



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



LUIS GUSTAVO DE SOUZA REZENDE

**APLICAÇÃO DE REJEITO DE MINÉRIO DE LÍTIO COMO FUNDENTE
NA PRODUÇÃO CERÂMICA BRANCA**

OURO PRETO - MG

2024

LUIS GUSTAVO DE SOUZA REZENDE

APLICAÇÃO DE REJEITO DE MINÉRIO DE LÍTIO COMO FUNDENTE NA
PRODUÇÃO CERÂMICA BRANCA

Trabalho Final de Curso apresentado como parte dos requisitos para obtenção do título de bacharel em Engenharia de Minas na Universidade Federal de Ouro Preto.

Orientadora: Msc. Mariana Caroline Andrade Silva

Coorientadora: Prof. Dra. Érica Linhares Reis

OURO PRETO - MG

2024

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

R467a Rezende, Luis Gustavo de Souza.

Aplicação de rejeito de minério de lítio como fundente na produção cerâmica branca. [manuscrito] / Luis Gustavo de Souza Rezende. - 2024. 55 f.: il.: , gráf., tab..

Orientadora: Ma. Mariana Caroline Andrade Silva.

Coorientadora: Profa. Dra. Érica Linhares Reis.

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

1. Lítio- Reaproveitamento (Sobras, refugos, etc.). 2. Cerâmica (Tecnologia). 3. Rejeitos. 4. Sustentabilidade. I. Silva, Mariana Caroline Andrade. II. Reis, Érica Linhares. III. Universidade Federal de Ouro Preto. IV. Título.

CDU 666.3

Bibliotecário(a) Responsável: Soraya Fernanda Ferreira e Souza - SIAPE: 1.763.787



FOLHA DE APROVAÇÃO

Luis Gustavo de Souza Rezende

Aplicação de rejeito de minério de lítio como fundente na produção de cerâmica branca

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia de Minas

Aprovada em 21 de fevereiro de 2024

Membros da banca

M.Sc. Mariana Caroline Andrade Silva - Orientadora (Universidade Federal de Ouro Preto)
Dra. Érica Linhares Reis - Co-orientadora (Universidade Federal de Ouro Preto)
M.Sc. Stephânia da Consolação Silva Nogueira - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mineral (UFOP)
M.Sc. Jorge Carlos Guerrero Vargas

Mariana Caroline Andrade Silva, orientadora do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 05/03/2024



Documento assinado eletronicamente por **Mariana Caroline Andrade Silva, TECNICO EM MINERACAO**, em 05/03/2024, às 11:33, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0677691** e o código CRC **49B41B31**.

Dedico este trabalho aos meus pais José Roberto e Maria Márcia, e a minha irmã Laís. Sem a presença, o apoio, o carinho e o amor de vocês, nada disso teria sido possível.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Deus por iluminar meu caminho e me dar saúde para concluir essa etapa.

Aos meus pais, José Roberto e Maria Márcia, e à minha irmã Laís, pelo apoio, carinho, amor e por todas as ações que realizaram em meu benefício.

À Marina por dar apoio durante momentos desafiadores, pelo companheirismo, amor e por manter a confiança constante em minha capacidade.

À SGA e LATRAM, agradeço por colaborarem para o meu desenvolvimento acadêmico e profissional.

À Barbosa Oliveira Geofísica, pela oportunidade e aprendizado.

À Mariana, minha orientadora, expresso minha gratidão pela paciência, pelo ensinamento, auxílio, encorajamento e orientação ao longo da realização deste projeto.

À Érica, minha coorientadora, agradeço a chance de realizar este trabalho enriquecedor e por dividir sua extensa sabedoria comigo.

À Universidade Federal de Ouro Preto, à Escola de Minas e o Departamento de Engenharia de Minas, manifesto meu apreço pelo fornecimento de educação gratuita e de alto nível. Aos meus mestres, agradeço por conduzirem com maestria uma das atividades mais nobres da humanidade: a partilha do saber.

RESUMO

O lítio é essencial na indústria e transição energética global, sendo fundamental para baterias de dispositivos eletrônicos e veículos elétricos. No entanto, devido à sua reatividade, não é encontrado isoladamente na natureza, demandando processamento mineral com geração de grande quantidade de rejeitos. Com o intuito de alinhar-se ao conceito de desenvolvimento sustentável e mineração responsável, este estudo propõe a incorporação de rejeito de minério de lítio da região de São João Del Rei (MG) como fundente na produção de cerâmica branca. Para isso, pelo Laboratório de Materiais Cerâmicos do Departamento de Engenharia de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto realizou-se os ensaios de caracterização mineralógica do rejeito de minério de lítio, o qual foi utilizado na mistura com a amostra de argila previamente submetida à determinação da umidade, dos limites de Atterberg, composição mineralógica, densidade, distribuição de tamanhos de partículas e análise termogravimétrica. Corpos de prova foram fabricados, variando as porcentagens de rejeito na mistura (0%, 5%, 10%, 20% e 30%). Por fim, foram conduzidos ensaios tecnológicos para determinar a retração linear de secagem (0,10 a 0,16%), retração linear de queima (1,22 a 1,49%), massa específica aparente (1,63 a 1,74 g/cm³), resistência à compressão uniaxial (29,09 a 55,90 MPa), absorção de água (5,34 a 8,32%), perda ao fogo (7,80 a 10,49%). Concluiu-se que a amostra do rejeito de minério de lítio é composta por Albita, Ortoclásio, Espodumênio, Muscovita e Clinoptilolita. Os testes indicam que as proporções do rejeito têm relação inversa com à absorção de água, e relação direta com a massa específica aparente e resistência à compressão uniaxial. Essa conexão se deve à presença de feldspato no rejeito, atuando como agente fundente durante a queima da mistura.

Palavras-chave: Rejeito de minério de lítio; Cerâmica Branca; Fundente.

