavra, utilizando britadores de mandíbulas e giro-esféricos. Em sequência, há o peneiramento e separação granulométrica para atingir as especificações requeridas pelo consumidor e logo ser distribuída. O fluxograma apresentado na Figura 2 exhibe simplificada o processo produtivo da extração de brita:



**Figura 2** – Fluxograma processo produtivo da extração de brita  
Fonte: Própria autora (2021).

O licenciamento ambiental é um dos principais instrumentos de controle ambiental para atividade, já que estabelece ações mitigadoras para instalação de futuros empreendimentos poluidores (ZHOURI, 2012). Para o início da exploração da brita, a empresa já necessita deste licenciamento para o controle de fontes poluidoras. Conforme a resolução 237, (1997) do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA), as mineradoras não podem operar sem que possua a licença ambiental,

sendo esta licença, geralmente emitida por órgãos ambientais, como o IBAMA- Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (MONTEIRO, 2017).

De acordo com Monteiro (2017), no caso da mineração de brita, após a concessão das licenças ambientais, é necessária a obtenção da licença de pesquisa e lavra, emitida pelo DNPM (Departamento Nacional de Produção Mineral), atual ANM ( Agência Nacional de Mineração). O primeiro passo para obtenção da licença mineral é a elaboração de um plano de pesquisa. Neste plano, ocorrem estudos geológicos e de engenharia, avaliação da viabilidade técnica e econômica dos empreendimentos e se denomina Plano de Aproveitamento Econômico (PAE).

Segundo Silva (2015) a licença ambiental, possui as seguintes fases:

- I) Concessão:** Realização da pesquisa, iniciando a exploração mineral;
- II) Licenciamento:** Obtenção do Requerimento e Registro de Licença, ou seja, a autorização dada pelo prefeito do município onde ocorrerá a instalação da indústria;
- III) Permissão:** Emissão da permissão de Lavra Garimpeira para início da exploração mineral.

Em julho de 2000, houve a criação da Lei 9985, que em seu 2º artigo determina a recuperação de áreas degradadas e restauração de ecossistemas ou de uma população silvestre o mais próximo de sua condição inicial (MONTEIRO, 2017). Nas indústrias de brita, os impactos ambientais começam no processo de limpeza do terreno, quando há necessidade da remoção da camada de vegetação da mina. A mudança na paisagem é um dos efeitos mais impactantes, por ser o efeito mais visível (MURESAN, 2015).

Há ainda impactos como o acúmulo de poeiras de britas em árvores próximas aos empreendimentos, alterando a quantidade de clorofila dos tecidos foliares, aspectos relacionados à saúde dos funcionários, sendo os principais, problemas respiratórios devido à emissão de fumaças e problemas auditivos oriundos da emissão de ruídos (MONTEIRO, 2017). Uma das formas do desenvolvimento da atividade mineral com a sustentabilidade do meio ambiente, é a elaboração de estudos ambientais adequados para emissão das licenças ambientais (PAIVA, 2015).

### 2.1.2 Aproveitamento de rejeitos e subprodutos da mineração

De acordo com Gomes (2017), os rejeitos sólidos gerados pela mineração são resíduos oriundos do beneficiamento de minérios. Estes materiais possuem baixo ou nenhum valor econômico, podendo conter elevado grau de toxicidade, partículas dissolvidas ou em suspensão, além de metais pesados e reagentes.

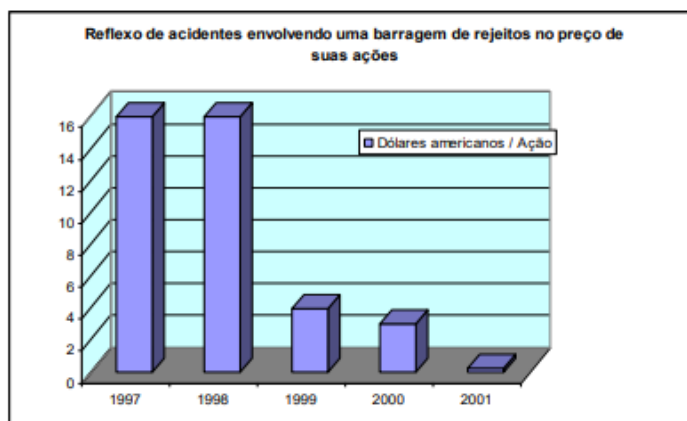
Subrahmanyam e Forssberg (1990), iniciaram uma discussão a respeito da quantidade de rejeitos gerados pelo beneficiamento. Este material é transportado para locais onde são dispostos de forma permanente ou temporária, sendo escolha da empresa.

A principal forma de mecanismo na disposição de rejeitos é a barragem. Existem diversos fatores que contribuem para sua implementação, como: localização, projeto de instalação, construção, operação e fechamento. Sua implementação deve ser baseada em aspectos sociais, econômicos, de segurança e ambientais (LOZANO, 2006).

As estruturas das barragens de rejeito possui métodos de construção à montante, jusante ou linha de centro que são realizadas com o próprio material e a escolha do método depende de características físicas e químicas do rejeito. A grande responsabilidade da atividade da mineração no processo de operação de uma mina, reside na disposição dos rejeitos. Falhas significativas em sua disposição resultam em acidentes impactantes como o rompimento da barragem em Brumadinho e Mariana em Minas Gerais, nos anos de 2019 e 2015 respectivamente.

A Figura 3 apresenta o reflexo do rompimento de uma barragem em uma empresa, no ano de 1998, demonstrando o valor das ações negociadas. A partir da figura, nota-se que os valores das ações da empresa decresceram de forma considerável após o rompimento. Além do prejuízo econômico, evidencia-se ainda o impacto negativo da mineração devido à proporção do acidente.



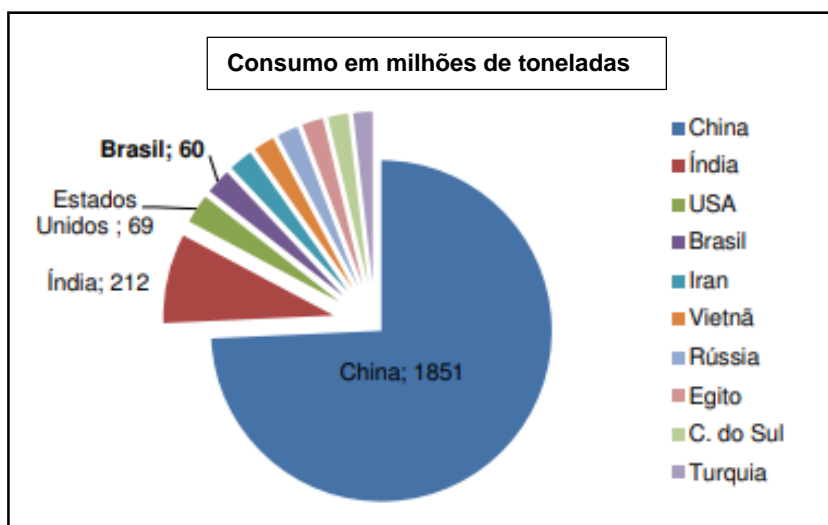


**Figura 3** – Influência da ruptura de barragem em ação da empresa  
Fonte: Monteiro (2017).

O gerenciamento de rejeitos em função dos aspectos socioeconômicos e ambientais, é necessário para uma prática segura da disposição deste material. Conforme Fidelis (2018), a aplicação de rejeitos e subprodutos vem sendo cada vez mais estudada, principalmente no setor da construção civil. Busca-se por meio dessa viabilidade, a redução de danos ao meio ambiente, preços e o consumo de matéria-prima e de energia. A recuperação e o aproveitamento dos minerais presentes nos rejeitos, além de propiciar um aumento da recuperação metalúrgica e em massa das plantas de beneficiamento, podem contribuir também para a redução do impacto e passivo ambiental das empresas. Soma-se a isto, o fato de que os processos de obtenção de licenças ambientais para a ampliação ou construção de novas barragens de rejeitos, normalmente são morosos e de custo elevado. Desta forma com o aproveitamento destes materiais, estes problemas seriam evitados (WOLF, 2009).

## 2.2 O concreto

A construção civil é o setor com maior consumo de recursos minerais extraídos do mundo. Segundo a Fundação Dom Cabral (2011), o consumo refere-se à 75% destes recursos em nível mundial. Além disso, o concreto é um dos materiais mais utilizados no mundo. Para Mehta e Monteiro (2014), há quatro razões para que o material seja mais utilizado, sua excelente resistência à água, facilidade de manuseio, baixo custo e enorme disponibilidade. Segundo Polesello (2010), o Brasil ocupa a 4ª posição do *ranking* mundial em consumo de concreto. O *ranking* é apresentado na Figura 4:



**Figura 4** – Consumo de concreto em 2010  
Fonte: Cimento.org (2010).

Conforme Buckner (2014), o concreto consiste na formação de uma pasta formada por cimento Portland, água, agregado graúdo e miúdo, geralmente sendo utilizado brita e areia respectivamente para os dois últimos. Pode ainda conter adições em sua composição para modificar quimicamente e fisicamente o material.

A proporção das misturas dos componentes, conhecida como o traço do concreto, é extremamente importante para obtenção de um produto de qualidade. (MENOSSI, 2014). Outros fatores influentes são a qualidade dos materiais constituintes, manipulação adequada e cura eficiente.

## 2.2.1 Materiais constituintes do concreto

### 2.2.1.1 Cimento Portland

Conforme Cincotto e Helene (1994), o cimento é um aglomerante hidráulico composto pela moagem do clínquer. É constituído principalmente por silicatos de cálcio hidratados ou mais formas de sulfato de cálcio como um produto de adição.

A norma técnica NBR 16697 (ABNT, 2018) classifica os cimentos Portland conforme Figura 5. Na figura, apresenta-se a designação normalizada (tipo), subtipo, sigla classe de resistência e sua classificação.

<b>Designação Normalizada (tipo)</b>	<b>Subtipo</b>	<b>Sigla</b>	<b>Classe de resistência</b>	<b>Sufixo</b>	
Cimento Portland Comum	Sem adição	CP I	25, 32 ou 40 <sup>c</sup>	RS <sup>a</sup> ou BC <sup>b</sup> -	
	Com adição	CPI-S			
Cimento Portland composto	Com escória granulada de alto forno	CP II-E			
	Com material carbonático	CP II-F			
	Com material pozolânico	CP II-Z			
Cimento Portland de alto forno		CP III			
Cimento Portland pozolânico		CP IV			
Cimento Portland de alta resistência inicial		CP V			ARI <sup>d</sup>
Cimento Portland branco	Estrutural	CPB			25, 32 ou 40 <sup>c</sup>
	Não estrutural	CPB			-

a O sufixo RS significa resistente a sulfatos e se aplica a qualquer tipo de cimento Portland que atenda aos requisitos estabelecidos em 5.3, além dos requisitos para seu tipo e classe originais.

b O sufixo BC significa baixo calor de hidratação e se aplica a qualquer tipo de cimento Portland que atenda aos requisitos estabelecidos em 5.4, além dos requisitos para seu tipo e classe originais.

c As classes 25, 32 e 40 representam os valores mínimos de resistência à compressão aos 28 dias de idade, em megapascal (MPa), conforme método de ensaio estabelecido pela ABNT NBR 7215.

d Cimento Portland de alta resistência inicial, CP V, que apresenta a 1 dia de idade resistência igual ou maior que 14 MPa, quando ensaiado de acordo com a ABNT NBR 7215 e atende aos demais requisitos estabelecidos nesta Norma para esse tipo de cimento.

**Figura 5** – Classificação dos cimentos

Fonte: NBR 16697 (ABNT, 2018).

A Figura 6 apresenta os requisitos físicos e mecânicos para o cimento Portland, considerando sua sigla, classe, finura, tempo de início de pega, expansibilidade a quente, resistência à compressão (conforme os dias) e índice de brancura.

Sigla <sup>a</sup>	Classe	Finura Resíduo na peneira de 75 µm (%)	Tempo de início de pega min	Expansibilidade a quente mm	Resistência à compressão MPa				Índice de brancura
					1 dia	3 dias	7 dias	28 dias	
					1 dia	3 dias	7 dias	28 dias	-
CP-I CPI-S CP II-E CP II-F CP II-Z	25	≤12,0	≥ 60	≤ 5	-	≥ 8,0	≥15,0	≥ 25,0	-
	32	≤12,0	≥ 60	≤ 5	-	≥ 10,0	≥20,0	≥32,0	
	40	≤10,0	≥ 60	≤ 5	-	≥ 15,0	≥ 25,0	≥ 40,0	
CP III CP IV	25	≤ 8,0	≥ 60	≤ 5	-	≥ 8,0	≥ 15,0	≥ 25,0	-
	32	≤ 8,0	≥ 60	≤ 5	-	≥ 10,0	≥ 20,0	≥ 32,0	-
	40	≤ 8,0	≥ 60	≤ 5	-	≥ 12,0	≥ 23,0	≥ 40,0	-
CP V	ARI	≤ 6,0	≥ 60	≤ 5	≥14,0	≥ 24,0	≥ 34,0	-	-
CPB Estrutural	25	≤12 <sup>B</sup>	≥ 60	≤ 5		≥ 8,0	≥ 15,0	≥ 25,0	≥ 78
	32	≤12 <sup>B</sup>	≥ 60	≤ 5		≥ 10,0	≥ 20,0	≥ 32,0	
	40	≤12 <sup>B</sup>	≥ 60	≤ 5		≥ 15,0	≥ 25,0	≥ 40,0	
CPB Não estrutural	-	≤12 <sup>B</sup>	≥ 60	≤ 5	-	≥ 5,0	≥ 7,0	≥ 10,0	≥ 82

a Requisitos aplicáveis também aos cimentos resistentes a sulfatos e de baixo calor de hidratação, identificados por sua sigla seguida do sufixo RS ou BC, respectivamente.  
b Resíduo na peneira 45 µm

**Figura 6** – Classificação dos cimentos e requisitos

Fonte: NBR 16697 (ABNT, 2018).

O cimento de alta resistência inicial, CP-V, é obtido a partir de uma dosagem diferente de argila e calcário na produção do clínquer e é associado a um maior tempo no moinho. Esse processo produtivo resulta na aceleração das reações de hidratação, o que garante como principal característica a alta resistência inicial. A desvantagem no uso do CP-V está no seu custo de produção, em valor de mercado pode representar até 25% a mais do que outros cimentos comerciais (NEVILLE, 2013).

### 2.2.1.2 Agregados

De acordo com Petrucci (1998), o agregado é um material granular, sem forma e sem volume definido, de dimensões e propriedades adequadas para o uso em obras de construção. São originados de fragmentos rolados no leito de rios que são encontrados em jazidas. Em outros ramos da construção chama-se pedra brita, bica corrida, rachão e entre outros (BAUER 2001).

Para Petrucci (1998), os agregados são classificados entre graúdos e

miúdos em função da sua granulometria. Estes materiais apresentam diferentes comportamentos quando adicionados ao concreto.

Os agregados graúdos são aqueles passantes na peneira de malha 152 mm e que ficam retidos na peneira de abertura 4,75 mm. Já os agregados miúdos são passantes na peneira 4,75 mm e retidos na peneira 0,075 mm (ISAIA, 2011).

#### **2.2.1.3 Água**

Conforme Pedrozo (2014), a água é um material indispensável para execução do concreto, pois permite reações químicas de hidratação do cimento (conhecida como cura) e emissão de calor. De acordo com a norma técnica NBR 15900 (ABNT, 2009), a água de abastecimento público é adequada para a produção do concreto e não necessita de ensaio para análise de parâmetros. A norma aponta também, as análises necessárias para o uso de água recuperada de processos de preparação do concreto, de fontes subterrâneas ou de captação pluvial e água residual industrial.

