



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA E CIÊNCIAS AMBIENTAIS
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

FABIANA INGRID TORRES DA SILVA

**IMPORTÂNCIA DAS TÉCNICAS DE CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS
PARA CONSTRUÇÃO CIVIL**

MOSSORÓ

2025

FABIANA INGRID TORRES DA SILVA

**IMPORTÂNCIA DAS TÉCNICAS DE CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS
PARA CONSTRUÇÃO CIVIL**

Trabalho Final de Graduação apresentado a
Universidade Federal Rural do Semi-Árido
como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof.^a Dr.^a Sâmea Valensca Alves
Barros.

MOSSORÓ

2025

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei n° 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei n° 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

S586i Silva, Fabiana Ingrid Torres da .
Importância das técnicas de caracterização dos
materiais para a construção civil / Fabiana Ingrid
Torres da Silva. - 2025.
38 f. : il.

Orientadora: Samea Valensca Alves Barros.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia Civil,
2025.

1. Granulometria por peneiramento. 2. Difração
de raios X. 3. Fluorescência de raios X. 4.
Caracterização de resíduos. I. Barros, Samea
Valensca Alves, orient. II. Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade
com AACR2 e os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Biblioteca Campus Mossoró / Setor de Informação e Referência

Bibliotecária: Keina Cristina Santos Sousa e Silva

CRB: 15/120

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

FABIANA INGRID TORRES DA SILVA

**IMPORTÂNCIA DAS TÉCNICAS DE CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS
PARA CONSTRUÇÃO CIVIL**

Trabalho Final de Graduação apresentado a
Universidade Federal Rural do Semi-Árido
como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Civil.

Defendida em: 26 / 03 / 2025.

BANCA EXAMINADORA

Prof.^a Dr.^a Sâmea Valensca Alves Barros
(UFERSA)
Presidente

Adna Érica Melo de Sousa Fontes, M. Sc em Eng. Civil
Membro Examinador
(UFERSA)

Emanuel Carvalho Rebouças, M. Sc em Ciência e Engenharia de Materiais
Membro Examinador

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por me guiar e me dar forças ao longo de toda essa jornada. E por nunca me desamparar nos momentos mais difíceis.

Aos meus pais, pelo amor incondicional, apoio e dedicação, que sempre me proporcionaram as melhores oportunidades.

Ao meu namorado, por ter sido meu apoio emocional, pela paciência e incentivo. Por sempre acreditar no meu potencial mesmo nos meus momentos de incerteza. Sua presença e apoio foram essenciais para que eu chegasse até aqui.

A minha orientadora, pela orientação, paciência e incentivo durante toda a construção deste trabalho. Sua dedicação e compromisso foram fundamentais para o desenvolvimento desta pesquisa.

A Banca Examinadora, pelo tempo dedicado à avaliação deste estudo e pelas contribuições valiosas que certamente enriqueceram este trabalho.

A todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho, seja com palavras de incentivo, ensinamentos ou apoio moral, o meu sincero e profundo agradecimento.

RESUMO

A indústria da Construção Civil no Brasil, nas últimas décadas, passa por transformações advindas da necessidade de se tornar ecologicamente correto, alcançando o Objetivo do Desenvolvimento Sustentável número 12, promovendo o consumo e a produção sustentável. Nesta perspectiva, este trabalho teve como objetivo demonstrar a importância das principais técnicas de caracterização dos materiais na confecção de materiais alternativos para atender as demandas da construção civil, a partir da aplicação das principais técnicas em resíduos sólidos distintos, após serem beneficiados. Utilizou-se resíduos de Scheelita e vidro beneficiado através dos processos de moagem em Abrasão *Los Angeles* e peneiramento em peneira ABNT nº 200. Os resíduos foram caracterizados por peneiramento, fluorescência de raios-x e difração de raios-x. O resíduo de Scheelita apresentou granulometria graduada, composição química rica em óxido de cálcio e sílica, características que favorecem seu uso em argamassas, porém a presença de alumina evidenciou a necessidade de investigar sua reatividade com o cimento e sulfatos presentes no meio. O vidro beneficiado na granulometria de pó, por sua vez, apresentou alto teor de sílica amorfa, que é indicativo que este material é pozolânico. Os resultados evidenciam o potencial do uso destes resíduos na construção civil, reforçando a relevância das técnicas de caracterização para a viabilização de materiais sustentáveis produzidos com eles. À medida que argamassas e concretos contendo Scheelita e pó de vidro sejam produzidos, é fundamental investigar os ataques químicos que podem ocorrer com os diferentes tipos de cimento *Portland* utilizados na confecção desses materiais, garantindo assim matrizes cimentícias duráveis.

Palavras-chave: Granulometria por peneiramento. Difração de raios X. Fluorescência de raios X. Caracterização de resíduos.

ABSTRACT

The Civil Construction industry in Brazil, in recent decades, has undergone transformations arising from the need to become environmentally friendly, achieving Sustainable Development Goal number 12, promoting sustainable consumption and production. From this perspective, this work aimed to demonstrate the importance of the main material characterization techniques in the production of alternative materials to meet the demands of civil construction, based on the application of the main techniques in different solid waste, after being processed. Scheelite residues and glass processed through the grinding processes in Los Angeles Abrasion and sieving in ABNT sieve nº 200 were used. The residues were characterized by sieving, X-ray fluorescence and X-ray diffraction. The Scheelite residue presented graduated granulometry, chemical composition rich in calcium oxide and silica, characteristics that favor its use in mortars, however the presence of alumina highlighted the need to investigate its reactivity with the cement and sulfates present in the medium. The glass processed in powder granulometry, in turn, presented a high content of amorphous silica, which is indicative that this material is pozzolanic. The results demonstrate the potential use of these residues in civil construction, reinforcing the relevance of characterization techniques for the viability of sustainable materials produced with them. As mortars and concretes containing Scheelite and glass powder are produced, it is essential to investigate the chemical attacks that can occur with the different types of Portland cement used in the manufacture of these materials, thus ensuring durable cementitious matrices.

Keywords: Sieve granulometry. X-ray diffraction. X-ray fluorescence. Waste characterization.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Representação geométrica da lei de Bragg	15
Figura 2 : Representação esquemática do equipamento de fluorescência de raios X	16
Figura 3: Representação do Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV).....	17
Figura 4: Reação Álcali - Agregado (RAA).....	24
Figura 5: Ataque por sulfato em matrizes cimentícias	25
Figura 6: Curva granulométrica da areia do resíduo de Scheelita.....	30
Figura 7: Curva de distribuição granulométrica obtida no Granulômetro CILAS 1064.....	30
Figura 8: Difratoograma de raios X da areia do resíduo da Scheelita.....	32
Figura 9: Difratoograma de raio X do resíduo de vidro	33

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Limites da distribuição granulométrica do agregado miúdo	18
Tabela 2: Requisitos químicos para um material ser considerado pozolânico	22
Tabela 3: Propriedades físicas do resíduo de Scheelita.....	29
Tabela 4: Composição química da areia do resíduo de Scheelita.....	31
Tabela 5: Composição química do resíduo de vidro beneficiado.....	32

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Bel	Bacharel
Dr	Doutor
Esp	Especialista
Me	Mestre
DRX	Difração de raios X
MEV	Microscopia Eletrônica de Varredura
EDX	Espectroscopia de Dispersão de Raios X
EDS	Energy Dispersive Spectroscopy
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
LAMAF	Laboratório de Misturas Asfálticas

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 OBJETIVOS	13
2.1 Objetivo geral	13
2.2 Objetivos específicos	13
3 REFERENCIAL TEÓRICO	14
3.1 Principais técnicas de Caracterização dos Materiais usadas na construção civil.....	14
3.1.1 Difração de raios x - DRX.....	14
3.1.2 Método de Fluorescência de Raio X– FRX.....	15
3.1.3 Microscópio eletrônico de varredura - MEV	17
3.1.4 Granulometria	18
3.2 Utilização de resíduos na construção civil.....	19
3.2.1 Resíduos de Scheelita.....	19
3.2.3 Resíduos de vidro	21
3.3 Formas de utilização de resíduos na confecção de materiais alternativos para construção civil	21
3.3.1 Pozolanas	21
3.3.2 Efeito <i>filler</i>	23
3.4 Ataques químicos em argamassas e concretos.....	23
3.4.1 Reação Álcali-Agregado	23
3.4.2 Ataque por sulfato	25
4 METODOLOGIA	27
4.1 Materiais	27
4.2 Métodos	27
4.2.1 Caracterização física	27
4.2.2 Caracterização química-mineralógica	27
5 RESULTADOS.....	29
5.1 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DOS RESÍDUOS	29
5.1.1 Resíduo de Scheelita	29
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	34
REFERÊNCIAS	36

1 INTRODUÇÃO

A construção civil é um dos principais setores econômicos responsáveis pelo grande consumo de recursos naturais e geração de relevante montante de resíduos sólidos, comportando-se como grande gerador de impactos ambientais (SANTOS *et al.*, 2011; BRASILEIRO & MATOS, 2015).