ABSTRACT

Lithium plays a crucial role in the batteries of electronic devices and electric vehicles, making it essential in the global industry and energy transition. However, it is not found in nature in isolation due to its reactivity, and therefore requires mineral processing, which generates a significant amount of waste. In accordance with the principles of sustainable development and responsible mining, this study suggests using lithium ore waste from the São João Del Rei region (MG) as a flux in the production of white ceramics. The Laboratory of Ceramic Materials at the Department of Mining Engineering of the Federal University of Ouro Preto conducted tests to characterize the mineralogy of the lithium ore waste. The waste was then mixed with a clay sample that had undergone moisture determination, Atterberg limits, mineralogical composition, density, particle size distribution, and thermogravimetric analysis. Specimens were produced by varying the percentages of waste in the mixture (0%, 5%, 10%, 20%, and 30%). Technological tests were then conducted to determine linear drying shrinkage (0,10 to 0,16%), linear firing shrinkage (1,22 to 1,49%), apparent specific gravity (1,63 to 1,74 g/cm³), uniaxial compression strength (29,09 to 55,90 MPa), water absorption (5,34 to 8,32%), and loss on ignition (7,80 to 10,49%). The composition of the lithium ore waste (M4) sample was determined to be Albite, Orthoclase, Spodumene, Muscovite and Clinoptilolite. The tests revealed an inverse relationship between the proportions of waste and water absorption, and a direct relationship with apparent specific gravity and uniaxial compression strength. This connection is due to the presence of feldspar in the waste, which acts as a flux during the firing of the mixture. The study focused on the use of lithium ore waste in the production of white ceramics.

Keywords: Lithium ore waste; White ceramics; Flux.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Curvas de gresificação de massas utilizadas industrialmente.	28
Figura 2 - Fluxograma do processo de confecção da amostra.....	35
Figura 3 – Amostra na balança analítica pronta para ter sua umidade examinada. ...	36
Figura 4 - Prensa hidráulica SoloCap CI100 toneladas-forças.	37
Figura 5 – Peças e utensílios empregues para realizar a conformação das amostras.	37
Figura 6 – Molde Prisma quadrangular.	38
Figura 7 – Corpos de prova após a conformação.	38
Figura 8 – Estufa Biopar.....	39
Figura 9 – CP posicionado para iniciar o teste de RCU.	42
Figura 10 - Difratograma do rejeito de minério de lítio.....	44

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Principais matérias primas utilizadas pela indústria cerâmica.....	17
Tabela 2 - Vantagens e desvantagens dos dois tipos de fornos.....	21
Tabela 3 - Tipos de cerâmicas e suas características.....	27
Tabela 4 – Caracterização da Matéria prima (Argila).....	33

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 – Retração linear de secagem	40
Equação 2 – Retração linear de queima	40
Equação 3 – Massa específica aparente.....	41
Equação 4 – Resistência a compressão uniaxial	42
Equação 5 – Absorção de água	43
Equação 6 – Perda ao fogo	43

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AA	Absorção de água
ABCERAM	Associação Brasileira de Cerâmica
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANFACER	Associação Nacional dos Fabricantes de Cerâmica para Revestimento
CP	Corpo de prova
DEMIN	Departamento de Engenharia de Minas
IP	Índice de plasticidade
LL	Limite de liquidez
LP	Limite de plasticidade
M4	Rejeito do minério de lítio
MEA	Massa específica aparente
NBR	Norma Brasileira
PIB	Produto Interno Bruto
PPM	Partes por milhão
RCU	Resistência à compressão uniaxial
RLQ	Resistência linear de queima
RLS	Resistência linear de secagem
UFOP	Universidade Federal de Ouro Preto

SUMÁRIO

1	Introdução	14
2	Objetivo GERAL	16
2.1.1	Objetivos Específicos.....	16
3	Revisão Bibliográfica.....	17
3.1	Cerâmica Branca	17
3.1.1	Grês	23
3.1.2	Faiança	24
3.1.3	Porcelana.....	25
3.1.4	Parâmetros empregados para caracterização dos produtos cerâmicos	27
3.1.5	Argila para confecção de cerâmica branca (região norte de Minas Gerais)	29
3.2	Introdução de resíduos sólidos na produção de cerâmica branca.....	30
4	MATERIAIS E MÉTODOS.....	33
4.1	Caracterização das matérias-primas	33
4.1.1	Caracterização mineralógica do rejeito do minério de lítio.....	33
4.1.2	Caracterização da argila	33
4.2	Confecção dos corpos de prova	34
4.2.1	Ajuste de umidade da amostra.....	35
4.2.2	Conformação dos corpos cerâmicos	36
4.2.3	Secagem.....	39
4.2.4	Sinterização	39
4.3	Ensaio tecnológicos para caracterização dos corpos cerâmicos	40

4.3.1	Retração linear de secagem (RLS) e retração linear de queima (RLQ)	40
4.3.2	Massa específica aparente (MEA)	41
4.3.3	Resistência à compressão uniaxial (RCU)	41
4.3.4	Absorção de água (AA)	42
4.3.5	Perda ao Fogo	43
5	Resultados e discussão	44
5.1	Caracterização Mineralógica da amostra de rejeito de minério de lítio (M4)	44
5.2	Ensaio tecnológico para caracterização dos corpos cerâmicos	44
5.2.1	Retração linear de secagem (RLS) e de queima (RLQ)	44
5.2.2	Retração linear de queima (RLQ)	45
5.2.3	Massa específica aparente (MEA)	46
5.2.4	Resistência à compressão uniaxial (RCU)	47
5.2.5	Absorção de água (AA)	48
5.2.6	Perda ao Fogo (PF)	49
6	Conclusão	51
	Referências	53

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos dez anos, houve um aumento substancial na demanda e nos preços internacionais do lítio (Guedes et al, 2022). Isso ocorre devido alteração da matriz energética mundial, movida ao consumo de combustíveis fósseis para energias limpas. Substituindo os automóveis, cuja queima de combustíveis fósseis produzem o CO₂, por carros elétricos (Brigido et al, 2023), que por sua vez necessitam de baterias para poder armazenar o máximo da energia gerada. Atualmente, as baterias mais eficientes e lucrativas são as de ion-lítio, sendo essencial aplicação de elementos terras raras e de lítio para sua manufatura. (Bittencourt, 2023).