#### **2.2.1.4 Aditivos e adições**

Os aditivos e adições são substâncias que podem ser adicionadas ao concreto a fim de reforçar ou melhorar algumas características como aumento da compacidade, durabilidade e resistência dos esforços mecânicos (NEVILLE, 2013). Cita-se como exemplos de aditivos os aceleradores de resistência, retardores de pega e de ar, entre outros. Como exemplo de adições, têm-se o Metacaulim, cinzas volantes e cal hidratada. De acordo com Barros (2016), nos concretos, os superplastificantes são redutores de água de grande efeito, que cuidadosamente compatibilizados ao cimento, possibilita diminuir a relação água/cimento no material até aproximadamente 0,23 e ainda assim, obter um excelente nível de abatimento inicial, entre 100 mm e 200 mm.

### **2.3 Durabilidade do concreto**

Ainda hoje, é comum a durabilidade ser apresentada como um critério de especificação do concreto. A durabilidade do concreto se desenvolve por uma série

de aspectos, desde a concepção do material, qualidade dos materiais e execução, até seu próprio uso e manutenção (MENOSSI, 2004).

Há diversas formas de analisar a durabilidade do material. Destacam-se os parâmetros de resistência à compressão, índice de absorção de água e a consistência do concreto.

## 2.4 Resistência à compressão

Segundo Mehta e Monteiro (2014), a resistência à compressão é definida como a capacidade de um material resistir a um determinado esforço de tensão sem se romper. A resistência à compressão é uma propriedade diretamente ligada a qualidade do concreto. A determinação da resistência à compressão ocorre por meio do ensaio estabelecido pela norma técnica NBR 5739 (ABNT, 2018). Neste ensaio corpos de provas são padronizados em função de dimensão, formas, tipo e tempo de cura. Em seguida são submetidos à uma tensão de compressão até ocorrência do rompimento (PINHEIRO, 2007). A partir dos resultados, classifica-se o concreto utilizando a Tabela 1:

**Tabela 1** – Classificação do concreto

<b>Classe de resistência Grupo I</b>	<b>Resistência à compressão (MPa)</b>	<b>Classe de resistência Grupo II</b>	<b>Resistência à compressão (MPa)</b>
C20	20	C55	55
C25	25	C60	60
C30	30	C70	70
C35	35	C80	80
C40	40	C90	90
C45	45	C100	100
C50	50		

Fonte: Disponível em : <https://nelsoschneider.com.br/fck-do-concreto/>

(Acesso: 26 de fevereiro de 2021).

Desta maneira, a resistência à compressão do concreto pode ser considerada pelo valor máximo atingindo por um traço de concreto em boas condições de lançamento, adensamento e cura dos corpos de prova (CREMONINI, 1994).

#### **2.4.1 Absorção de água, índice de vazios e massa específica do concreto**

A porosidade está ligada diretamente a durabilidade do concreto. Conforme Mehta e Monteiro (2014), a permeabilidade do concreto depende da relação água/cimento do concreto que determina o tamanho, volume, continuidade dos espaços capilares e a dimensão máxima do agregado, influenciando diretamente a espessura e as microfissuras na zona de transição entre agregado graúdo e pasta de cimento.

Conforme Neville (2013), a resistência do concreto é influenciada pelo índice de vazios: ar aprisionado, poros capilares e poros do ar incorporado, quando presente. Conforme o autor, poros menores resultam em uma resistência maior da pasta. A massa específica baixa é uma das principais características do concreto leve. Porém, seu valor varia ao longo do tempo: é maior no estado fresco diminuindo com o endurecido e a idade do concreto. A massa específica encontrada geralmente para o concreto convencional é cerca de 2,4 a 2,6 g/cm<sup>3</sup> (CARRIJO, 2005).

O ensaio de absorção de água é determinado pela norma NBR 9779 (ABNT, 2012) e os parâmetros de índice de vazios e massa específica também são estabelecidos nesta norma.

De acordo com Grigoli e Helene (2001), a adição de minerais no concreto estabelece a redução da porosidade e conseqüentemente a diminuição da absorção de água do concreto melhorando o desempenho do material.

#### **2.4.2 Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone**

A determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone (Slump Test) é um método que determina a consistência do concreto fresco entre uma remessa e outra através da medida de seu assentamento. É aplicável em concretos plásticos que apresentam um adensamento igual ou superior a 10 mm. (NBR 16889, 2020). Neville (2013), estabelece uma correlação entre consistência e trabalhabilidade, conforme a Tabela 2. A NBR 8953 (ABNT, 2015), classifica o concreto em classes conforme o grau de abatimento e suas aplicações típicas. A Tabela 3 apresenta as classes, abatimento e aplicações.

**Tabela 2** – Correlação entre consistência e trabalhabilidade

<b>Trabalhabilidade</b>	<b>Abatimento (mm)</b>
Abatimento zero	0
Muito baixa	5 – 10
Baixa	15 – 30
Média	35 – 75
Alta	80 – 155
Muito alta	160 ao colapso

Fonte: (NEVILLE, 2013)

**Tabela 3** – Tabela de classe de consistência, abatimento e aplicações

<b>Classe</b>	<b>Abatimento (mm)</b>	<b>Aplicações</b>
S10	10 – 50	Concreto extrusado, vibroprensado ou centrifugado.
S50	50 – 100	Alguns tipos de pavimento e fundação.
S100	100 – 160	Elementos estruturais com lançamento convencional.
S160	160 – 220	Elementos estruturais com lançamento bombeável.
S220	≥ 220	Elementos estruturais esbeltos ou com alta densidade de armadura.

Fonte: NBR 8953 (ABNT, 2015).



#### **2.4.2 Moldagem, adensamento e capeamento**

Segundo Ades (2015), o adensamento do concreto é a operação para a retirada do ar presente na massa do concreto, visando reduzir a porosidade ao máximo e o perfeito preenchimento das formas. Uma moldagem com adensamento incorreto pode ser detectado após a desforma, tornando aparente a patologia.

Os procedimentos de coleta, moldagem da amostra e realização do ensaio, são feitos de acordo com as normas que balizam cada procedimento. No entanto, na prática, surgem várias dificuldades que as normas não apresentam. Quando é feito o ensaio de resistência à compressão, a superfície do corpo de prova pode entrar em contato com o prato da prensa e como não, foi moldado com uma superfície usinada, mas sim acabada com uma desempenadeira ou colher de pedreiro, essa superfície é um tanto irregular e não perfeitamente plana. Nessas circunstâncias, sugere-se a prática do capeamento, determinado pela NBR 5738 (ABNT, 2016), onde há o arremate com pasta de cimento e a utilização do enxofre fundido da superfície.

#### **2.5 Uso de agregados alternativos**

Os agregados são os insumos minerais mais utilizados no setor da construção civil e com mais significância em termos de produção do mundo (VALVERDE, 2001). A exploração destes materiais provoca diversos impactos ambientais, e quando há o aumento das distâncias das pedreiras ou portos de areia para o mercado consumidor, gera-se maior custo de transporte (LUZ, 2012).

Devido ao consumo excessivo dos agregados, a disponibilidade destes recursos vem se declinando cada vez mais, principalmente próximo dos grandes centros urbanos devido a planejamentos inadequados, problemas ambientais e usos competitivos do solo (SAMPAIO, 2008). Desta forma, a utilização de agregados alternativos tem sido crescente (LUZ, 2012).

No entanto, conforme Tourenq et al. (2000), a busca por tais substitutos não pode comprometer a qualidade do trabalho nos quais estão sendo conduzidos, sendo necessário uma caracterização física, química e mineralógica a fim de manter as condições técnicas pela indústria civil. De acordo com Luz (2012), os agregados alternativos são classificados como:

- Natural: areia artificial ou de brita;
- Subprodutos ou resíduos industriais:
- Argila expandida;
- Plástico;
- Borrachas.

O pó de brita, material em estudo, se classifica como um subproduto para agregados alternativos.

### **2.5.1 Utilização do pó de brita como agregado miúdo**

Segundo Nugent (1979), o aproveitamento de materiais finos gerados pelos processos de britagem já ocorria anteriormente. Este processo possui aplicação em países como Canadá e Estados Unidos. Atualmente, os finos são utilizados na confecção de concretos estruturais, blocos de concreto e camadas asfálticas.

A quantidade de areia consumida anualmente no setor brasileiro de construção civil é de aproximadamente 320 milhões de m<sup>3</sup>, sendo grande parte desse volume oriundo da extração de baixadas e leito de rios, que propicia um aumento da vazão de água e aceleração do ritmo da erosão das margens (MENOSSEI, 2014). Menossi (2014), indica que as propriedades físicas e químicas dos agregados são extremamente importantes para o desempenho e durabilidade das edificações em que serão utilizados. O pó de brita é um bom agregado alternativo, devido a uniformidade de suas características.

Em 1970, teve-se a produção em série dos primeiros equipamentos especiais para britagem do material fino. Desta forma, houve a viabilização para produção do pó de brita em escala comercial (SAMPAIO, 2008).

Segundo Menossi (2014), a utilização do pó de brita em grande escala proporciona vantagens para as pedreiras, concreteiras e o consumidor, como o aproveitamento total das pedreiras sem descarte nos efluentes, obtenção de uma “areia” com características físicas e químicas constantes, solução de problemas ambientais e custo final reduzido do concreto.

Algumas propriedades e características devem ser conhecidas para análise da substituição alternativa, desta forma, surge a necessidade da caracterização do material.

## 2.6 Caracterização de materiais

De acordo com Gomes (2015), a caracterização de materiais objetiva a compreensão de aspectos relacionados a composição e estrutura dos materiais, que se ligam diretamente a propriedades físicas, químicas e mecânicas. Sendo assim, a caracterização permite uma melhor aplicação dos materiais.

### 2.6.1 Análise granulométrica

Segundo Menossi (2014), a granulometria é o parâmetro físico mais importante para análise de agregados, pois influencia a compactidade e resistência aos esforços mecânicos. Para o autor, a granulometria ótima será aquela que para uma mesma consistência e uma mesma relação água/cimento, têm-se o menor consumo de cimento possível.

Para a realização da caracterização granulométrica há necessidade de conhecer as parcelas constituintes de grãos de diferentes tamanhos em função da massa total de agregados. A composição granulométrica é expressa em porcentagem, onde os grãos de determinado tamanho geram importante influência sobre a qualidade do concreto. Através do ensaio de granulometria é possível obter a curva granulométrica, módulo de finura e dimensão máxima característica (MENOSSI, 2014).

A NBR 7211 (ABNT,2019), estabelece a curva granulométrica desenvolvida para limites inferiores e superiores dos tamanhos de agregados. A classificação dos agregados miúdos é apresentada na Tabela 4:

**Tabela 4** – Classificação dos agregados miúdos conforme granulometria - NBR 7211 (ABNT, 2009)

PENEIRA (mm)	PORCENTAGENS RETIDAS ACUMULADAS			
	FAIXA 1	FAIXA 2	FAIXA 3	FAIXA 4
	(muito fina)	(fina)	(média)	(grossa)
6,3	0 a 3	0 a 7	0 a 7	0 a 7
4,8	0 a 5	0 a 10	0 a 11	0 a 12
2,4	0 a 5	0 a 15	0 a 25	5 a 40
1,2	0 a 10	0 a 25	10 a 45	30 a 70
0,6	0 a 20	21 a 40	41 a 65	66 a 85

0,3	50 a 85	60 a 88	70 a 92	80 a 95
0,15	85 <sup>(A)</sup> a 100	90 <sup>(A)</sup> a 100	90 <sup>(A)</sup> a 100	90 <sup>(A)</sup> a 100

OBS: (A) Para agregado miúdo resultante de britagem, este limite poderá ser 80.

Fonte: MENOSSI (2014).

O módulo de finura estabelece limites da distribuição granulométrica dos agregados miúdos. A NBR 7211 (ABNT, 2019) apresenta os limites do módulo de finura, dispostos na Tabela 5:

**Tabela 5** – Classificação dos agregados miúdos conforme zonas - NBR 7211 (ABNT, 2009)

PENEIRA (mm)	PORCENTAGENS RETIDAS ACUMULADAS			
	Limites inferiores		Limites superiores	
	Zona utilizável	Zona ótima	Zona ótima	Zona utilizável
9,5	0	0	0	0
6,3	0	0	0	7
4,75	0	0	5	10
2,36	0	10	20	25
1,18	5	20	30	50
0,6	15	35	55	70
0,3	50	65	85	95
0,15	85	90	95	100

OBS: O módulo de finura da zona ótima varia de 2,2 a 2,9. O módulo de finura da zona utilizável inferior varia 1,55 a 2,2. O módulo de finura da zona utilizável superior varia de 2,9 a 3,5.

Fonte: MENOSSI (2014).

De acordo Menossi (2014), a distribuição granulométrica influencia diretamente na trabalhabilidade do concreto fresco, pois um alto índice de material fino exige aumento de água e conseqüente torna o concreto oneroso.

### 2.6.2 Massa específica

A massa específica trata-se da relação entre a massa total e um certo volume

de agregados, considerando os espaços vazios entre os grãos do material. É por meio dessa relação que são feitas as transformações de massa para volume ou ao inverso (NBR NM 52, ABNT 2009). De acordo com Basílio (1995), os valores habituais de massa específica encontrados para agregados miúdos convencionais (areia) são da ordem de  $2,4 \text{ g/cm}^3$  e para agregados graúdos convencionais (brita)  $2,7 \text{ g/cm}^3$ .

### **2.6.3 Massa unitária**

A massa unitária é definida como a massa das partículas do agregado que ocupam uma unidade de volume (MEHTA e MONTEIRO, 2014). Seu conhecimento é de grande importância, pois serve de base para as transformações dos traços em massa para volume e vice-versa. De acordo com Basílio (1995), os valores encontrados para massa unitária de agregados para concretos convencionais são de aproximadamente  $1,5 \text{ g/cm}^3$ .

### **2.6.4 Fluorescência de raios X**

Através da técnica de fluorescência de raios X, obtém-se a composição química dos materiais constituintes do minério. Esta composição é essencial para a mineralogia aplicada (GOMES, 1984).

Por esta técnica, há irradiação de feixes primários de raios, que resulta na produção de uma irradiação secundária conforme as características dos elementos químicos presentes. A análise pode ser quantitativa e qualitativa, sendo ambas de alta qualidade e de fácil compreensão (BRANDÃO, 2015).

### **2.6.5 Teor de material pulverulento**

A NBR 7211 (ABNT,2019) indica a porcentagem máxima de substâncias nocivas para determinada quantidade de agregado, seja ela composta por torrões de argila, material pulverulento ou materiais carbonatados. A Tabela 6 apresenta os limites para substâncias nocivas no agregado:

**Tabela 6** – Limites da NBR 7211 para material pulverulento (ABNT, 2009)

Impureza	Agregado	Tipo de concreto	% Máxima
Torrões de argila	Miúdo	Todos	1,5
	Graúdo	Normal	3,0
		Possível desgaste superficial	2,0
		Aparente	1,0
Material pulverulento (pó) <sup>(1)</sup>	Miúdo	Normal	5,0
		Possível desgaste superficial	3,0
	Graúdo	Todos	1,0
Material carbonoso	Todos	Normal	1,0
		Aparente	0,5

(1): a NBR 7211 (ABNT, 1983) prevê que caso o material que passe pela peneira # 200 seja constituído totalmente de pó de pedra, o limite para os agregados miúdos poderá ser aumentado de 5,0% e 3,0% para 7,0 % e 5,0 %, respectivamente.

Fonte: MENOSSI (2014).

### 2.6.6 Teor de matéria orgânica

De acordo com Basílio (1995) as impurezas orgânicas húmicas em grandes quantidades podem escurecer o agregado miúdo. Estas substâncias podem prejudicar a resistência do concreto e ocasionar patologias devido à má aderência do agregado miúdo da pasta de cimento ao material. Para determinação do teor de matéria orgânica utiliza-se o ensaio conforme a norma NBR NM 49 (ABNT, 2001). A interpretação de resultados se dá pela comparação de tonalidade da solução obtida, notando-se se é mais escura, mais clara ou igual a solução padrão referida na norma.

