



unifaema

CENTRO UNIVERSITÁRIO FAEMA – UNIFAEMA

ANDRÉIA CANTÃO DE OLIVEIRA

RENATA CASSIA ALMEIDA

**ANÁLISE DE DESEMPENHO EM ARGAMASSA DE REVESTIMENTO COM
SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DA AREIA NATURAL POR REJEITO DE MINÉRIO -
CASSITERITA**

**ARIQUEMES - RO
2023**

ANDRÉIA CANTÃO DE OLIVEIRA

RENATA CASSIA ALMEIDA

**ANÁLISE DE DESEMPENHO EM ARGAMASSA DE REVESTIMENTO COM
SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DA AREIA NATURAL POR REJEITO DE MINÉRIO -
CASSITERITA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Civil do Centro Universitário FAEMA – UNIFAEMA como pré-requisito para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil.

Orientador (a): Prof. Ma. Silênia Priscila da Silva Lemes.

FICHA CATALOGRÁFICA
Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

O48a Oliveira, Andréia Cantão de.

Análise de desempenho em argamassa de revestimento com substituição parcial da areia natural por rejeito de minério - cassiterita. / Andréia Cantão de Oliveira, Renata Cassia Almeida. Ariquemes, RO: Centro Universitário Faema – UNIFAEMA, 2023.
75 f.

Orientador: Prof. Ms. Silênia Priscila da Silva Lemes.

Trabalho de Conclusão de Curso – Bacharelado em Engenharia Civil – Centro Universitário Faema – UNIFAEMA, Ariquemes/RO, 2023.

1. Resistência Mecânica. 2. Teste de Resistência. 3. Rejeito de Cassiterita. 4. Material de Construção. I. Título. II. Lemes, Silênia Priscila da Silva.

CDD 620.1

Bibliotecária Responsável
Herta Maria de Açucena do N. Soeiro
CRB 1114/11

ANDRÉIA CANTÃO DE OLIVEIRA

RENATA CASSIA ALMEIDA

**ANÁLISE DE DESEMPENHO EM ARGAMASSA DE REVESTIMENTO COM
SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DA AREIA NATURAL POR REJEITO DE MINÉRIO -
CASSITERITA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Civil do Centro Universitário FAEMA – UNIFAEMA como pré-requisito para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil.

Orientador (a): Prof. Ma. Silênia Priscila da Silva Lemes.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Ma. Silênia Priscila da Silva Lemes
Centro Universitário Faema (UNIFAEMA)

Prof. Me. Felipe Cordeiro de Lima
Centro Universitário Faema (UNIFAEMA)

Prof. Esp. Bruno Dias de Oliveira
Centro Universitário Faema (UNIFAEMA)

**ARIQUEMES – RO
2023**

*Dedicamos este trabalho aos
nossos familiares, que sempre nos
apoiaram e incentivaram a seguir
em frente com nossos objetivos.*

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a Deus em primeiro lugar por nos dar coragem, força e sabedoria para realizarmos este estudo.

Aos nossos pais, Ivanete e Edinaldo / Luiza e Wilson, que são nossos exemplos de vida, cheios de caráter e dignidade.

Aos nossos familiares, Bruno Henrique e Lucas Miguel / Lucas Almeida e Paula Almeida, que sempre nos apoiaram.

Agradecemos a nossa orientadora, Silênia Priscila, pela orientação, amizade e paciência durante este trabalho. À senhora, professora, receba o nosso agradecimento.

Aos técnicos do laboratório que estiveram presentes durante muitos dias de luta e perseverança.

Ao professor Raduan Krause Lopes, que ao final do trabalho nos ajudou muito nas correções e nos incentivou para a apresentação.

Enfim, a todos aqueles que contribuíram direta ou indiretamente para a realização de mais um sonho.

Nascer é uma possibilidade.

Viver é um risco.

Envelhecer é um privilégio!

Mário Quintana

RESUMO

O aumento da população global tem levado a uma contaminação ambiental significativa, tanto devido à emissão de gases tóxicos quanto à produção em grande escala de resíduos, muitas vezes sem uma adequada destinação. Estudos e pesquisas sobre resíduos minerais estão apresentando resultados satisfatórios quando utilizados como materiais alternativos na composição de concreto e argamassa, como, por exemplo, o rejeito de minério (RM), que pode ser empregado na construção civil. Neste contexto, o objetivo deste estudo é analisar o desempenho da utilização do rejeito de minério (cassiterita), como substituto parcial da areia natural em argamassas de revestimento para paredes de blocos de vedação. Para conduzir a pesquisa, foi determinado o índice de consistência, logo em seguida foram produzidas as argamassas de referência e com substituições parciais de RM, para o traço de 1:2:8, com substituições da areia natural de 10%, 15% e 20% por areia de rejeito de minério. Foram realizados ensaios no estado endurecido da argamassa, incluindo resistência à tração na flexão e à compressão nos corpos de prova que foram produzidos e absorção de água nos tijolos cerâmicos de vedação. Por meio dos ensaios realizados nas argamassas de revestimento, apresentaram resultados satisfatórios em relação ao desempenho mecânico, observou-se que, a incorporação de rejeito de minério como substituição de até 15% da areia natural, gerou resultados superiores aos da argamassa tradicional, concluindo-se que a utilização de rejeito de minério (Cassiterita), na confecção de argamassa de revestimento, pode ser viável na indústria da Construção Civil, no entanto é necessário mais estudos para confirmar os resultados.

Palavras-chave: Rejeito de Minério; Argamassa de Revestimento; Resistência Mecânica.

ABSTRACT

The increase in the global population has led to significant environmental contamination, both due to the emission of toxic gases and the large-scale production of waste, often without adequate disposal. Studies and research on mineral waste are showing satisfactory results when used as alternative materials in the composition of concrete and mortar, such as, for example, ore waste (RM), which can be used in civil construction. In this context, the objective of this study is to analyze the performance of using ore waste (cassiterite), as a partial replacement for natural sand in coating mortars for walls of sealing blocks. To conduct the research, the consistency index was determined, then the reference mortars were produced with partial replacements of RM, for the mix of 1:2:8, with replacements of natural sand of 10%, 15% and 20% by ore tailings sand. Tests were carried out in the hardened state of the mortar, including tensile strength in flexion and compression in the specimens that were produced and water absorption in the ceramic sealing blocks. Through tests carried out on the coating mortar, they presented satisfactory results in relation to mechanical performance, it was observed that the incorporation of ore waste as a replacement of up to 15% of natural sand, generated results superior to those of traditional mortar, concluding- It is clear that the use of ore waste (Cassiterite) in the manufacture of coating mortar may be viable in the Civil Construction industry, however further studies are needed to confirm the results.

Keywords: Ore Tailings; Cassiterite; Coating Mortar; Mechanical Resistance.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Área de exploração da mina Bom Futuro.....	20
Figura 2 - Pedra principal de exploração de cassiterita da mina Bom Futuro.	21
Figura 3 - Fluxograma do Procedimento	28
Figura 4 – Tijolo Cerâmico de Vedação	29
Figura 5 - Saco de Cimento.....	31
Figura 6 - Saco de Cal Hidratada	32
Figura 7 - Areia de Rejeito de Minério.....	33
Figura 8 - Peneiras do Ensaio de Granulometria	35
Figura 9 - Ensaio de Massa Específica da areia natural e de rejeito de minério	36
Figura 10 - Amostras das areias úmidas	38
Figura 11 - Materiais separados e a argamassadeira mecânica	40
Figura 12 - Medida da consistência.....	41
Figura 13 - Equipamento utilizado para o adensamento dos corpos de prova.....	42
Figura 14 - Moldagem dos corpos de prova Prismáticos	42
Figura 15 - Corpos de prova com substituição parcial de 0% e 10% por rejeito	43
Figura 16 - Corpos de prova com substituição parcial de 15% e 20% por rejeito	43
Figura 17 - Corpo de prova submetido à tração na flexão	44
Figura 18 - Corpo de prova submetido à compressão	45
Figura 19 - Tijolo revestido.....	46
Figura 20 - Tijolos revestidos	46
Figura 21 - Cachimbo de Vidro.....	47
Figura 22 - Execução do ensaio do teste do cachimbo.....	48
Figura 23 - Tijolo revestido com a argamassa de 20% de rejeito.....	68

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Traço da argamassa de revestimento de tijolos cerâmicos.....	29
Tabela 2 - Composição do Cimento CP II Z 32	30
Tabela 3 - Traço da argamassa de Revestimento.....	40
Tabela 4 - Ensaio de Granulometria da areia natural	49
Tabela 5 - Resultados da areia natural	50
Tabela 6 - Ensaio de Granulometria da areia de Rejeito de Minério	50
Tabela 7 - Resultados da areia de rejeito.....	51
Tabela 8 - Limites da distribuição Granulométrica do agregado miúdo.....	52
Tabela 9 - Ensaio de massa específica da areia natural.....	54
Tabela 10 - Ensaio de massa específica da areia natural.....	54
Tabela 11 - Determinação do teor de umidade da areia natural	55
Tabela 12 - Determinação do teor de umidade da areia de rejeito.....	56
Tabela 13 - Argamassa de revestimento: relação a/c e índice de consistência	56
Tabela 14 - Tijolo Cerâmico de Vedação Nervurado - Argamassa de Referência	62
Tabela 15 - Tijolo Cerâmico de Vedação Nervurado - Argamassa de 10% RM.....	63
Tabela 16 - Tijolo Cerâmico de Vedação Nervurado - Argamassa de 15% RM.....	64
Tabela 17 - Tijolo Cerâmico de Vedação Nervurado - Argamassa de 20% RM.....	65

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Curva Granulométrica da areia natural.....	53
Gráfico 2 - Curva Granulométrica da areia de rejeito	53
Gráfico 3 - Resistência à tração na flexão - 7 à 28 dias.	58
Gráfico 4 - Resistência à tração na flexão - 7 e 28 dias	59
Gráfico 5 - Resistência à compressão - 7 à 28 dias	60
Gráfico 6 - Resistência à compressão - 7 e 28 dias	61
Gráfico 7 - Absorção de água para argamassa de Referência	63
Gráfico 8 - Absorção de água para argamassa de 10% RM	64
Gráfico 9 - Absorção de água para argamassa de 15% RM	65
Gráfico 10 - Absorção de água para a argamassa de 20% RM	66
Gráfico 11 - Absorção de água para argamassa dos tijolos de vedação	67

LISTA DE ABREVIATURAS

ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

AR0 – Argamassa de revestimento referência

AR10 – Argamassa de revestimento com 10% com substituição por rejeito de minério

AR15 – Argamassa de revestimento com 15% com substituição por rejeito de minério

AR20 – Argamassa de revestimento com 20% com substituição por rejeito de minério

ASTM - American Society for Testing and Materials

CH - III – Cal Hidratada tipo 3

CP II Z 32 – Cimento Portland com adição de material Pozolânico, 32 Mpa.

CSTC – Centre Scientifique ET Technique de la Construction

DNPM – Departamento Nacional de Produção Mineral

NBR – Norma Brasileira

PNM – Plano Nacional de Mineração

RM – Rejeito de Minério

SnO₂ – Dióxido de estanho na estrutura rutila

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	17
1.2 OBJETIVOS	18
1.2.1 Geral	18
1.2.2 Específicos	18
2 REVISÃO DE LITERATURA	19
2.1 MINERAÇÃO NO TERRITÓRIO BRASILEIRO	19
2.2 CASSITERITA	20
2.3 REJEITO DE MINÉRIO	22
2.4 CIMENTO PORTLAND	22
2.5 ARGAMASSA	23
2.5.1 Argamassa de Revestimento	24
2.6 CAL HIDRATADA	24
2.7 PROPRIEDADES DA ARGAMASSA DE REVESTIMENTO NO ESTADO ENDURECIDO	25
2.7.1 Resistência Mecânica	25
2.7.2 Permeabilidade	26
3 MATERIAIS E MÉTODOS	27
3.1 PROCEDIMENTOS TÉCNICOS	27
3.1.1 Traço da Argamassa de Revestimento	29
3.2 MATERIAIS	29
3.2.1 Tijolo de Alvenaria de Vedação	29
3.2.2 Cimento Portland	30
3.2.3 Cal Hidratada	31
3.2.4 Água de Amassamento	32
3.2.5 Areia	32
3.2.6 Rejeito de Minério	32
3.3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	33
3.3.1 Ensaios de Caracterização dos Agregados	33
3.3.1.1 Ensaio de Granulometria	33

3.3.1.2 Ensaio de Massa Específica.....	35
3.3.1.3 Ensaio de Teor de Umidade	36
3.3.2 Produção das Argamassas de Revestimento	38
3.3.3 Caracterização das Argamassas no Estado Fresco	40
3.3.3.1 Índice de Consistência.....	41
3.3.4 Caracterização das Argamassas no Estado Endurecido	41
3.3.4.1 Moldagem e Cura dos Corpos de Prova.....	41
3.3.4.2 Resistência à Tração na Flexão e à Compressão	44
3.3.4.3 Ensaio de Resistência à Tração na Flexão	44
3.3.4.4 Ensaio de Resistência à Compressão	45
3.4 EXECUÇÃO DA ARGAMASSA DE REVESTIMENTO NA INTERFACE DOS TIJOLOS	45
3.5 ABSORÇÃO DE ÁGUA PELO MÉTODO DO CACHIMBO	47
4 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS DA PESQUISA.....	49
4.1 RESULTADOS DA CARACTERIZAÇÃO DOS AGREGADOS MIÚDOS.....	49
4.1.1 Resultado do Ensaio de Granulometria da Areia Natural	49
4.1.2 Resultado do Ensaio de Granulometria da Areia de Rejeito de Minério	50
4.1.3 Curva Granulométrica das Areias	51
4.1.4 Resultado do Ensaio de Massa Específica da Areia Natural	54
4.1.5 Resultado do Ensaio de Massa Específica da Areia de Rejeito Minério	54
4.1.6 Resultado do Ensaio de Teor de Umidade da Areia Natural	55
4.1.7 Resultado do Ensaio de Teor de Umidade da Areia de Rejeito Minério	55
4.2 ENSAIOS DA ARGAMASSA NO ESTADO FRESCO.....	56
4.2.1 Índice de Consistência	56
4.3 ENSAIOS DA ARGAMASSA NO ESTADO ENDURECIDO	57
4.3.1 Resistência à Tração na Flexão.....	58
4.3.2 Resistência à Compressão Simples.....	59

4.4 AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DOS REVESTIMENTO ARGAMASSADOS	61
4.4.1 Absorção de Água Pelo Método do Cachimbo	61
4.4.2 Observações do Revestimento nos Tijolos.....	67
5 CONSIDERAÇÕES finais	69
5.1 CONCLUSÕES.....	69
5.1.1 Índice de Consistência da Argamassa de Revestimento	69
5.1.2 Resistência à Tração na Flexão.....	69
5.1.3 Resistência à Compressão	70
5.1.4 Absorção de Água	70
5.2 CONCLUSÃO FINAL	70
5.3 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	71
REFERÊNCIAS.....	72

1 INTRODUÇÃO

Desde o início da história do homem na terra, os seres humanos têm utilizado os recursos minerais para diversos fins: como ferramentas de caça, ferramentas de trabalho, materiais para construção, entre outros. No entanto, embora a contínua exploração de jazidas minerais tenha levado a uma série de problemas socioambientais, foi somente a partir da segunda metade do século XX que esses problemas começaram a atrair a atenção de acadêmicos e governos (VIANA, 2007).