Contudo, a utilização do lítio e de seus compostos químicos são diversos e não se restringem somente a produção de baterias (sejam elas primárias ou recarregáveis). Elas também são empregadas na indústria de vidro e cerâmica, na fabricação de graxas lubrificantes, na produção de ligas metálicas, na área de medicamentos e aplicação na indústria nuclear. Em uma análise setorial global de consumo, observa-se a seguinte distribuição: baterias correspondem a 65%, cerâmica e vidro a 18%, graxas a 5%, polímeros a 3%, fundição a 3%, tratamento do ar a 1%, e outras aplicações a 5% (Vale, 2021).

O potencial de extração de lítio no Brasil é significativo e coloca o país em destaque, ao lado de nações como Chile, Argentina, Estados Unidos, Canadá e Austrália (Revista Veja).

O lítio pode ser encontrado predominantemente em dois tipos de depósitos: salmouras continentais e pegmatitos. O primeiro, representa 62%, possui método de lavra mais simples e de menor custo, contudo apresenta um menor teor. O segundo, rocha plutônica associada aos minerais de lítio, simboliza 23% das ocorrências (Lopes, 2019).

A prospecção dos minérios de lítio apresenta-se como uma empreitada desafiadora e dispendiosa devido à sua baixa concentração (Mateus, 2022). O lítio, embora seja um componente vital para diversas aplicações tecnológicas, é escasso e disseminado em rochas na natureza, representando apenas 20 partes por milhão

(ppm) na crosta terrestre. Sua presença é ainda mais limitada na água do mar, com uma concentração de apenas 0,1 ppm (Costa, 2020).

Diante dos desafios ambientais e hídricos que enfrentamos atualmente, torna-se imperativo otimizar a utilização de recursos explorados e reduzir ao máximo a geração de resíduos sólidos e efluentes. Essa abordagem visa promover uma atividade mineradora mais eficiente. A indústria cerâmica destaca-se como um setor receptivo à implementação de técnicas que visam aproveitar de maneira eficaz os resíduos, contribuindo assim para práticas mais sustentáveis (Nascimento, 2007).

Nesse contexto, o objetivo deste estudo é conduzir ensaios para tecnologicamente caracterizar um rejeito de lítio proveniente da concentração de um minério da região de São João Del Rei – MG e avaliar a viabilidade do uso desse rejeito como fundente no processo de produção cerâmica.

2 OBJETIVO GERAL

O objetivo do presente trabalho é avaliar a aplicação de rejeito de minério de lítio (M4), como fundente na produção cerâmica branca.

2.1.1 Objetivos Específicos

- a) Caracterizar mineralogicamente a amostra de rejeito de minério de lítio (M4);
- b) Confeccionar corpos de prova modificando a porcentagem de M4 em cada composição (0%, 5%, 10%, 20% e 30%), com pressão de compactação (28 MPa) e a temperatura de queima constantes (1100 °C);
- c) Realizar e avaliar os ensaios tecnológicos de retração linear de secagem e queima, resistência à compressão uniaxial, absorção de água, perda ao fogo e massa específica aparente;
- d) Examinar a ação da porcentagem de M4 sobre alguns parâmetros dos corpos de prova (retração linear, absorção de água, massa específica aparente e resistência à compressão uniaxial, perda ao fogo).

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Cerâmica Branca

A cerâmica branca engloba uma ampla gama de materiais que são derivados de uma massa de coloração branca, que na maioria das vezes é revestida por uma camada de vidro transparente e incolor. Utensílios de mesa, louça sanitária e isoladores elétricos são exemplos de materiais que podem receber essa classificação (Oliveira *et al*, 2006).

Na Tabela 1 - Principais matérias primas utilizadas pela indústria cerâmica encontram-se as principais matérias primas que podem ser utilizadas pela indústria cerâmica, elas se dividem em três grupos, Naturais, Beneficiadas e Sintéticas. A qualidade da matéria prima empregue tem uma relação direta com a elaboração e o tipo de cerâmica obtido. (Bustamante *et al*, 2000).

Tabela 1 - Principais matérias primas utilizadas pela indústria cerâmica.

Matérias primas	
Naturais	Argilas Vermelhas, Argilitos, Siltitos, Filitos, Agalmatolitos, Caulins, Talcos, Feldspatos, Quartzos, Calcários.
Beneficiadas	Filitos, Agalmatolitos, Caulins, Talcos, Feldspatos, Magnesitas, Argilas Refratárias, Alumina, Chamotes.
Sintéticas	Alumina, Óxidos, Esmaltes, Fritas.

Fonte: Bustamante *et al*, 2000.

As matérias primas advindas de jazidas passam por processos de beneficiamento, como britagem e/ou moagem, além de serem classificadas de acordo com o tamanho das partículas. Em muitos casos, é necessário estocar as matérias primas, por seis meses, em pátios a céu aberto, para realizar a maturação. Esse procedimento promove a decomposição da matéria orgânica presente na camada de solo, tornando

a matéria-prima mais pura e homogênea para entrada no processo (Oliveira *et al*, 2006).

O processo de manufatura só começa após essas operações. As pastas ou composições cerâmicas são formadas pela combinação de duas ou mais matérias-primas, juntamente com aditivos e água (ABCERAM, 2023).

Segundo Silva *et al* (2007), uma fase crucial na produção de produtos cerâmicos envolve a dosagem precisa das matérias-primas e aditivos, exigindo a estrita observância das formulações de massa previamente estabelecidas. É essencial adicionar as matérias-primas em proporções controladas, assegurando uma mistura completa e homogeneização para garantir a uniformidade física e química da massa.