### 2.7 Santa Helena Mineração

A mineradora Santa Helena, encontra-se no município de Ibiá, em Minas Gerais. Localiza-se na BR -262, a cerca de 40 km de Araxá,

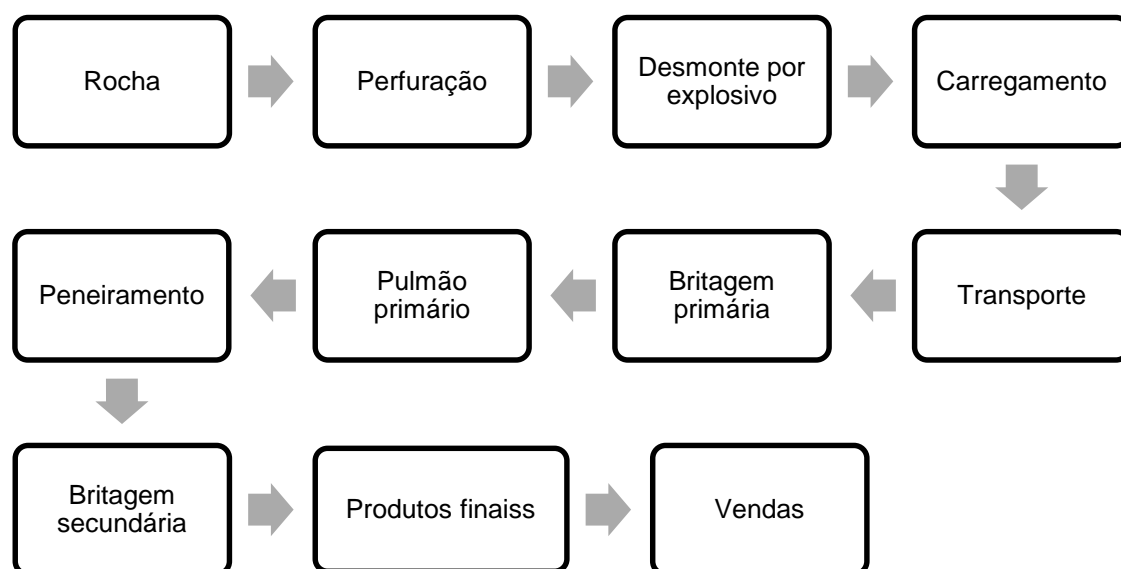
Segundo o *site* da empresa, suas atividades foram iniciadas em 2014, visando a extração para o desenvolvimento das regiões do Alto Paranaíba e Triângulo Mineiro a partir da extração da rocha Granito. Os produtos da empresa são citados na Tabela 7, assim como suas respectivas granulometrias.

**Tabela 7 – Produtos da mineradora Santa Helena**

Produto	Granulometria (mm)
Rachão P7	70 a 300
Rachão P4	50 a 200
Brita 3	25 a 38
Brita 2	19 a 25
Brita 1	9,5 a 21 ou 9,5 a 19
Brita 0 (pedrisco)	4,8 a 9,5
Pó de brita	<4,8
Brita corrida	<32

Fonte :< <http://shmineracao.com.br/>> (2021).

Conforme o *site* da empresa, o processo de produção da empresa é apresentado no fluxograma da Figura 7.

**Figura 7 – Fluxograma processo produtivo da mineradora Santa Helena**

< <http://shmineracao.com.br/>> (2021).

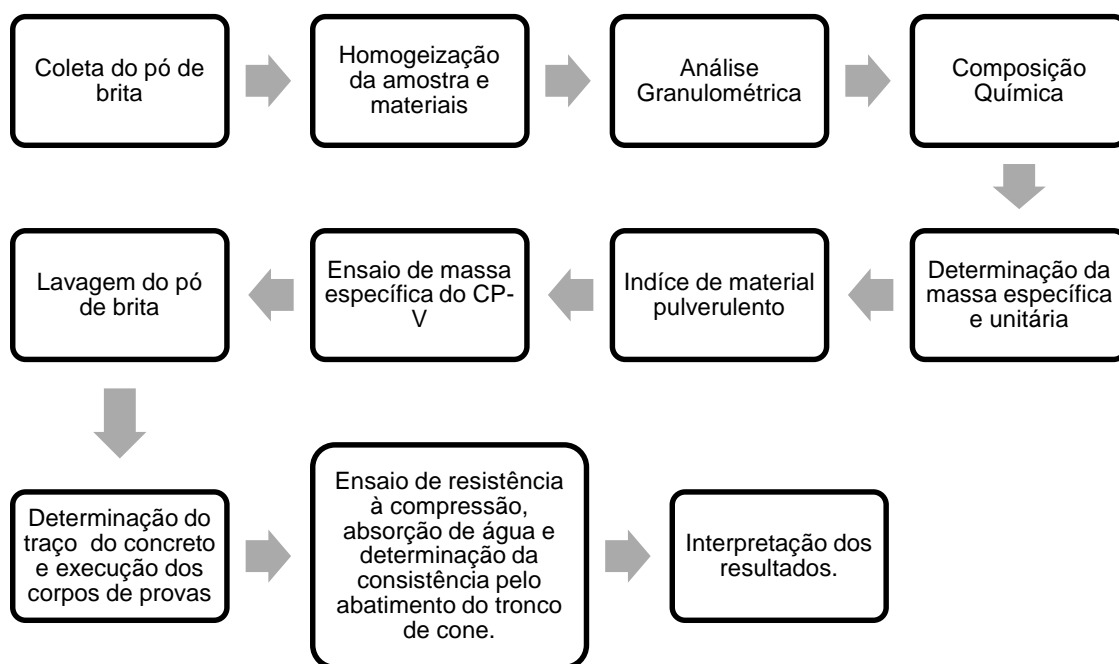
### 3. METODOLOGIA

Nesta seção são apresentados os materiais utilizados e os procedimentos de execução do trabalho, incluso a amostragem, preparação da amostra, caracterização dos materiais e os ensaios requeridos para o concreto. Os materiais utilizados foram:

- **Pó de brita:** O pó de brita é um composto com granulometria inferior a 4,8 mm, geralmente aplicado em confecção de massas asfálticas, pré-moldados, argamassa para contra pisos, recapeamento de estradas e estabilização de solos. Este material é um subproduto da mineradora Santa Helena.
- **Brita 0:** A Brita 0 deste estudo foi extraída de rocha basáltica e adquirida no depósito Amazonas, no município de Araxá-MG.
- **Agregados miúdos (areia grossa e areia média):** Ambos foram extraídos em leitos e margens de rios.
- **Cimento CP-V:** A escolha se deve ao fato do material atingir 85% da resistência em 7 dias devido ao prazo limitado da pesquisa.
- **Água:** Foi utilizada água de abastecimento público.

A Figura 8 apresenta o fluxograma da metodologia seguida na pesquisa.





**Figura 8** – Fluxograma da metodologia

Fonte: Próprio Autor (2021).

### 3.1 Caracterização do pó de brita

#### 3.1.1 Homogeneização

Para a realização da pesquisa, houve a coleta de 100 kg do pó de brita na mineradora Santa Helena. Após a coleta do material, houve a secagem do subproduto em estufa a uma temperatura de 100 °C durante 24 horas, conforme a Figura 9.



**Figura 9** – Secagem do pó de brita

Fonte: Próprio Autor (2021).

Em seguida, ocorreu a homogeneização do material por pilha cônica a fim de tornar o material o mais representativo possível e evitar o erro de segregação. Para o processo, utilizou-se uma lona com o auxílio de uma enxada, conforme mostrado na Figura 10.



**Figura 10** – Homogeneização em pilha cônica

Fonte: Próprio Autor (2021).

A próxima etapa consistiu em realizar a homogeneização em pilha alongada do subproduto (Figura 11) buscando uniformizar o material para posterior determinação das características físicas e químicas do pó de brita.



**Figura 11** – Homogeneização em pilha alongada

Fonte: Próprio Autor (2021).

### 3.1.2 Análise granulométrica

Para a análise granulométrica utilizou-se um agitador de peneiras vibratório da marca LUCADEMA. Seguindo os padrões da NBR NM 248 (ABNT, 2003), coletou-se 300 gramas do pó de brita em duplicata, sendo esta quantidade definida pela dimensão máxima característica do material. Em seguida, as amostras foram submetidas ao conjunto de peneiras com as séries apresentadas na Tabela 8:

**Tabela 8** – Conjunto de peneiras sucessivas para análise granulométrica

Série Normal	Série Intermediária
4,75 mm	-
2,36 mm	-
1,18 mm	-
600 µm	-
300 µm	-
150 µm	-

Após encaixe das peneiras de forma crescente (base para o topo), colocou-se as amostras na peneira superior e realizou-se o peneiramento durante 15 minutos, conforme a norma técnica do ensaio. A Figura 12 apresenta o processo de peneiramento.



**Figura 12** – Processo de peneiramento

Fonte: Próprio Autor (2021).

Após este processo, houve a pesagem da massa total do material retido nas peneiras e no fundo para a construção da curva granulométrica, cálculo da dimensão máxima característica e módulo de finura do subproduto. A dimensão característica máxima correspondente à abertura nominal, em milímetro, da malha da peneira da série normal ou intermediária, na qual o agregado apresenta uma percentagem retida acumulada, em massa, igual ou imediatamente inferior a 5%. O módulo de finura é uma grandeza adimensional calculado pela soma das percentagens retidas acumuladas em massa de agregado, em todas as peneiras da série normal, dividida por 100.

### 3.1.3 Ensaio índice de material pulverulento

O índice de material pulverulento foi determinado conforme a norma NBR NM 46 (ABNT, 2003). Inicialmente obteve-se da amostra inicial, uma massa de 500 gramas. Em seguida esta amostra foi inserida em uma peneira de 75 µm e coberta de água, agitou-se até a suspensão do material pulverulento. Após esta etapa, houve escoamento da água sobre a peneira. Em sequência, adicionou-se uma segunda quantidade de água, agitou-se novamente e transbordou água corrente sobre a peneira, sendo esta operação repetida até que a limpidez da água se tornasse clara conforme a Figura 13.



**Figura 13** – Limpidez da água

Fonte: Próprio Autor (2021).

A próxima fase consistiu em adicionar o material lavado e retido nas peneiras sobre uma bandeja e secá-lo em estufa durante 24 horas a 100 °C. Determinou-se então o teor de material pulverulento através da Equação 1.

$$m = \frac{(A - B)}{A} \times 100(\%)$$

**Equação 1** – Teor de material pulverulento

Onde:

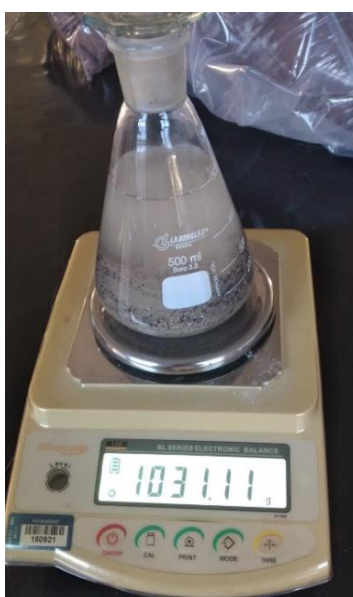
A - Massa constante (500 g);

B - Massa restante (seca);

m - Teor de material pulverulento.

### 3.1.4 Ensaio massa específica

Seguindo os padrões estabelecidos pela NBR NM 52 (ABNT, 2009) para o ensaio de massa específica houve a pesagem de 500 gramas em duplicata da amostra obtida por quarteamento. Após esta etapa, adicionou-se as amostras a um Erlenmeyer com a ajuda de um funil. Em seguida, acrescentou água ao conjunto até a marca de 500 ml do frasco. Esperou-se cerca de 1 hora e preencheu com água o Erlenmeyer até a marca de 500 cm<sup>3</sup>, a massa total foi pesada, sendo este conjunto mostrado na Figura 14.



**Figura 14** – Conjunto: água, Erlenmeyer e pó de brita

Fonte: Próprio Autor (2021).

O procedimento posterior consistiu na retirada das amostras do frasco e secagem na estufa durante 24 horas a 100 °C para o registro de suas massas. Desta forma, possibilitou-se o cálculo da massa específica através da Equação 2.

$$d = \frac{m}{V - V_a}$$

**Equação 2** – Massa específica

Onde:

$d$  - é a massa específica aparente do agregado seco, em  $\text{g/cm}^3$ ;

$m$  - massa da amostra seca em estufa em g;

$v$  - volume do frasco em  $\text{cm}^3$ ;

$v_a$  - volume de água adicionado ao frasco em  $\text{cm}^3$ ;

$d$  - massa específica em  $\text{g/cm}^3$ .

O volume de água adicionado ao Erlenmeyer é calculado através da Equação

3.

$$V_a = \frac{m_2 - m_1}{\rho_a}$$

**Equação 3** – Volume de água

Onde:

$m_1$  , é a massa do conjunto (frasco + agregado) em g;

$m_2$  , é a massa total (frasco + agregado + água) em g;

$\rho_a$  , é a massa específica da água, em  $\text{g/cm}^3$ ;

### 3.1.5 Ensaio massa unitária

Para a determinação da massa unitária teve-se como base a NBR NM 45 (ABNT, 2009). Conforme a norma, houve a escolha de um recipiente cilíndrico de acordo com a dimensão máxima do material, no caso um balde de  $10 \text{ m}^3$  que teve sua massa registrada. O próximo passo consistiu em preencher o recipiente com o pó de brita até seu transbordo, despejando o material em alturas de 5 cm e evitando a segregação do subproduto. Nivelou-se o material com ajuda de uma régua e pesou-se o conjunto, sendo este ensaio também realizado em duplicata. A Figura 15 apresenta o conjunto do ensaio. Após esta etapa tornou-se possível o cálculo do parâmetro através da Equação 4.

$$\rho_{ap} = \frac{m_{ar} - m_r}{V}$$

**Equação 4** – Massa unitária

Onde:

$m_{ar}$  - massa do recipiente + massa da amostra, em kg;

$m_r$  - massa do recipiente em kg;

$V$  - volume do recipiente em  $m^3$ ;

$\rho_{ap}$  - massa unitária em quilo  $kg/m^3$ .



**Figura 15** – Ensaio massa unitária

Fonte: Próprio Autor (2021).

### 3.1.6 Ensaio fluorescência de raios X

O ensaio de Fluorescência de raios X do pó de brita já havia sido realizado por Siqueira (2018) a fim de avaliar suas características químicas. Utilizou-se o equipamento da marca Shimadzu, modelo EDX720 do Laboratório de Caracterização do Departamento de Engenharia de Materiais (DEMAT) do CEFET MG (Campus I), situado em Belo Horizonte (MG). As etapas de preparação da amostra consistiram na fragmentação do subproduto utilizando almofariz e pistilo de porcelana até a obtenção de 50 g de amostra passante em 200# (74  $\mu m$ ) com o auxílio de um peneirador.

### 3.1.7 Lavagem do pó de brita

Após ensaio de índice de material pulverulento, notou-se que o subproduto



apresentava uma grande quantidade de material pulverulento (7,28%). Desta forma, realizou-se a lavagem do material conforme o ensaio citado anteriormente, a fim de analisar os parâmetros de absorção de água, consistência e resistência à compressão do concreto nesta condição. Após esta lavagem, calculou-se o teor de material pulverulento novamente, sendo este valor 6,38%.

### 3.2 Caracterização dos materiais constituintes do concreto

Os materiais constituintes do concreto também foram caracterizados e sua metodologia será abordada nesta seção. A Figura 16 apresenta o fluxograma dos ensaios realizados para tal caracterização.