De acordo com Melo e Filho (1996), de todas as atividades extrativistas, o garimpo é provavelmente o que mais contribui com a degradação ambiental. Com a utilização de tecnologia primária, suas consequências mais graves são o desmatamento e a poluição de córregos e rios por mercúrio. Apesar de ser algo preocupante para o meio ambiente, a exploração é importante fonte de renda e talvez a única, para grande parte da população brasileira da região Norte do país.

Pensando nisso, surgiu a ideia de tomar medidas para minimizar a quantidade de resíduos deixados no céu aberto nas áreas de mineração na mina Bom Futuro, que fica localizada nas proximidades da cidade de Ariquemes-RO, existem montanhas de rejeitos que estão impedindo a recuperação natural da área e que, provavelmente, permanecerão ali por um longo período. Esses rejeitos são o resultado da extração ou exploração de minérios e consistem em materiais que, ainda, não possuem valor econômico para a mineração, pois estão localizados antes da obtenção do minério desejado.

A utilização de resíduos de minérios pode representar uma alternativa sustentável, pois esse material pode substituir recursos naturais não renováveis na indústria da construção civil. A maximização do uso desses requisitos na construção pode ser altamente eficaz para diminuir o consumo de matérias-primas e fornecer um destino mais adequado para o volume específico de resíduos gerados pela atividade de mineração.

Porém, de acordo com Reis (2005), pode observar uma crescente tendência de aproveitamento dos rejeitos de mineração por meio de novas tecnologias de beneficiamento ou sua utilização em outras aplicações, então para viabilizar esse

aproveitamento, torna-se fundamental realizar a caracterização desses rejeitos, a fim de avaliar sua real possibilidade de aproveitamento.

Com base nessa consideração, o propósito deste estudo consiste em investigar e avaliar, por meio de análises laboratoriais, a aplicabilidade de rejeitos de mineração (cassiterita) na construção civil, através da determinação de sua previsão técnica.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Geral

Analisar as propriedades mecânicas da argamassa de revestimento, com substituição parcial da areia natural por rejeitos de minério (cassiterita).

1.2.2 Específicos

Para alcançar o objetivo geral, foi necessário seguir os tópicos abaixo:

- Analisar o comportamento da argamassa com substituição parcial por rejeitos de minério no estado fresco;
- Analisar o comportamento da argamassa com substituição parcial por rejeitos de minério no estado endurecido;
- Verificar a permeabilidade e absorção de água pelo Método do Cachimbo para a argamassa de revestimento tradicional e as argamassas com substituições por rejeitos de minério;
- Avaliar visualmente os possíveis defeitos que possam prejudicar o revestimento das peças.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 MINERAÇÃO NO TERRITÓRIO BRASILEIRO

Mineração refere-se a uma atividade econômica e industrial que inclui pesquisa, exploração, extração e processamento de minérios subterrâneos. Esta atividade é um dos principais responsáveis pela atual configuração da sociedade em que vivemos, pois dela derivam diversos produtos e recursos que utilizamos, como computadores, cosméticos, estradas, estruturas metálicas etc. (ANM, 2023).

De acordo com Girodo (2005), as atividades de mineração no Brasil se iniciaram por volta do século XVIII, no mesmo século de seu início já atingiu o ápice de extração que ficou conhecido como Ciclo do Ouro, ganhando sempre impulso para adentrar nos próximos séculos como algo que faz movimentar a economia.

Apesar da mineração ser de extrema importância no desenvolvimento econômico do país, os impactos ambientais que são causados a partir da extração dos minérios é algo negativo para o meio ambiente, deixando sempre uma grande preocupação quanto a destinação dos rejeitos que muitas vezes são incorretas, (NETTO, 2018).

No Brasil, os Estados do Amazonas e Rondônia desempenham um papel fundamental na produção de estanho associado à cassiterita, o que coloca o país como quarto maior produtor mundial desse minério. Em 2015, a produção da classe dos metais representou cerca de 76% de toda a produção mineral brasileira. Nesse contexto, destacaram-se minerais como alumínio, cobre, ferro, manganês, nióbio, níquel e ouro, que foram responsáveis por aproximadamente 98,5% da produção comercializada nessa classe, de acordo com o DNPM (Departamento Nacional de Produção Mineral, 2016).

Segundo o Plano Nacional de Mineração, PNM 2030 (2011), a região da Amazônia é identificada como um território de potencial significativo para a expansão da atividade mineradora no Brasil, situando-se na vanguarda desse setor no país, sendo uma atividade importante para a economia, mas com cerca de 60% do seu território em nível nacional, essa exploração da floresta amazônica é motivo de preocupação, fora os vários conflitos que há pelo uso e ocupação do território, o maior desafio e objetivo é de como transformar a mineração em um meio de desenvolvimento regional para o crescimento da indústria mineral de forma

sustentável, buscando o equilíbrio entre a exploração dos recursos minerais e a preservação ambiental na região Amazônica.

O principal metal explorado em Rondônia é a cassiterita, essa exploração é de muita importância para a economia do Estado e para o município de Ariquemes, já que a região de Ariquemes tem depósitos significativos de cassiterita, que tem sido explorado ao longo dos anos, ajudando assim a elevar a fama do Brasil de maior produtor desse metal desde a época que se iniciou a exploração do mesmo (ZAN et al, 2012).

Ainda de acordo com Zan et al (2012), embora a mineração de cassiterita tenha sido de grande importância e tenha contribuído significativamente para o Estado de Rondônia, a exploração desse minério resultou em um impacto ambiental de enormes proporções. Mais de 800 mil metros cúbicos de resíduos provenientes da exploração foram despejados nos rios próximos, comprometendo-os em um raio de mais de 200 km.

A imagem a seguir é vista por um satélite e mostra o território da mina Bom Futuro:

Figura 1 - Área de exploração da mina Bom Futuro



Fonte: Google Earth 2021, Adaptado.

2.2 CASSITERITA

A cassiterita é um minério cuja fórmula é SnO_2 , essa fórmula indica que este minério é composto por 78,7% de estanho e 21,3% de oxigênio em peso. A cassiterita pertence à classe dos óxidos, (NOGUEIRA, 2016).

De acordo com Máscia (2002), a cassiterita após passar por um processo de beneficiamento, é separada dos outros minerais associados a ela por gravimetria, que utiliza a diferença de densidade entre os minérios. Esse processo não requer o uso de reações químicas, sendo uma forma eficaz de separação. O estanho obtido a partir da cassiterita é muito utilizado na fabricação de diversos produtos, como chapas para automóveis.

A cassiterita também é muito utilizada na fabricação de embalagens alimentícias de alumínio, por conta de suas propriedades. Essa utilização é devido ao fato de que a cassiterita não altera o verdadeiro sabor dos alimentos e protege contra a oxidação, o que é especialmente importante para as indústrias de alimentos. Além disso a cassiterita é utilizada na produção de ligas metálicas, revestimentos e em outros processos industriais (SANTOS, 2018).

Figura 2 - Pedra principal de exploração de cassiterita da mina Bom Futuro.



Fonte: Autoras (2023).

2.3 REJEITO DE MINÉRIO

A atividade de mineração resulta na geração de uma grande quantidade de materiais estéreis, provenientes do processo de extração, bem como de resíduos de processamento, conhecidos como rejeitos. Ao longo de todo o processo produtivo, desde a extração até a destinação final, incluindo o manuseio, armazenamento, coleta, transporte e tratamento de águas residuais e emissão atmosférica, são gerados resíduos sólidos (OLIVEIRA; LANGE, 2005).

De acordo com Silva et al. (2014), os materiais provenientes da mineração, são geralmente dispostos em pilhas de estéreis e bacias de rejeitos. Devido as suas características químicas e granulométricas distintas em relação ao solo original, é necessário buscar formas de destinação desses resíduos, visando reduzir seu impacto no meio ambiente.

2.4 CIMENTO PORTLAND

De acordo com Associação brasileira de cimento Portland (ABCP) (2010), o cimento é um pó fino que possui propriedades aglomerantes, aglutinantes ou ligantes que endurece quando entra em contato com a água. Quando utilizado na forma de concreto/argamassa, ele se transforma em uma pedra artificial capaz de adquirir diferentes formas e volumes, de acordo com as necessidades de cada construção. Devido a essas características, o concreto/argamassa é o segundo material mais consumido pela humanidade, ficando atrás apenas da água.

ABCP (2010), também diz que a trabalhabilidade e moldabilidade do cimento, permitem a criação de argamassas e concretos altamente duráveis e resistentes a cargas e ao fogo. Além disso, o cimento é produzido a partir de matérias-primas disponíveis em abundância em todo o planeta, o que contribui para sua ampla utilização.

O cimento Portland é um aglomerante hidráulico produzido pela moagem de clínquer, que consiste em minerais calcinados, geralmente contendo silicato de cálcio, com adição de sulfato de cálcio. (MEHTA e MONTEIRO, 2018).

O cimento Portland é produzido pela combinação de materiais de origem calcária e argilosa, que são submetidos a altas temperaturas em fornos rotativos. Esse

processo de calcinação resulta na formação de clínquer, que é posteriormente moído para produzir o cimento, (MINDESS et al., 2003).

De acordo com Malhotra (2004), o cimento Portland é o material mais comumente utilizado na construção civil, devido à sua ampla disponibilidade, facilidade de uso e capacidade de desenvolver alta resistência mecânica quando adequadamente curado.

Segundo Giamusso (1992), ao combinar cimento e água, obtém uma pasta que, ao endurecer, agrega os materiais. Inicialmente, a massa encontra-se em estado plástico, permitindo que seja moldado em diversas texturas, formas e finalidades. A massa continua a ganhar resistência logo no início do processo de endurecimento. No entanto, para obter uma massa de qualidade, é necessário adotar diversos cuidados. Isso inclui a seleção adequada dos materiais, a consideração da durabilidade desejada, as formulações da mistura para alcançar a resistência desejada, a homogeneização da mistura, a aplicação correta e o cumprimento dos procedimentos adequados de cura, garantindo a hidratação adequada do cimento.

2.5 ARGAMASSA

Segundo Oliveira (2009), as argamassas são materiais de construção compostos por aglomerantes, agregados minerais e água, desempenhando funções fundamentais no revestimento e assentamento de elementos de construção, tais como blocos de vedação, cerâmicas e blocos estruturais.

De acordo com a norma NBR 13281 (ABNT, 2023), a argamassa é definida como uma mistura homogênea de agregados inorgânicos e água, podendo conter aditivos e adições, com propriedades de aderência e endurecimento. Essa mistura pode ser dosada no local da obra ou ser adquirida pronta (argamassas industrializadas). As argamassas podem ser classificadas de acordo com seu uso, tipo de aglomerante utilizado, elementos ativos presentes e dosagem específica. Na preparação in loco, todos os componentes são misturados no momento de uso, enquanto as argamassas industrializadas são produzidas de forma seca em fábrica, sendo necessário adicionar apenas água no momento da aplicação (OLIVEIRA, 2009).

2.5.1 Argamassa de Revestimento

A argamassa de revestimento é um material composto por aglomerantes, agregados e aditivos, utilizado para revestir superfícies de alvenaria, conferindo proteção e acabamento estático às estruturas (HELENE e TERZIAN, 2016).

De acordo com Cincotto (2010), a argamassa de revestimento é uma mistura de aglomerantes, agregados, aditivos e água, que possui a função de revestir e proteger superfícies de alvenaria. Ela deve apresentar propriedades de aderência, trabalhabilidade e resistência adequadas para garantir um bom desempenho.

A norma NBR 7200 (ABNT, 1998), estabelece os requisitos e procedimentos para a correta execução do revestimento, incluindo preparação da superfície, aplicação da argamassa, espessura e cura. A aplicação da argamassa de revestimento deve seguir as diretrizes estabelecidas pela norma citada.

Conforme a norma NBR 13749 (ABNT, 2013), é estabelecido que a argamassa de revestimento deve exibir uma textura uniforme, livre de imperfeições como cavidades, fissuras, manchas e outros. A especificação de projeto deve contemplar critérios para a aceitação ou rejeição do revestimento, levando em consideração os níveis de tolerância permitidos. Dessa forma, é assegurada a qualidade estética e funcional dos revestimentos, garantindo um acabamento visualmente agradável e duradouro.

2.6 CAL HIDRATADA

De acordo com a norma NBR 7175 (ABNT 2003), a cal hidratada é um pó formado pela hidratação da cal virgem, é composta principalmente por uma mistura de hidróxido de magnésio, podendo também conter óxido de magnésio. Essa composição é obtida durante o processo da cal hidratada.

O uso da cal hidratada nas argamassas mistas de acabamento, trás benefícios quando associados especificamente ao aumento da plasticidade, pôr ter capacidade de retenção de água e seu uso em excesso pode beneficiar a deformabilidade da argamassa endurecida. (RATO, 2006).

2.7 PROPRIEDADES DA ARGAMASSA DE REVESTIMENTO NO ESTADO ENDURECIDO

Abaixo são apresentadas duas propriedades importantes da argamassa de revestimento no seu estado endurecido, que serão analisadas através de testes laboratoriais neste trabalho.

- Resistência Mecânica;
- Permeabilidade.

2.7.1 Resistência Mecânica

A norma NBR 13279 (2005) descreve o procedimento para avaliar a resistência à tração na flexão e a resistência à compressão da argamassa utilizada no assentamento e revestimento de paredes e tetos, quando a mesma já se encontra em seu estado endurecido.

Segundo Barros (1998), o desgaste superficial, a resistência ao impacto e à retração causada pela variação de umidade e temperatura são características do revestimento, estas características são responsáveis por suportar as diversas forças mecânicas. Sua capacidade aumenta à medida que a proporção de agregado na argamassa diminui, sendo inversamente proporcional à relação água / cimento e ao tipo de proporção de cimento / cal nas argamassas com dois ligantes.

A resistência mecânica refere-se à capacidade dos revestimentos de terem uma estrutura interna consolidada que pode suportar diferentes tipos de esforços mecânicos. Estes esforços normalmente se manifestam através de tensões simultâneas de tração, compressão e cisalhamento (SELMO, 1989).

A resistência mecânica das argamassas não é uma propriedade fundamental como no caso do concreto, mas ainda assim deve ser levada em consideração. Isso se deve ao fato simples de que ela influencia diretamente na elasticidade do revestimento e, conseqüentemente, na sua durabilidade (ARAÚJO, 2001).

2.7.2 Permeabilidade

De acordo com Araújo (2001), a permeabilidade refere-se à capacidade do material de permitir que a água percorra através de seus espaços vazios, uma característica que exerce uma grande influência nas condições de habitabilidade de uma edificação.