Nesse contexto, a reciclagem de resíduos sólidos surge como uma estratégia essencial para promover a sustentabilidade do setor, contribuindo para minimizar os impactos ambientais causados por setor da construção civil. Sob esse viés, a reutilização desses materiais, reduz a extração de recursos naturais, cujas reservas são limitadas, além de diminuir os níveis de poluição atmosférica decorrentes da extração, processamento e transporte de matérias-primas (PAULINO *et al.*, 2023).

Diante do o aumento da demanda por materiais sustentáveis e economicamente viáveis, a fim de implementar alternativas que reduzam o impacto ambiental causado pelas atividades da construção civil, o uso de resíduos como matéria prima para fabricação de novos materiais está ganhando relevância no cenário mundial, assim como no nacional. Esse movimento está alinhado aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) a serem alcançados até 2030, em especial, o ODS 12.

Nesse contexto, as técnicas de caracterização dos materiais se mostram de fundamental importância para determinar as propriedades e características dos resíduos beneficiados e verificar conforme as características físicas, químicas e mineralógicas se estes podem ser utilizados como matéria prima alternativa, na produção de materiais alternativos capazes de atender as demandas da construção civil. E assim, verificar se estes são duráveis e com propriedades adequadas aos diversos usos nas obras civis.

Este trabalho tem como objetivo realizar a caracterização de resíduos de vidros e de Scheelita, para demonstrar a relevância das técnicas de caracterização dos materiais neste processo de confecção de materiais alternativos sustentáveis, para atender as demandas do setor da construção civil. Contribuindo para promover a gestão adequada dos resíduos sólidos gerados pelo próprio setor da construção civil e por outros setores econômicos, a exemplo da mineração. Fazendo o uso dos resíduos beneficiados conforme as suas características e propriedades.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Demonstrar a importância das principais técnicas de caracterização dos materiais na confecção de materiais alternativos para atender as demandas da construção civil.

2.2 Objetivos específicos

- ✓ Realizar a caracterização química-mineralógica de resíduos de Scheelita.
- ✓ Caracterizar fisicamente resíduos de Scheelita.
- ✓ Realizar a caracterização química-mineralógica de resíduos de vidros.
- ✓ Caracterizar fisicamente resíduos de vidros.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Principais técnicas de Caracterização dos Materiais usadas na construção civil

A caracterização de um material consiste na análise detalhada de suas propriedades físicas, químicas e mineralógicas, permitindo compreender sua composição, estrutura e comportamento em diferentes aplicações. Para uma caracterização precisa, existem técnicas que são empregadas, sendo as principais para análise mineralógica, química e física: Difração de Raios X (DRX), Método de Fluorescência de Raio X (FRX), Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e a granulometria (LUZ *et al.*, 2010).

3.1.1 Difração de raios x - DRX

A difração de raios-x (DRX) é a principal técnica de caracterização de materiais cristalinos, tendo em vista que permite identificar e quantificar a composição mineralógica dos materiais, fornecendo informações sobre as fases cristalinas, assim como percentuais de fase amorfa existente em um determinado material (PAULETTO; BREHM; GOMES, 2020).

Este método é amplamente utilizado na caracterização de materiais, sejam eles convencionais ou alternativos, com o intuito de verificar se suas características mineralógicas permitem ser usados na construção civil. Pois, segundo Barros *et al.* (2016) se consegue identificar as fases mineralógicas presentes nos materiais e assim ter a certeza se o material pode ser usado como pozolana ou não em matrizes cimentícias.

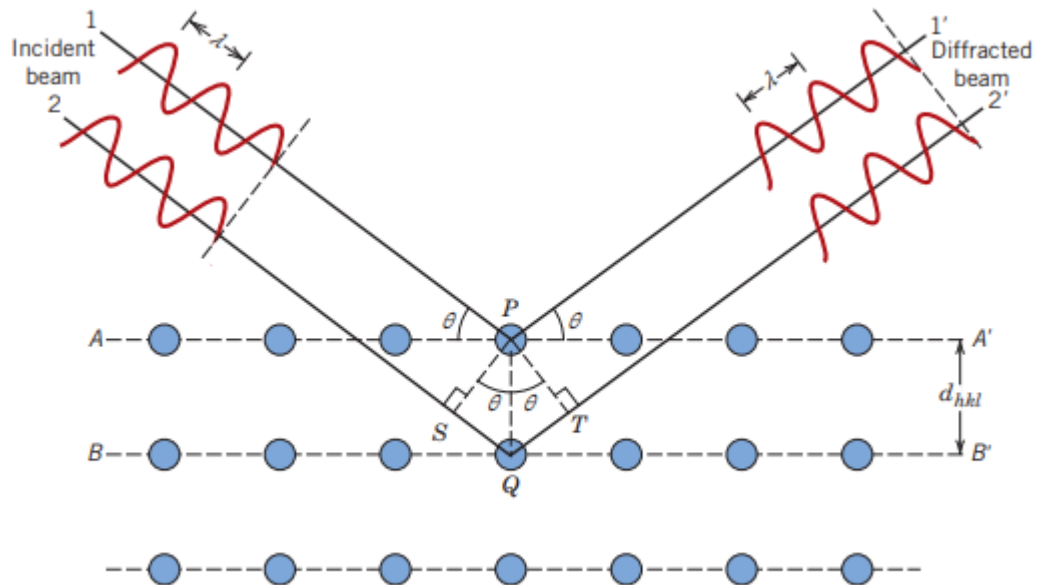
Nesse sentido, conhecimento detalhado da composição cristalina é essencial para definir tratamentos térmicos ou químicos que possam melhorar as características desses resíduos. Além disso, a técnica auxilia na comparação entre resíduos naturais e reciclados, promovendo o desenvolvimento de materiais alternativos mais eficientes e sustentáveis (PAULETTO; BREHM; GOMES, 2020).

Segundo Lopez (2018) a difração de raio X acoplada à estrutura de um material é determinada por meio da lei de Bragg em materiais cristalinos. Ele explica que esse processo se dar quando um feixe de raios X monocromático incide sobre um cristal com um ângulo θ , na qual parte da radiação é refletida pelos primeiros átomos que encontra. A outra parte atravessa essa camada e interage com camadas atômicas mais profundas, onde também ocorre reflexão.

Para que haja um pico de difração, segundo Callister; Rethwisch, 2007, as ondas refletidas precisam se somar de forma construtiva, o que acontece apenas se a diferença de

caminho entre elas for um múltiplo inteiro do comprimento de onda λ . Isso depende da distância entre os planos atômicos (d) e do ângulo de incidência (Figura 1).

Figura 1: Representação geométrica da lei de Bragg

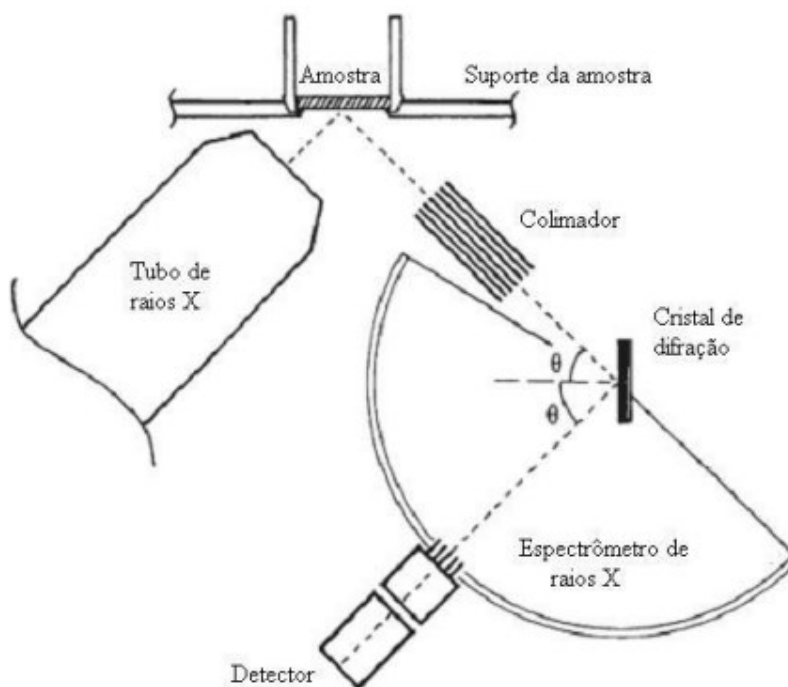


Fonte: CALLISTER; RETHWISCH, 2007.

3.1.2 Método de Fluorescência de Raio X– FRX

A Fluorescência de Raio X (FRX) é uma técnica geoquímica quantitativa que permite identificar e quantificar os elementos químicos presentes em uma amostra, ou seja, fornecer a composição química do resíduo, determinando a porcentagem de cada um deles (ASFORA, 2010).