**Figura 16** – Fluxograma da metodologia

Fonte: Próprio Autor (2021).

#### 3.2.1 Ensaio massa específica

Para os agregados areia média, areia grossa e Brita 0 levou-se em consideração a NBR NM 52 (ABNT, 2009) com ensaio em duplicata. Desta forma, o processo de execução foi idêntico ao processo de pó de brita diferenciando somente pela substituição do material. Para determinação da massa específica utilizou-se a Equação 3.

### 3.2.2 Ensaio massa unitária

O ensaio realizado para determinar a massa unitária da areia grossa, areia média e brita 0 também teve como referência a NBR NM 45 (ABNT, 2006) e a execução do teste foi realizada conforme o processo utilizado para o pó de brita apenas substituindo o material pela areia grossa, areia média e brita 0. Para o cálculo da massa unitária destes materiais utilizou-se a Equação 4.

### 3.2.3 Ensaio índice de material pulverulento

Somente as amostras de areia média e grossa foram submetidas ao ensaio de índice de material pulverulento, seguindo a mesma metodologia adotada para o pó de brita. Diferencia-se no entanto, a quantidade de massa constante (A) para areia média, no qual de acordo com a norma NBR NM 46 (ABNT, 2003) a quantidade ideal tornou-se 100 gramas. Para determinação do teor de material pulverulento adotou-se a Equação 1.

### 3.2.4 Análise granulométrica

Para realização da análise granulométrica dos agregados miúdos (areia média e areia grossa) utilizou-se a mesmo procedimento de execução do pó de brita especificado pela NBR NM 248 (ABNT, 2003) com a mesma série de peneiras apresentada na Tabela 7, mesmo tempo e massa do ensaio anterior. Para o agregado graúdo, no caso, a Brita 0, as diferenças na execução do ensaio tratam-se das séries de peneiras utilizadas e a quantidade de material para o ensaio devido a sua dimensão máxima característica. A sequência de abertura de peneiras é mostrada na Tabela 9 e a quantidade de material para o peneiramento da Brita 0 tornou-se 1000 g conforme a norma do ensaio.

**Tabela 9** – Conjunto de peneiras sucessivas para análise granulométrica - brita 0

Série Normal	Série Intermediária
9,5 mm	-
4,75 mm	-
2,36 mm	-
1,18 mm	-

### 3.2.5 Ensaio teor de matéria orgânica

O ensaio realizado para determinação do teor de matéria orgânica foi baseado na norma NBR NM 49 (ABNT, 2001) e realizado para as amostras de areia média e areia grossa em duplicata.

Primeiramente foi realizada uma solução padrão de hidróxido de sódio (NaOH) a 3% (970 g de água e 30 g de hidróxido de sódio). Logo em seguida essa solução foi adicionada a um Erlenmeyer juntamente com 200 g de cada amostra. Este conjunto foi agitado e deixado em repouso durante 24 horas em ambiente escuro. Após este período, filtrou-se a solução de hidróxido de sódio que esteve em contato com as areias através de filtros de papel, recolhendo em um tubo Nessler.

Simultaneamente ao processo anterior, realizou-se 3 cm<sup>3</sup> de solução de ácido tânico (C<sub>76</sub>H<sub>52</sub>O<sub>46</sub>) a 2% (10 cm<sup>3</sup> de álcool, 90 cm<sup>3</sup> de água e 2 g de ácido tânico) na qual foi adicionada à 97 cm<sup>3</sup> da solução de hidróxido de sódio. O conjunto também foi deixado em repouso durante 24 horas em ambiente escuro e logo transferiu-se a solução para outro tubo Nessler.

### 3.2.6 Ensaio de massa específica do cimento

O ensaio de massa específica do cimento foi realizado conforme a norma técnica NBR 16605 (ABNT, 2017). O frasco Le Chatelier foi preenchido com auxílio do funil de haste longa, com o reagente, até o nível compreendido entre as marcas correspondentes a 0 e 1 cm<sup>3</sup>. Em seguida foi secado o interior do frasco acima do nível do líquido, colocou-se o frasco no banho de água em temperatura ambiente na posição vertical durante 30 minutos e registrou-se a primeira leitura (V1). Tomou-se uma massa de material em ensaio que provocasse o deslocamento do reagente no intervalo compreendido entre as marcas de 18 cm<sup>3</sup> e 24 cm<sup>3</sup>, da escala do frasco de Le Chatelier. A massa necessária de cimento foi de aproximadamente 60g. Tampou-se o frasco e inseriu novamente no banho na posição vertical durante 30 minutos. Registrou-se a leitura final (V2). Utilizando as Equações 5 e 6, foi calculado a massa específica do cimento.

$$\rho = \frac{m}{V}$$

Equação 5 – Massa específica do cimento

$$V = V_2 - V_1$$

**Equação 6** – Volume para massa específica do cimento

Onde:

$\rho$  - massa específica do material ensaiado em g/cm<sup>3</sup>;

m - massa do material ensaiado, em gramas;

V - V<sub>2</sub> - V<sub>1</sub>, volume em cm<sup>3</sup>.

### 3.3 Dosagem do concreto e confecção dos corpos de prova

A dosagem dos materiais de concreto foi realizada através do método da ABCP-Associação Brasileira de Cimento Portland / ACI – American Concrete Institute.

As Tabelas 10, 11, 12 e 13 apresentam a quantidade utilizada de materiais constituintes do concreto pela dosagem do estudo para os corpos de concreto de referência, com substituição total do pó de brita a areia grossa, substituição de 50% do pó de brita a areia grossa e substituição do pó de brita lavado a areia grossa. Estas quantidades foram calculadas considerando uma perda de 20%.

**Tabela 10** – Quantidade de material para os corpos de prova referência

Material	Corpos de prova 10x20 cm	Corpos de prova 5x10 cm
Água	2,772 l	0,230 l
Cimento	4,860 Kg	0,410 Kg
Areia média	2,892 Kg	0,240 Kg
Areia grossa	5,136 Kg	0,430 Kg
Brita 0	10,344 Kg	0,864 Kg

**Tabela 11** – Quantidade de material para os corpos de prova com substituição total do pó de brita a areia grossa

Material	Corpos de prova 10x20 cm	Corpos de prova 5x10 cm
Água	2,772 l	0,230 l
Cimento	4,860 Kg	0,410 Kg

Areia média	2,892 Kg	0,240 Kg
Pó de brita	5,136 Kg	0,430 Kg
Brita 0	10,344 Kg	0,864 Kg

**Tabela 12** – Quantidade de material para os corpos de prova a substituição 50% de pó de brita

<b>Material</b>	<b>Corpos de prova 10x20 cm</b>	<b>Corpos de prova 5x10 cm</b>
Água	2,772 l	0,230 l
Cimento	4,860 Kg	0,410 Kg
Areia média	2,892 Kg	0,240 Kg
Areia grossa	2,568 Kg	0,215 Kg
Pó de brita lavado	2,568 Kg	0,215 Kg
Brita 0	10,344 Kg	0,864 Kg

**Tabela 13** – Quantidade de material para os corpos de prova a substituição do pó de brita lavado a areia grossa

<b>Material</b>	<b>Corpos de prova 10x20 cm</b>	<b>Corpos de prova 5x10 cm</b>
Água	2,772 l	0,230 l
Cimento	4,860 Kg	0,410 Kg
Areia média	2,892 Kg	0,240 Kg
Pó de brita lavado	5,136 Kg	0,430 Kg
Brita 0	10,344 Kg	0,864 Kg

A confecção dos corpos de prova adotou-se os padrões da norma técnica NBR 5738 (ABNT, 2016 ) realizou-se 6 corpos de prova para referência (sem substituição do pó de brita), 6 corpos de prova com o pó de brita a substituição total da areia grossa em seu estado inicial , 6 corpos de prova com o pó de brita a substituição de 50% da areia grossa em seu estado inicial, 6 corpos de prova para o pó de brita lavado a substituição da areia grossa. Os corpos de prova possuíam 10 cm de diâmetro e 20

cm de altura conforme especificação da norma.

Seguindo os mesmos princípios da norma, foram dimensionados outros 16 corpos de provas (4 para referência, 4 com substituição total da areia grossa pelo subproduto, 4 para o pó de brita a substituição de 50% da areia grossa, 4 para o pó de brita lavado a substituição total da areia grossa). Estes corpos de prova tiveram suas dimensões reduzidas para 5 cm de diâmetro e 10 cm de altura para adaptação do ensaio de absorção de água do concreto, devido a balança hidrostática do laboratório não suportar a carga dos corpos de provas maiores para realização do ensaio.

De acordo com a norma do ensaio, primeiramente as formas para moldagem do concreto foram lubrificadas com desmoldante e em seguida, preenchidas pelo concreto. Para os corpos de provas maiores, dividiu-se o molde em duas camadas, acrescentou-se o material e golpeou-se 12 vezes por uma haste, repetindo o processo para a camada seguinte. Para os corpos de prova de menores dimensões, o molde foi dividido em quatro camadas e a cada camada golpeado 30 vezes. Os corpos de prova foram armazenados em base plana e sem interferência, a fim de permitir sua uniformidade. Após 24 horas, os corpos de prova foram retirados dos moldes. A Figura 17 apresenta os corpos de prova de referência conforme o processo citado. No entanto, não foi possível realizar a desmoldagem de 1 corpo de prova de referência e 2 corpos de prova a substituição total da areia grossa por pó de brita. Todos estes corpos de prova possuíam dimensões de 5 cm x 10 cm e não foram desmoldados por estarem completamente rígidos nos moldes.



**Figura 17** – Confeção dos corpos de prova de referência

Fonte: Próprio Autor (2021).

Os corpos de provas foram inseridos em um recipiente e cobertos com água para a realização da cura do concreto durante 7 dias (período estabelecido na norma técnica devido a escolha do CP-V).

### 3.3.1 Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone

O teste de consistência foi realizado conforme a NBR 16889 (ABNT, 2020). Primeiramente, obteve-se uma amostra do concreto na qual foi inserida em um molde tronco cônico com a maior base voltada para baixo. Encheu-se um terço do molde com o concreto e utilizando uma barra, deu-se 25 golpes. Este procedimento foi realizado até completar o preenchimento do molde. Em seguida, retirou-se o molde e comparou-se a diferença de altura entre o molde e o concreto fresco conforme a Figura 18.



**Figura 18** – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone (concreto de referência)

Fonte: Próprio Autor (2021).

### 3.3.2 Ensaio de resistência à compressão

O ensaio de resistência foi fundamentado pela norma NBR NM 5739 (ABNT,2018). Primeiramente, os corpos de prova foram inseridos de forma centrada na prensa hidráulica utilizada no ensaio, conforme a Figura 19.



**Figura 19** – Ensaio de resistência à compressão

Fonte: Próprio Autor (2022).

Em seguida, anotou-se a carga da ruptura para cada corpo de prova e pode-se calcular a resistência através da Equação 7:

$$RC = \frac{F}{A}$$

**Equação 7** – Resistência à compressão

Onde:

RC - resistência à compressão em MPa;

F - carga de ruptura em N;

A - área de seção transversal do corpo de prova em mm<sup>2</sup>.

### **3.3.3 Ensaio de absorção de água, índice de vazios e massa específica do concreto**

Para o ensaio de absorção de água teve-se como referência a NBR 9778 (ABNT, 2009) com períodos adaptados devido limitação do tempo. O passo inicial tratou-se de determinar a massa da amostra em temperatura ambiente (massa seca) após secagem em estufa durante 12 horas. Em seguida, imergiu-se os corpos de prova em água em temperatura ambiente durante 12 horas. Após saturação das amostras durante o período mencionado, os corpos de provas foram submetidos a um



recipiente com água em ebulição durante 5 horas. O próximo passo consistiu em retirar as amostras e registrar suas massas imersas em água ( $M_i$ ), utilizando uma balança hidrostática. Logo em seguida houve a secagem com um pano úmido e registrou-se suas massas (massa saturada) novamente. Através da Equação 8, foi possível o cálculo do índice de absorção de água:

$$Abs = \frac{(m_{sat} - m_s)}{m_s} \times 100 (\%)$$

**Equação 8** – Absorção de água

Onde:

$M_{sat}$  - massa saturada em g;

$M_s$  - massa seca em g;

Abs - índice de absorção de água em %.

O índice de vazios e a massa específica das amostras foram obtidos através das Equações 9 e 10, respectivamente:

$$Iv = \frac{(m_{sat} - m_s)}{(m_{sat} - m_i)} \times 100 (\%)$$

**Equação 9** – Índice de vazios

Onde:

$M_{sat}$  - massa saturada em g;

$M_s$  - massa seca em g;

$M_i$  - massa imersa em água após fervura em g;

Iv - índice de vazios em %.

$$\rho_{real} = \frac{m_s}{m_s - m_i}$$

**Equação 10** – Massa específica real do concreto

Onde:

$M_s$  - massa seca em g;

$M_i$  - massa imersa em água após fervura em g;

$P_{real}$  - massa específica do concreto em  $kg/m^3$ .

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 Resultados e discussão do pó de brita

Os resultados apresentados nesta seção tratam-se de uma média para os ensaios realizados em duplicata na caracterização do pó de brita.

#### 4.1.1 Análise granulométrica

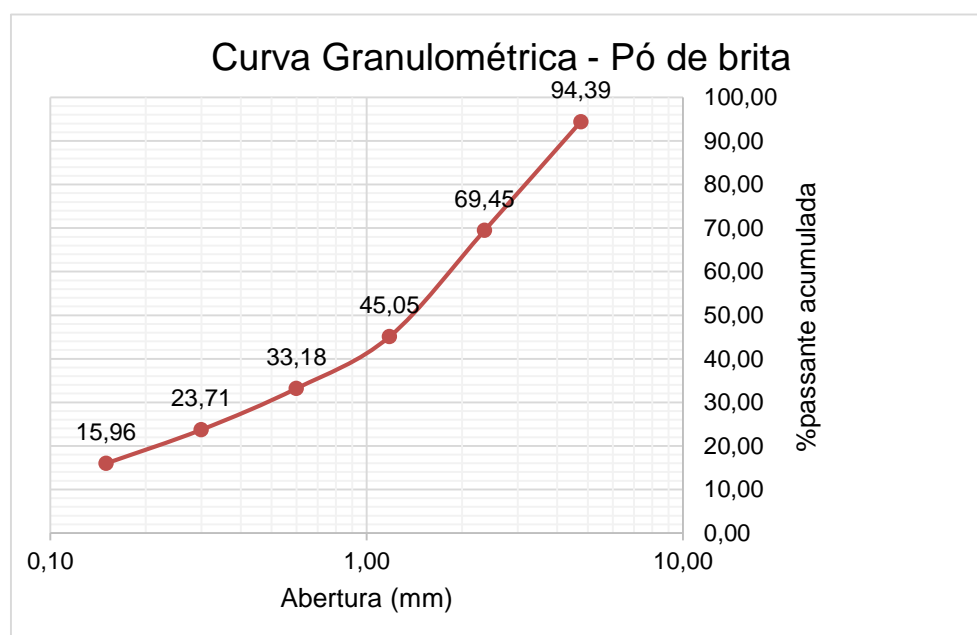
A Tabela 14 apresenta os resultados da distribuição granulométrica do pó de brita. Após análise, a Tabela 15 aborda os resultados de porcentagem retida simples e retida acumulada. A curva granulométrica foi construída conforme os dados obtidos nas Tabelas anteriores e é apresentada na Figura 20.