A permeabilidade se manifesta predominantemente na área de transição entre a matriz de massa e o agregado. É reconhecido que essa zona de transição é frágil e suscetível à formação de fissuras devido a variações nos esforços, provocados por características como retração de ruptura, contração térmica e cargas externas aplicadas (MEHTA e MONTEIRO, 2018).

Para avaliar a estanqueidade das argamassas de paredes, estão disponíveis métodos rápidos de campo, como o Método de Permeabilidade "In situ" do IPT (IPT, 1981, b) e o Método do cachimbo - CSTC, 1982 (ARAÚJO, 2001).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 PROCEDIMENTOS TÉCNICOS

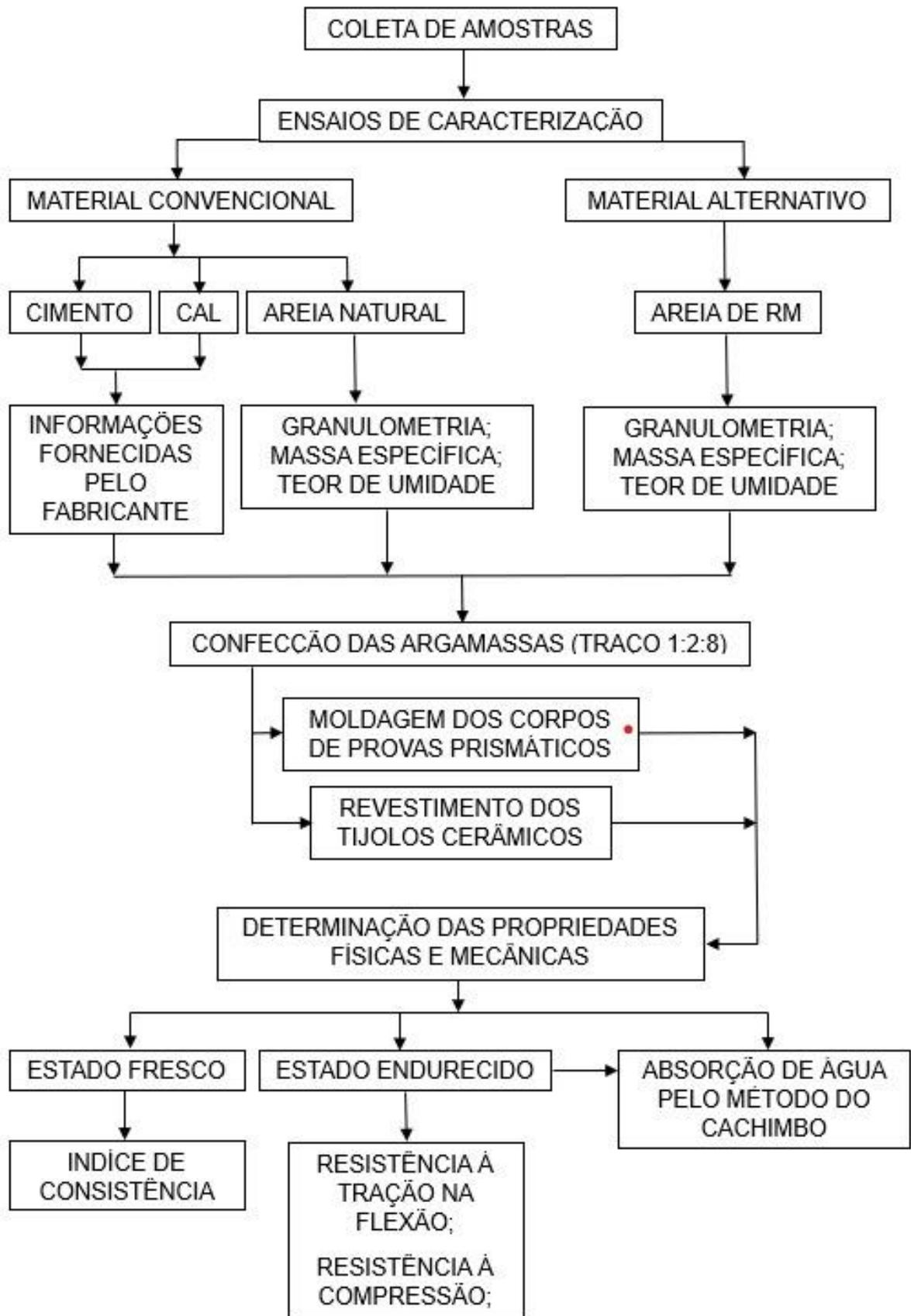
A partir dos objetivos estabelecidos, foi elaborado o programa experimental do trabalho onde, estão descritos os materiais, os equipamentos e os métodos experimentais empregados para o desenvolvimento da pesquisa. O estudo experimental foi realizado no Laboratório de Mecânica dos Solos do Centro Universitário FAEMA (UNIFAEMA).

Quanto ao procedimento do experimento, este foi dividido em sete etapas de trabalho:

1. Determinação dos materiais, (03/04/2023);
2. Caracterização dos materiais, (27/04/2023);
3. Produção da argamassa de revestimento, (03/08/2023) – (08/08/2023);
4. Confeção dos corpos de prova prismáticos de argamassa para revestimento, (03/08/2023) – (08/08/2023);
5. Avaliação das propriedades da argamassa de revestimento, no estado fresco, (03/08/2023) – (08/08/2023);
6. Avaliação das propriedades da argamassa de revestimento, no estado endurecido, (09/08/2023) à (04/09/2023);
7. Avaliação das propriedades físicas das argamassas de revestimento, aplicadas como revestimento, (31/08/2023) – (05/09/2023).

Abaixo, na Figura 3, segue um fluxograma para facilitar a visualização da execução experimental, mostrando esquematicamente todas as etapas que serão executadas para a realização deste trabalho.

Figura 3 - Fluxograma do Procedimento



Fonte: Autoras (2023).

3.1.1 Traço da Argamassa de Revestimento

O traço da argamassa de revestimento escolhido foi, 1:2:8 (cimento: cal: areia), de acordo com uma tabela de misturas da empresa FAZFÁCIL, de utilizações mais comuns na construção civil, abaixo segue a Tabela 1 com o traço de argamassa de revestimento.

Tabela 1 - Traço da argamassa de revestimento de tijolos cerâmicos.

Paredes de tijolos cerâmicos de 6 ou 8 furos	1 lata de cimento 2 latas de cal 8 latas de areia	16 metros quadrados	Os tijolos devem estar secos quando forem assentados. Assente as 3 primeiras fiadas com a argamassa de impermeabilização de revestimento.
--	---	---------------------	---

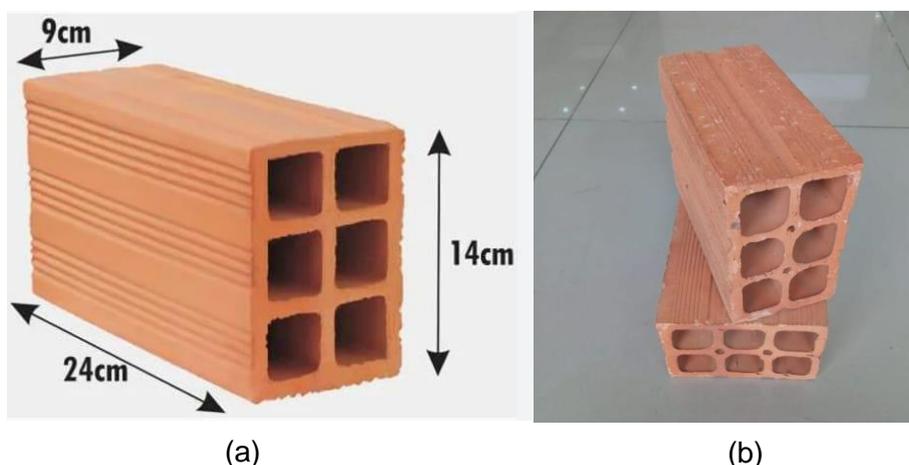
Fonte: FAZFÁCIL, Traço de argamassas: Tabela de misturas e aplicação

3.2 MATERIAIS

3.2.1 Tijolo de Alvenaria de Vedação

Utilizou-se tijolo cerâmico de vedação de acordo com a Figura 4, para a confecção dos revestimentos nos tijolos com as argamassas que foram produzidas, nota-se na Figura 4 (a) as dimensões do tijolo escolhido e na Figura 4 (b) o tijolo que foi utilizado no trabalho. Os tijolos do presente trabalho, foram adquiridos na empresa Pimacol Madeiras e Materiais de Construção, na cidade de Ariquemes-RO.

Figura 4 – Tijolo Cerâmico de Vedação



Fonte: (a) Santa Helena Unidade / (b) Autoras (2023).

3.2.2 Cimento Portland

Foi utilizado o cimento Portland CP II Z 32 que contém adição de material pozolânico que varia de 6% a 14% em massa, este tipo de cimento pode ser utilizado da fundação ao acabamento da obra. A escolha do cimento foi por ser recomendado para qualquer obra recorrente de engenharia civil e por ser o que está disponível nas lojas de materiais de construção na cidade de Ariquemes-RO, sendo assim o mais utilizado nas obras da cidade. Segue abaixo a Tabela 2 com a composição do cimento escolhido:

Tabela 2 - Composição do Cimento CP II Z 32

DADOS DA NORMA		NBR
	Finura	
Resíduo na peneira 75mm (%)	≤ 12	11579/2013
Área específica (m ² /kg)	≥ 260	7224/1996
Tempo de pega		
Início (min)	≥ 60	11581/1991
Término (min)	≤ 600	11581/1991
Expansibilidade a quente (mm)	≤ 5,0	11582/1991
Massa específica (g/cm ³)	-	-
Resistência à Compressão (Mpa)		
1 dia	-	7215/1996
3 dias	≥ 10	7215/1996
7 dias	≥ 20	7215/1996
28 dias	≥ 32	7215/1996
Propriedades Químicas (%)		
Resíduo Insolúvel (RI)	≤ 16,0	5744/1989
Perda ao Fogo (PF)	≤ 6,5	5743/1989
Óxido de Magnésio (MgO)	≤ 6,5	5742/1991
Trióxido de enxofre (SO ₃)	≤ 4,0	5745/1991
Anidrido Carbônico (CO ₂)	≤ 5,0	11583/1991

Fonte: NBR 11578 (1991).

O cimento foi adquirido no mesmo dia que se iniciou a confecção das argamassas para o presente trabalho. A Figura 5 mostra o saco de cimento de 25kg que foi utilizado para a confecção dos corpos de prova.

Figura 5 - Saco de Cimento



Fonte: Autoras (2023).

3.2.3 Cal Hidratada

O traço da argamassa de revestimento escolhido foi com adição de cal hidratada, que é um dos componentes que podem ser utilizados na composição de argamassas, sendo um material aglomerante que quando misturado com os outros componentes (cimento, areia e água), forma uma massa.

A cal hidratada escolhida foi a CH-III, para utilização em construção civil e ideal para argamassas de assentamento e reboco. Em sua sugestão de uso está o traço já escolhido para a argamassa, 1:2:8 (cimento; cal; areia).

A cal hidratada foi adquirida no dia do experimento, assim como o cimento Portland. A Figura 6 abaixo mostra o saco de Cal Hidratada que foi utilizado.

Figura 6 - Saco de Cal Hidratada



Fonte: Autoras (2023).

3.2.4 Água de Amassamento

A água que foi utilizada na argamassa de revestimento é potável e foi disponibilizada pelo Centro Universitário Faema (UNIFAEMA).

3.2.5 Areia

A areia lavada foi disponibilizada pelo centro universitário, antes do experimento a areia foi adicionada na estufa de secagem na temperatura de 105 ± 5 °C por 24 horas, para sua secagem e assim poder seguir com os ensaios de caracterização física do agregado, o procedimento foi realizado no laboratório de mecânica dos solos do Centro Universitário Faema (UNIFAEMA), após a secagem, foi armazenada em um local seco do laboratório.

3.2.6 Rejeito de Minério

A areia de rejeito de minério foi recolhida por um funcionário da Mina Bom Futuro, transferida para a cidade de Ariquemes-RO armazenada em sacos plásticos transparentes como mostra a Figura 7 (a) e (b):

Figura 7 - Areia de Rejeito de Minério



(a)

(b)

Fonte: Funcionário da Mina Bom Futuro (2023).

A areia de rejeito de minério escolhida para o presente trabalho foi a da pilha que passou por duas lavagens, a mesma foi levada para o laboratório de mecânica dos solos do Centro Universitário Faema (UNIFAEMA), onde passou pelo mesmo processo de secagem que a areia lavada de rio, foi adicionada na estufa de secagem por 24 horas e quando retirada da estufa, foi armazenada num local seco do laboratório.

3.3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

3.3.1 Ensaios de Caracterização dos Agregados

Seguindo as normas vigentes de cada ensaio para o agregado miúdo (areia) em laboratório, realizou-se os ensaios de granulometria, massa específica e teor de umidade.

3.3.1.1 Ensaio de Granulometria

O ensaio de granulometria foi realizado para determinar a distribuição das dimensões dos agregados, essa análise é muito utilizada na engenharia civil e na indústria de materiais de construção para caracterizar a composição granulométrica de solos, no caso do presente trabalho, foi feito sobre o agregado miúdo (areia).

De acordo com a NBR NM 248/2003 que se refere sobre a granulometria, existem algumas etapas e critérios a serem seguidos para a realização do ensaio, tais como:

- Amostragem: é necessário coletar uma amostra representativa do material;
- Preparação da amostra: a amostra coletada deve ser seca em uma estufa em temperatura de 105 ± 5 °C por 24 horas;
- Peneiramento: utilizar a sequência de peneiras adequada para cada tipo de agregado, a amostra reduzida é colocada na série de peneiras com abertura de tamanhos do maior para o menor (ordem decrescente), essas peneiras são agitadas em um aparelho chamado peneirador mecânico durante dois minutos para garantir a separação dos grãos;
- Pesagem: após o peneiramento, os grãos retidos em cada peneira são pesados individualmente em uma balança de precisão, faz-se o registro de cada massa retida nas peneiras;
- Cálculos: com base nas massas retidas nas peneiras, são calculados o percentual retido acumulado, o percentual passante acumulado, também o módulo de finura;
- Interpretação dos resultados: com os resultados obtidos, pode-se saber se o material é adequado para a utilização.

Todos os critérios citados acima foram seguidos para a realização do ensaio de granulometria para a areia natural e a areia de rejeito, abaixo segue a Figura 8 sobre a etapa do peneiramento:

Figura 8 - Peneiras do Ensaio de Granulometria



Fonte: Autoras (2023).

3.3.1.2 Ensaio de Massa Específica

A massa específica do agregado miúdo tem um papel importante no dimensionamento de misturas, no controle de qualidade da mistura, na estimativa de volume, sendo uma propriedade fundamental para garantir a qualidade, durabilidade e desempenho nas estruturas.