Figura 2 : Representação esquemática do equipamento de fluorescência de raios X



Fonte: JANSSENS; GRIEKEN, 2004, *apud* ASFORA, 2010.

O FRX é um método que se baseia na emissão de radiação eletromagnética, como radiação gama ou raios-x, na amostra do material a ser analisada. Em resposta a essa incidência, os átomos presentes na amostra ensaiado são excitados e emitem raios-x característicos para cada elemento químico presente, permitindo assim identificar os óxidos presentes na composição da amostra do material estudado (SOLIDUS JR, 2021).

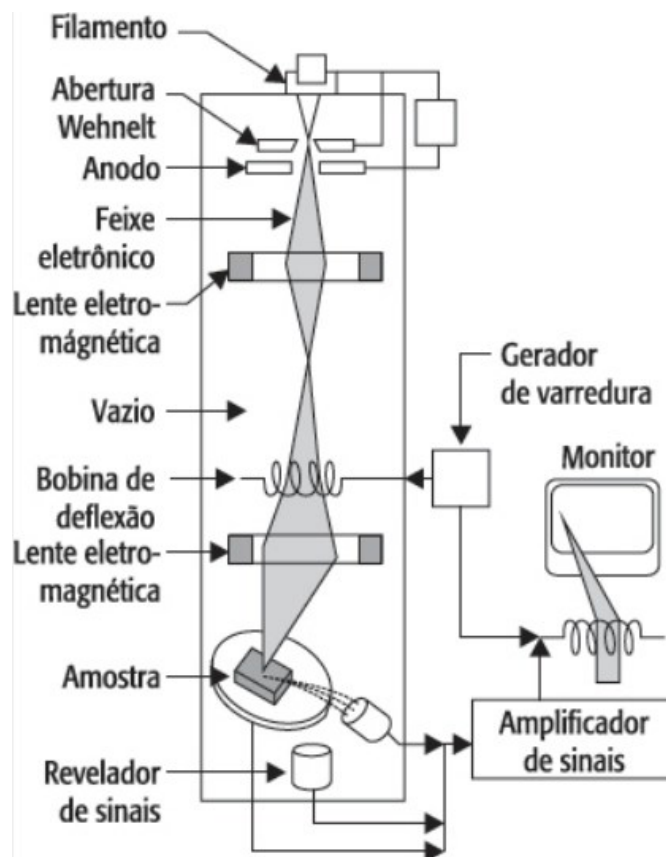
O conhecimento da composição química dos materiais sejam eles convencionam ou alternativos é de extrema importância na definição do uso a ser dado a eles na produção de matéria prima para atender as demandas da construção civil. À medida que na confecção de argamassas e concretos a composição química e mineralógica interfere na durabilidade destas matrizes cimentícias no estado endurecido, pois pode haver elementos reativos no agregado capazes de reagir com os álcalis presentes no Cimento *Portland* desencadeando reações deletérias que comprometem as estruturas ao longo de sua vida útil (BARROS *et al.*, 2017; OLIVEIRA NETO *et al.*, 2021).

3.1.3 Microscópio eletrônico de varredura - MEV

O microscópio eletrônico de varredura (MEV) oferece imagens em alta resolução da superfície dos materiais, as quais têm grande profundidade de foco e revelam informações em escala microscópica sobre o tamanho, forma, cristalografia entre outras propriedades físicas e químicas de uma amostra (GONÇALVES, 2021 *apud* GOLDSTEIN, 2018).

Nesse contexto, o funcionamento do MEV baseia-se na emissão de um feixe de elétrons que varre a superfície da amostra, resultando na emissão de sinais que são captados e transformados em imagens detalhadas conforme Figura 3 (BERTOLINI, 2010).

Figura 3: Representação do Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV)



Fonte: BERTOLINI, 2010.

Segundo Bertolini (2010) os principais componentes de um microscópio eletrônico de varredura incluem uma fonte de elétrons, que pode ser um filamento de tungstênio (W) ou uma barrinha de LaB₆, além de uma ponta de W por emissão de campo (FEG). O feixe de elétrons gerado é acelerado por uma diferença de potencial, passando por lentes eletromagnéticas que reduzem seu diâmetro até a escala nanométrica, garantindo alta resolução. Ao atingir a amostra,

o feixe gera diversos sinais que, quando amplificados, modulam a intensidade da imagem exibida no monitor. O movimento sincronizado do feixe permite a formação da imagem, dando origem ao termo "varredura".

Esta técnica permite detectar a formação de produtos de hidratação e a entender um pouco os mecanismos de degradação ao longo do tempo, principalmente em matrizes cimentícias para atender as demandas da construção civil, pois permite analisar a microestrutura de concretos e argamassas confeccionados ou não com materiais alternativos, como se verifica nas pesquisas desenvolvidas por Barros et al. (2016); Oliveira Neto et al. (2021), entre outras.

3.1.4 Granulometria

A granulometria é utilizada para determinar a distribuição do tamanho das partículas de materiais granulares, característica utilizada para avaliar o comportamento físico dos materiais convencionais e alternativos, assim verificar a adequação deles em diversas aplicações da construção civil. Desde a utilização dos agregados na confecção de concretos ao uso de solo na fabricação de tijolos ecológicos, por exemplo. A distribuição do tamanho das partículas pode ser dada a partir das técnicas: peneiramento da fração grossa; sedimentação da fração fina e granulometria a laser para materiais pulverulentos (BRAGAGNOLO; AKORF, 2020).

Logo, a análise da granulometria dos agregados a serem utilizados na produção de argamassas é importante para garantir homogeneidade da argamassa conferido a ela melhor trabalhabilidade e demais propriedades, logo, a areia (agregado) deve ficar dentro da zona utilizável (TOKARSKY *et al.*, 2018).

Os agregados utilizados na produção de concretos e argamassas, conforme a ABNT NBR 7211 (2022) devem apresentar o tamanho de suas partículas dentro dos limites especificados na Tabela 1.

Tabela 1: Limites da distribuição granulométrica do agregado miúdo

Peneira com abertura de malha (ABNT NBR ISSO 3310-1)	Porcentagem, em massa, retida acumulada			
	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
NOTA 1 O módulo de finura da zona utilizável inferior varia de 1,55 a 2,20.				
NOTA 2 O módulo de finura da zona ótima varia de 2,20 a 2,90.				
NOTA 3 O módulo de finura da zona utilizável superior varia de 2,90 a 3,50.				

Fonte: adaptado da ABNT NBR 7211:2022.

A distribuição granulométrica do tamanho das partículas do agregado é uma ferramenta essencial para avaliar a adequação do material às normas técnicas, identificando a zona que o agregado se ótima ou utilizável. Além disso, a análise da curva granulométrica permite verificar se há necessidade de ajustes na composição do agregado para otimizar sua aplicação em concretos e argamassas, garantindo melhor desempenho mecânico e reológico da mistura (TOKARSKY et al., 2018; BRAGAGNOLO; AKORF, 2020; BARROS et al., 2016).

A determinação da granulometria por sedimentação é utilizada para determinar a distribuição do tamanho das partículas finas, como as de argilas e siltes, técnica utilizada na determinação da granulometria de solos. De acordo com Almeida (2012), essa técnica se baseia no comportamento das partículas ao serem suspensas em um fluido, geralmente água, e na relação entre seu diâmetro e a velocidade de sedimentação, conforme descrito pela Lei de Stokes.

Já a granulometria a laser se diferencia do método por peneiramento por permitir a análise de partículas em uma faixa que varia de nanômetro e milímetros, proporcionando maior precisão e rapidez, sendo indicada para materiais pulverulentos (ANDRADE, 2014).

Essa técnica se baseia no fenômeno de difração de luz, na qual um feixe de laser incide sobre a amostra e a luz é desviada em ângulos proporcionais ao tamanho das partículas. Os padrões de difração são registrados, processados e enviados a um computador, permitindo a obtenção de uma curva granulométrica detalhada (ANDRADE, 2014).

3.2 Utilização de resíduos na construção civil

3.2.1 Resíduos de Scheelita

A Scheelita é um mineral de tungstênio amplamente explorado na mineração, cuja extração e beneficiamento geram resíduos de alto volume e com desafios ambientais significativos (GONDIM *et al.*, 2022). No entanto, esses resíduos apresentam potencial para aplicações na construção civil, especialmente na produção de materiais cimentícios e cerâmicos. Sua incorporação em concretos e argamassas tem sido estudada como uma alternativa para melhorar propriedades mecânicas e reduzir impactos ambientais.

Costa Filho (2017) destaca que um dos minérios mais abundantes na região do Seridó do Rio Grande do Norte é a Scheelita, destacando-se o município de Currais Novos com a maior mina de Scheelita da América do Sul, conhecida como Mina Brejuí. Esta exploração gera a disposição inadequada dos resíduos no meio ambiente local porque a eficiência do processo utilizado na separação entre os minérios pela diferença de tamanho, forma e densidade da Scheelita é muito baixo, fazendo com que a quantidade desse seja de várias toneladas.