**Tabela 14** – Massa retida da granulométrica da amostra de pó de brita

<b>Peneira (#)</b>	<b>Abertura (mm)</b>	<b>Massa de sólidos retida (g)</b>
4	4,75	16,82
8	2,36	74,82
16	1,18	73,16
30	0,600	35,61
50	0,300	28,39
100	0,150	23,25
Fundo	-	47,87
<b>Total</b>		<b>299,92</b>

**Tabela 15** – Resultados da distribuição granulométrica da amostra pó de brita

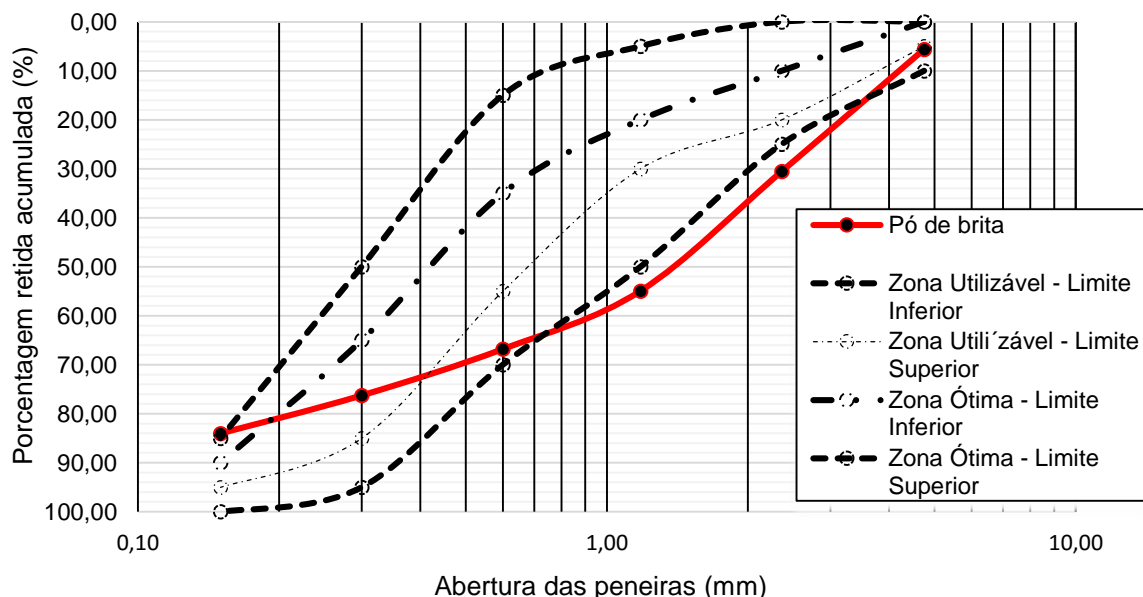
Abertura (mm)	Mesh (#)	Massa retida (g)	% Ret. simples	% Ret. acumulada	% Passante acumulada
4,75	4	16,82	5,61	5,61	94,39
2,36	8	74,82	24,95	30,55	69,45
1,18	16	73,16	24,39	54,95	45,05
0,600	30	35,61	11,87	66,82	33,18
0,300	50	28,39	9,47	76,29	23,71
0,150	100	23,25	7,75	84,04	15,96
Fundo	-	47,87	15,96	100,00	-
<b>Total</b>	-	299,92	100,00	-	-

**Figura 20** – Curva granulométrica do pó de brita

Fonte: Próprio autor (2021).

A perda de material foi de 0,08 g, que corresponde a 0,026% mostrando um ensaio eficiente e coerente com as normas exigidas, sendo o valor de perda de 1%. Com os resultados obtidos nota-se que para o pó de brita têm-se 84,04% de material retido acumulado na peneira de 0,150  $\mu\text{m}$  (100#). Desta forma, o subproduto se enquadra na faixa fina para classificação dos agregados conforme a tabela 4. Como em sua distribuição granulométrica não há porcentagem retida acumulada igual ou

inferior a 5%, considera-se como sua dimensão característica máxima a peneira de série anterior, no caso, 9,5 mm. A Figura 21 apresenta a construção de um gráfico para os limites das zonas pré-estabelecidas pela NBR 7211 (ABNT, 2019).



**Figura 21** – Limites NBR 7211 (ABNT, 2019)

Fonte: Próprio autor (2021).

Conforme o cálculo de módulo de finura, o material apresenta 3,18 para este parâmetro, se adequando para a zona utilizável do limite superior de acordo com a Tabela 4. Entretanto, nota-se pelo gráfico que em determinadas faixas granulométricas o pó de brita possui limites equivalentes ou próximos a zona ótima em seu limite superior.

#### 4.1.2 Teor de material pulverulento

Os resultados do ensaio para determinação do teor de material pulverulento são apresentados na Tabela 16:

**Tabela 16** – Resultados teor de material pulverulento da amostra pó de brita

<b>Massas - Teor de material pulverulento</b>	
Amostra	Massa (g)
A (Massa inicial)	500
B (Massa seca)	463,6

Utilizando a Equação 1 obtém-se um teor de material pulverulento de 7,28% do subproduto. Conforme os limites estabelecidos pela Tabela 6, o material não se enquadra em nenhuma das máximas fornecidas pela NBR 7211 (ABNT, 2009). A fim diminuir o índice deste material, houve uma nova lavagem do pó de brita, como mencionado anteriormente e calculou-se o teor novamente. Os resultados após lavagem estão dispostos na Tabela 17.

**Tabela 17** – Resultados teor de material pulverulento da amostra pó de brita após lavagem

<b>Massas - Teor de material pulverulento</b>	
Amostra	Massa (g)
A (Massa inicial)	500
B (Massa seca)	468,12

Após a lavagem e utilizando a Equação 1 obtém-se um teor de material pulverulento de 6,38% do subproduto. Desta forma, nesta nova condição, o material satisfaz ao limite de 7% estabelecido na NBR 7211 (ABNT, 2009).

#### 4.1.3 Massa específica

Os resultados do ensaio de massa específica para o pó de brita estão dispostos na Tabela 18:

**Tabela 18** – Resultados do ensaio de massa específica para amostra de pó de brita

<b>Itens</b>	<b>Resultados</b>
m (amostra seca)	496,94 g
V (volume do frasco)	500 ml
V <sub>a</sub> (volume de água adicionado)	283,75 cm <sup>3</sup>
m <sub>1</sub> (frasco+agregado)	748,2 g

$m_2$ (frasco + agregado + água)	1031,11 g
$\rho_a$	0,997 g/cm <sup>3</sup>

Tendo como base a Equação 2, a massa específica encontrada para a amostra é de 2,30 g/cm<sup>3</sup>, valor condizente as referências para agregados miúdos (2,4 g/cm<sup>3</sup> para agregados convencionais).

#### 4.1.4 Massa unitária

Os resultados do ensaio de massa específica para o pó de brita estão dispostos na Tabela 19:

**Tabela 19** – Resultados do ensaio de massa unitária para amostra de pó de brita

Itens	Resultados
$m_r$ (recipiente)	0,94 Kg
$m_{ar}$ (recipiente + material)	16,64 Kg
V (volume do recipiente)	10 dm <sup>3</sup>

Levando a Equação 4 como referência, a massa unitária encontrada para o material é de 1,571 g/cm<sup>3</sup>, sendo este um valor concordante para agregados miúdos convencionais (aproximadamente 1,5 g/cm<sup>3</sup>).

#### 4.1.5 Fluorescência de raios X

Conforme mencionado, Siqueira (2018) realizou o ensaio de análise química. Os resultados dos elementos químicos e óxidos contidos no pó de brita estão dispostos nas Tabelas 20 e 21 respectivamente:

**Tabela 20** – Resultados de elementos identificados na amostra de pó de brita

Minerais	Resultados (%)
Si	59,10
K	14,31
Al	12,20
Fe	9,48
Ca	2,32
Outros	2,59

**Tabela 21** – Resultados de óxidos identificados na amostra de pó de brita

Minerais	Resultados (%)
SiO <sub>2</sub>	70,15
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14,93
K <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7,34
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5,02
CaO	1,28
Outros	1,28

Siqueira (2018) classifica o subproduto como um possível granito gnaisse devido seu alto índice de silício (59,10%) que unido ao oxigênio formam a sílica que é o óxido de maior percentual do pó de brita (70,15%).

#### 4.2 Resultados e discussão dos materiais constituintes do concreto

Os resultados apresentados nesta seção tratam-se de uma média para os ensaios realizados em duplicata na caracterização da areia grossa, areia média e brita 0.

##### 4.2.1 Massa unitária

Os resultados para determinação da massa unitária dos materiais constituintes do concreto estão dispostos na Tabela 22.

**Tabela 22** – Resultados do ensaio de massa unitária para constituintes do concreto

Material	m <sub>r</sub> (recipiente)	m <sub>ar</sub> (recipiente + material)	V (volume do recipiente)	Massa unitária (kg/m <sup>3</sup> )
Areia grossa	0,94 Kg	14,73 Kg	10 m <sup>3</sup>	1,379
Areia média	0,94 Kg	15,13 Kg	10 m <sup>3</sup>	1,419
Brita 0	0,94 Kg	16,12 Kg	10 m <sup>3</sup>	1,518

Os resultados encontrados das massas unitárias para os materiais estão de acordo com os valores estabelecidos pela norma de ensaio.



#### 4.2.2 Massa específica

Os resultados do ensaio de massa específica da areia média são apresentados na Tabela 23.

**Tabela 23** – Resultados do ensaio de massa específica para amostra de areia média

Itens	Resultados
m (amostra seca)	498,33 g
V (volume do frasco)	500 ml
V <sub>a</sub> (volume de água adicionado)	284,52 cm <sup>3</sup>
m <sub>1</sub> (frasco+agregado)	752,71 g
m <sub>2</sub> (frasco + agregado + água)	1037,23 g
ρ <sub>a</sub>	0,997 g/cm <sup>3</sup>

A massa específica encontrada para a areia média é de 2,32 g/cm<sup>3</sup>.

Os resultados do ensaio de massa específica da areia grossa são apresentados na Tabela 24.

**Tabela 24** – Resultados do ensaio de massa específica para amostra de areia grossa

Itens	Resultados
m (amostra seca)	499,16 g
V (volume do frasco)	500 ml
V <sub>a</sub> (volume de água adicionado)	297,69 cm <sup>3</sup>
m <sub>1</sub> (frasco+agregado)	726,88 g
m <sub>2</sub> (frasco + agregado + água)	1023,67 g
ρ <sub>a</sub>	0,997 g/cm <sup>3</sup>

A massa específica encontrada para a areia grossa é de 2,47 g/cm<sup>3</sup>.

Ambos os resultados encontrados são condizentes com os valores habituais de massa específica para agregados (2,40 g/cm<sup>3</sup>).

Os resultados do ensaio de massa específica da Brita 0 estão dispostos na Tabela 25.

**Tabela 25** – Resultados do ensaio de massa específica para amostra de brita 0

Itens	Resultados
m (amostra seca)	493,35 g
V (volume do frasco)	500 ml
V <sub>a</sub> (volume de água adicionado)	323,31 cm <sup>3</sup>

$m_1$ (frasco+agregado)	752,29 g
$m_2$ (frasco + agregado + água)	1074,63 g
$\rho_a$	0,997 g/cm <sup>3</sup>

A massa específica encontrada para amostra de Brita 0 é de 2,792 g/cm<sup>3</sup>. Desta forma, se enquadra aos valores de referência para agregados graúdos (aproximadamente 2,6 g/cm<sup>3</sup>).

A massa específica do cimento foi calculada conforme a norma NBR 16605 (ABNT, 2017), o resultado foi de 3,08 g/cm<sup>3</sup>, dentro dos parâmetros esperados.

#### 4.2.3 Análise granulométrica

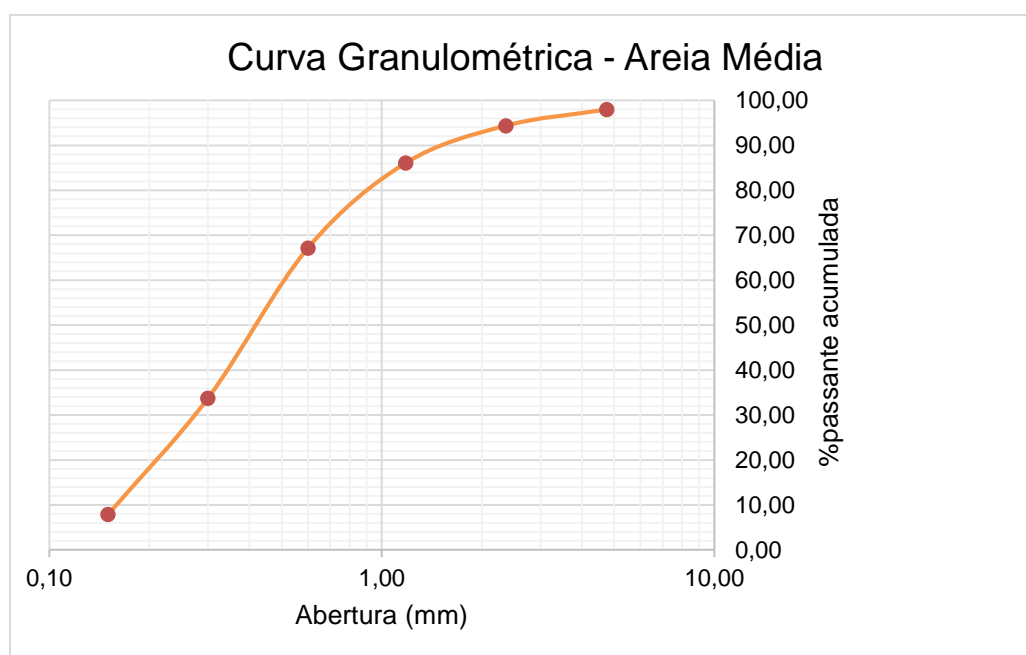
A Tabela 26 apresenta os resultados da distribuição granulométrica da areia média. Com os dados fornecidos, foi possível a construção da Tabela 27 que dispõe os resultados de porcentagem retida simples e retida acumulada. A curva granulométrica foi construída conforme os dados obtidos nas Tabelas anteriores e é apresentada na Figura 22.

**Tabela 26** – Massa retida da distribuição granulométrica da amostra de areia média

Peneira (#)	Abertura (mm)	Massa de sólidos retida (g)
4	4,75	6,17
8	2,36	10,82
16	1,18	24,90
30	0,600	56,68
50	0,300	100,20
100	0,150	77,68
Fundo	-	23,50
<b>Total</b>		<b>299,95 g</b>

**Tabela 27** – Resultados da distribuição granulométrica da areia média

Abertura (mm)	Mesh (#)	Massa retida (g)	% Ret. simples	% Ret. acumulada	% Pass. acumulada
4,75	4	6,17	2,06	2,06	97,94
2,36	8	10,82	3,61	5,66	94,34
1,18	16	24,90	8,30	13,97	86,03
0,600	30	56,68	18,90	32,86	67,14
0,300	50	100,20	33,41	66,27	33,73
0,150	100	77,68	25,90	92,17	7,83
Fundo	-	23,50	7,83	100,00	0
<b>Total</b>	-	299,95 g	100	-	-

**Figura 22** – Curva granulométrica da areia média

Fonte: Próprio autor (2021).

A perda de material foi de 0,05 g, que corresponde a 0,016% estando de acordo com a norma utilizada para o ensaio executado. O módulo de finura encontrado para areia média é de 2,12 e sua dimensão máxima característica corresponde a 2,36 mm. Sendo assim, de acordo com a classificação da Tabela 5, a areia média se encontra na zona ótima em seu limite inferior.