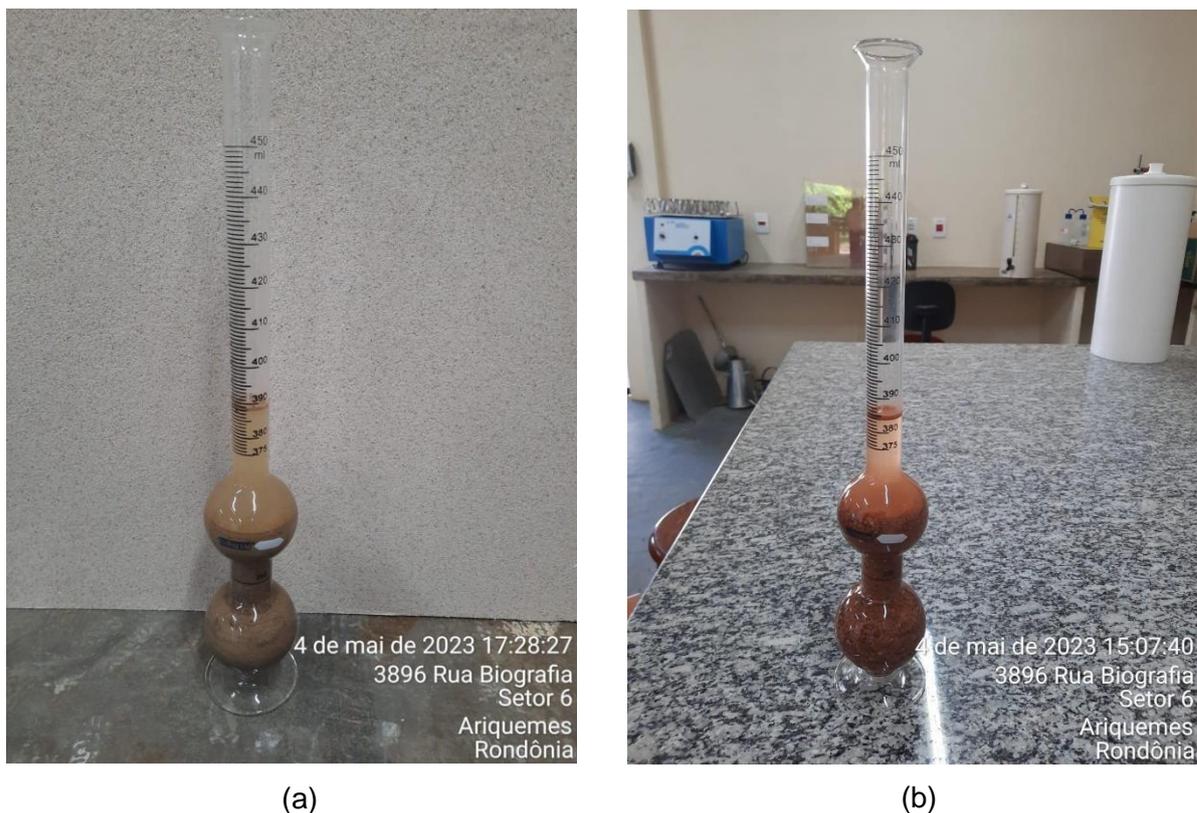
De acordo com a NBR NM 52:2009, existem alguns critérios a serem seguidos para a realização do ensaio de massa específica, tais como:

- Amostragem: é necessário coletar uma amostra representativa do material, cada ensaio precisa de 500g;
- Preparação da amostra: a amostra coletada deve ser seca em uma estufa em temperatura de 105 ± 5 °C por 24 horas;

- Aparelhagem: a norma especifica o uso do frasco Chapman ou outros frascos semelhantes;
- Procedimento de ensaio: o ensaio consiste que com o auxílio de um funil comprido adicione água destilada até a marca de 200 ml, após isso, com outro funil comprido ou o mesmo já seco, acrescente 500 g da amostra e aguarde por 24 horas para anotar a marca que atingiu (L);
- Cálculo: com base na massa do material e no volume do frasco, é possível calcular a massa específica da amostra.

Todos os critérios citados acima foram seguidos para a realização do ensaio de massa específica para a areia natural e a areia de rejeito, abaixo segue a Figura 9 (a) e (b) das amostras no frasco de Chapman, respectivamente:

Figura 9 - Ensaio de Massa Específica da areia natural e de rejeito de minério



Fonte: Autoras (2023).

3.3.1.3 Ensaio de Teor de Umidade

Além dos ensaios de granulometria e massa específica das areias, foi realizado o ensaio de acordo com o anexo da norma NBR 6457/2016 para encontrar o teor de umidade das areias, utilizando o método da estufa.

Este ensaio se torna importante porque pode garantir a qualidade dos materiais utilizados nas misturas, já que a umidade excessiva pode comprometer o desempenho dos materiais na argamassa ou concreto, o teor de umidade afeta diretamente a relação água/cimento, estando inadequado, pode ocasionar problemas como segregação, redução da resistência e durabilidade do material.

O ensaio de teor de umidade consiste em alguns critérios, tais como:

- Preparação da amostra: é necessário coletar uma amostra representativa da areia em estado úmido;
- Peso da amostra úmida: em uma balança de precisão, pesar os recipientes adequados para ir à estufa (alumínio), anotar o valor, preencher com a amostra úmida e anotar o valor da massa úmida;
- Secagem: colocar as amostras em uma estufa pré-aquecida a uma temperatura de 105 ± 5 °C por 24 horas;
- Peso da amostra seca: após as 24 horas, retirar as amostras da estufa, esperar esfriar até ficar em temperatura ambiente, pesar os novos valores e anotar;
- Cálculo: calcular o teor de umidade da areia utilizando a fórmula: $TU\% = \frac{[(\text{peso úmido} - \text{peso seco}) / \text{peso seco}] \times 100$.

Todos os critérios citados acima foram seguidos para a realização do ensaio do teor de umidade para a areia natural e a areia de rejeito, abaixo segue a Figura 10 (a) e (b) da sua realização.

Figura 10 - Amostras das areias úmidas



(a)

(b)

Fonte: Autoras (2023).

3.3.2 Produção das Argamassas de Revestimento

Após obter os materiais necessários para o experimento (tijolos, cimento, cal hidratada, areia lavada de rio, areia de rejeito de minério e água potável), iniciou-se as atividades para a produção de argamassa de revestimento com substituição parcial da areia natural por rejeitos de minério (cassiterita). Foi planejado um tipo de confecção de argamassa, que no caso é a argamassa de revestimento, para a moldagem da argamassa foi adotado o traço 1:2:8, sendo o mais utilizado nas obras de construção civil.

Conforme mencionado anteriormente, a inclusão dos rejeitos de minério na mistura foi parcial. Isso implica que foram determinadas três diferentes proporções de substituição em relação à areia tradicional normalmente empregada em argamassas de revestimento. As porcentagens escolhidas para os testes foram de 10%, 15% e 20%, os valores para a substituição escolhidos, foram baixos porque a areia do rejeito de minério, tem algumas características diferentes da areia tradicional (granulometria e teor de umidade) e como este experimento tem a intenção

de provar que a utilização deste material é viável para a construção civil, melhor utilizar uma substituição com menor quantidade.

A argamassa foi produzida nas instalações do Laboratório de Engenharia Civil do UNIFAEMA, seguindo as diretrizes estabelecidas pela NBR 13276 (ABNT, 2005). Para realizar a mistura, utilizou-se uma argamassadeira mecânica. O processo de moldagem dos corpos de prova teve início ao introduzir a quantidade total de água na cuba de alumínio da argamassadeira. Em seguida, adicionou-se o cimento e a cal (na proporção de referência). A mistura desses materiais no equipamento ocorreu a uma baixa velocidade durante 30 segundos. Após esse período, a areia natural e de rejeito foram incorporadas ao processo ao longo de 30 segundos adicionais, com um aumento gradual da velocidade do misturador de baixa para alta, assegurando a completa homogeneização de todos os componentes por mais 30 segundos. Ao término deste intervalo, o misturador foi desligado por 1 minuto e 30 segundos, permitindo a remoção de qualquer material aderido à pá e às paredes da cuba. Logo em seguida, após esse intervalo, o misturador foi ligado novamente em alta velocidade por mais 1 minuto.

Sendo assim, foram produzidas quatro tipos de argamassas:

- AR0 – Argamassa de revestimento sem substituição por rejeito de minério;
- AR10 – Argamassa de revestimento com 10% de substituição por rejeito de minério;
- AR15 – Argamassa de revestimento com 15% de substituição por rejeito de minério;
- AR20 – Argamassa de revestimento com 20% de substituição por rejeito de minério.

Para melhor visualização a Figura 11 mostra os materiais já pesados, separados e a argamassadeira mecânica. Assim foi feito para todas as argamassas citadas anteriormente.

Figura 11 - Materiais separados e a argamassadeira mecânica



Fonte: Autoras (2023).

A Tabela 3 mostra a tipologia do traço da argamassa de revestimento e as porcentagens das substituições por areia de rejeito utilizada na pesquisa. A idade para realização dos ensaios de compressão e tração na flexão foi a cada 7 dias, durante 28 dias.

Tabela 3 - Traço da argamassa de Revestimento

Argamassa	AR0	AR10	AR15	AR20
Traço (cimento:cal:areia)	1:2:8	1:2:8	1:2:8	1:2:8
Areia de Rejeito	-	10%	15%	20%

Fonte: Autoras (2023).

3.3.3 Caracterização das Argamassas no Estado Fresco

3.3.3.1 Índice de Consistência

Foi conduzido o ensaio com objetivo de determinar o índice de consistência, seguindo o procedimento estabelecido pela NBR 13276 (ABNT, 2016). Para realizar este ensaio, empregou-se uma mesa de consistência, também conhecida como *flow table*, que permite a propagação uniforme da argamassa quando esta é posicionada sobre a superfície da mesa. Isso é alcançado ao girar a manivela, fazendo com que a mesa suba e desça 30 vezes a uma taxa constante de uma queda por segundo.

A quantidade de água (a/c), para as argamassas foi ajustada de forma a alcançar uma consistência da argamassa dentro da medida de 250 ± 10 mm. Tentou-se manter o índice de consistência em 250 mm, enquanto a quantidade de água variava de acordo com a tipologia específica da argamassa. A Figura 12 mostra o índice de consistência da argamassa de referência após a realização do ensaio, conforme as recomendações prescritas na norma.

Figura 12 - Medida da consistência



Fonte: Autoras (2023).

3.3.4 Caracterização das Argamassas no Estado Endurecido

3.3.4.1 Moldagem e Cura dos Corpos de Prova

Para conduzir os ensaios mecânicos, foram empregados moldes prismáticos metálicos com as dimensões de 4,0 x 4,0 x 16,0 cm, os quais possuem três compartimentos interligados, funcionando como moldes para a fabricação de três corpos de prova simultaneamente.

Para a argamassa de revestimento foram moldados 48 corpos de prova. O adensamento da argamassa nos moldes foi realizado pelo flow table como mostrado na Figura 13.

Figura 13 - Equipamento utilizado para o adensamento dos corpos de prova



Fonte: Autoras (2023).

Foi colocada a primeira camada até a metade da forma de argamassa e então aplicado 30 golpes, depois se completou com argamassa o restante do molde e assim, aplicando-se mais 30 golpes, para finalização passou-se uma espátula metálica para realizar o rasamento dos corpos de prova, conforme mostra a Figura 14.

Figura 14 - Moldagem dos corpos de prova Prismáticos



Fonte: Autoras (2023).

A desmoldagem dos corpos de prova prismáticos ocorreu 24 horas após a moldagem, a fim de assegurar que a argamassa tivesse alcançado resistência suficiente para evitar danos durante o processo de desmoldagem. Posteriormente, os corpos de prova foram deixados submersos em água até a data dos ensaios.

As Figuras 15 e 16, a seguir, exibe os corpos de prova da argamassa de revestimento logo após a desmoldagem e identificação, para fins de realização dos ensaios.

Figura 15 - Corpos de prova com substituição parcial de 0% e 10% por rejeito



Fonte: Autoras (2023).

Figura 16 - Corpos de prova com substituição parcial de 15% e 20% por rejeito



Fonte: Autoras (2023).

3.3.4.2 Resistência à Tração na Flexão e à Compressão

Para determinar a resistência à tração na flexão e à compressão dos corpos de prova, foram moldados 3 (três) amostras, para calcular uma média em cada dia de ensaio de rompimento, para cada traço da argamassa de revestimento, ou seja, 12 (doze) corpos de provas foram rompidos a cada 7 (sete) dias, os mesmos com dimensões de 4,0 x 4,0 x 16,0 cm, de acordo com os procedimentos estabelecidos pela NBR 13279 (ABNT, 2005), realizou-se os rompimentos.

3.3.4.3 Ensaio de Resistência à Tração na Flexão

Para a realização dos ensaios, iniciou-se com a determinação da resistência dos corpos de prova no ensaio de resistência à tração na flexão. Os corpos de prova foram posicionados nos dispositivos de apoio do aparelho de rompimento e então submetidos à ruptura, como mostra a Figura 17.

Figura 17 - Corpo de prova submetido à tração na flexão



Fonte: Autoras (2023).

3.3.4.4 Ensaio de Resistência à Compressão

O ensaio de resistência à tração na flexão é realizado de forma que o corpo de prova seja dividido em duas partes, sendo assim, o ensaio de resistência a compressão é feito duas vezes, uma vez em cada lado, organizou-se em L1 e L2 (lado 1 e lado 2).

O ensaio seguiu os procedimentos dados pela NBR 13279 (ABNT, 2005), a Figura 18, demonstra a realização do ensaio de resistência à compressão em um lado do corpo de prova.

Figura 18 - Corpo de prova submetido à compressão



Fonte: Autoras (2023).

3.4 EXECUÇÃO DA ARGAMASSA DE REVESTIMENTO NA INTERFACE DOS TIJOLOS

Foram confeccionadas as argamassas separadamente para cada porcentagem de substituição de areia natural por rejeito de minério e assentadas na face dos tijolos de vedação, o procedimento da mistura das diferentes argamassas foi realizado de acordo com a NBR 7215 (ABNT, 1996), fez-se um tijolo para cada tipo de porcentagem do rejeito de minério, totalizando em 4 (quatro) amostras, uma de zero porcentagem e as outras três com as substituições parciais da areia natural por RM.

Os tijolos foram revestidos pela mesma pessoa (autora Andréia), para diminuir os riscos de variação na mão de obra. Estabeleceu-se uma espessura de 20 mm para

este revestimento, abaixo segue a Figura 19, demonstrando um tijolo pronto com o paquímetro para verificar a espessura do revestimento e nível para verificar o nivelamento, facilitando para o ensaio de absorção de água que se realizou aos 28 (vinte e oito) dias.

Figura 19 - Tijolo revestido



Fonte: Autoras (2023).

Como citado anteriormente, foram feitos 4 (quatro) tijolos, um para cada porcentagem de rejeito, abaixo segue a Figura 20 mostrando os tijolos armazenados para não sofrerem nenhum dano.

Figura 20 - Tijolos revestidos



Fonte: Autoras (2023).

3.5 ABSORÇÃO DE ÁGUA PELO MÉTODO DO CACHIMBO

A fim de avaliar a capacidade de absorção de água, empregou-se o ensaio conhecido como "ensaio de absorção de água pelo Método do Cachimbo", o qual não possui norma específica no Brasil. Esse procedimento de ensaio é proposto pelo Centre Scientifique ET Technique de la Construction (CSTC).