Estudos demonstraram diferentes possibilidades de reaproveitamento desses resíduos. Costa Filho (2017) investigou a viabilidade técnica da utilização de resíduos de scheelita como material para barreiras hidráulicas em sistemas de cobertura de aterros sanitários. Os resultados indicaram que o resíduo possui características geotécnicas adequadas para aplicação, apresentando baixa permeabilidade e boa compactação, essenciais para a função de barreira hidráulica.

Além disso, pesquisas voltadas para a substituição do agregado miúdo na composição do concreto também foram conduzidas. Paiva (2013) analisou 11 traços distintos de concreto, variando a quantidade de resíduo incorporado. O estudo revelou que a substituição de 60% do agregado miúdo pelo resíduo de scheelita proporcionou melhor desempenho, influenciando positivamente a consistência da pasta e aumentando a durabilidade do concreto. Para caracterizar o material, foram empregados ensaios de granulometria e Difração de Raios X (DRX).

Outra pesquisa relevante foi realizada por Medeiros (2016), que avaliou o comportamento da argamassa no seu estado fresco e endurecido ao substituir o agregado miúdo pelo resíduo de scheelita. A caracterização do material, feita por meio da análise química por FRX e mineralógica por DRX, identificou a presença de sílica em sua estrutura cristalina. No entanto, a análise por difração de raios X apontou que o resíduo, em seu estado natural, não atende aos parâmetros exigidos pela ABNT NBR 12653 (2014). Apesar disso, concluiu-se que o resíduo da scheelita pode ser utilizado na formulação de argamassas de revestimento convencionais.

Nesta perspectiva, percebe-se a relevância de entender as técnicas de caracterização destacadas no tópico anterior para definir segundo a literatura o uso adequado de cada matéria prima alternativa na produção de materiais ecologicamente corretos para atender as demandas da construção civil. Como afirmam França Neta *et al.* (2018) o desenvolvimento de materiais alternativos para construção civil envolve a caracterização física, química e mineralógica dos materiais exigindo conhecimentos oriundos da geologia aplicada à engenharia, materiais de construção e técnicas de caracterização dos materiais.

3.2.3 Resíduos de vidro

A crescente expansão industrial tem resultado na geração de grandes quantidades de resíduos, dentre os quais se destacam as embalagens de vidro. Esse material apresenta um longo tempo de decomposição e é frequentemente descartado em aterros sanitários e outros locais inadequados, contribuindo para problemas ambientais (TRENTIN, 2020). Diante desse cenário, a utilização do pó de vidro oriundo do beneficiamento dos resíduos de vidro na construção civil surge como uma alternativa promissora para a incorporação de resíduos e a redução do impacto ambiental.

Trentin (2020) realizou um estudo sobre a viabilidade da utilização de garrafas *long neck* moídas para realizar a substituição parcial do agregado miúdo na produção de argamassa. Os percentuais de substituição foram de 10 a 50% nos tempos de 7 a 91 dias. Através de ensaios que foram realizados para a pesquisa, as maiores resistências foram obtidas com o teor de 50% de resíduo de vidro moído, já no ensaio de absorção de água por capilaridade, todos os traços apresentaram elevado coeficiente de capilaridade, sendo considerados inadequados para utilização em argamassas de revestimento. Demonstrando a não viabilidade do uso proposto.

Neste contexto, verifica-se que é necessário conhecer as características e propriedades dos materiais (resíduos) propostos para poder definir o uso adequado tecnicamente do mesmo na construção civil (BONATO, 2015; OLIVEIRA NETO *et al.*, 2021;

3.3 Formas de utilização de resíduos na confecção de materiais alternativos para construção civil

3.3.1 Pozolanas

As pozolanas são materiais silicosos ou silicoaluminosos que, sozinhos, possuem pouca ou nenhuma propriedade ligante, mas que, quando finamente divididos e na presença da água, reagem com o hidróxido de cálcio à temperatura ambiente, formando compostos com propriedade ligantes (ABNT NBR 12653, 2014).

Há 3 (três) classes de materiais pozolânicos, de acordo com ABNT NBR 12653 (2014), são eles: Classe N (Pozolanas naturais e artificiais que obedecem aos requisitos da norma, como certos materiais vulcânicos de caráter petrógrafo ácido, cherts silicosos, terras diatomáceas calcinadas); Classe C (Cinza volantes produzidas pela queima de carvão mineral em usinas termoeletricas, que obedecem aos requisitos da norma.) e Classe E (quaisquer pozolanas, não contempladas nas classes N e C, que obedecem aos requisitos da norma).

De acordo com a ABNT NBR 12653 (2014), os materiais para serem considerados pozolânicos devem possuir características específicas para garantir desempenho adequado em aplicações na construção civil (Tabela 2).

Tabela 2: Requisitos químicos para um material ser considerado pozolânico

Propriedades	Classe de material pozolânico			Método de ensaio(*)
	N	C	E	
$\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$	$\geq 70 \%$	$\geq 70 \%$	$\geq 50 \%$	ABNT NBR 22
SO_3	$\leq 4 \%$	$\leq 5 \%$	$\leq 5 \%$	ABNT NBR 16
Teor de umidade	$\leq 3 \%$	$\leq 3 \%$	$\leq 3 \%$	ABNT NBR 24
Perda ao fogo	$\leq 10 \%$	$\leq 6 \%$	$\leq 6 \%$	ABNT NBR 18
Álcalis disponíveis em Na_2O	$\leq 1,5 \%$	$\leq 1,5 \%$	$\leq 1,5 \%$	ABNT NBR 25
(*) Os métodos de ensaios devem ser adaptados, substituindo-se do cimento <i>Portland</i> pelo material pozolânico.				

Fonte: adaptado da ABNT NBR 12653:2014.

Dentro desse contexto, pesquisas recentes têm avaliado o potencial de resíduos gerados nas diversas atividades econômicas como materiais pozolânicos alternativos. Cassol (2015) investigou o resíduo de cerâmica vermelha finamente moído na produção de cimento *Portland*, buscando determinar sua atividade pozolânica. Realizados ensaios de caracterização química e física do resíduo, difração de raios X, análise termogravimétrica e análise granulométrica. Os resultados indicaram que o resíduo de cerâmica vermelha apresenta atividade pozolânica devido à presença significativa de sílica.

3.3.2 Efeito *filler*

O efeito *filler* é um fenômeno observado na utilização de materiais finamente moídos, provenientes da britagem de agregados miúdos e/ou graúdos, em misturas de concreto ou argamassas, como material de enchimento. Embora essas partículas não reajam quimicamente com os componentes principais do material, elas melhoram suas propriedades mecânicas e físicas devido ao seu efeito físico (SILVA JUNIOR, 2021).

Esse efeito ocorre quando as partículas preenchem os espaços vazios entre os grãos maiores da mistura, como os agregados, resultando em um material mais compacto. Uma das principais características do efeito *filler* é diminuição dos vazios internos nas argamassas e concreto que proporciona a redução do fluxo capilar de água no interior da mistura e aumento da resistência mecânica da mesma (SILVA JUNIOR, 2021).

Carvalho Matos (2021) investigou o uso de cinzas do bagaço de cana-de-açúcar como *filler* em compósitos cimentícios. A pesquisa demonstrou que a adição dessas cinzas finas contribuiu para a melhoria das propriedades mecânicas e de durabilidade dos materiais, devido ao efeito *filler*.

O pó de mármore residual como *filler* na produção de concreto para pavimentos intertravados, segundo Carvalho et al. (2023), melhorou a trabalhabilidade da mistura e reduziu a quantidade de vazios no concreto e aumento na resistência à compressão simples, atingindo valores próximos de 40 MPa, em conformidade com as normas técnicas brasileiras para pavimentos intertravados. Para um material ser utilizado para promover o efeito *filler* em matrizes cimentícias é necessário que ele seja pulverulento, ou seja, a fração passante na peneira ABNT de número 200.

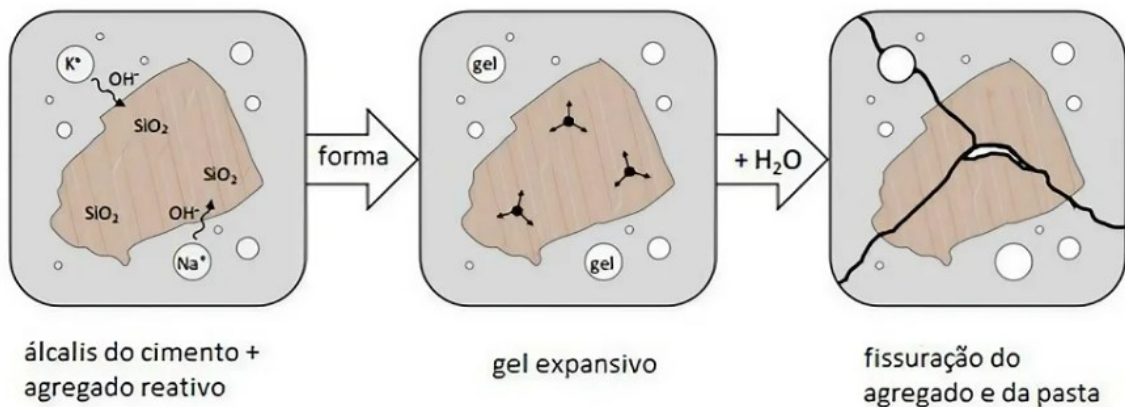
3.4 Ataques químicos em argamassas e concretos

3.4.1 Reação Álcali-Agregado

A Reação Álcali-Agregado (RAA) é um fenômeno químico que ocorre entre os álcalis presentes no cimento *Portland* e certos elementos reativos encontrados nos agregados utilizados em concretos e argamassas. Na presença de umidade, essa interação resulta na formação de um gel higroscópico expansivo, que, ao absorver água, aumento de volume, gerando tensões

internas no material (Figura 4). Esse processo leva ao surgimento de fissuras e outras manifestações patológicas nas estruturas de concreto (BONATO, 2015).