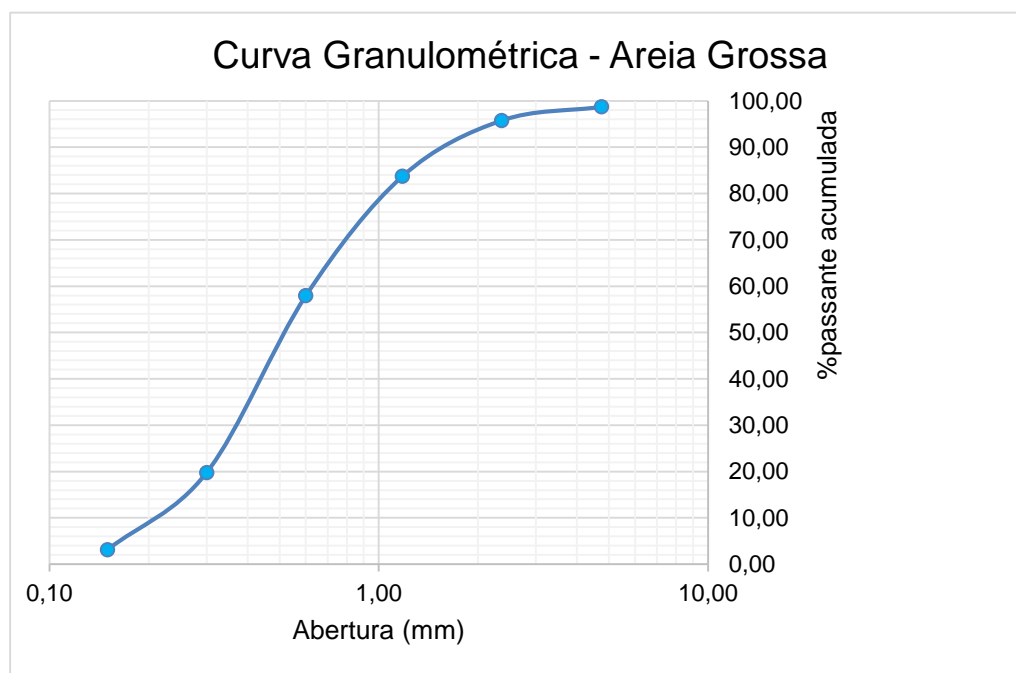
Tem-se também, a distribuição granulométrica e tabela granulométrica da areia grossa, onde os resultados foram dispostos nas Tabelas 28 e 29, respectivamente. E sua curva granulométrica é apresentada na Figura 23.

**Tabela 28** – Massa retida da granulométrica da amostra de areia grossa

<b>Peneira (#)</b>	<b>Abertura (mm)</b>	<b>Massa de sólidos retida (g)</b>
4	4,75	3,71
8	2,36	8,83
16	1,18	36,04
30	0,600	77,36
50	0,300	114,41
100	0,150	49,93
Fundo	-	9,45
<b>Total</b>		<b>299,73 g</b>

**Tabela 29** – Resultados da distribuição granulométrica da areia grossa

<b>Abertura (mm)</b>	<b>Mesh (#)</b>	<b>Massa retida (g)</b>	<b>% Ret. simples</b>	<b>% Ret. acumulada</b>	<b>% Pass. acumulada</b>
4,75	4	3,91	1,30	1,30	98,70
2,36	8	8,83	2,94	4,25	95,75
1,18	16	36,04	12,02	16,26	83,74
0,600	30	77,36	25,79	42,06	57,94
0,300	50	114,41	38,15	80,20	19,80
0,150	100	49,93	16,65	96,85	3,15
Fundo	-	9,45	3,15	100,00	-
<b>Total</b>	-	<b>299,73 g</b>	<b>100,00</b>	-	-



**Figura 23** – Curva granulométrica da areia grossa

Fonte: Próprio autor (2021).

A perda de material foi de 0,27 g para a areia grossa, correspondendo a 0,09%, resultado condizente a norma estabelecida no ensaio. O módulo de finura encontrado para areia grossa é de 2,40 e sua dimensão máxima característica é de 2,36 mm, sendo assim a amostra se classifica na zona ótima, conforme apresentado na Tabela 5.

Os resultados obtidos de análise granulométrica para a amostra de brita 0, são apresentados nas Tabelas 30 e 31.

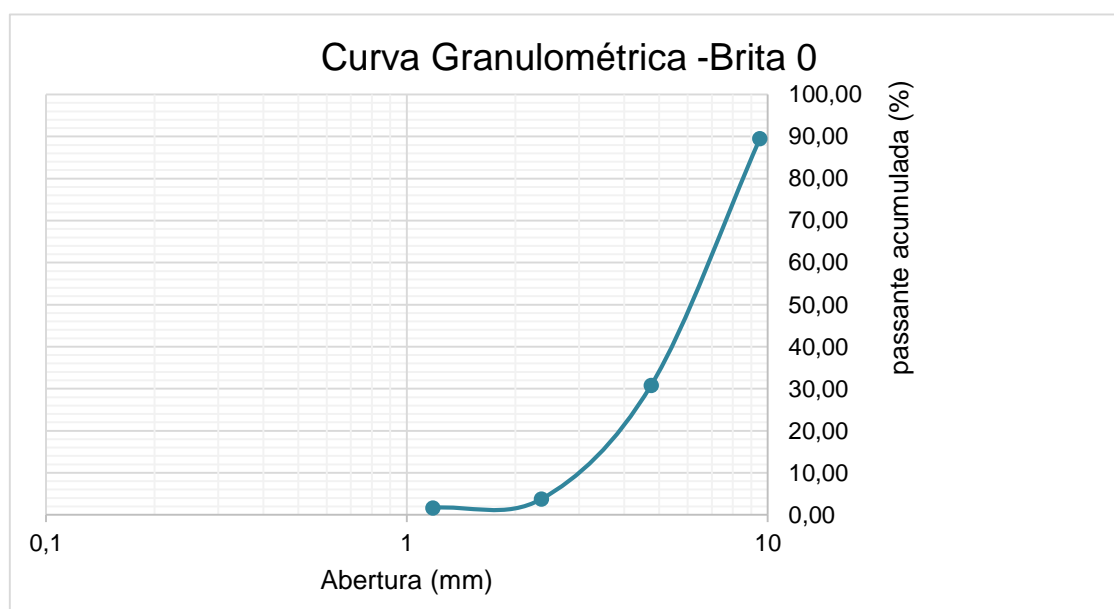
**Tabela 30** – Massa retida da distribuição granulométrica da amostra de brita 0

Peneira (#)	Abertura (mm)	Massa de sólidos retida (g)
9,5	3/8"	105,38
4,75	4	586,24
2,36	8	270,64
1,18	16	21,17
Fundo	-	16,27
<b>Total</b>		<b>999,70</b>

**Tabela 31** – Resultados da distribuição granulométrica da brita 0

Abertura (mm)	Mesh (#)	Massa retida (g)	% Ret. simples	% Ret. acumulada	% Pass. acumulada
9,5	3/8"	105,38	10,54	10,54	89,46
4,75	4	586,24	58,64	69,18	30,82
2,36	8	270,64	27,07	96,25	3,75
1,18	16	21,17	2,12	98,37	1,63
Fundo	-	16,27	1,63	100,00	0,00
<b>Total</b>	-	999,70	0,00	-	-

A perda de brita 0 do ensaio foi de 0,30 g na qual representa 0,03%, estando dentro dos limites estabelecidos pela norma. O módulo de finura encontrado para o material é de 2,74 e sua dimensão máxima característica 9,5 mm. Com os resultados obtidos, tornou-se possível a realização da curva granulométrica apresentada na Figura 24:

**Figura 24** – Curva granulométrica da brita 0

Fonte: Próprio autor (2021).

#### 4.2.4 Teor de material pulverulento

As Tabelas 32 e 33 apresentam os resultados do teor de material pulverulento para as amostras de areia média e areia grossa, respectivamente.

**Tabela 32** – Resultados da distribuição granulométrica da amostra de areia média

<b>Massas - Teor de material pulverulento</b>	
Amostra	Massa (g)
A (Massa inicial)	100 g
B (Massa seca)	97,9 g

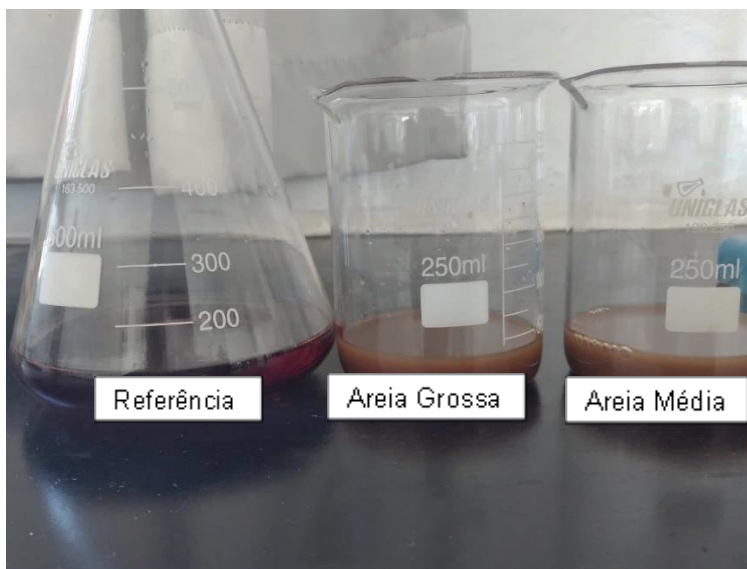
**Tabela 33** – Resultados da distribuição granulométrica da amostra de areia grossa

<b>Massas - Teor de material pulverulento</b>	
Amostra	Massa (g)
A (Massa inicial)	500 g
B (Massa seca)	496,64 g

O teor de material pulverulento para a areia média foi de 2,1%, enquanto para areia grossa obteve-se 0,67%. Ambos materiais se adequam aos limites estabelecidos para agregados miúdos, conforme a NBR 7211 (2009).

#### 4.2.5 Teor de matéria orgânica

A Figura 25 apresenta a tonalidade adquirida após filtragem da areia grossa e areia média juntamente com a solução de referência.



**Figura 25** – Tonalidade após filtragem

Fonte: Próprio autor (2021).

Através da Figura 25, nota-se que as amostras de areia grossa e areia média possuem uma tonalidade mais clara que a solução de referência, indicando um baixo teor de matéria orgânica.

### 4.3 Resultados do concreto

Os resultados apresentados nesta seção tratam-se dos ensaios realizados para os corpos de prova de concreto em determinadas condições.

#### 4.3.1 Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone

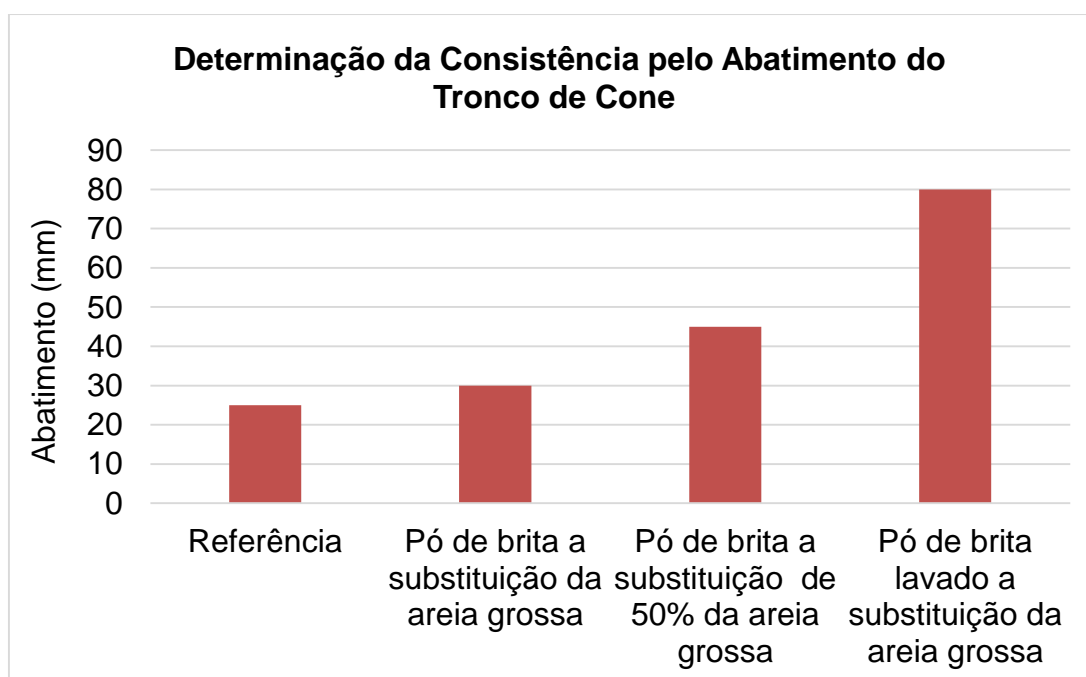
Os resultados encontrados de abatimento do concreto são apresentados na Tabela 34.

**Tabela 34** – Resultados do abatimento para os concretos em estudo

<b>Tipo de concreto</b>	<b>Abatimento (mm)</b>
Referência	25 mm
Pó de brita a substituição total da areia grossa	30 mm
Pó de brita a substituição de 50% da areia grossa	45 mm
Pó de brita lavado a substituição da areia grossa	80 mm



Observa-se pelos resultados, que o pó de brita aumentou o abatimento do concreto de referência, passando o abatimento de 25 mm para 30 mm para o concreto de pó de brita a substituição total da areia grossa, 45 mm para o concreto com o pó de brita a substituição de 50% da areia grossa e 80 mm para o concreto com pó de brita lavado a substituição total da areia grossa. Sendo assim, nota-se o aumento da consistência e trabalhabilidade do concreto quando utilizado o subproduto. A Figura 26 apresenta um gráfico para análise do grau de abatimento, no ensaio da determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone nas diferentes condições:



**Figura 26** – Gráfico de absorção de água (%)

Fonte: Próprio autor (2022).

Desta forma, de acordo com a NBR 8953 (ABNT, 2015), o concreto de referência apresenta uma trabalhabilidade muito baixa e se enquadra na classe S10, podendo ser aplicado em concreto extrusado, vibroprensado ou centrifugado. Os concretos com pó de brita a substituição total da areia grossa e a substituição de 50%, apresentam respectivamente uma baixa e média trabalhabilidade, e também se encontram na classe S10, possuindo as mesmas aplicações do concreto de referência citadas anteriormente. Somente o concreto com pó de brita lavado a substituição da areia grossa, se adequa a uma média trabalhabilidade e se encontra na classe S50,

podendo ser utilizado em alguns tipos de pavimentação e fundação. Para melhoria da trabalhabilidade, sugere-se o uso de superplastificante a fim de aumentar o nível de abatimento.

#### 4.3.2 Absorção de água, índice de vazios e massa específica do concreto

A Tabela 35 indica as massas encontradas para o ensaio de absorção de água para os corpos de prova de referência.

**Tabela 35** – Massas encontradas para ensaio de absorção de água para concreto referência

Pó de brita	Massa saturada (g)	Massa seca (g)	Massa em imersão (g)	Absorção (%)	Índice de vazios (%)	Massa Esp. real (g/cm <sup>3</sup> )
CP1	475,31	445,41	269,63	6,7	14,54	2,53
CP2	471,48	442,19	268,25	6,6	14,41	2,54
CP3	476,32	446,52	270,51	6,7	14,48	2,54
<b>Média</b>		-		6,7	14,48	2,54

Os resultados encontrados das massas para o concreto com o pó de brita em seu estado inicial a substituição total da areia grossa estão dispostos na Tabela 36.

**Tabela 36** – Massas encontradas para ensaio de absorção de água para concreto com pó de brita em seu estado inicial a substituição total da areia grossa

Pó de brita	Massa saturada (g)	Massa seca (g)	Massa em imersão (g)	Absorção (%)	Índice de vazios (%)	Massa Esp. real (g/cm <sup>3</sup> )
CP1	469,89	441,75	267,32	6,4	13,89	2,53
CP2	461,29	429,87	261,57	7,3	15,73	2,55
<b>Média</b>		-		6,8	14,81	2,54

Os resultados encontrados das massas obtidas para o concreto com pó de brita a 50% de substituição a areia grossa estão dispostos na Tabela 37.