A Figura 21 mostra o modelo do “cachimbo de vidro” para a realização deste ensaio:

Figura 21 - Cachimbo de Vidro



Fonte: Autoras (2023).

O teste foi conduzido utilizando três dispositivos de ensaio, denominados cachimbos, esses cachimbos tem capacidade para 4 ml de água. Os cachimbos foram devidamente fixados usando cola de silicone e massa de modelar, em cada tijolo após 28 dias de idade, no ensaio as medidas foram anotadas a cada minuto (utilizou-se o cronômetro do celular), durante um período de 15 minutos ou até que a absorção de água atingisse 4 ml.

A Figura 22 a seguir, apresenta uma representação visual da execução do ensaio de absorção de água, pelo método do cachimbo.

Figura 22 - Execução do ensaio do teste do cachimbo



Fonte: Autoras (2023).

4 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS DA PESQUISA

Neste tópico, será exposto os resultados dos testes experimentais realizados para avaliar o desempenho das argamassas, tanto na fase fresca quanto na fase endurecida, com e sem substituições parciais da areia natural por areia de rejeito de minério.

4.1 RESULTADOS DA CARACTERIZAÇÃO DOS AGREGADOS MIÚDOS

Foram feitos os ensaios de caracterização física da areia de acordo com as NBRs:

- NBR NM 248/2003 – Agregado miúdo;
- NBR 7181 (peneiramento) – Ensaio de granulometria;
- NBR NM 52/2009 – Determinação da massa específica e massa específica aparente;
- Anexo da NBR 6457/1986 – Determinação do teor de umidade.

Todos os resultados encontrados foram através de média entre duas ou três amostras.

Assim como a areia lavada de rio, foram feitos ensaios de caracterização física da areia de rejeito de minério, principalmente por ser um material que pode-se dizer ser algo “novo” na construção civil, então é de tamanha importância os ensaios de granulometria, massa específica e teor de umidade antes de qualquer experimento, até mesmo para poder entender melhor os resultados que serão obtidos no final do trabalho.

Segue abaixo tabelas sobre os ensaios de caracterização da areia natural e da areia de rejeito de acordo com as normas citadas acima:

4.1.1 Resultado do Ensaio de Granulometria da Areia Natural

Tabela 4 - Ensaio de Granulometria da areia natural

AREIA NATURAL			
PENEIRAS	AMOSTRA 1	AMOSTRA 2	MÉDIA DAS DUAS AMOSTRAS

NÚMERO	mm	PESO RETIDO (g)	PESO RETIDO (%)	PESO RETIDO (g)	PESO RETIDO (%)	PESO RETIDO ACUMULADO (%)	PASSANDO (%)
3/8"	9,5	0	0,00	0	0,00	0,000	100,000
N° 4	4,75	10	0,50	20	1,00	0,750	99,250
N° 10	2	30	1,50	35	1,75	2,375	97,625
N° 16	1,18	200	10,00	20	1,00	7,875	92,125
N° 30	0,6	385	19,25	80	4,00	19,500	80,500
N° 50	0,3	645	32,25	1250	62,50	66,875	33,125
N° 100	0,15	445	22,25	505	25,25	90,625	9,375
FUNDO	0	285	14,25	90	4,50	100,000	0,000
TOTAL	-	2000	-	2000	-	-	-

Fonte: Autoras (2023)

De acordo com o ensaio de granulometria, foi possível encontrar valores importantes como o diâmetro máximo característico e o módulo de finura da areia natural, abaixo segue a Tabela 5 com os respectivos valores:

Tabela 5 - Resultados da areia natural

Diâmetro máximo característico (mm):	2	Onde ficou retido 1,5% do valor total da areia natural
Módulo de finura (mm):	1,88	Nota 1: módulo de finura da zona utilizável inferior que varia de 1,55 a 2,20.

Fonte: Autoras (2023).

4.1.2 Resultado do Ensaio de Granulometria da Areia de Rejeito de Minério

Tabela 6 - Ensaio de Granulometria da areia de Rejeito de Minério

AREIA DE REJEITO			
PENEIRAS	AMOSTRA 1	AMOSTRA 2	MÉDIA DAS DUAS AMOSTRAS

NÚMERO	mm	PESO RETIDO (g)	PESO RETIDO (%)	PESO RETIDO (g)	PESO RETIDO (%)	PESO RETIDO ACUMULADO (%)	PASSANDO (%)
3/8"	9,5	0	0,00	0	0,00	0,000	100,000
N° 4	4,75	20	1,00	20	1,00	1,000	99,000
N° 10	2	330	16,50	265	13,25	15,875	84,125
N° 16	1,18	285	14,25	275	13,75	29,875	70,125
N° 30	0,6	535	26,75	575	28,75	57,625	42,375
N° 50	0,3	585	29,25	630	31,50	88,000	12,000
N° 100	0,15	190	9,50	185	9,25	97,375	2,625
FUNDO	0	55	2,75	50	2,50	100,000	0,000
TOTAL	-	2000	-	2000	-	-	-

Fonte: Autoras (2023)

De acordo com o ensaio de granulometria, foi possível encontrar valores importantes como o diâmetro máximo característico e o módulo de finura da areia de rejeito minério, abaixo segue a Tabela 7 com os respectivos valores:

Tabela 7 - Resultados da areia de rejeito

Diâmetro máximo característico (mm):	4,75	Onde ficou retido apenas 1% do valor total do rejeito
Módulo de finura (mm):	2,90	Nota 1: módulo de finura da zona ótima que varia de 2,20 a 2,90.

Fonte: Autoras (2023).

4.1.3 Curva Granulométrica das Areias

Através dos resultados do ensaio de granulometria, encontrou-se a curva granulométrica para os dois tipos de areia, seguindo a ABNT NBR 7211/2005 - Agregados para concreto – Especificação, algo que se fez necessário para dar mais confiança em seguir com o projeto da argamassa, a fim de encontrar resultados satisfatórios, para isso usou-se a tabela já disponibilizada na norma:

Tabela 8 - Limites da distribuição Granulométrica do agregado miúdo

Peneira com abertura de malha (ABNT NBR NM ISO 3310-1)	Porcentagem, em massa, retida acumulada			
	Limites inferiores		Limites superiores	
	Zona utilizável	Zona ótima	Zona ótima	Zona utilizável
9,5 mm	0	0	0	0
6,3 mm	0	0	0	7
4,75 mm	0	0	5	10
2,36 mm	0	10	20	25
1,18 mm	5	20	30	50
600 µm	15	35	55	70
300 µm	50	65	85	95
150 µm	85	90	95	100
FUNDO	100	100	100	100

NOTAS:

1 O módulo de finura da zona ótima varia de 2,20 a 2,90.

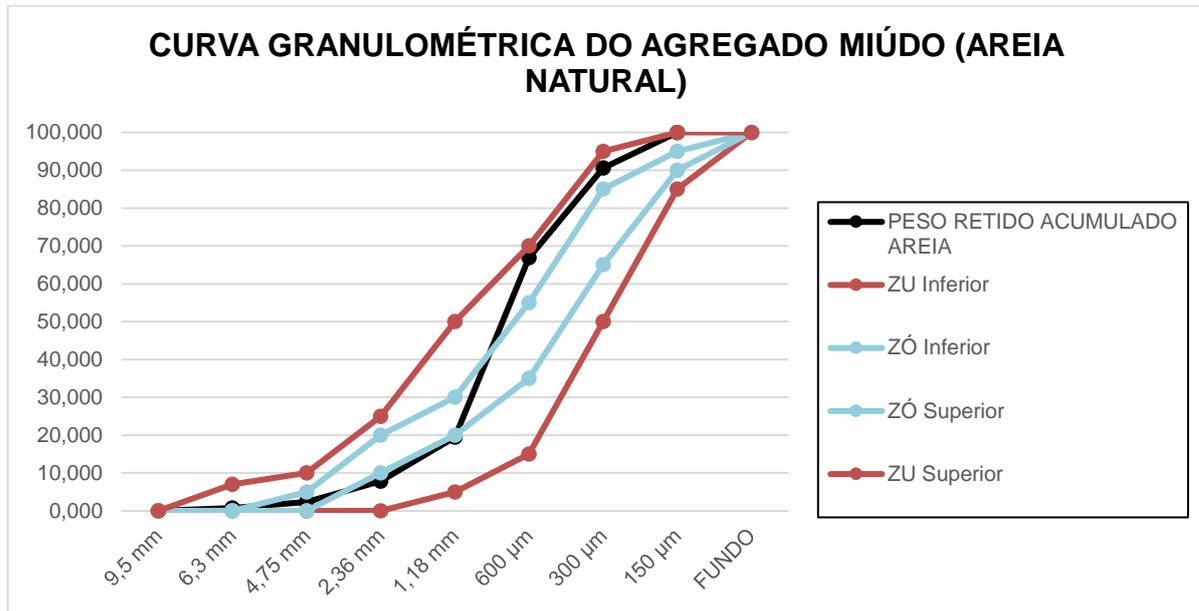
2 O módulo de finura da zona utilizável inferior varia de 1,55 a 2,20.

3 O módulo de finura da zona utilizável superior varia de 2,90 a 3,50.

Fonte: ABNT NBR 7211/2005.

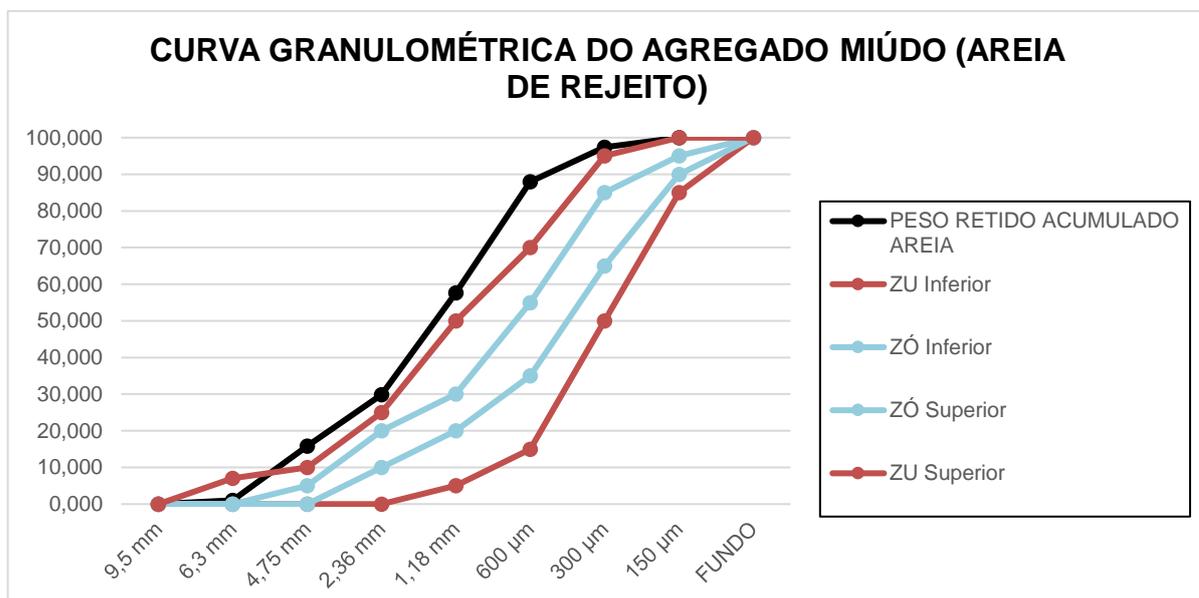
Os gráficos que foram gerados a seguir, estão de acordo com a Tabela 8 acima que são a relação dos valores dispostos na NBR 7211, com os valores do peso retido acumulado em porcentagem que se encontra nas tabelas de granulometria de cada tipo de areia, o Gráfico 1 a seguir representa a curva granulométrica da areia natural, a mesma se enquadra dentro dos limites da zona utilizável estabelecida pela norma.

Gráfico 1 - Curva Granulométrica da areia natural



Conforme ilustrado no Gráfico 2, apresentado a seguir, observa-se uma notável disparidade na distribuição granulométrica entre as areias (a natural e a de rejeito de minério). A areia proveniente do rejeito de minério exibe um diâmetro máximo característico e um módulo de finura consideravelmente superiores em relação à areia natural, o que a qualifica como um material de granulometria mais grossa, e se enquadra fora dos limites da zona utilizável estabelecida pela NBR 7211/09.

Gráfico 2 - Curva Granulométrica da areia de rejeito



4.1.4 Resultado do Ensaio de Massa Específica da Areia Natural

Fez-se uma média entre dois ensaios da areia natural para encontrar a massa específica.

Tabela 9 - Ensaio de massa específica da areia natural

MASSA ESPECÍFICA DA AREIA NATURAL				
MASSA ESPECÍFICA	AMOSTRA 01 AREIA		AMOSTRA 02 AREIA	
MASSA DO SOLO	500	g	500	g
VOLUME TOTAL	391	ml ou cm ³	392	ml ou cm ³
VOLUME DA ÁGUA	200	ml ou cm ³	200	ml ou cm ³
VOLUME DO SOLO	191	ml ou cm ³	192	ml ou cm ³
TOTAL	2,62	g/cm ³	2,60	g/cm ³
MÉDIA DA MASSA ESPECÍFICA = MASSA DO SOLO / VOLUME DO SOLO				
				2,610 g/cm³

Fonte: Autoras (2023).

4.1.5 Resultado do Ensaio de Massa Específica da Areia de Rejeito Minério

Assim como na areia natural, ensaios de massa específica foram realizados para a areia de rejeito de minério, aqui também foi feito o ensaio com duas amostras para obter uma média:

Tabela 10 - Ensaio de massa específica da areia natural

MASSA ESPECÍFICA DA AREIA DE REJEITO				
MASSA ESPECÍFICA	AMOSTRA 01 AREIA		AMOSTRA 02 AREIA	
MASSA DO SOLO	500	g	500	g
VOLUME TOTAL	385	ml ou cm ³	383	ml ou cm ³

VOLUME DA ÁGUA	200	ml ou cm ³	200	ml ou cm ³
VOLUME DO SOLO	185	ml ou cm ³	183	ml ou cm ³
TOTAL	2,70	g/cm ³	2,73	g/cm ³
MÉDIA DA MASSA ESPECÍFICA = MASSA DO SOLO / VOLUME DO SOLO				
				2,715 g/cm³

Fonte: Autoras (2023).

4.1.6 Resultado do Ensaio de Teor de Umidade da Areia Natural

Tabela 11 - Determinação do teor de umidade da areia natural

DETERMINAÇÃO DO TEOR DE UMIDADE DA AREIA NATURAL				
CÁPSULA	T (g)	MBU (g)	MBS (g)	UMIDADE (%)
N° 01	18,963	103,835	101,602	2,70
N° 02	14,949	99,646	97,184	2,99
N° 03	14,381	98,983	96,659	2,82
			TEOR DE UMIDADE MÉDIO (%)	2,84

MBU= massa da cápsula + solo úmido

MBS= massa da cápsula + solo seco

T= tara (massa da cápsula)

Fonte: Autoras (2023).