Figura 4: Reação Álcali - Agregado (RAA)



Fonte: SILVA, 2024.

Oliveira Neto *et al.* (2021); Medeiros *et al.* (2021) e Barros *et al.* (2016) destacam a necessidade de se investigar a reatividade dos materiais alternativos (resíduos beneficiados) nas matrizes cimentícias (argamassas e concretos) à medida que estes materiais podem ter componentes que reajam com os álcalis presentes no cimento e assim desencadear reações químicas que inviabilizam o uso destes materiais na fabricação de argamassas e concretos.

Com o objetivo de mitigar os efeitos da RAA Bravo *et al.* (2020) realizaram um estudo de caso durante a modernização de um estádio para a Copa de 2014, envolvendo adequações no traço do concreto, incluindo a adição de metacaulim como material pozolânico. Essa estratégia foi adotada para prevenir a ocorrência da reação álcali-agregado e garantir a durabilidade da estrutura reformada.

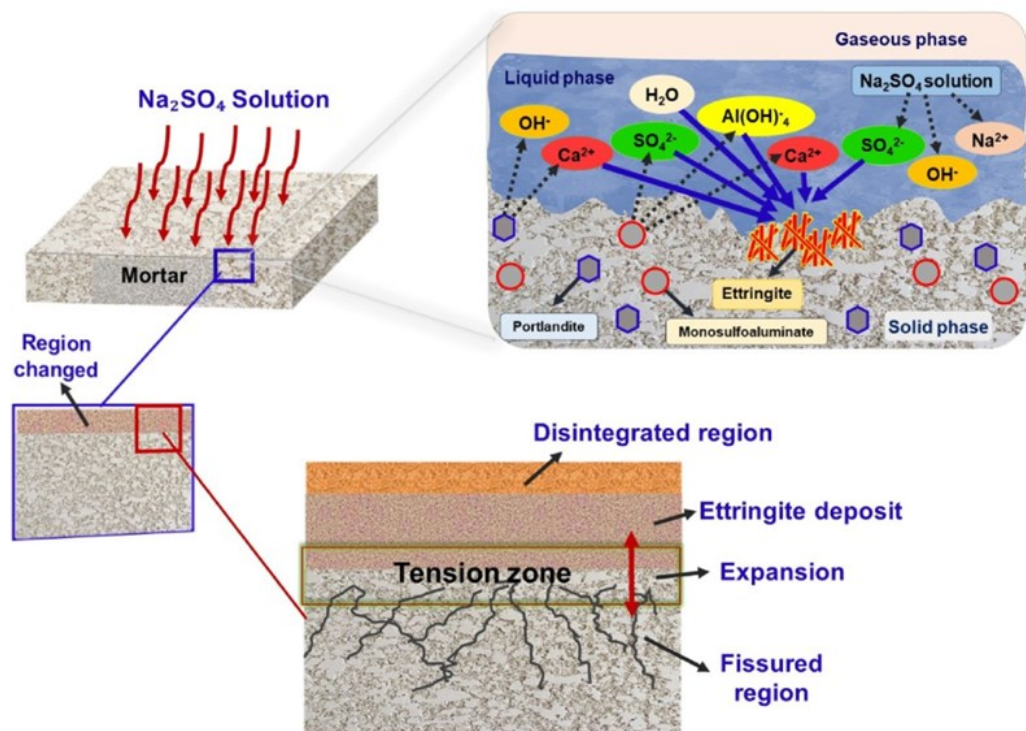
Rezende (2022) investigou o potencial de reatividade de agregados de diferentes granulometrias oriundos de duas regiões do Nordeste, verificando a importância da caracterização prévia dos agregados locais antes de sua utilização em concretos e argamassas, a fim de evitar manifestações patológicas associadas à RAA e garantir a durabilidade das construções. Para análise, utilizou os métodos DRX e MEV, que foram fundamentais para confirmar a susceptibilidade dos agregados estudados à reação. Essas técnicas permitiram avaliar a adequação dos materiais para uso em concretos e desenvolver estratégias eficazes para mitigar os efeitos da RAA.

3.4.2 Ataque por sulfato

O ataque por sulfato é um processo de deterioração das matrizes cimentícias, proveniente do ingresso dos íons sulfato (SO_4^{2-}) na estrutura do concreto. Esses íons ingressam por diferentes mecanismos de transporte e reagem como os produtos de hidratação do cimento *Portland*, desencadeando reações químicas que comprometem a integridade da matriz cimentícia (FRARE *et al.*, 2024).

Oliveira Neto *et al.* (2021) destaca que o ataque por íons de sulfato acontece conforme Figura 5.

Figura 5: Ataque por sulfato em matrizes cimentícias



Fonte: OLIVEIRA NETO *et al.*, 2021.

A agressividade do ambiente influencia na vida útil do concreto e argamassas em ambientes urbanos; industriais; marítimos, entre outros, representam riscos à estrutura devido, principalmente, à presença de sulfatos nesses ambientes (LUZ, 2022). Neste caso, deve-se investigar conforme a literatura aqui mencionada a composição química e mineralógica dos materiais alternativos propostos para poder propor o uso dos mesmos na confecção de matrizes cimentícias alternativas e em tijolos ecológicos para evitar colocar no mercado materiais que

não apresentam a durabilidade aos ataques químicos, característica essencial conforme Barros *et al.* (2016); Oliveira Neto *et al.* (2021); Oliveira Neto *et al.* (2021) e Medeiros *et al.* (2021).

4 METODOLOGIA

4.1 Materiais

Os materiais utilizados nessa pesquisa foram resíduos de vidro coletados no município de Mossoró/RN, beneficiados em Abrasão *Los Angeles* e peneira ABNT malha número 200 no Laboratório de Misturas Asfálticas – LAMAF da Universidade Federal Rural do Semi-Árido - UFERSA e resíduos gerados na extração de scheelita concedidos já na granulometria de agregado (areia) pela Empresa de Mineração Tomaz Salustino – Mina Brejuí, localizada no município de Currais Novos/RN.

4.2 Métodos

4.2.1 Caracterização física

A caracterização física do resíduo de Scheelita ocorreu determinando a granulometria por peneiramento conforme a ABNT NBR 17054/2022. O peneiramento do agregado oriundo do resíduo de Scheelita ocorreu por meio da série normal de peneiras da norma, obtendo: teor de material pulverulento; diâmetro máximo e módulo de finura.

O peneiramento da amostra do agregado estudado (resíduo de Scheelita) ocorreu seguindo as seguintes etapas: pesagem e secagem da amostra em estufa; selecionar o conjunto de peneiras; colocar o material no conjunto de peneiras (peneirando manualmente) e pesagem do material retido em cada peneira.

Enquanto, a caracterização física do resíduo de vidro beneficiado na granulometria de pó ocorreu fazendo uso de Granulômetro por difração a laser CILAS 1064 no Laboratório de Tecnologia dos Materiais da Universidade Federal de Campina Grande.

4.2.2 Caracterização química-mineralógica

A caracterização química aconteceu utilizando a técnica para determinação da composição química denominada espectrometria de fluorescência de raios X (FRX). Enquanto, a mineralógica foi realizada utilizando a difração de raios X (DRX) no Difratorômetro Shimadzu XRD-6000 com radiação $\text{CuK}\alpha$, tensão de 40kV, corrente de 30mA, modo de escaneamento por passos (fixed time scan), com passo de 0,02 e tempo de contagem de 0,6s, com ângulo 2θ

percorrido de 5° a 60° no Laboratório de Tecnologia dos Materiais da Universidade Federal de Campina Grande.

5 RESULTADOS

5.1 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DOS RESÍDUOS

5.1.1 Resíduo de Scheelita

A tabela 3 apresenta as propriedades físicas determinadas para o resíduo de Scheelita na granulometria de areia.