O controle da umidade dos componentes é imprescindível para assegurar a homogeneidade da composição da massa, visto que ela depende do peso seco de cada matéria-prima (Silva, 2008). A preparação dos diversos tipos de massas está alinhada à técnica escolhida para dar forma às peças. De maneira geral, é possível categorizar essas massas da seguinte maneira: a suspensão, também conhecida como barbotina, é empregada na criação de peças em moldes de gesso ou polímeros; as massas secas ou semi-secas, apresentando-se na forma granulada, são utilizadas na produção de peças por meio da prensagem; e as massas plásticas são empregadas na obtenção de peças por extrusão, podendo ser seguidas ou não por torneamento ou prensagem (ABCERAM, 2023).

Conforme afirmado por Medeiros (2012), há diversos métodos disponíveis para a conformação de peças cerâmicas, sendo que a seleção de cada um depende principalmente das características específicas do produto, como sua geometria, dimensões, propriedades das matérias-primas, considerações econômicas, e outros fatores relevantes.

A transformação das matérias-primas em peças com a forma desejada pode ser realizada por meio de quatro processos principais (Moreira, 2013).

- Colagem/Fundição em molde: Esse método é empregado quando se busca produzir itens utilizando barbotina como base. Ele envolve o despejo da barbotina em um molde de gesso, permitindo que a água presente na

suspensão seja absorvida pelo gesso. Simultaneamente, as partículas sólidas se depositam na superfície do molde, resultando na formação da parede da peça. O produto terá uma configuração que reproduz a forma interna do molde de gesso.

- Prensagem: Nesse processo, empregam-se massas granuladas com teor de umidade reduzido. A massa granulada, praticamente sem umidade, é inserida em um molde feito de borracha ou outro material polimérico. Posteriormente, o molde é hermeticamente fechado e introduzido em uma câmara contendo um fluido que é comprimido, aplicando uma pressão uniforme no molde.
- Extrusão: Nesse procedimento, a massa plástica é inserida em uma extrusora, conhecida como maromba. Dentro desse equipamento, ela é compactada e impulsionada por um pistão ou um eixo helicoidal através de um bocal com um formato específico. O resultado é uma coluna extrudada que apresenta a seção transversal, o formato e as dimensões desejadas. Posteriormente, essa coluna é cortada para criar peças como blocos, tubos, tijolos vazados e outros produtos com formas regulares. A etapa de extrusão pode ser seguida por processos adicionais, como a prensagem após o corte da coluna extrudada, sendo este o caso predominante para a fabricação de telhas, ou ainda por processos como o torneamento.
- Torneamento: Etapa realizada para dar um acabamento conformacional às peças. Este procedimento é executado em tornos mecânicos ou manuais.

Segundo Oliveira et al (2006), finalizada a etapa de formação, as peças que ainda contêm uma quantidade significativa de água, proveniente da preparação da massa, precisam remover essa água de forma lenta e gradual até alcançar um teor de umidade residual suficientemente baixo, geralmente entre 0,8% e 1,5%, para evitar tensões e defeitos nas peças, como trincas, bolhas ou empenamentos.

Isso ocorre na etapa de secagem. Geralmente, utiliza-se ar, vácuo e raios infravermelhos como métodos para criar as condições necessárias para a secagem em meio sólido (Cavalcanti, 2010).

Durante esse estágio, ocorre simultaneamente à evaporação da água residual, um aumento na resistência mecânica da peça cerâmica. Esse incremento é atribuído à densificação causada pelo empacotamento e atração de partículas, o que resulta no fortalecimento das forças de ligação entre elas (Pukasiewicz, 2001).

Após a secagem, a maioria dos produtos recebe uma fina e contínua camada de um material chamado esmalte ou vidrado. A tecnologia convencional de esmaltação tem como objetivo a produção de um esmalte pronto para aplicação, apresentando-se como uma suspensão aquosa contendo partículas finas. Os insumos fundamentais para esse processo incluem matérias-primas como fritas, caulim, areia, óxidos diversos e pigmentos, formando o esmalte com um teor de água em torno de 40%. A barbotina, resultante da moagem a úmido desses componentes, é dosada conforme a receita e alimenta o moinho de esfera, equipamento principal operado via úmida (Pereira, 2004).

Na etapa subsequente de esmaltação, os materiais de entrada incluem o revestimento seco ou o biscoito, juntamente com o esmalte e a massa serigráfica prontos para aplicação. A aplicação é realizada por uma linha contínua de máquinas, como campana, disco, aerógrafo e máquina serigráfica (Pereira, 2004).

Na etapa de queima, posterior a esmaltação, ocorre um tratamento térmico que induz diversas alterações microestruturais na massa cerâmica. Essas alterações englobam transformações alotrópicas, reações no estado sólido, formação de fase líquida, entre outras, ocorrendo em diferentes intervalos de temperatura. A queima não apenas envolve elevar as peças a uma temperatura específica, mas também considera a velocidade de alcance dessa temperatura e o tempo de permanência, sendo crucial o controle da velocidade de resfriamento para evitar trincas no material queimado (Vieira, 2002).

Essa etapa é fundamental na fabricação de cerâmicas, pois é durante a queima que ocorrem transformações físico-químicas no esmalte e no corpo cerâmico. É nesse estágio que o produto adquire suas propriedades definitivas, determinando a qualidade irreversível da placa cerâmica. Além disso, a queima representa o último estágio do processo em que defeitos provenientes de etapas anteriores podem ser mitigados (Vieira, 2002).

Ainda na fase de queima, os compactos são expostos a temperaturas elevadas, geralmente entre 800 °C e 1700 °C, representando aproximadamente 70% de sua temperatura de fusão. Esse processo pode ocorrer em fornos contínuos ou intermitentes, seguindo três fases distintas: aquecimento até atingir a temperatura desejada, permanência em um patamar de temperatura por um período determinado e resfriamento até temperaturas abaixo de 200 °C. A duração total desse ciclo de queima, abrangendo as três fases, varia de alguns minutos a vários dias, dependendo do tipo de produto fabricado (Nampi *et al*, 2011).

Conforme Huanca (2013), comumente, utiliza-se fornos contínuos, tais como Hoffmann e túnel, bem como fornos intermitentes, também conhecidos como periódicos, como abóboda, paulistinha, garrafão, chinês, caieira e chama reversível.