4.1.7 Resultado do Ensaio de Teor de Umidade da Areia de Rejeito Minério

Para a areia de rejeito também foi realizado o ensaio para encontrar o teor de umidade de acordo com as exigências do anexo da NBR 6457/1986, abaixo segue a Tabela 12:

Tabela 12 - Determinação do teor de umidade da areia de rejeito

DETERMINAÇÃO DO TEOR DE UMIDADE DA AREIA DE REJEITO				
CÁPSULA	T (g)	MBU (g)	MBS (g)	UMIDADE (%)
N° 04	17,231	122,725	114,218	8,77
N° 05	15,356	120,626	112,764	8,07
N° 06	15,458	116,864	108,557	8,92
TEOR DE UMIDADE MÉDIO (%)				8,59

MBU= massa da cápsula + solo úmido

MBS= massa da cápsula + solo seco

T= tara (massa da cápsula)

Fonte: Autoras (2023).

4.2 ENSAIOS DA ARGAMASSA NO ESTADO FRESCO

4.2.1 Índice de Consistência

Para caracterização do índice de consistência em diferentes traços e a quantidade de água, ou seja, a relação água/cimento, foi realizado conforme o procedimento descrito na norma NBR 13276 da ABNT, em 2016.

Dessa forma, após a realização desses ensaios, foram registradas as quantidades de água necessárias para cada tipo de traço de argamassa. A Tabela 13, a seguir, apresenta os resultados da relação água/cimento e do índice de consistência das argamassas de revestimento, respectivamente.

Tabela 13 - Argamassa de revestimento: relação a/c e índice de consistência

Traços (Argamassa de Revestimento)	Relação a/c	Índice de consistência (mm)
TRAÇO DE REFERÊNCIA	2,8	250

TRAÇO 10% REJEITO DE MINÉRIO	2,78	252
TRAÇO 15% REJEITO DE MINÉRIO	2,75	257
TRAÇO 20% REJEITO DE MINÉRIO	2,72	265

Fonte: Autoras (2023).

Ao examinar os dados apresentados na Tabela 13, observa-se uma tendência decrescente na demanda de água à medida que aumenta a proporção de incorporação da areia de rejeito de minério. Em outras palavras, à medida que a adição de minério aumenta, é necessária uma quantidade menor de água para manter a consistência desejada, que é de 250 mm. Contudo, é importante notar que na formulação do traço de 20% de RM, a consistência não ficou no intervalo estipulado por norma, sendo 250 ± 10 mm.

A explicação dos traços citados acima terem atingido esses valores no índice de consistência, se dá a partir dos resultados do peneiramento, nota-se que o RM é caracterizado como um solo arenoso e de acordo com o ensaio do teor de umidade deste solo, percebe-se que os grãos retêm umidade naturalmente, ou seja, na medida que aumenta a porcentagem do RM dentro da argamassa, é necessário a diminuição da quantidade de água na mistura.

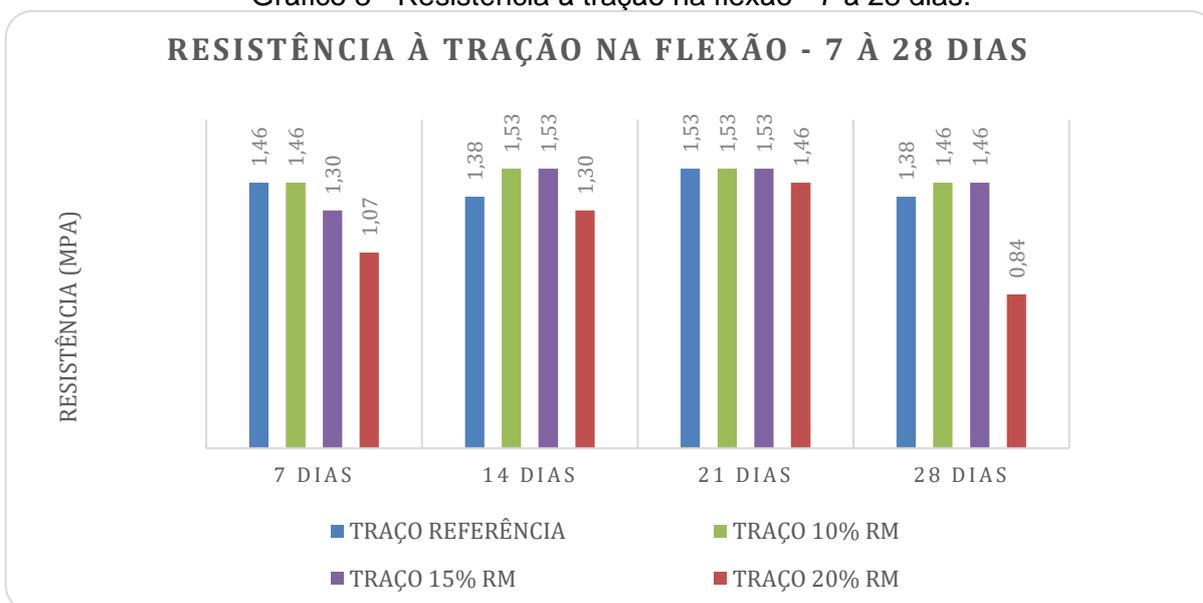
A correlação entre a relação água/cimento e o índice de consistência pode estar associada à capacidade de retenção de água das argamassas, desempenhando um papel crucial. É de grande importância garantir que a superfície da argamassa permaneça hidratada pelo maior período possível, em concordância com os resultados do ensaio de absorção de água das areias utilizadas. Entretanto, é fundamental conduzir análises adicionais das propriedades das argamassas para corroborar essa justificativa, incluindo parâmetros como teor de ar incorporado e capacidade de retenção de água.

4.3 ENSAIOS DA ARGAMASSA NO ESTADO ENDURECIDO

4.3.1 Resistência à Tração na Flexão

Os resultados do ensaio de resistência à tração na flexão da argamassa de revestimento (1:2:8) de referência (sem RM) e com substituição parcial da areia natural por RM, nas proporções de 10%, 15% e 20% estão apresentados no Gráfico 3. Para todas as argamassas foram realizados ensaios nas idades de 7, 14, 21 e 28 dias.

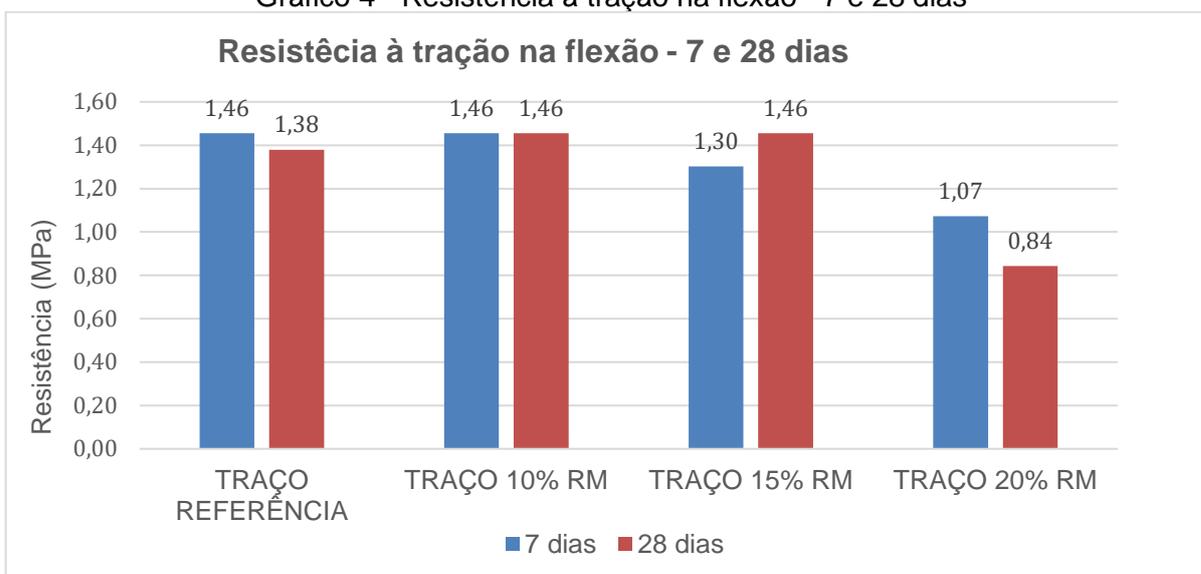
Gráfico 3 - Resistência à tração na flexão - 7 à 28 dias.



De acordo com os resultados do gráfico acima, onde foi testado a resistência à tração na flexão dos corpos de prova, podemos notar que os traços de 10% e 15% de rejeito de minério, tiveram um desempenho igual e até mesmo maior que o traço de referência, sendo que o traço de 10% nos primeiros 07 (sete) dias, teve valor de resistência igual ao traço de referência, na segunda semana notamos que o traço de referência diminuiu a resistência e os demais aumentaram, sendo que os traços de 10% e 15%, ficaram em evidência.

O Gráfico 4 a seguir apresenta os resultados para uma melhor compreensão:

Gráfico 4 - Resistência à tração na flexão - 7 e 28 dias



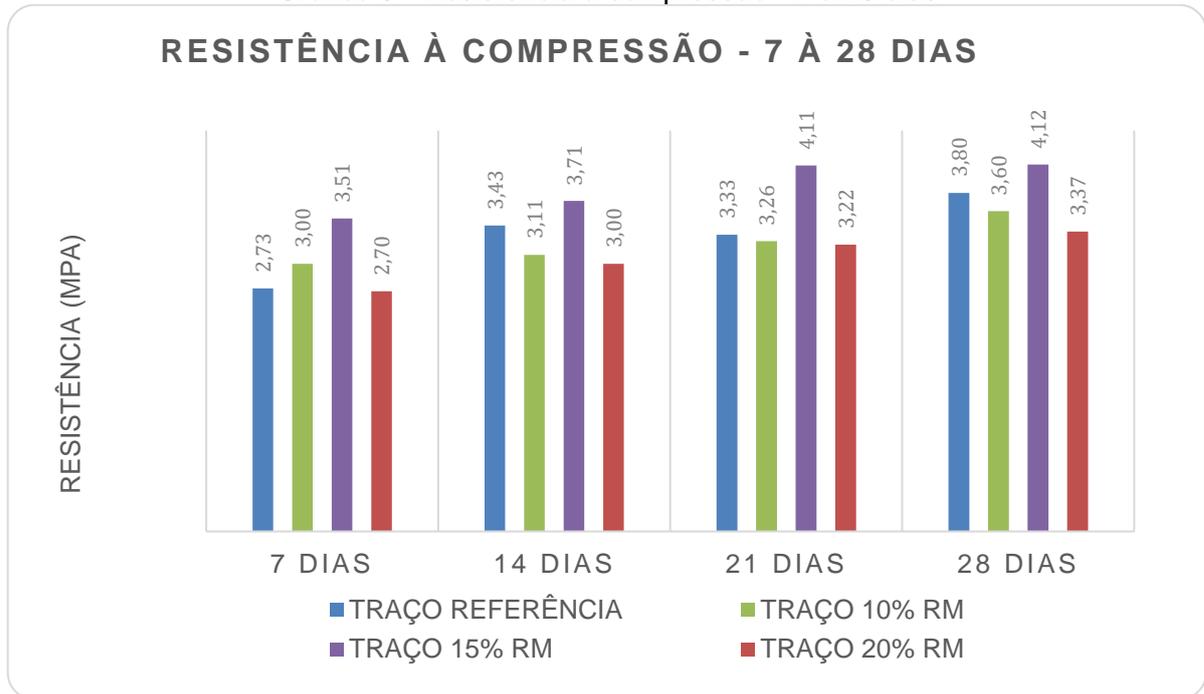
Fonte: Autoras (2023).

Nota-se que o traço de 20% de RM, não destacou em alta resistência dentro dos 28 dias, foi o menor em cada semana, já o traço de 10% de RM, foi o que obteve a maior resistência na primeira semana e aos 28 (vinte e oito) dias continuou com um bom desempenho, o traço de 15% de RM teve uma boa resistência inicial e aos vinte e oito dias também, ele é de proporção maior que o traço de 10% para a substituição da areia natural, sendo assim o melhor traço de resistência à tração na flexão.

4.3.2 Resistência à Compressão Simples

Os resultados do ensaio de resistência à compressão da argamassa de revestimento (1:2:8) de referência (sem RM) e com substituição parcial da areia natural por RM, nas proporções de 10%, 15% e 20%, estão apresentados no Gráfico 5. Para todas as argamassas foram realizados ensaios nas idades de 7, 14, 21 e 28 dias.

Gráfico 5 - Resistência à compressão - 7 à 28 dias



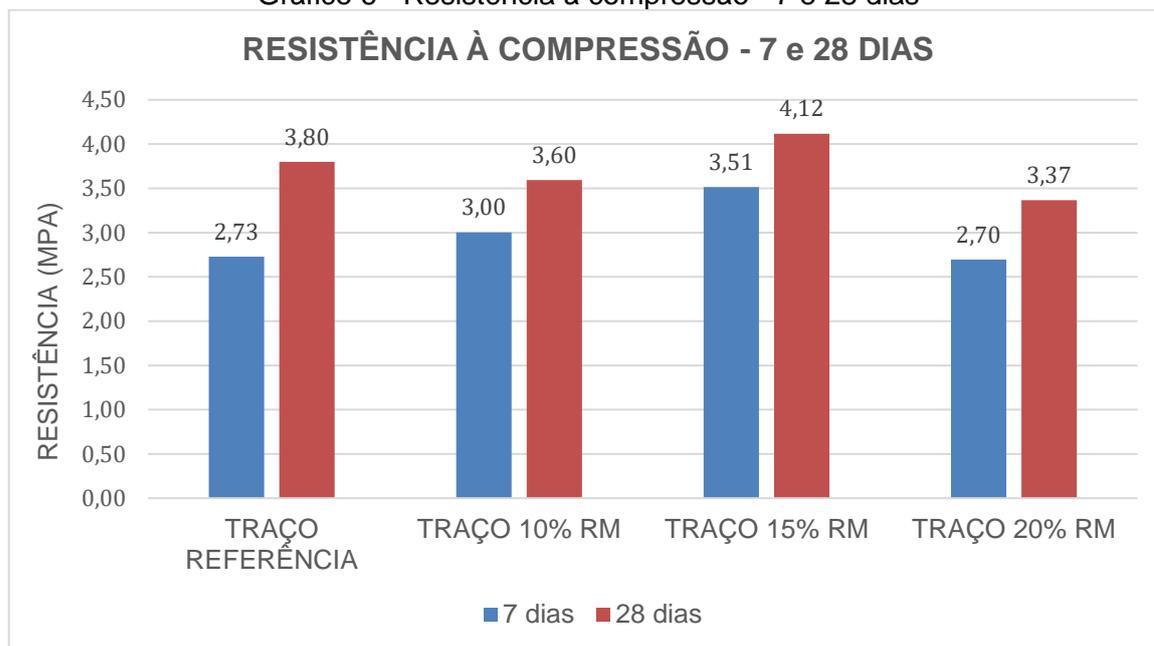
Fonte: Autoras (2023).