**Tabela 37** – Massas encontradas para ensaio de absorção de água para concreto com pó de brita a 50% de substituição a areia grossa

Pó de brita	Massa saturada (g)	Massa seca (g)	Massa em imersão (g)	Absorção (%)	Índice de vazios (%)	Massa Esp. real (g/cm <sup>3</sup> )
CP1	476,02	447,55	272,02	6,4	13,96	2,55
CP2	469,05	439,7	264,08	6,7	14,32	2,50
CP3	464,36	435,13	260,94	6,7	14,37	2,50
CP4	470,63	440,86	265,62	6,8	14,52	2,516
<b>Média</b>		-		6,6	14,29	2,52

As massas encontradas para os corpos de concreto com pó de brita lavado se encontram na Tabela 38.

**Tabela 38** – Massas encontradas para ensaio de absorção de água para os concretos com pó de brita lavado a substituição da areia grossa

Pó de brita	Massa saturada (g)	Massa seca (g)	Massa em imersão (g)	Absorção (%)	Índice de vazios (%)	Massa Esp. real (g/cm <sup>3</sup> )
CP1	476,85	446,23	273,75	6,9	15,08	2,59
CP2	472,3	441,35	270,58	7,0	15,34	2,58
CP3	473,97	443,87	271,2	6,8	14,84	2,57
CP4	474,64	444,04	272,8	6,9	15,16	2,59
<b>Média</b>		-		6,9	15,11	2,58

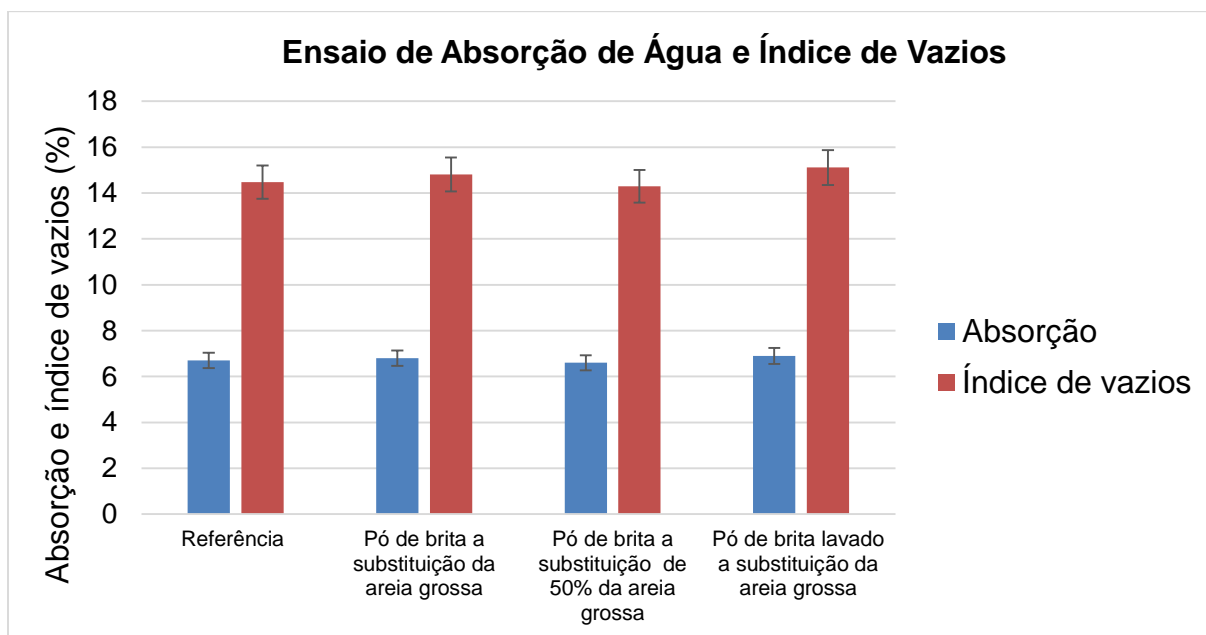
Utilizando a Equação 8, os índices de absorção encontrados foram de 6,7%, 6,8%, 6,6% e 6,9% para os corpos de prova referência, a substituição total pó de brita em seu inicial, a substituição de 50 % e para o pó de brita lavado, respectivamente. A norma técnica NBR 6136 ( ABNT, 2006) estabelece um limite médio de 10% para o índice de absorção de água. Portanto, o material de estudo está de acordo com os padrões necessários para utilização.

O índice de vazios foi calculado conforme a equação 9 e seus resultados foram de 14,48 % para o concreto referência, 14,81% para o concreto a substituição total da areia grossa pelo pó de brita, 14,29% para o concreto a substituição de 50% da areia grossa pelo subproduto e 15,11% na condição do pó de brita lavado.

A massa específica real do concreto foi calculada de acordo com a equação 10 e obteve-se 2,54 g/cm<sup>3</sup> para o concreto referência e para o concreto a substituição

total da areia grossa pelo pó de brita,  $2,52 \text{ g/cm}^3$  para o concreto a substituição de 50% da areia grossa pelo subproduto e  $2,58 \text{ g/cm}^3$  para o pó de brita lavado. Desta forma, os resultados se apresentam coerentes para este parâmetro.

A Figura 27 apresenta um gráfico para comparação dos valores de absorção e índice de vazio nas diferentes condições.



**Figura 27** – Gráfico de absorção de água e índice de vazios (%)

Fonte: Próprio autor (2022).

Com os resultados obtidos, é possível verificar que o pó de brita se adequa aos limites estabelecidos para o índice de absorção, índice de vazios e massa específica para todas as condições de estudo do concreto. Sendo assim, se mostra um produto viável para substituição da areia grossa para estes quesitos.

#### 4.3.3 Resistência à compressão

Os resultados encontrados para a resistência à compressão dos testes realizados estão dispostos na Tabela 39, 40, 41 e 42. Utilizando a Equação 7 têm-se a resistência à compressão dos concretos de estudo.

**Tabela 39** – Resultados de resistência à compressão para os concretos de referência

Referência	Carga de ruptura (KN)	Área (mm <sup>2</sup> )	Resistência à compressão (MPa)	Desvio padrão (%)
CP1	191,43	7853,98	24	54,93
CP2	161,63	7853,98	21	24,88
CP3	140,9	7853,98	18	8,9
CP4	124,08	7853,98	16	4,13
CP5	123,30	7853,98	16	4,73
CP6	-	7853,98	0	0,00
<b>Resistência Média</b>			16	
<b>DRM</b>				6%

OBS: Os corpos de provas CP1, CP2 e CP6 não foram considerados para cálculo de resistência média devido a discordância do desvio padrão obtido. (NBR 7215, ABNT, 2019).

**Tabela 40** – Resultados de resistência à compressão para os concretos com pó de brita em seu estado inicial a substituição a 50% da areia grossa

Referência	Carga de ruptura (KN)	Área (mm <sup>2</sup> )	Resistência à compressão (MPa)	Desvio padrão (%)
CP1	143,13	7853,98	18	27,54
CP2	202,35	7853,98	26	2,44
CP3	195,46	7853,98	25	1,05
CP4	173,15	7853,98	22	12,34
CP5	194,78	7853,98	25	1,39
CP6	224,11	7853,98	29	13,46
<b>Resistência Média</b>			25	
<b>DRM</b>				6%

OBS: O corpo de prova CP1 não foi considerado para cálculo resistência média e desvio padrão devido a discordância do desvio padrão obtido. (NBR 7215, ABNT, 2019).

**Tabela 41** – Resultados de resistência à compressão para os concretos com pó de brita em seu estado inicial a substituição total da areia grossa

Referência	Carga de ruptura (KN)	Área (mm <sup>2</sup> )	Resistência à compressão (MPa)	Desvio padrão (%)
CP1	198,54	7853,98	25	1,5
CP2	195,12	7853,98	25	0,2
CP3	186,52	7853,98	24	4,6
CP4	213,4	7853,98	27	9,1
CP5	201,11	7853,98	26	2,8
CP6	196,72	7853,98	25	0,6
<b>Resistência Média</b>			25	
<b>DRM</b>				6%

OBS: O corpo de prova CP4 não foi considerado para cálculo resistência média devido a discordância do valor obtido. (NBR 7215, ABNT, 2019).

**Tabela 42** – Resultados de resistência à compressão para os concretos com pó de brita lavado a substituição da areia grossa

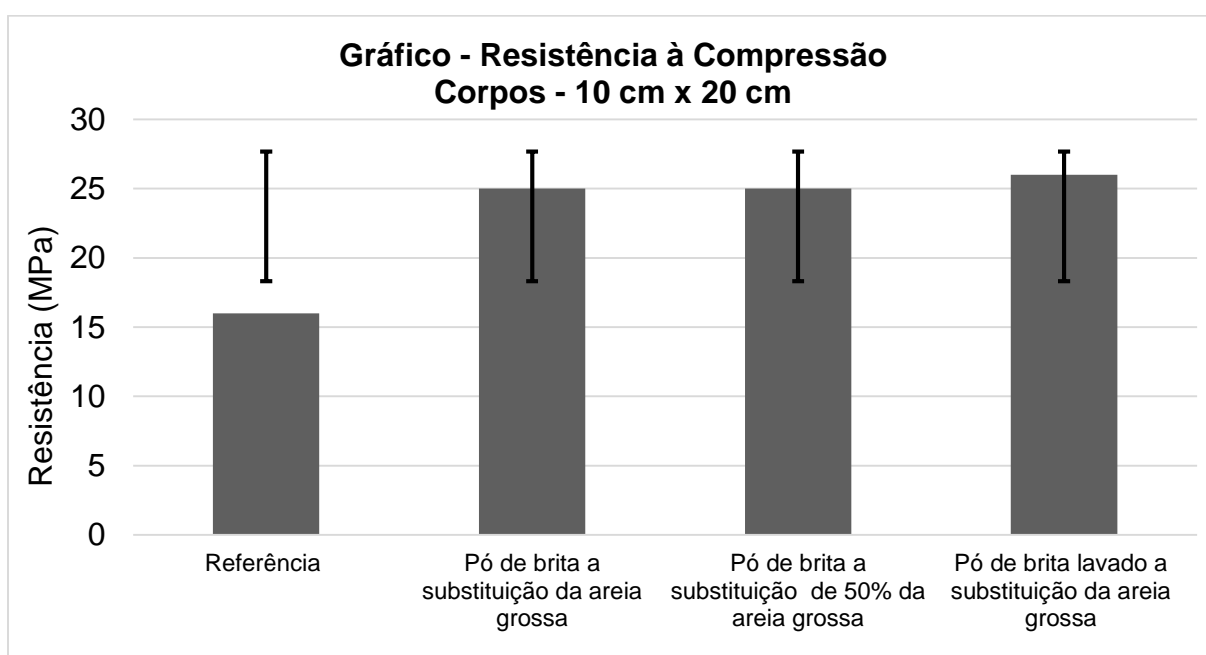
Referência	Carga de ruptura (KN)	Área (mm <sup>2</sup> )	Resistência à compressão (MPa)	Desvio padrão (%)
CP1	198,59	7853,98	25	1,34
CP2	204,79	7853,98	26	1,74
CP3	194,94	7853,98	25	3,15
CP4	177,77	7853,98	23	11,68
CP5	184,9	7853,98	24	8,14
CP6	206,83	7853,98	26	2,75
<b>Resistência Média</b>			26	
<b>DRM</b>				6%

OBS: Os corpos de provas CP4 e CP5 não foram considerados para cálculo de resistência média devido a discordância do desvio padrão obtido. (NBR 7215, ABNT, 2019).

De acordo com norma técnica NBR 7215 (ABNT, 2019), calculou-se o DRM (desvio relativo máximo) da série de quatro corpos de prova e quando o desvio relativo máximo foi superior a 6 %, calculou-se uma nova média, desconsiderando o valor que

mais se afastou da média. Caso o DRM calculado com os três resultados fosse menor que 6 % os resultados deveriam ser apresentados, conforme foi realizado nas observações das tabelas. Levando em questão tais considerações, todos os corpos de prova para as diferentes condições do concreto se adequaram ao limite de 6% estabelecido na norma.

A Figura 28 apresenta um gráfico de resistência à compressão para comparação das diferentes condições do concreto utilizadas nos corpos de prova de dimensões 10 cm x 20 cm.



**Figura 28** – Resistência à compressão corpos 10 cm x 20 cm

Fonte: Próprio autor (2022).

Analisando os resultados obtidos, nota-se que em todos os concretos em diferentes condições de substituição a pó de brita, atingiram a resistência de estudo (25 MPa), sendo a resistência média encontrada de 25 MPa para o concreto com pó de brita a substituição total da areia grossa e a substituição de 50%. O concreto com o pó de brita lavado a substituição da areia grossa atingiu um desempenho ainda superior, sendo sua resistência média de 26 Mpa. Desta forma, possivelmente a eliminação do material pulverulento acarretou este aumento de resistência.

O concreto de referência atingiu um desempenho inferior, com uma resistência média de 16 MPa. Com exceção do concreto de referência, todos os concretos de

estudo se enquadram na classe C25, aos 7 dias de cura. Sendo assim, o subproduto mostrou-se capaz de ser um bom agregado alternativo para a areia grossa, em relação ao parâmetro de resistência à compressão.



## 5. CONCLUSÃO

Com a caracterização realizada do pó de brita concluiu-se que, o subproduto atende parcialmente os requisitos exigidos para os agregados miúdos utilizados em concreto. Dos requisitos apresentados, o material se adequa aos valores de massa específica ( $2,3 \text{ g/cm}^3$ ), massa unitária ( $1,571 \text{ kg/m}^3$ ). O módulo de finura encontrado para o material foi de 3,18, sendo adequado a zona utilizável em limite superior. No entanto, o teor de material pulverulento encontrado para o subproduto ultrapassou o limite de 7% estabelecido pela norma técnica NBR 7211 (ABNT, 2009), já que o teor encontrado para o pó de brita foi de 7,28%. Após a lavagem do material, para diminuir a quantidade de material pulverulento, obtém-se um teor de 6,38%, coerente ao limite estabelecido na norma.

A rocha da qual se origina o pó de brita foi classificada como um possível granito gnaisse devido seu alto índice de silício (59,10%), que unido ao oxigênio formam a sílica que é o óxido de maior percentual do material (70,15%), resultado obtido no ensaio de fluorescência de raios X.

A caracterização dos materiais constituintes do concreto (Areia Grossa, Areia média e Brita 0) atendeu a todos os parâmetros exigidos: massa unitária, massa específica, análise granulométrica, teor de material pulverulento e teor de matéria orgânica.

Foi realizada dosagem de concreto de forma empírica, utilizando fck de 25 MPa aos 28 dias e consistência de 120 mm. Todos os concretos estudados, em diferentes condições, não atingiram a consistência desejada. O pó de brita aumentou o abatimento do concreto de referência, passando o abatimento de 25 mm para 30 mm para o concreto de pó de brita a substituição total da areia grossa, 45 mm para o concreto com o pó de brita a substituição de 50% da areia grossa e 80 mm para o concreto com pó de brita lavado a substituição total da areia grossa. Desta forma, conforme a norma técnica NBR 8953 (ABNT, 2015), o concreto de referência aponta uma trabalhabilidade muito baixa e se associa na classe S10, podendo ser aplicado em concreto extrusado, vibroprensado ou centrifugado. Os concretos com pó de brita a substituição total da areia grossa e a substituição de 50%, apresentam uma baixa e média trabalhabilidade respectivamente, também se adequando a classe S10. Somente o concreto com pó de brita lavado a substituição da areia grossa, se adequa

a uma média trabalhabilidade e se encontra na classe S50, podendo ser utilizado em alguns tipos de pavimentação e fundação.