Tabela 3: Propriedades físicas do resíduo de Scheelita

Ensaio		Areia do resíduo de Scheelita
Teor de materiais pulverulentos (%)		1,4
Granulometria	Diâmetro máximo	2,37mm
	Módulo de finura (%)	2,4

Fonte: Autoria própria (2025).

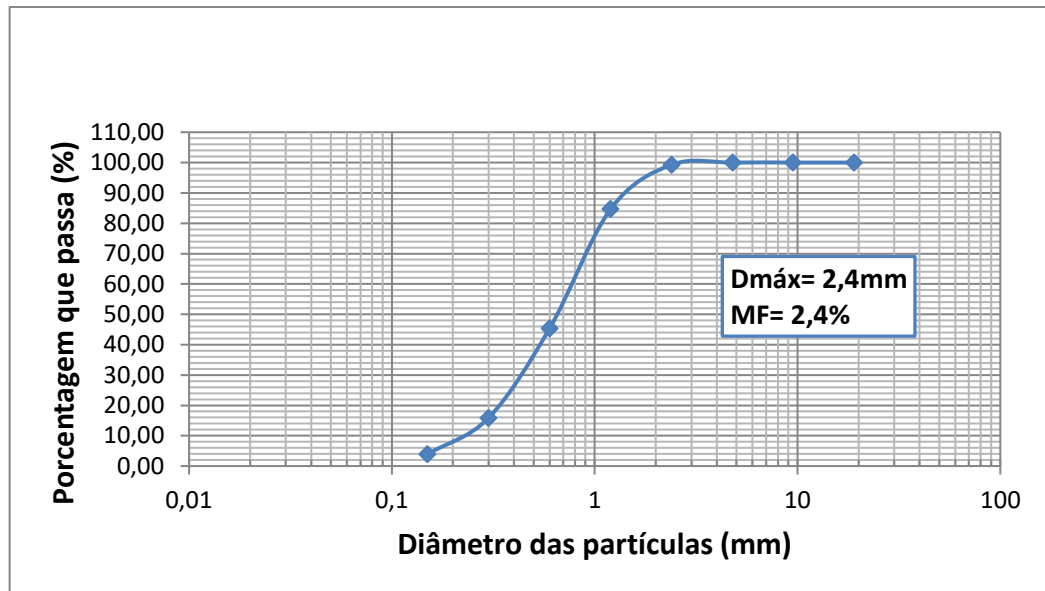
O teor de materiais pulverulentos encontrado nesta amostra foi de 1,4% (Tabela 3) é um valor considerado baixo. Fato que contribui para qualidade das argamassas, segundo *Santos et al.* (2023), pois proporciona melhor qualidade a argamassa quanto a retenção de água.

Com relação ao modulo de finura, o valor obtido foi 2,4% (Tabela 3), o agregado estudado foi classificado como areia de granulometria média à medida que o módulo de finura obtido para ela se encontra no intervalo $2,20 \leq MF < 2,90$, em uma zona ótima, segundo a NBR ABNT 7211:2022. De acordo com a literatura estudada, é importante esta determinação pois a granulometria de cada tipo de agregado influencia diretamente a trabalhabilidade e a resistência dos materiais finais.

A Figura 6 apresenta a curva granulométrica da areia de Scheelita. Percebe-se na Figura 8 que o resíduo de Scheelita pelo formato e tamanho dos seus grãos, assemelha-se a uma areia de granulometria graduada que proporciona um melhor encaixe entre os grãos, resultando em menor porosidade e maior densidade, o que aumenta significativamente a resistência à compressão e tração dos materiais finais. Logo, quanto a estes parâmetros físicos a areia do resíduo de Scheelita é apropriada para confecção de concretos e argamassas. Porém, é

interessante determinar as demais características dela para verificar se há ressalvas no seu uso para estas finalidades.

Figura 6: Curva granulométrica da areia do resíduo de Scheelita

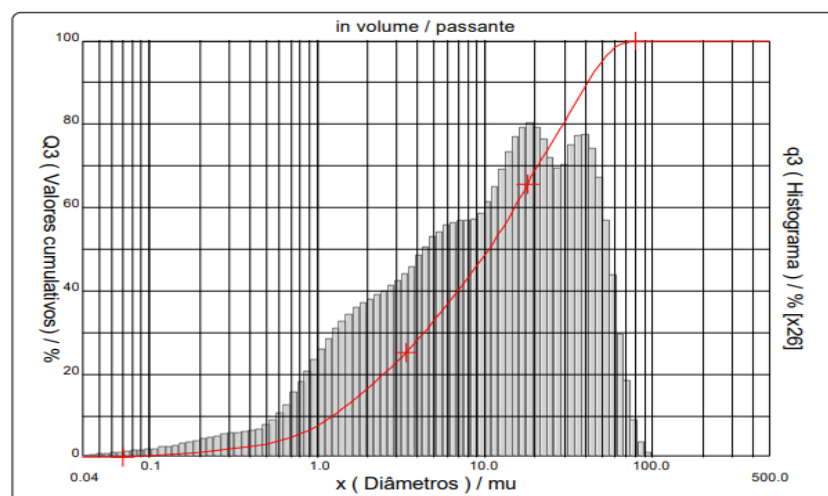


Fonte: autoria própria (2025).

5.1.2 Resíduo de Vidro

O resíduo de vidro foi beneficiado na granulometria de pó, isto é, o tamanho de suas partículas corresponde a fração passante na peneira número 200 da ABNT. A maior fração de partículas possuem diâmetros entre 2 e 20 μm , com 52,25% de volume acumulado nesta faixa (Figura 7).

Figura 7: Curva de distribuição granulométrica obtida no Granulômetro CILAS 1064



Fonte: autoria própria (2025).

5.2 CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA-MINERALÓGICA

5.2.1 Resíduo de Scheelita

A composição química da areia do resíduo de Scheelita é apresentada na Tabela 4. Verifica-se que na sua composição química há predominância do óxido de cálcio (45,64%) seguido por dióxido de silício ou sílica (25,82%). Observou-se também a presença de óxido de ferro (11,64%) e óxido de alumínio, também denominado de alumina (9,04%), na amostra.

Tabela 4: Composição química da areia do resíduo de Scheelita

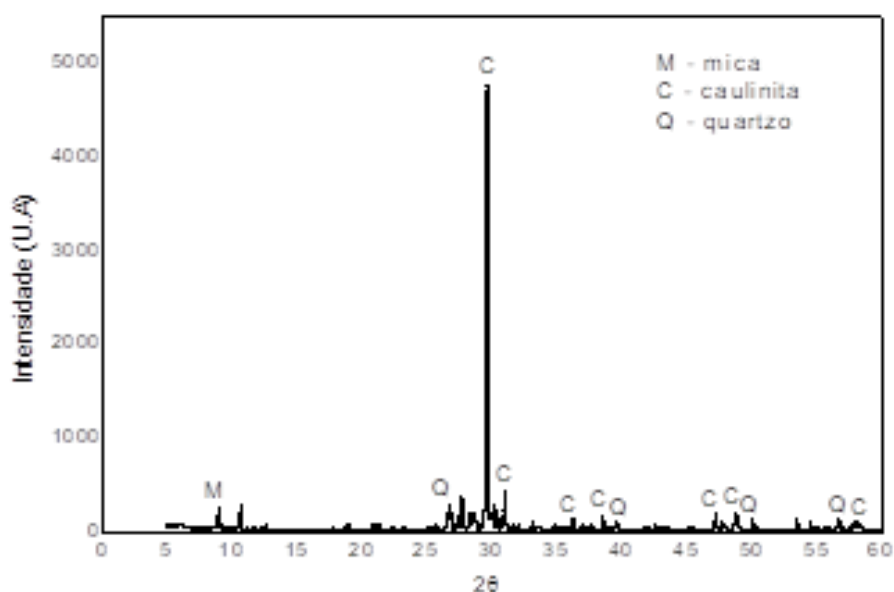
ÓXIDOS	(%)
SiO ₂	25,82
CaO	45,64
K ₂ O	0,65
P ₂ O ₅	-
Al ₂ O ₃	9,04
MgO	3,95
SO ₃	-
Fe ₂ O ₃	11,64
Outros óxidos	3,24

Fonte: autoria própria (2025).

O teor de alumina presente no resíduo de Scheelita estudado sugere a necessidade de se verificar a ocorrência aos ataques químicos ao utilizá-lo em matrizes cimentícias, pois a alumina presente no agregado seja natural ou oriunda de resíduos pode reagir com os álcalis presentes no cimento (ARAÚJO, 2021). Logo, não se deve levar apenas em consideração a caracterização física à medida que a reatividade dele aos ataques químicos podem ocorrer e se faz necessário a utilização de cimentos mitigadores dos ataques químicos. Até mesmo de materiais mitigadores dos ataques.

O difratograma de raios-x obtido para areia do resíduo de Scheelita (Figura 8) apresenta as seguintes fases mineralógicas: quartzo (SiO₂, JCPDS 46-1045), mica (K(Mg,Fe)₃(Si₃Al)O₁₀(OH)₂, JCPDS 83-1808) e calcita (CaCO₃, JCPDS 05-0586).