Os fornos contínuos recebem essa denominação devido ao seu método de queima, que ocorre de maneira contínua, sem interrupção para carregamento ou descarregamento das peças. Enquanto um conjunto de peças completa o processo de queima, outro lote semelhante ou idêntico já está em início, assegurando a fluidez contínua do processo (Santos, 2011).

Já os fornos designados como intermitentes operam em um padrão de carga, queima e descarga, impossibilitando a continuidade na produção. O ciclo de queima de um forno intermitente começa com a inserção do material a ser queimado, o qual permanece estático dentro do forno após o carregamento. Após ser preenchido, o forno é vedado para iniciar o processo de queima. Ao término da queima, o forno é resfriado até que as peças possam ser manipuladas (Kawaguti, 2004).

Na Tabela 2, há uma comparação entre esses fornos.

Tabela 2 - Vantagens e desvantagens dos dois tipos de fornos.

Tipos de forno	Vantagens	Desvantagens
Contínuo	Menor consumo específico, baixo ciclo de queima, controle e aproveitamento dos gases de exaustão, aquecimento mais homogêneo, menor necessidade de	Concepção mais complexa, construção mais demorada e de elevado custo, parada da produção

	mão de obra para operação e mais facilidade de automação na produção.	para manutenção, menor flexibilidade de produção.
Intermitente	Concepção simples, construção fácil e rápida e baixo custo de construção.	Aquecimento irregular, maior consumo específico e necessidade de maior número de operadores.

Fonte: Adaptado de Kawaguti (2004), Santos (2011).

Após saírem do forno, as peças resfriadas e finalizadas passam pelo processo de classificação e embalagem, marcando o término da fabricação. O controle de qualidade abrange a regularidade dimensional, a aparência superficial e as propriedades mecânicas e químicas do produto. A avaliação dos aspectos superficiais e das características mecânicas, como cor, trincas e empenamentos, é realizada visualmente por um técnico. Dependendo do defeito identificado, o produto é codificado e categorizado manualmente pelos embaladores ou automaticamente por um sistema de embalagem automatizado. A análise das dimensões da peça é conduzida por sistemas automáticos, que envolvem equipamentos mecânicos. Após a aprovação no controle de qualidade, as peças são acondicionadas em pallets de madeira e armazenadas para comercialização (Silva, 2008).

O Brasil desempenha um papel de destaque global no setor de cerâmica decorativa e produtos de higiene, ocupando a terceira posição em produção e consumo, classificando-se como o sexto maior exportador, com vendas em mais de 110 nações. A produção nesse campo contribui com 6% do Produto Interno Bruto (PIB) da indústria de materiais para construção (ANFACER, 2022).

O avanço das atividades industriais no Brasil, impulsionado pela riqueza de matérias-primas naturais, recursos energéticos e incorporação de tecnologias nos dispositivos industriais, resultou em diversos tipos de produtos do setor alcançando uma posição notável nas exportações do país (Sousa *et al*, 2012).

Com o objetivo de auxiliar na tomada de decisões econômicas na indústria cerâmica empresas empregam o sistema de apoio à decisão POC® para modelagem e análise de custos e preços. Os principais resultados do uso do sistema POC® incluem a construção de diagramas de montagem de produtos e curvas ABC de custos

e faturamento, determinação de custos, despesas, preços, margens de contribuição e lucro (Pinto *et al*, 2014).

A cerâmica branca apresenta uma classificação que é definida de acordo com o teor em peso de água adsorvida pelo corpo cerâmico. De acordo com esse valor, o produto cerâmico é denominado como grês, faiança ou porcelana (Motta *et al*, 2001).

3.1.1 Grês

A produção de grês envolve a incorporação de argilas, sílicas, feldspato ou fundentes feldspáticos e/ou carbonato de cálcio, matérias-primas menos refinadas, podendo incorporar rochas cerâmicas como granito, pegmatito e filito como fundentes, ao invés de usar feldspato puro. A queima dos produtos ocorre a temperaturas aproximadas de 1250 °C e resulta em uma absorção de água reduzida, normalmente variando entre 0,5% e 3%. Os principais itens fabricados são os artigos sanitários, também conhecidos como louças sanitárias, que englobam uma variedade de peças para lavatório e higiene (Zimmer *et al*, 2019).

Zimmer *et al* (2019) apresentaram uma proposta de categorização para as principais designações de cerâmicas brancas:

- Grês: apresenta um índice de absorção de água no corpo que não excede 3%. O grês (“*stoneware*”) é, em geral, um material de coloração cinza ou marrom, de aspecto opaco, textura áspera, estrutura homogênea e com um índice de absorção de água inferior a 3,0%;
- Grês natural (“*natural stoneware*”): é composto de argila não processada, resultando em produtos cerâmicos artísticos, de mesa e revestimentos, frequentemente exibindo um estilo rústico e cores tipicamente escuras, textura grosseira e esmalte opaco;
- Grês fino (“*fine stoneware*”): é fabricado a partir de uma mistura de argilas processadas e matérias-primas não plásticas, resultando em tonalidades mais claras, textura mais delicada e esmalte opaco, podendo ou não ter brilho. Os produtos incluem cerâmica artística, de mesa, utensílios de

cozinha e revestimentos. Em alguns casos, a absorção de água pode ser inferior a 0,5%;

- Grês porcelanato (“*porcelain stoneware*”, “*porcelain tile*”): são revestimentos produzidos através do processo de prensagem, obedecendo aos requisitos técnicos estabelecidos pela norma ABNT 15463/2013. São notáveis pela sua alta resistência mecânica e durabilidade contra abrasão. Fabricados a partir de matérias-primas processadas, os produtos inicialmente eram não esmaltados e polidos, embora atualmente possam ser esmaltados. No entanto, para receber essa designação, é obrigatório que o corpo do produto tenha uma absorção de água inferior a 0,5%;
- Grês técnico (“*technical stoneware*”): embora o grês técnico possa ter uma absorção de água inferior a 0,5%, ele não apresenta a mesma brancura e resistência mecânica (inclusive dos esmaltes) das porcelanas técnicas. Seus produtos incluem cerâmicas laboratoriais, utensílios de cozinha e isoladores de baixa tensão;