Em relação a resistência à compressão, todos os concretos para as diferentes condições de substituição de pó de brita atingiram a resistência requerida no estudo (25 MPa), sendo a resistência média encontrada de 25 MPa para o concreto com pó de brita a substituição total da areia grossa e a substituição de 50%. O concreto com o pó de brita lavado a substituição da areia grossa atingiu desempenho ainda superior, sendo esta resistência de 26 Mpa. Desta forma, possivelmente a eliminação do material pulverulento acarretou em uma maior resistência. O concreto de referência não obteve o resultado esperado, apresentando uma resistência média de 16 MPa. Sendo assim, o subproduto se mostrou eficiente para este parâmetro de avaliação.

Os índices de absorção encontrados foram de 6,7%, 6,8%, 6,6% e 6,9% para os corpos de prova referência, a substituição total pó de brita em seu inicial, a substituição de 50 % e para o pó de brita lavado respectivamente, estando de acordo ao limite médio de 10%, estabelecido pela norma técnica NBR 6136 ( ABNT, 2006).

Os índices de vazios obtidos foram de 14,48% para o concreto referência, 14,81% para o concreto a substituição total da areia grossa pelo pó de brita, 14,29% para o concreto a substituição de 50% da areia grossa pelo subproduto e 15,11% na condição do pó de brita lavado, sendo estes valores adequados para utilização.

Para a massa específica real do concreto, encontrou-se 2,54 g/cm<sup>3</sup> para o concreto referência, 2,54 g/cm<sup>3</sup> para o concreto a substituição total da areia grossa pelo pó de brita, 2,52 g/cm<sup>3</sup> para o concreto a substituição de 50% da areia grossa pelo subproduto e 2,58 g/cm<sup>3</sup> para o pó de brita lavado. Desta forma, os resultados se apresentam coerentes para este parâmetro.

Conclui-se, portanto, que o material se mostra eficiente para a substituição do agregado miúdo. Dos parâmetros abordados, o subproduto se mostrou capaz de aumentar a resistência à compressão e coerente aos limites de absorção, índice de vazios e massa específica do concreto. No entanto, não atingiu a consistência de 120 mm. Sendo assim, se necessário uma consistência mais fluida, recomenda-se a utilização do superplastificante como adição a fim de melhorar a trabalhabilidade.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABCP – **Associação Brasileira de Cimento Portland: Guia Básico de Utilização do Cimento Portland**, São Paulo, 1994

ACI – American Concrete Institute: ACI Compilation nº 9 – **Concrete Floor Flatness and Levelness**, Detroit, USA, 1989.

ADES, A. Z.. **A Importância do Controle Tecnológico na Fase Estrutural em Obras de Edificações**. Projeto de Graduação – Universidade Federal do Rio de Janeiro/Escola Politécnica, Rio de Janeiro, 2015.

AGRA FILHO, S. S. **Os conflitos ambientais e os instrumentos da política nacional de meio ambiente**. Desenvolvimento e conflitos ambientais. Belo Horizonte: Editora UFMG, p. 351-359, 2010.

AGUIRRE, A. B.; HENNIES, W. T. Logística para agregados (brita e areia) em grandes centros urbanos. **Revista Escola de Minas**, v. 63, n. 4, p. 639-643, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739**: Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos - Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211**: Agregados para concreto - Especificação. Rio de Janeiro, 2009

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211**: Agregados para concreto - Especificação. Rio de Janeiro, 2019.

ASSOCIAÇÃO DE NORMAS TÉCNICAS- **NBR 9779** - Argamassa e concreto endurecidos Determinação da absorção de água por capilaridade. ABNT, Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6023**: informação e documentação: referências - elaboração. Rio de Janeiro, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **NBR 6024**: informação e documentação: numeração progressiva das seções de um documento escrito – apresentação. Rio de Janeiro, 2012a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **NBR 6027**: informação e documentação: sumário - apresentação. Rio de Janeiro, 2012b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **NBR 6028**: informação e documentação: resumos - apresentação. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **NBR 10520**: informação e documentação: citações em documentos - apresentação. Rio de Janeiro, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **NBR 14724**: informação e documentação: trabalhos acadêmicos - apresentação. 3. ed. Rio de Janeiro, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8953** – Concretos para fins estruturais – classificação por grupos de resistência. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – **NBR 5738**. Moldagem e cura de corpos-de-prova cilíndricos ou prismáticos de concreto. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7251**: Agregado em estado solto - Determinação da massa unitária - Método de ensaio. Rio de Janeiro 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – **NBR NM 248** – Agregados – Determinação da Composição Granulométrica”, Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 49**: Agregado miúdo – Determinação de impurezas orgânicas. Rio de Janeiro, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 45**: Agregados – 473 Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 46**: Agregados – Determinação do material fino que passa através da peneira 75µm, por lavagem. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 52**: Agregado miúdo – Determinação de massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9778**: Argamassa e concreto endurecido – Determinação da absorção de água por imersão – Índice de vazios e massa 491 específica. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6136**: Bloco vazado de concreto simples para alvenaria estrutural - Requisitos. Rio de Janeiro, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **NBR 16889**.. "Ensaio de Abatimento do Concreto (Slump Teste)". Rio de Janeiro, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR-7215** (Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão). 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15900**. Água para amassamento do concreto, 2009

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. - **NBR 16605**. Cimento Portland e outros materiais em pó – Determinação da massa específica. Rio de Janeiro: ABNT, 2017

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16697**: Cimento

Portland-Requisitos. Rio de Janeiro, 2018.

BACCI, D. de L. C., et al. Aspectos e impactos ambientais de pedreira em área urbana. **Revista Escola de Minas**, v. 59, n. 1, p. 47-54, 2006.

BARRETO, M. L. **Mineração e desenvolvimento sustentável: desafios para o Brasil**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, p. 215, 2001.

BAUER, Luiz A. Falcão. **Materiais de Construção**. 5. ed. 5. re. rev. Rio de Janeiro: Ed. LTC, 2001.

BARROS, L. M. **Concreto de alta resistência a partir de matérias-primas amazônicas e vidro reciclado**. Tese de Doutorado apresenta. São Carlos, 2016.

BASILIO, E. Santos. Agregados para concreto ET 41, ABCP 1995.

BRANDÃO, P. R. G. **Notas de aula, disciplina “Agregação e Dispersão”**. Programa de PósGraduação em Engenharia Metalúrgica, Materiais e de Minas da UFMG – (PPGEM), Departamento de Engenharia de Minas, Escola de Engenharia, 2015.

BUCKNER, C., D. **Concrete Design: for the civil PE and structural SE exams**. 2ª edição. Belmont, California: Professional Publications, 2014.

CALAES, G. D.; NETO, B. P. C.; MARGUERON, C.; AMARAL, J. A. G. **Bases para o desenvolvimento sustentável e competitivo da indústria de agregados nas regiões metropolitanas do país – Parte 1**. Revista Escola de Minas, v. 60, n. 4, p. 675-685, 2007.

CARRIJO, Priscila Meireles. **Análise da influência da massa específica de agregados graúdos provenientes de resíduos de construção e demolição no desempenho mecânico do concreto**. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Construção Civil e Urbana) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005. doi:10.11606/D.3.2005.tde-11052006-143829. Acesso em: 2022-01-25.

CINCOTTO, M. A.; HELENE, P. **Aglomerantes hidráulicos**. In: P.K. Metha; Paulo J.M. Monteiro. (Org.). Concreto: estrutura, propriedades e materiais. 1ª ed., São Paulo: Pini, p. 187-238, 1994.

CONAMA - **Conselho Nacional de Meio Ambiente** – Resolução 237/1997.  
Disponível em:  
[https://cetesb.sp.gov.br/licenciamento/documentos/1997\\_Res\\_CONAMA\\_237.pdf](https://cetesb.sp.gov.br/licenciamento/documentos/1997_Res_CONAMA_237.pdf).

Acesso em: 10 de jan. de 2022.

ENGIDASEW, Tesfaye Asresahagne & Barbieri, G. 2014. **Geo-engineering evaluation of Termaber basalt rock mass for crushed stone aggregate and building stone from Central Ethiopia**, University of Cagliari, Journal of African Earth Sciences, 99: 581– 594, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2013.11.020>

FIDELIS, R. J. A. **ESTUDO DA APLICAÇÃO DE REJEITOS DE FOSFATOS COMO MATERIAL POZOLÂNICO**. 67 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Minas, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Araxá, 2018.

FUCHS, A. M. S. **Guia para normalização de publicações técnico-científicas**. Uberlândia: EDUFU, 286 p., 2013.

GOMES, A. C. F. **“Estudo de aproveitamento de rejeito de mineração”**. PPGEM - UFMG, Belo Horizonte, 2017.

GOMES, Márcia Aparecida. **Caracterização mecânica e microestrutural de compósitos de matriz metálica Al/SiCp e Al/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>p obtidos via interação por laminação acumulativa**. 2015. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento, Caracterização e Aplicação de Materiais) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2015.

GOMES, C.B. **Microsonda eletrônica: princípios e aplicações na geologia**. In: Técnicas analíticas instrumentais aplicadas à geologia . São Paulo: Edgard Blücher, 1984, p. 159-208.

GRIGOLI, Ademir Scobin - HELENE, Paulo. **Comportamento das Adições Minerais Inertes em Poros e Zona de Transição em Concretos**. II Encontro Tecnológico de Engenharia Civil e Arquitetura de Maringá - Paraná, 2001.

ISAIA, Geraldo C. A **Evolução do Concreto Estrutural**. In: Concreto: Ciência e Tecnologia. Ed. G . C. ISAIA. 1.ed. v.1. São Paulo, Instituto Brasileiro do Concreto: IBRACON, 2011.

ISKANDAR, J. I. **Normas da ABNT: Comentadas para Trabalhos Científicos**. 7. ed. rev. e atual. Curitiba: Juruá. 106 p., 2019.

LOZANO, F. A. E. **Seleção de Locais para Barragens de Rejeitos Usando O Método De Análise Hierárquica**. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006. 142 p. (Dissertação de mestrado).

LUZ, A. B.; ALMEIDA, S. L. M. **Materiais substitutivos (Alternativos)**. In: Manual de agregados para a construção civil. 2.ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2012. Cap.16. p.303-308.

MARCONI, M. A.; LAKATOS, E. M. **Fundamentos de metodologia científica**. 8. ed. São Paulo: Atlas, 368 p., 2017.

MARCONI, M. A.; LAKATOS, E. M. **Metodologia Científica**. 7. ed. São Paulo: Atlas, 392 p., 2017.

MEHTA, P.K; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: Estrutura, Propriedades e Materiais**. São Paulo, Ed. Pini, p.573, 2014.

MENOSSE, R.T. **Utilização do pó de pedra basáltica em substituição à areia natural do concreto**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade Estadual Paulista (UNESP) – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Ilha Solteira: 2004.

MONTEIRO, Nathalie Barbosa. **Avaliação Ambiental Em Indústrias De Brita**. 2017.



171 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2017.

MURESAN, G. A.; GLIGOR, V. **The mining risks and the landscape impact on the regional**, 2015.

NEVILLE, A. M.; BROOKS J. J. **Tecnologia do concreto**. 2. Ed. Porto Alegre. Bookman, 2013

NUGENT, F.R. **Ensaio com areia artificial – Como melhorar seu concreto**. In: Colóquio sobre “Agregados para concreto”. São Paulo, 1979. Anais São Paulo, IBRACON. p.1-29.

PETRUCCI, E. G. R., **Concreto de cimento Portland**. São Paulo, 1998

PINHEIRO, L. M. **Fundamentos do concreto e projeto de edifícios**, 2007.

POLESELLO, E.; ROHDEN, A. B.; DAL MOLIN, D. C. C.; MASUERO, A. B. **Proposta para Utilização Total dos Resíduos Gerados pelas Usinas Dosadoras de Concreto**. XIII Encontro Nacional do Ambiente Construído – ENTAC. Canela, 2010

PREDOZO, Gilnei D. **Avaliação do uso de agregado miúdo obtido através da Reciclagem De Entulhos em Concreto de Cimento Portland**. 70p. Dissertação (Trabalho de Conclusão de Curso) - Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – Unijuí, Ijuí, 2014.

PAIVA, Ronda, I. C. P. S. B., Oliveira, A. K. M., & Bononi, V. L. R. **Análise da abordagem socioeconômica no contexto do licenciamento ambiental de empreendimentos sucroenergéticos no Estado de Mato Grosso do Sul** (2015).

SAMPAIO, J. A. & ALMEIDA, S. L. M de. **Rochas e Minerais Industriais**. Capítulo 16: Calcário e Dolomito. CETEM, 2008.

SANTA HELENA MINERAÇÃO E EMPREENDIMENTOS IMOBILIÁRIOS LTDA.

Licença de Operação Corretiva – LOC. Parecer único nº 0176984/2017 (SIAM). **SANTA HELENA MINERAÇÃO**. Disponível em: <http://shmineracao.com.br/>. Acesso em: 20 de maio de 2021.

SILVA, A. R. B. **Mineração na escola**. Rio de Janeiro, CETEM/MCTI, p.141, 2015.

SILVA, J. A. L. **Uma discussão sobre desertificação: caso do município de Pedra Lavrada - PB**. TCC - Graduação em Geografia. Universidade Estadual da Paraíba, p. 68, 2010.

SILVA, J. A. P. **A Mineração de Brita na Região Metropolitana do Rio de Janeiro**. [Dissertação] Programa de Pós- Graduação em Engenharia Mineral do Departamento de Engenharia de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, 2005.

SIQUEIRA, L. M. **Avaliação do efeito do aquecimento e choque térmico na fragmentação de partículas minerais**. (Trabalho de conclusão de curso, Graduação, Engenharia de Minas) – Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Araxá. 65 p., 2018.

SUBRAHMANYAN, TV, FOSSBERG, EFS Processamento de partículas finas: floculação por cisalhamento e flotação de carreador - uma revisão. **International Journal of Mineral Processing**, v. 30, p. 265-286, 1990 system of the Apuseni Mountains. **Riscuri și Catastrofe**, v. 16, n. 14, p. 117-130, 2015.

TOURENQ, C.; Dupont, P.; Primel, L. (2000). **Non conventional aggregates**. In: **Aggregates**, Louis Primel, e Claude Tourenq (editors), p.143-153, 2010. [www.ct.ufrgs.br/lasid.html](http://www.ct.ufrgs.br/lasid.html) (setembro de 2010).

VALVERDE, Fernando Mendes. **Agregados Para Construção Civil**. Balanço Mineral Brasileiro, São Paulo, 2001. Disponível em: <https://www.gov.br/anm/pt-br/centrais-de-conteudo/dnpm/publicacoes-economia-mineral/arquivos/agregados-para-contrucao-civil.pdf>. Acesso em: 10 de jan. de 2022.

VASCONCELLOS, Ana Cristina de; FRANÇA, Júnia Lessa. **Manual para**

**normalização de publicações técnico-científicas.** 10. ed. Belo. Horizonte: UFMG, 250 p., 2019.

ZAGO, V. C. P.; **Manual para Elaboração de Trabalho de Conclusão de Curso I e II.** Belo Horizonte: CEFET/MG, 69 p., 2014.

ZHOURI A., “**Justiça Ambiental, Diversidade Cultural e Accountability. Desafios para a governança ambiental**”, *Revista Brasileira de Ciências Sociais*, v. 23, nº 68, p. 97-194, 2012.

WOLFF, A. P. **CARACTERIZAÇÃO DE REJEITOS DE MINÉRIO DE FERRO DE MINAS DA VALE.** 2009. 107 F. DISSERTAÇÃO (MESTRADO EM ENGENHARIA MINERAL) – UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO, OURO PRETO, 2009