Figura 8: Difratoograma de raios X da areia do resíduo da Scheelita



Fonte: Autoria própria (2025).

O DRX (Figura 10) com os resultados da caracterização química (Tabela 4) já que indica alto teor de óxido de cálcio (CaO), que pode ser da presença de calcita (CaCO_3) e a fase cristalina de quartzo é indicativo do teor de sílica cristalina (não amorfa) presente no material estudado.

5.2.2 Resíduo de Vidro

A composição química do resíduo de vidro beneficiado na granulometria de pó é apresentada na Tabela 5.

Tabela 5: Composição química do resíduo de vidro beneficiado

ÓXIDOS	(%)
SiO_2	69,6
CaO	12,92
Na_2O	11,85
Al_2O_3	3,79
K_2O	0,91
RuO_2	0,58
SO_3	0,22

Fe ₂ O ₃	-
TiO ₂	0,06
Outros óxidos	0,07

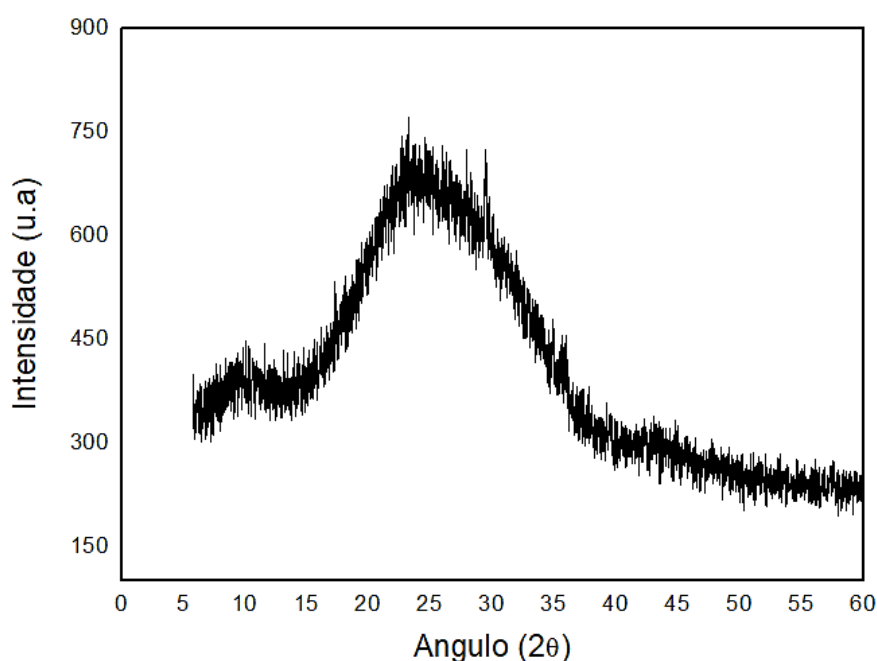
Fonte: Autoria própria (2025).

O resíduo de vidro beneficiado na granulometria de pó apresentou uma composição química rica em sílica (SiO₂) com 69,6%, sílica esta amorfa conforme o comportamento do seu difratograma (Figura 10). O teor moderado de óxido de cálcio (CaO) de 12,92% e o baixo teor de óxido de alumínio (Al₂O₃) de 3,79% podem contribuir para a estabilidade química, porém, a presença significativa de óxido de sódio (Na₂O) e de óxido de potássio (K₂O) exige avaliação quanto ao risco de reação álcali-agregado, principalmente quando for usado com cimento *Portland* Comum.

Como a soma obtida para SiO₂ + Al₂O₃ + Fe₂O₃ é 73,39%; o teor de SO₃ (0,22%) foi ≤4 % e a sílica presente no pó de vidro é amorfa (Figura 10), de acordo com a ABNT NBR 12653:2014, estes parâmetros obtidos são indicativos que este material tem característica de material pozolânico.

O difratograma de raios-x obtido para o pó de vidro (Figura 9) apresenta a formação de um halo alargado, sem picos cristalinos, característica de sílica amorfa.

Figura 9: Difratograma de raio X do resíduo de vidro



Fonte: Autoria própria (2025).

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante do estudo realizado, foi possível chegar as seguintes conclusões:

- A caracterização física do resíduo de Scheelita na granulometria de areia média permite a utilização deles na confecção de argamassas, pois apresentam distribuição granulométrica graduada com a presença das várias faixas de diâmetros que proporciona menor porosidade a estes materiais. Ademais, o módulo de finura obtido demonstra que confere boa trabalhabilidade e resistência aos materiais finais.
- A caracterização química-mineralógica do resíduo de Scheelita indica a necessidade da investigação da ocorrência aos ataques por sulfato e as reações álcalis-agregados quando estes são usados na produção de argamassas e concretos, pois há a presença de alumina na composição química que pode desencadear estas reações e comprometer a durabilidade das matrizes cimentícias fabricados com ele.
- A caracterização física do pó de vidro indica que este é um material classificado como pulverulento, podendo ser utilizado em argamassas e concretos para promover efeito *filler* em função do tamanho de suas partículas.
- A caracterização química-mineralógica do pó de vidro indica que este é um material que pode ser classificado de acordo com os parâmetros indicados pela ABNT NBR 12653:2015 como material que apresenta atividade pozolânica, sendo reforçado pela sua caracterização mineralógica que indica a presença da sílica amorfa em função da formação de um halo característico de material amorfo.
- As técnicas de caracterização dos materiais aplicadas na caracterização de resíduos beneficiados ou sem beneficiamento apresentam demasiada importância para o setor da construção civil conseguir alcançar com eficiência e eficácia o Objetivo do Desenvolvimento Sustentável número 12, promover o consumo e produção sustentável. Relevância esta demonstrada, principalmente, com os resultados obtidos na caracterização do resíduo de Scheelita cuja caracterização física indica que se encontra na zona ótima de utilização na produção de argamassa, porém a caracterização química indica a presença de alumina que pode reagir com os álcalis do cimento Portland. Logo, demonstra que se deve investigar as reações químicas e escolher um cimento cuja

composição química tenha elementos capazes de impedir as reações álcalis-agregado.

REFERÊNCIAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **ABNT NBR 12653: Materiais pozolânicos - Requisitos.** Rio de Janeiro: ABNT, 2014. 10 p.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **ABNT NBR 17054: Agregados - Determinação da composição granulométrica – Método de ensaio.** Rio de Janeiro: ABNT, 2022. 9 p.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **ABNT NBR 7211: Agregados para concreto – Requisitos.** Rio de Janeiro: ABNT, 2022. 14 p.

ALMEIDA, B. G. de; DONAGEMMA, G. K.; RUIZ, H. A.; BRAIDA, J. A.; VIANA, J. H. M.; REICHERT, J. M. M.; OLIVEIRA, L. B.; CEDDIA, M. B.; WADT, P. S.; FERNANDES, R. B. A.; PASSOS, R. R.; DECHEN, S. C. F.; KLEIN, V. A.; TEIXEIRA, W. G.. Padronização de métodos para análise granulométrica no Brasil. **Comunicado Técnico 66**, ISSN 1517-5685, Rio de Janeiro, RJ: Técnico, dez. 2012. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/19506294.pdf>. Acesso em: 4 mar. 2025.

ANDRADE, Luana Caetano **Rocha de. Caracterização de rejeitos de mineração de ferro, in natura e segregados, para aplicação como material de construção civil.** 2014. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, 2014.

ARAÚJO, A.L.; FRANÇA NETA, M.L.X.; BARROS, S.V.A., et al. Poder de mitigação da cinza de casca de arroz ao ataque por sulfatos em argamassas confeccionadas com resíduos de scheelita. **Revista Matéria**, v.26, n.3, 2021. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rmat/a/cxq8Kwg96pjdLnkVJsRNN8m/?lang=pt&format=pdf>. Acesso em: 19 mar. 2025.

ASFORA, Viviane Khoury. **Fluorescência de raios x por dispersão de energia aplicada à caracterização de tijolos de sítios históricos de Pernambuco.** 2010. Dissertação Programa de Pós-graduação em Tecnologias Energéticas e Nucleares, Universidade Federal de Pernambuco. Recife, 2010.

BARROS, S. V. A.; MARCIANO, J. E. A.; FERREIRA, H. C.; MENEZES, R. R.; NEVES, G. A. Addition of quartzite residues on mortars: Analysis of the alkali aggregate reaction and the mechanical behavior. *Construction & Building Materials*, v. 118, p. 344-351, 2016. BERTOLINI, Luca. **Materiais de construção: patologia, reabilitação e prevenção.** São Paulo: Oficina de Textos, 2010. E-book. Disponível em: <https://plataforma.bvirtual.com.br>. Acesso em: 02 mar. 2025.

BONATO, Luciano Cezar. **Reação alcali-agregado, principais causas e estudos de reatividade potencial.** 2015. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2015.