Na confecção de grês, pode ser empregadas matérias primas de pureza inferior como argila não refinada, que contém uma textura mais arenosa em comparação com a utilizada na porcelana, isso se deve ao fato de a argila possuir maior presença de areia em sua composição. Esta cerâmica é fabricada a partir de uma argila de grãos finos, uma pasta plástica, com baixa porosidade, de natureza sedimentar e refratária, capaz de resistir a elevadas temperaturas. Sua composição inclui minerais como a caulinita, mica e quartzo, enquanto o feldspato desempenha o papel de agente fundente. Cerâmicas de mesa, a cerâmica artística e decorativa, além das cerâmicas sanitárias e os revestimentos são produtos que se enquadram na categoria grês (Mendes, 2022).

3.1.2 Faiança

De acordo com Motta *et al* (2001) e Almeida *et al* (2009), os produtos em faiança consistem em composições similares às do grês, porém normalmente podem incorporar fundentes carbonáticos, que contêm minerais como calcita e dolomita, ao contrário da composição do grês. As peças são produzidas em temperaturas abaixo

de 1250 °C e são caracterizadas por uma porosidade maior que 3%, coloração opaca e não vítrea, além de menor resistência mecânica e durabilidade se comparadas às porcelanas e ao grês. Os itens incluem conjuntos de jantar, conjuntos de chá, xícaras, canecas, peças decorativas, entre outros.

Zimmer *et al* (2019) propõem uma classificação para as principais denominações de faianças:

- Faiança Natural (“*natural earthenware*”): produzida a partir de argila com coloração natural, permitindo o uso de argilas não processadas; apresenta um corpo com coloração e porosidade naturais;
- Cerâmica comum, cerâmica de uso cotidiano (“*common pottery*”): material opaco e colorido, com estrutura não uniforme e esmaltado; aplicado em cerâmicas de mesa e revestimentos, custando menos em comparação com grês e porcelana; também é relevante para cerâmicas decorativas e artísticas, podendo incluir peças parcialmente esmaltadas ou não esmaltadas;
- Faiança fina: feita a partir de argilas beneficiadas, com um corpo triaxial; coloração que varia de branco a bege, opaca e estrutura não uniforme; seus produtos incluem cerâmicas artísticas, de mesa, utensílios de cozinha e revestimentos;
- Maiólica (“*majolica*”): cerâmica de mesa e artística, decorada com um esmalte opaco; geralmente sua composição contém um agente fundente e sílica, além das argilas;
- Cerâmica de faiança (“*faiance ware*”): cerâmica de mesa e artística decorada com um esmalte transparente; o corpo tem composição similar às maiólicas.

3.1.3 Porcelana

A produção de porcelanas envolve a utilização de misturas compostas por argilominerais (como argila plástica e caulim), quartzo e feldspato de alta pureza. Essas misturas são submetidas a altas temperaturas, excedendo os 1250 °C. Os resultados são produtos praticamente sem porosidade, admitindo-se valores de

absorção de água inferiores a 0,5%. A gama de produtos inclui porcelana de uso doméstico e hoteleiro (pratos, xícaras, conjuntos de chá, dentre outros), porcelana elétrica (isoladores e componentes eletroeletrônicos) e porcelana técnica, reconhecida por sua notável resistência física e química (Motta *et al.*, 2001).

Zimmer *et al.* (2019) divide e nomeia as porcelanas de acordo com os seguintes aspectos:

- Porcelanas: A porcelana (“*porcelain*”) é um material de coloração branca, de consistência impermeável, resistência mecânica considerável, textura vítrea, homogeneidade e uma absorção de água inferior a 0,5%, praticamente nula.;
- Porcelana convencional (“*traditional porcelain*”): exibe alta transparência, brancura notável, som e textura delicada; sua gama de produtos inclui porcelanas artísticas, decorativas e de mesa. A distinção entre porcelana dura e porcelana macia é notada pela temperatura de queima mais alta da primeira, que resulta em uma tonalidade ligeiramente azulada (devido à atmosfera redutora durante a queima) e maior robustez do esmalte, como características distintivas. A porcelana de ossos (“*bone porcelain ou bone china*”) apresenta brancura intensa e transparência, sendo produzida com cerca de 50% de ossos calcinados;
- Louça fina ou louça vítrea (“*china, vitreous china*”): compartilham um corpo similar com características próximas às porcelanas tradicionais, porém com cor branca ou ligeiramente acinzentada, leve transparência ou opacidade, mas textura vítrea e estrutura homogênea. Seus produtos variam desde cerâmicas artísticas e decorativas até peças de mesa;
- Louça sanitária (“*china sanitary ware*”): também conhecidos como cerâmica sanitária; devem ter uma absorção de água inferior a 0,5%, porém são produzidos com paredes espessas (sem transparência, apresentando uma aparência robusta) e o corpo pode ter uma tonalidade acinzentada. Seus produtos incluem bacias sanitárias, urinóis, lavatórios, tanques, colunas, dentre outros;

- Porcelana técnica (“*technical porcelain*”): são produtos nos quais a aplicação técnica é primordial e a função decorativa pode ser secundária. Isso engloba porcelanas de laboratório (porcelana química), porcelanas refratárias (utensílios de forno e fogão), porcelanas elétricas (principalmente isoladores elétricos de alta tensão), porcelanas de hotel e porcelanas dentárias (onde a função decorativa também é essencial).

A Tabela 3, contém um resumo sobre os tipos de cerâmicas e as características de cada uma delas.

Tabela 3 - Tipos de cerâmicas e suas características.