De acordo com os resultados do gráfico acima, onde foi testada a resistência à compressão dos corpos de prova, nota-se que o traço de 15% de RM, obteve um desempenho maior que todos os outros traços em todos os dias de ensaio de rompimento. Também se nota que o traço de 10% de RM que foi o melhor em resistência inicial e final nos ensaios à tração na flexão, não alcançou resultados favoráveis nos ensaios de resistência à compressão.

O traço de referência a partir da segunda semana obteve uma resistência favorável, já o traço de 20% de RM, foi o de menor resistência desde a primeira semana até os 28 dias, porém, não deixou de ganhar resistência a cada rompimento, diferente do teste de resistência à tração na flexão, que aos 28 dias, perdeu muita resistência.

O Gráfico 6 a seguir apresenta os resultados para uma melhor compreensão:

Gráfico 6 - Resistência à compressão - 7 e 28 dias



Fonte: Autoras (2023).

Novamente podemos perceber que o traço de 15% de RM, é o que se destacou nos ensaios de rompimento à compressão, na primeira semana foi o melhor e ao final, aos 28 dias obteve maior resistência em relação aos outros traços de argamassa, sendo ele, o de maior resistência até mesmo que a argamassa de referência, o traço de 20% de RM, foi o que menos obteve resistência do início ao fim dos rompimentos.

4.4 AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DOS REVESTIMENTO ARGAMASSADOS

4.4.1 Absorção de Água Pelo Método do Cachimbo

A absorção de água foi avaliada utilizando o método de imersão em cachimbo, e os resultados correspondentes estão dispostos nas Tabelas a seguir. Para uma compreensão mais clara, esses dados foram representados em gráficos também.

Tabela 14 - Tijolo Cerâmico de Vedação Nervurado - Argamassa de Referência

Tijolo Cerâmico de Vedação Nervurado - Argamassa de Referência

Tempo (min)	Coluna de água 1 (ml)	Coluna de água 2 (ml)	Coluna de água 3 (ml)	Média (ml)	Inicial (ml)
1	0,2	0,2	0,2	0,200	3,800
2	0,3	0,2	0,3	0,267	3,733
3	0,4	0,3	0,4	0,367	3,633
4	0,5	0,4	0,5	0,467	3,533
5	0,6	0,4	0,6	0,533	3,467
6	0,6	0,5	0,6	0,567	3,433
7	0,7	0,5	0,7	0,633	3,367
8	0,8	0,6	0,7	0,700	3,300
9	0,9	0,6	0,8	0,767	3,233
10	0,9	0,6	0,9	0,800	3,200
11	1	0,7	0,9	0,867	3,133
12	1	0,7	1	0,900	3,100
13	1,1	0,8	1	0,967	3,033
14	1,2	0,8	1,1	1,033	2,967
15	1,2	0,9	1,2	1,100	2,900

Fonte: Autoras (2023).

Gráfico 7 - Absorção de água para argamassa de Referência

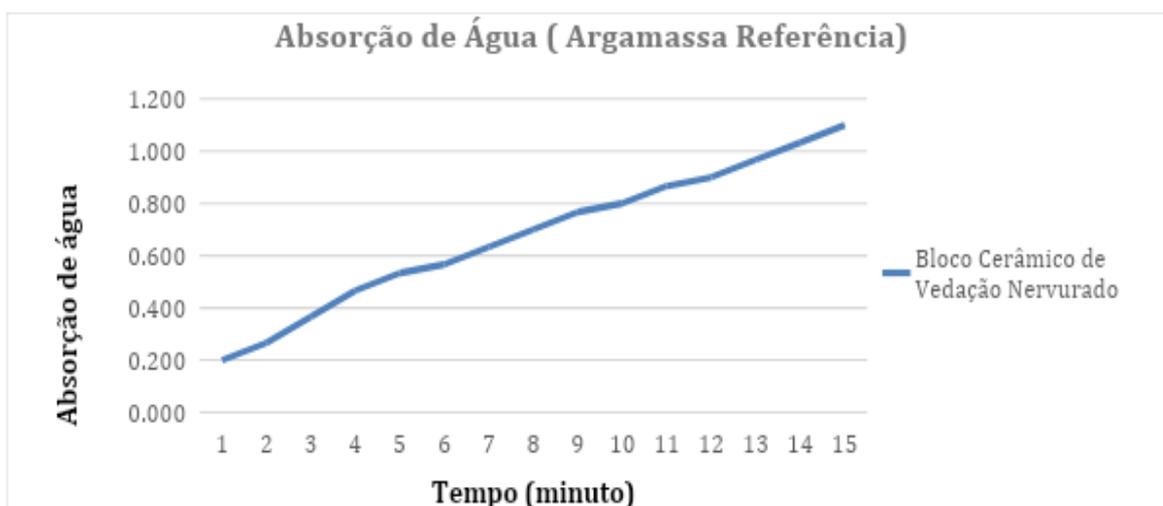


Tabela 15 - Tijolo Cerâmico de Vedação Nervurado - Argamassa de 10% RM

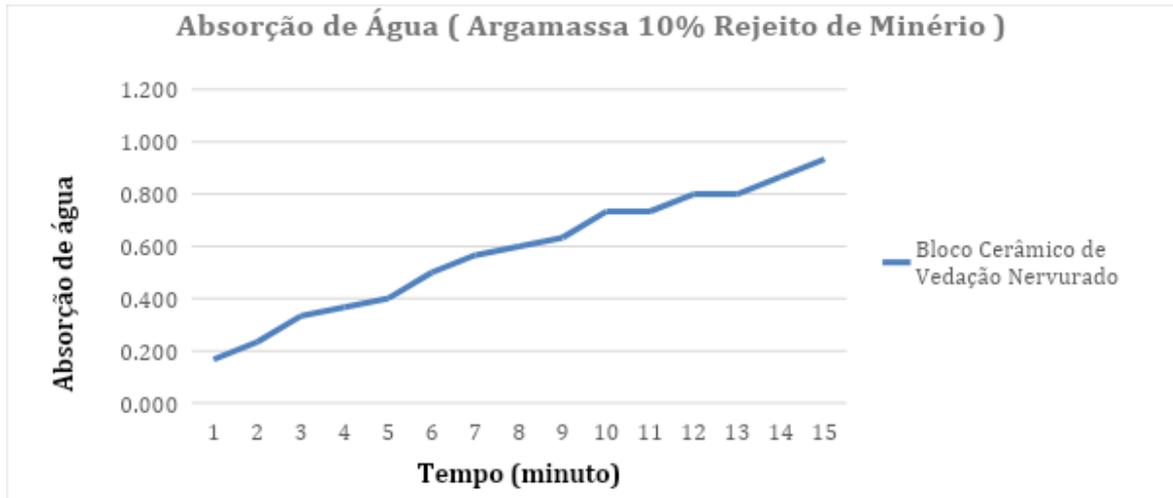
Tijolo Cerâmico de Vedação Nervurado - Argamassa de 10% RM

Tempo (min)	Coluna de água 1 (ml)	Coluna de água 2 (ml)	Coluna de água 3 (ml)	Média (ml)	Inicial (ml)
1	0,2	0,2	0,1	0,167	3,833
2	0,3	0,3	0,1	0,233	3,767
3	0,4	0,4	0,2	0,333	3,667
4	0,4	0,5	0,2	0,367	3,633
5	0,4	0,6	0,2	0,400	3,600
6	0,5	0,7	0,3	0,500	3,500
7	0,6	0,8	0,3	0,567	3,433
8	0,6	0,9	0,3	0,600	3,400
9	0,6	1	0,3	0,633	3,367
10	0,7	1,1	0,4	0,733	3,267
11	0,7	1,1	0,4	0,733	3,267
12	0,8	1,2	0,4	0,800	3,200
13	0,8	1,2	0,4	0,800	3,200

14	0,9	1,3	0,4	0,867	3,133
15	0,9	1,4	0,5	0,933	3,067

Fonte: Autoras (2023).

Gráfico 8 - Absorção de água para argamassa de 10% RM



Fonte: Autoras (2023).

Tabela 16 - Tijolo Cerâmico de Vedação Nervurado - Argamassa de 15% RM

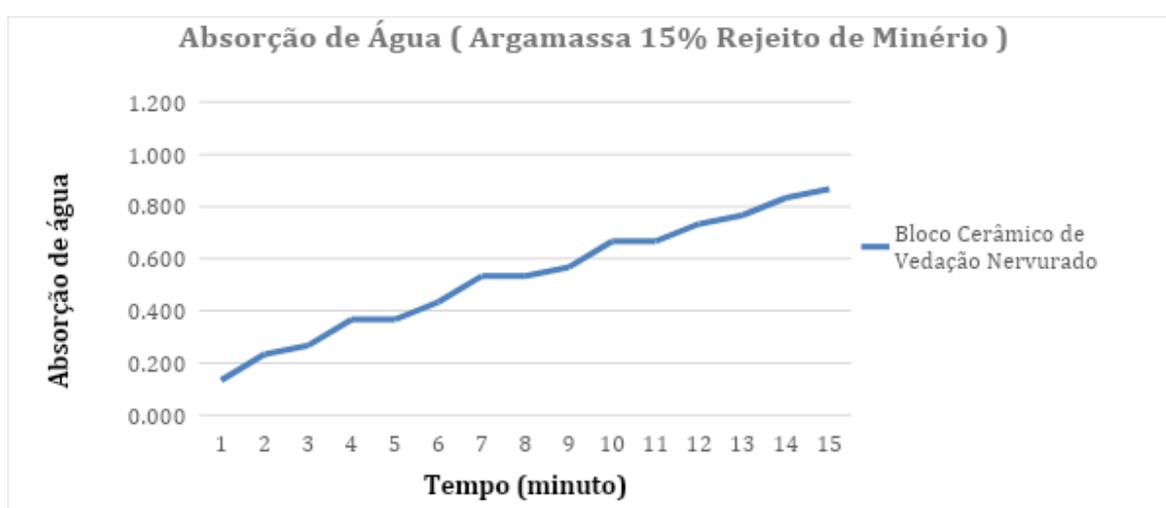
Tijolo Cerâmico de Vedação Nervurado - Argamassa de 15% RM

Tempo (min)	Coluna de água 1 (ml)	Coluna de água 2 (ml)	Coluna de água 3 (ml)	Média (ml)	Inicial (ml)
1	0,1	0,2	0,1	0,133	3,867
2	0,2	0,3	0,2	0,233	3,767
3	0,2	0,4	0,2	0,267	3,733
4	0,3	0,5	0,3	0,367	3,633
5	0,3	0,5	0,3	0,367	3,633
6	0,3	0,6	0,4	0,433	3,567
7	0,4	0,7	0,5	0,533	3,467
8	0,4	0,7	0,5	0,533	3,467
9	0,4	0,8	0,5	0,567	3,433

10	0,5	0,9	0,6	0,667	3,333
11	0,5	0,9	0,6	0,667	3,333
12	0,5	1	0,7	0,733	3,267
13	0,6	1	0,7	0,767	3,233
14	0,6	1,1	0,8	0,833	3,167
15	0,6	1,2	0,8	0,867	3,133

Fonte: Autoras (2023).

Gráfico 9 - Absorção de água para argamassa de 15% RM



Fonte: Autoras (2023).

Tabela 17 - Tijolo Cerâmico de Vedação Nervurado - Argamassa de 20% RM

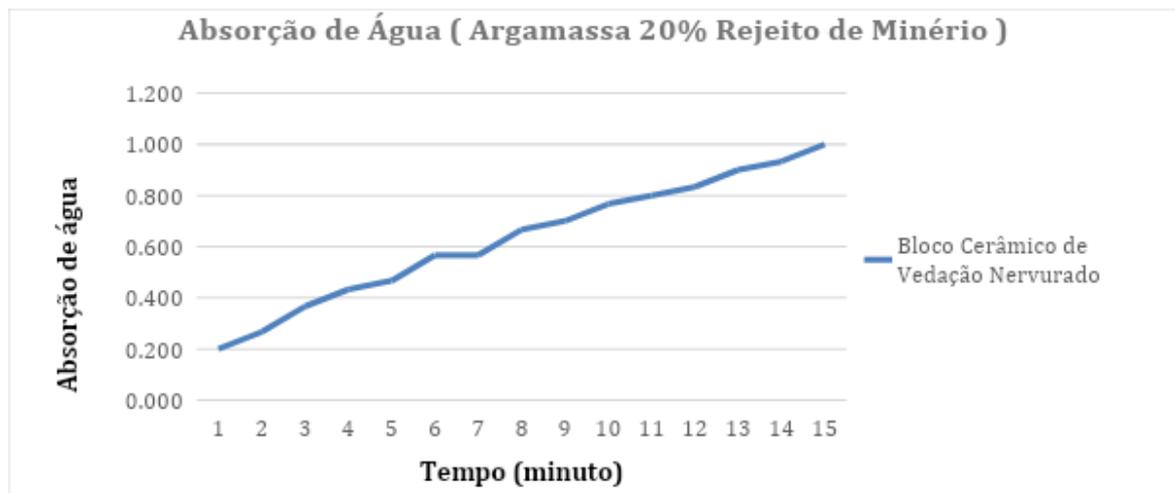
Tijolo Cerâmico de Vedação Nervurado - Argamassa de 20% RM

Tempo (min)	Coluna de água 1 (ml)	Coluna de água 2 (ml)	Coluna de água 3 (ml)	Média (ml)	Inicial (ml)
1	0,2	0,2	0,2	0,200	3,800
2	0,3	0,2	0,3	0,267	3,733
3	0,4	0,3	0,4	0,367	3,633
4	0,5	0,4	0,4	0,433	3,567
5	0,5	0,4	0,5	0,467	3,533
6	0,6	0,5	0,6	0,567	3,433
7	0,6	0,5	0,6	0,567	3,433

8	0,7	0,6	0,7	0,667	3,333
9	0,8	0,6	0,7	0,700	3,300
10	0,8	0,7	0,8	0,767	3,233
11	0,9	0,7	0,8	0,800	3,200
12	0,9	0,7	0,9	0,833	3,167
13	1	0,8	0,9	0,900	3,100
14	1	0,8	1	0,933	3,067
15	1,1	0,9	1	1,000	3,000

Fonte: Autoras (2023).