BRAGAGNOLO, L.; KORF, E.P. Aplicação de resíduos na fabricação de concreto: como técnicas analíticas de caracterização podem auxiliar na escolha preliminar do material mais adequado? **Revista Matéria**, v.25, n.1, 2020.

BRASILEIRO, L. L., MATOS, J. M. E. Revisão bibliográfica: reutilização de resíduos da construção e demolição na indústria da construção civil. **Cerâmica** **61** (2015) 178-189.

BRAVO, M. C.; EUPHROSINO, C.; SAVIOLI, E.; FERREIRA, G.; FONTANINI, P. Adequação de concreto para evitar RAA, um estudo de caso: modernização de um estádio para a Copa de 2014. In: **CONGRESSO INTERNACIONAL SOBRE GESTÃO DE RESÍDUOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL – CIRMARE**, 2020. Anais [...]. Disponível em: <https://wordpress.ft.unicamp.br/mats/wp-content/uploads/sites/29/2021/05/437-ARTIGO-FINAL-CIRMARE-2020-1-1.pdf>. Acesso em: 14 mar. 2025.

CALLISTER, W; RETHWISCH, D. **Materials science and engineering: an introduction**, 7a. New York: John Wiley & Sons, 2007. 936p.

CARVALHO MATOS, W.E. C.; SILVA, H.J.B.; PAZ, G.M., et al. Utilização de cinzas do bagaço de cana-de-açúcar como material de preenchimento estrutural ou pozolânico para a produção de argamassas cimentícias: uma revisão. **Revista Matéria**, v.26, n.4, 2021. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rmat/a/rnq3v8xGmfkb3JBS7S4Dq7L/?lang=pt&format=pdf>. Acesso em: 11 fev. 2025.

CARVALHO, A. R. de; SILVA JÚNIOR, G. da.; FONTES, W. C.; SILVA, G. J. B.; PEDROTI, L. G.; OLIVEIRA, T. M. de. Influência do efeito fíler do pó de mármore na produção de concretos para pavimentos intertravados. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 23, n. 4, p. 217-239, out./dez. 2023.

CASSOL, Gabriela. **Caracterização e utilização do resíduo de cerâmica vermelha como material pozolânico em matrizes cimentícias**. 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista "Júlio de mesquita Filho", 2015.

COSTA FILHO, Francisco das Chagas da. **Estudo de viabilidade técnica do uso de resíduos oriundos do beneficiamento de scheelita na composição de concretos asfálticos**. 2017. 172f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2017.

FRANÇA NETA, M. L. X.; BARROS, S. V. A.; DANTAS, G. C. B.; MELO, S. B.; NEVES, G. A.; SANTOS, V. S.; SILVA, W. G. Avaliação da reatividade ao ataque químico de resíduo oriundo da mineração da scheelita utilizado como agregado em argamassas cimentícias. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 26, n. 6, p. 1135-1142, nov./dez. 2021. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/esa/a/mvCkqnRdBBVRt3RfGNFfMRh/?lang=pt&format=pdf>. Acesso em: 17 mar. 2025.

FRARE, A.; AMARAL, M.; SOUZA, D. J. de; MEDEIROS, M. H. F. de. Processo analítico hierárquico (AHP) aplicado ao estudo de diferentes argamassas frente ao ataque por sulfatos. **Ambiente Construído**, Porto Alegre. V. 24, e129416, jan./dez. 2024.

GONÇALVES, Alexandre José. **Eficiência de aplicação dos métodos de Microscopia Eletrônica no desenvolvimento de novas composições de construção civil na base de resíduos industriais e municipais**. 2021. 75 p. Dissertação Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2021.

GONDIM, T. F. Potencialidade de uso do resíduo da scheelita em sistemas de cobertura de aterro de resíduos. **Eng Sanit Ambient**, v.27 n.3, p. 597-606 Maio/jun. 2022.

LOPEZ, D. A. S. **Filmes finos de óxido ternários litiados Li(NiCoMn)O₂ depositados por rf magnetron sputtering**. 2018. 108 f. Dissertação (Mestrado em física) – Universidades Estadual de Londrina, 2018. Disponível em: https://pos.uel.br/fisica/wp-content/uploads/2021/07/dissertacao_daniel_sanchez_lopez.pdf. Acesso em: 7 mar. 2025.

LUZ, A. B.; SAMPAIO, J. A.; FRANÇA, S. C. A. (Eds.). **Tratamento de Minérios**. 5ª ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2010. Disponível em: <http://mineralis.cetem.gov.br/handle/cetem/476>. Acesso em: 14 mar. 2025.

LUZ, T. M.; MATOS, A. C. T.; SILVA, E. S.; CORDEIRO, M. L. P.; FONGARO, M. H. O.; SILVA, T. O.; BONIFÁCIO, D. R. Análise sobre ataques por sulfatos ao concreto de fundações. **Revista de Engenharia e Tecnologia**, v. 14, n. 4, p. 114, dez. 2022. Disponível em: <https://revistas.uepg.br/index.php/ret/article/view/20653/209209217195>. Acesso em: 5 mar. 2025.

Malvern Panalytical. Fluorescência de raios X por energia dispersiva (EDXRF). Disponível em: <https://www.malvernpanalytical.com/br/products/technology/xray-analysis/x-ray-fluorescence/energy-dispersive-x-ray-fluorescence>. Acesso em: 19 mar. 2025.

MEDEIROS, B. L. DE A. V.; FERNANDES, J. V.; COSTA, F. P. da; BARROS, S. V. A.; RODRIGUES, A. M.; NEVES, G. A. Resistance to the alkali-aggregate reaction of sustainable mortars produced with scheelite tailings in replacing natural sand aggregates. **Research, society and development**, v. 10, p. e567101422209, 2021.

OLIVEIRA NETO, R. E.; CARTAXO, J. M.; RODRIGUE, A. M.; NEVES, G. A.; MENEZES, R. R.; COSTA, F. P.; BARROS, S. V. A. Durability Behavior of Mortars Containing Perlite Tailings: Alkali-Silicate Reaction Viewpoint. **Sustainability**, v. 13, p. 9203, 2021.

PAIVA, Emanuel Henrique Gomes. **Avaliação do concreto de cimento Portland com resíduo da produção de scheelita em substituição ao agregado miúdo**. 2013. Dissertação (Pós graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2013.

PAULETTO, A. R.; BREHM, F. A.; GOMES, L. B. Pauletto. Análise do uso da técnica de difração de raios x em estudos sobre materiais cimentícios suplementares: uma revisão de literatura. In: FORUM INTERNACIONAL DE RESIDUOS SOLIDOS, 11., 2020, Porto Alegre. Anais [...]. Instituto Venfuri, 2021. Disponível em: <https://institutoventuri.org/ojs/index.php/FIRS/article/view/138>. Acesso em: 25 jan. 2025.

PAULINO, R. S.; LAZARI, C. H.; MIRANDA, L. F. R.; VOGT, V. Atualização do cenário da reciclagem de resíduos de construção e demolição no Brasil: 2008-2020. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 23, n. 3, p. 83-97, jul./set. 2023. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ac/a/QNNFCRvKbhfCRwx5sgNwxvM/?lang=pt>. Acesso em: 24 fev. 2025.

REZENDE, Antônio Flávio Mota. **Reatividade Álcali-agregado: estudo de caso de materiais provenientes de dois locais do nordeste do Brasil**. 2022. Trabalho de conclusão

de curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, 2022.

SANTOS, L. M.; CARVALHO JR, A. N. de; VITORINO, S. J. A influência do material pulverulento na retenção de água e no tempo de estabilização da argamassa estabilizada. **Construindo**, Belo Horizonte, v. 15, n. 2, p. 1-14, jul./dez. 2023.

SILVA JUNIOR, Gilber. **O efeito filler em blocos de pavimentação com uso do pó de mármore**. 2021. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia, Universidade Federal de Juiz de Fora, 2021.

SOLIDUS JR. FLUORESCÊNCIA DE RAIOS-X (FRX). 2021. Disponível em: <https://blog.solidusjr.com.br/fluorescencia-de-raios-x/>. Acesso em: 15 de março de 2025.

TOKARSKI, R.B.; MATOSKI, A.; CECHIN, L. Comportamento das argamassas de revestimento no estado fresco, compostas com areia de britagem de rocha calcária e areia natural. **Revista Matéria**, v.23, n.3, 2018. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rmat/a/FZwQTgRmn3rGtnfPqVzmZFy/?lang=pt&format=pdf>. Acesso em: 28 fev. 2025.

TRENTIN, P. O.; MANICA, J.; VANZETTO, S. C.; MARANGONI, B.; ZALESKI, A.. Substituição parcial de agregado miúdo por resíduo de vidro moído na produção de argamassa. **Matéria** (Rio de Janeiro), v. 25, n. 1, e-12576, 2020. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rmat/a/wyCkXD3zkSmzPjPpkqmhm3r/?lang=pt&format=pdf>. Acesso em: 4 mar. 2025.