Tipo de Cerâmica	Variações	Matérias primas	Temperatura de queima	Coloração	Absorção de Água	Resistência
Grês	Grês	Argilas, sílicas, caulinita e feldspato.	Aproximadamente 1250 °C.		Entre 0,5% e 3%.	Entre 25 a 50 Mpa.
	Grês Natural					
	Grês Fino					
	Grês porcelanato					
	Grês técnico					
Faiança	Faiança Natural	Argilas, sílicas, calcita, dolomita.	Abaixo de 1250 °C.	Opaca e não vítrea.	> 3%.	Entre 25 a 50 Mpa.
	Cerâmica comum					
	Faiança Fina					
	Maiólica					
	Cerâmica de faiança					
Porcelana	Porcelanas	argila plástica, caulim, quartzo e feldspato de alta pureza.	> 1250°C.	Branca, ligeiramente acinzentada, um pouco azulada.	Entre 0 e 0,5%.	Pode alcançar 80 Mpa.
	Porcelana convencional					
	Louça fina ou Louça vítrea					
	Louça sanitária					
	Porcelana técnica					

Fonte: Adaptado de Zimmer *et al* (2019), Cruz *et al* (2021).

3.1.4 Parâmetros empregados para caracterização dos produtos cerâmicos

De acordo com Cruz *et al.* (2021), cada produto cerâmico possui uma curva de queima específica, que é condicionada à granulometria e à composição química e mineralógica das matérias primas que o compõem.

A classificação e a qualidade de produtos cerâmicos são definidas a partir da matéria-prima utilizada, mas também de alguns parâmetros físicos obtidos do próprio produto. A absorção de água está relacionada com a porosidade aberta do corpo

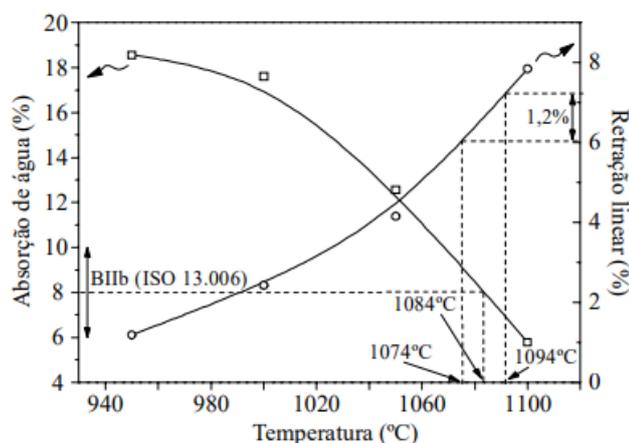
cerâmico, no qual os vazios se conectam entre si originando capilares que chegam à superfície. Ela é expressa pelo índice de absorção de água, que varia de 0% até mais de 10%. Logo, quanto mais próximo de 0% for o índice, menos poroso e mais denso será o corpo cerâmico, ficando mais próximo de se tornar impermeável (Cruz *et al*, 2021).

A Massa Específica Aparente (MEA) constitui-se como uma medida que expressa a relação entre a massa de um corpo de prova (CP) e seu volume. Essa medida viabiliza a avaliação do volume total de poros fechados do material, permitindo, por conseguinte, a análise do grau de leveza presente na cerâmica (De Souza *et al*, 2016).

Já Porosidade Aparente (PA) é utilizada para quantificar o percentual de poros existentes na cerâmica em relação ao seu volume total, conforme estabelecido pela norma NBR 16661.

Outro parâmetro analisado é a Curva de Gresificação (Figura 1) que é representada por um gráfico que correlaciona a absorção de água (AA) e a retração linear (RL) em relação à temperatura de queima. Essa curva desempenha o papel de uma ferramenta de verificação de qualidade, pois permite a análise da capacidade da massa em lidar com variações de temperatura e condições de processamento (Boschi *et al*, 1996).

Figura 1 - Curvas de gresificação de massas utilizadas industrialmente.



Fonte: Boschi *et al* (1996).

Também há a Resistência Mecânica que desempenha um papel crucial nas cerâmicas de mesa, sendo a resistência ao lascamento e ao impacto mais relevante do que a resistência à flexão (ou compressão). No contexto das cerâmicas esmaltadas, a resistência ao risco emerge como um fator condicionante importante, influenciada pela composição química, pela ligação do esmalte ao corpo e pela temperatura de sazonalização do esmalte. A presença de sílica, por exemplo, confere maior resistência mecânica ao esmalte (Cruz *et al*, 2021).

O parâmetro, Cor do Corpo Cerâmico, está intrinsecamente vinculada à pureza das matérias-primas, como caulim, argilas e quartzo, resultando em uma coloração clara do corpo cerâmico. Todavia, as principais impurezas encontradas nos corpos, provenientes de óxidos de ferro e titânio, podem causar pigmentação nas peças quando o percentual excede 0,5% (Cruz *et al*, 2021).

A Textura do Corpo Cerâmico é um desdobramento da natureza das matérias-primas e da temperatura de queima. A porcelana, devido à alta temperatura de queima e à presença de caulim, quartzo e feldspato, apresenta uma textura vítrea, distinguindo-se do grês natural e do grês fino. Enquanto o primeiro ostenta uma textura mais áspera, assemelhando-se a uma pedra, o segundo exibe uma textura lisa e vítrea (Cruz *et al*, 2021).

3.1.5 Argila para confecção de cerâmica branca (região norte de Minas Gerais)

Uma das matérias-primas utilizada neste estudo foi previamente caracterizada por Martins (2021) e os dados apresentados de maneira resumida neste tópico foram obtidos a partir desse trabalho.

De acordo com Martins (2021), sob o ponto de vista granulométrico, a matéria prima apresenta um d_{80} equivalente $567,33 \mu m$, ou seja, 80% das partículas apresentam diâmetro inferior a $567,33 \mu m$. Aproximadamente 10% das partículas são menores que $2 \mu m$ e 100% delas são menores que $2mm$ ($2000 \mu m$).

Por meio da técnica de difratometria de raios X (método do pó total) em conjunto com a semi-quantificação no *Software HighScore Plus* determinou-se que a amostra

é composta por 78% de caulinita ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$) e 22% de quartzo (SiO_2) (Martins, 2021).