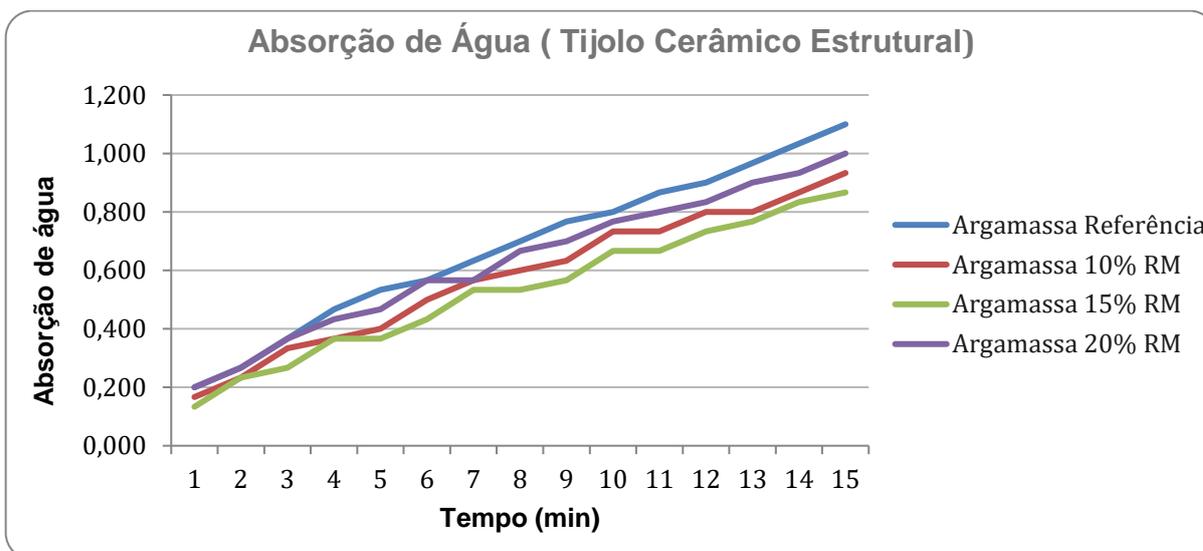
Gráfico 10 - Absorção de água para a argamassa de 20% RM



Fonte: Autoras (2023).

No Gráfico 11, está apresentando todos os resultados obtidos nos ensaios de absorção de água para as argamassas (de referência e com substituições parciais da areia natural por rejeito de minério), que foram executadas no substrato dos tijolos de vedação nervurados.

Gráfico 11 - Absorção de água para argamassa dos tijolos de vedação



Fonte: Autoras (2023)

Podemos observar no Gráfico 11, que o traço de argamassa de referência obteve uma absorção de água maior que os demais traços, sendo sua média de 1,100 ml de água dentro do tempo de 15 minutos e o traço da argamassa de 15% de rejeito de minério, absorveu 0,867 ml de água dentro do tempo de 15 minutos do ensaio, assim sendo, o revestimento com maior índice de impermeabilidade.

De acordo com o teste do cachimbo, todos os traços com substituições parciais da areia natural por rejeito de minério, obtiveram bons resultados em relação a absorção de água, recebendo menos infiltrações que o próprio traço de referência, sendo ideal para revestimentos de áreas externas.

4.4.2 Observações do Revestimento nos Tijolos

Durante o processo de revestimento do tijolo que recebeu o traço de argamassa com 20% de RM, pode-se notar que a superfície apresentou duas fissuras na distância de 14 cm, podendo ser pelo motivo desse traço de argamassa ter ficado mais úmido em relação aos outros, por conta da granulometria do RM ser diferente da areia natural, fazendo com que o bloco absorvesse mais rápido a umidade da massa, criando as fissuras presentes.

Os demais tijolos, ficaram visivelmente dentro do padrão adequado para revestimento de argamassa, abaixo segue a Figura 23 que mostra melhor o tijolo com a patologia:

Figura 23 - Tijolo revestido com a argamassa de 20% de rejeito



Fonte: Autoras (2023).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nesta parte do presente trabalho, será apresentada as conclusões que obtivemos através dos testes laboratoriais da argamassa de revestimento de referência e com substituições parciais da areia natural por rejeito de minério (Cassiterita).

5.1 CONCLUSÕES

5.1.1 Índice de Consistência da Argamassa de Revestimento

Para o índice de consistência da argamassa de revestimento de referência, mesmo obtendo resultados através das planilhas de quantidade de material para o traço, teve uma necessidade de diminuir 10 ml de água para obter o índice de consistência de 250 mm.

No traço com 10% de substituição parcial da areia natural por rejeito de minério, diminuiu-se 20 ml de água, no traço de 15% de substituição parcial da areia natural por rejeito de minério, diminuiu-se 30 ml de água e no traço de 20% de substituição parcial da areia natural por rejeito de minério, diminuiu-se 40 ml de água.

O motivo dessa diminuição gradativa na quantidade de água, foi preciso, conforme foi aumentando a porcentagem de rejeito de minério, sendo assim, houve a necessidade de diminuir a quantidade de água.

Mesmo assim, o traço de 20% de substituição parcial da areia natural por rejeito de minério ficou com 265 mm no seu índice de consistência, ou seja, passando o limite determinado por norma. Os outros traços ficaram dentro dos valores especificados.

5.1.2 Resistência à Tração na Flexão

Para os corpos de prova das argamassas de revestimento, no ensaio de rompimento na prensa, para encontrar a resistência à tração na flexão, notou-se que os traços de 10% e 15% de substituição parcial da areia natural por rejeito de minério se destacaram, sendo o de 15% o melhor por ter mais quantidade de substituição de areia natural por rejeito de minério, contribuindo assim com o meio ambiente.

5.1.3 Resistência à Compressão

Para os corpos de prova das argamassas de revestimento, no ensaio de rompimento na prensa, para encontrar a resistência à compressão, notou-se que o traço de 15% de substituição parcial da areia natural por rejeito de minério, obteve resistência superior que todos os demais traços, desde o primeiro dia de ensaio de rompimento até o último, aos 28 dias.

O traço de 20% de substituição parcial por rejeito de minério, não atingiu o desempenho esperado, sendo o de menor resistência do início dos ensaios, até o fim.

5.1.4 Absorção de Água

Para a absorção de água dos revestimentos argamassados, nos tijolos cerâmicos de vedação, observou-se que todos os traços de argamassa do presente trabalho, obtiveram uma absorção mínima de água.

Porém, o traço de argamassa de referência, foi o que mais absorveu água, seguido pelo de 20% e de 10% de substituição parcial da areia natural por rejeito de minério. O traço de 15% foi o de menor absorção.

5.2 CONCLUSÃO FINAL

Através deste estudo, compreendemos que com medidas simples podemos oferecer soluções para pelo menos dois problemas ambientais, sendo elas a redução da extração de areia fina natural dos rios e a destinação adequada para os resíduos de rejeito de minério que são gerados pelas minas (garimpos), assim, de maneira geral, a importância do resíduo torna-se significativa principalmente devido à substituição da areia natural por um material que seria descartado como rejeito, o qual contribui para o desempenho mecânico da argamassa de revestimento.

De acordo com os resultados encontrados através de análises laboratoriais das argamassas de revestimento (referência e com substituições parciais), observa-se que, em termos gerais, a incorporação de rejeito de minério como substituição de até 15% da areia natural, é capaz de gerar resultados superiores aos da argamassa tradicional, em relação às suas propriedades mecânicas, ou seja, o rejeito de minério

(Cassiterita), pode ser viável na indústria da Construção Civil, no entanto é necessário mais estudos para confirmar os resultados.

5.3 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Realizar o mesmo estudo com substituição parcial da areia natural por rejeito de minério (Cassiterita) para Argamassa de Assentamento.
- Investigar patologias que os rejeitos de minério (Cassiterita) podem causar na argamassa ao longo de um período.
- Investigar sobre o rejeito de minério (Cassiterita), se é prejudicial à saúde.
- Moldagem de mini-paredes para melhor análise de Resistência à Compressão.

REFERÊNCIAS

- ANM (AGÊNCIA NACIONAL DE MINERAÇÃO). (2023) – **Mineração no Brasil: Atividades e Impactos**. Brasília: ANM.
- ARAÚJO, G. S. **Estudo de parâmetros texturais das areias para argamassas de revestimento através da análise de imagens**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória, 2001.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211: Agregados para concreto - Especificação**. Rio de Janeiro, p. 5. 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 52: Agregado miúdo – Determinação da massa específica e massa específica aparente**, 2009.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 248: Agregado miúdo – Determinação da composição granulométrica**, 2003.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7181: Solo – Análise granulométrica**, 2018.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6457: Amostras de solo – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização**. Rio de Janeiro, Anexo, 2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 30: Agregado miúdo – Determinação da absorção de água**, 2001.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 7175: Cal Hidratada para Argamassas – Requisitos**. 2003.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13749: Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Especificação**, 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13276: Argamassa para Assentamento e Revestimento de paredes e tetos – Determinação do índice de consistência – Especificação**, 2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13279: Argamassa para Assentamento e Revestimento de paredes e tetos – Determinação da Resistência à Tração na Flexão e Compressão – Especificação**, 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13281: Argamassa para Assentamento e Revestimento de paredes e tetos – Requisitos**, 2023.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7200: Execução de revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Procedimento**, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7215: Cimento Portland – Determinação da resistência à compressão** – Procedimento, 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7175: Cal Hidratada para Argamassas** – Requisitos, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11578: Cimento Portland Composto** – Requisitos, 1991.

BARROS, M. M. S. B.; MACIEL, L. L.; SABBATINI, F. H.; **Recomendações para a Execução de Revestimentos de Argamassa para Paredes de Vedação Internas e Exteriores e Tetos**. São Paulo: EPUSP-PCC, 1998.

BRASIL. Plano Nacional de Mineração 2030: **Geologia, Mineração e Transformação Mineral**. Brasília: Ministério de Minas e Energia, 2010.

CINCOTTO, M. A. (2010) - **Técnicas de edificações**. São Paulo: EPUSP.

DNPM, Departamento Nacional de Produção Mineral. **Sumário Mineral 2015**. Brasília, 2016.

FAZFÁCIL, **Traço de argamassas: Tabela de misturas e aplicação**, São Paulo, SP, 2023. <<https://fazfacil.com.br/reforma-construcao/argamassas-tabelas-aplicacao/2/>>. Acesso em: 25/04/2023.

GIAMUSSO, S. (1992): **Manual do concreto**. Pini, São Paulo, p. 162.

GIRODO, A. **Mineração**. In: **Projeto APA Sul, Estudos do Meio Físico, Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral/ CPRM**, Belo Horizonte, MG, 2005.

HELENE, P. R. L. e TERZIAN, P. **Materiais de Construção Civil**. Editora Pini, 2016.

MALHOTRA, V. M. **Concreto: Microestrutura, Propriedades, Materiais**. Canadá, Jornal de Engenharia Civil, 2006.

MÁSCIA, N. T. - **Beneficiamento de Minérios**. São Paulo: Oficina de Textos, 2002.

MEHTA, P. K., MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: Microestrutura, Propriedades, Materiais**. Editora Bookman, 2018.

MELO, E. C. & FILHO, R. A. **Mapeamento de Áreas Degradadas Pela Atividade de Garimpos na Região da Serra Tepequém (RR), Através de Imagens Landsat-TM**. Anais VIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Salvador, Brasil, 14-19 abril 1996, INPE, p. 639-645.

MINDESS, S.; YOUNG J. F.; E DARWIN, D. **Concrete (2nd ed.)**. 2003.

MINERAÇÃO. Agência Nacional de Mineração: **Exploração Mineral**, Brasília: Ministério de Minas e Energia, 2023.

NETTO, A. L. (2018) - **Mineração e seus Impactos Ambientais: Desafios na Destino de Rejeitos**. In: Anais do Congresso Brasileiro de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável.

NOGUEIRA, C. A. - **Minerais Industriais: Usos e especificações**, 2016.

OLIVEIRA, J. M. **Materiais de Construção Civil: Características, Propriedades e Aplicações**, São Paulo, 2009.

OLIVEIRA, L. C. A; LANGE, L. C. - **Gestão Ambiental na Mineração, São Paulo, 2005**.

PLANO NACIONAL DE MINERAÇÃO (PNM) 2030 - **Mineração no Território brasileiro**, 2011.

PORTLAND. Associação Brasileira de Cimento Portland – ABCP. **Básico sobre Cimento/Aplicações do Cimento**. São Paulo, 2010.

Disponível em: < <https://abcp.org.br/cimento/> >. Acesso em: 25/06/2023.

RATO, v. n. p. m. **Influência da microestrutura morfológica no comportamento de argamassas**. 2006. 294f. dissertação (mestrado) - faculdade de ciências e tecnologia, faculdade nova de Lisboa, 2006.

REIS, V. S. (2005) - "**Aproveitamento de Rejeitos de Mineração: Avaliação e Desenvolvimento de Novos Processos**". In: Anais do Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica.

SANTOS, J. da H. **Análise do Teor de Estanho e Minerais mais Presentes na Cassiterita**. 2018. 37 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Química). Faculdade de Educação e Meio Ambiente. Ariquemes – RO, 2018.

SELMO, S. M. S. **Dosagem de argamassas de cimento Portland e cal para revestimento externo da fachada de edifícios**. Dissertação – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1989

SILVA, R.V., BRITO, J., DHIR, R.K. **Properties and composition of recycled aggregates from construction and demolition waste suitable for concrete production**. Construction and Building Materials. Vol .65, p.201-217, 2014.

VIANA, M. B. **Licenciamento ambiental de minerações em Minas Gerais: novas abordagens de gestão**. Brasília, 2007. Dissertação (Mestrado de Desenvolvimento Sustentável) – Centro de Desenvolvimento Sustentável, Universidade de Brasília, 2007.

ZAN, R. A. et al. **O garimpo bom futuro como ferramenta para o ensino de química e da educação ambiental**. Revista Monografias Ambientais, v. 7, n. 7, p. 1657-1669, 2012.

RELATÓRIO DE VERIFICAÇÃO DE PLÁGIO

DISCENTE: Andréia Cantão de Oliveira | Renata Cassia Almeida

CURSO: Engenharia Civil

DATA DE ANÁLISE: 16.10.2023

RESULTADO DA ANÁLISE

Estatísticas

Suspeitas na Internet: **1,96%**

Percentual do texto com expressões localizadas na internet [▲](#)

Suspeitas confirmadas: **1,59%**

Confirmada existência dos trechos suspeitos nos endereços encontrados [▲](#)

Texto analisado: **82,81%**

Percentual do texto efetivamente analisado (frases curtas, caracteres especiais, texto quebrado não são analisados).

Sucesso da análise: **100%**

Percentual das pesquisas com sucesso, indica a qualidade da análise, quanto maior, melhor.

Analisado por Plagius - Detector de Plágio 2.8.5
segunda-feira, 16 de outubro de 2023 19:00

PARECER FINAL

Declaro para devidos fins, que o trabalho das discentes **ANDRÉIA CANTÃO DE OLIVEIRA**, n. de matrícula **50070**, **RENATA CASSIA ALMEIDA**, n. de matrícula **38602**, do curso de Engenharia Civil, foi aprovado na verificação de plágio, com porcentagem conferida em 1,96%. Devendo as alunas realizarem as correções necessárias.

Documento assinado digitalmente
 HERTA MARIA DE ACUCENA DO NASCIMENTO S
Data: 23/11/2023 21:21:16-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

(assinado eletronicamente)
HERTA MARIA DE AÇUCENA DO N. SOEIRO
Bibliotecária CRB 1114/11
Biblioteca Central Júlio Bordignon
Centro Universitário Faema – UNIFAEMA