Por meio da análise termogravimétrica notou-se uma perda de massa da ordem de 10,01% até 1000°C, sendo que os picos identificados estão em consonância com a literatura, corroborando o resultado da análise mineralógica por DRX.

O peso específico, obtido fazendo uso de ensaios de picnometria, é de aproximadamente 2,45 g/cm³. (Martins, 2021).

Os testes de limite de liquidez e de plasticidade foram realizados para obter os limites de Atterberg. O Limite de Liquidez (LL) aferido foi de 53,57%, o Limite de Plasticidade (LP) igual a 40,97% e o Índice de Plasticidade (IP) de 12,60% (Martins, 2021).

Os limites de Atterberg são cruciais para entender as propriedades físicas do solo no processo de preparação, especialmente na avaliação da consistência. Os valores do Limite de Liquidez (LL) e do Limite de Plasticidade (LP) são essenciais para calcular o Índice de Plasticidade (IP) do solo. O LL define a umidade em que o solo se torna plástico, enquanto o LP indica a umidade em que o solo deixa de ser plástico, tornando-se quebradiço. Esses limites são fundamentais para compreender as transições de estados do solo (Lino *et al*, 2015).

3.2 Introdução de resíduos sólidos na produção de cerâmica branca

Na mineração existem desafios ambientais que impactam a sustentabilidade ambiental e social. A produção acelerada e a redução dos teores de minério reduzem a eficiência do processo de extração o que gera um aumento no volume de rejeitos tornando mais complexo o manejo, estes rejeitos podem causar danos irreversíveis na água, solo, plantas, animais e nas comunidades próximas a região. Nesse contexto, a utilização de resíduos sólidos na produção de cerâmica branca surge como alternativa sustentável e eficaz para minimizar os danos ao meio ambiente e às comunidades afetadas (Torquato, 2022).

Albuquerque et al. (2007) caracterizaram o caulim, feldspato e quartzo oriundos da extração do Pegmatito do Seridó e avaliaram a relação entre os dados de

caracterização e a qualidade do material cerâmico produzido a partir destas matérias-primas. O material cerâmico foi produzido a partir dos três: feldspato, caulim e quartzo em proporções que variaram de 80 a 10% em massa, sendo queimado em temperaturas entre 1100 e 1200°C. Os autores notaram que maiores teores de feldspato acarretaram menores índices de porosidade aparente. As composições com aproximadamente 45% de feldspato e caulim, e 10 % de quartzo ostentaram qualidades reológicas e de sinterabilidade mais satisfatórias para a elaboração cerâmica. Nas composições sinterizadas a 1200 °C, foram identificadas as fases mulita e quartzo.

Em seu trabalho Brito *et al* (2015) tem como propósito caracterizar argilas procedentes de jazidas do município de Cubati, PB, objetivando avaliar o uso delas como matérias-primas cerâmicas. Para isso, foram utilizadas quatro amostras, de argilas das jazidas, A, B, C e D. Para realizar a conformação dos corpos por prensagem as amostras foram umedecidas com 7% em massa de água. Os corpos de prova foram conformados por prensagem uniaxial exercendo uma carga de 19 MPa resultando em corpos de prova retangulares. As amostras foram secas à 110 °C durante 24 horas, após a conformação. A queima foi realizada em quatro temperaturas 750, 850, 950 e 1150 °C em um patamar de 2h.

A composição química das amostras varia de 47,12 a 41,20% para SiO₂ e 28,63 a 19,49 % para Al₂O₃, já a composição granulométrica apresenta uma média máxima de 4,27 µm e mínima de 2,30 µm.

A argila que apresentou a maior razão de Al₂O₃ /SiO₂, menor teor de sílica, distribuição granulométrica mais larga e o menor diâmetro médio de partícula foi a que proporcionou o melhor desempenho mecânico. As amostras A, B e C estão apropriadas para serem matérias-primas de cerâmica branca (Brito *et al*, 2015).

Silva *et al* (2018) pesquisa a serventia de depósitos de argila da região sul do Amapá para a indústria de cerâmica. Para tal intuito, ele confecciona seis amostras A, B, C, D, E e F destas jazidas. Estas, são umedecidas até 7% de sua massa total e passam por duas etapas de prensagem uniaxial, uma de 13,4 MPa e outra de 20 MPa, obtendo assim corpos retangulares de dimensões 50 x 15 mm. As seis são secas à

110 °C durante 24h. A queima foi realizada em três temperaturas 850, 1000 e 1200 °C em um patamar de 1h.

A composição química de suas amostras está entre 63,90 e 51,07% para SiO₂ e 34,98 a 21,49% para Al₂O₃, já a composição granulométrica apresenta uma média máxima de 14,47 µm e mínima de 2,30 µm.

As argilas da região contêm em sua composição mineralógica caulinita, quartzo, mica e esmectita. Nota-se que o aumento da temperatura de sinterização é diretamente proporcional a retração linear e a resistência à flexão e inversamente proporcional a absorção de água e a porosidade aparente, sendo o melhor contribuição na temperatura de 1200 °C. As argilas continham a maior razão de Al₂O₃/SiO₂ e o menor diâmetro médio de partículas (A, B, D, E e F), foram as que desempenharam o melhor desempenho mecânico. As amostras A, B, D, E e F possuem comportamento físico-mecânico compatível para ser empregue como cerâmica refratária densa (Silva *et al*, 2018).

Smith *et al* (1998) descreveram em seu livro a composição mineral de algumas louças brancas (% em peso). De acordo com ele a porcelana dura apresenta 40, 10, 25 e 25% para caulim, argila branca, feldspato e quartzo. Já a louça branca semividrada possui 23, 30, 25 e 21% dos mesmos componentes. No seu estudo, há também as porcentagens dos minerais presentes na louça isoladora elétrica, sendo 27, 14, 26 e 33% de caulim, argila branca, feldspato e quartzo respectivamente.

Luz (2008) analisou a possibilidade de formulação de grês porcelanato por meio de matérias-primas da região de Timon - MA. Para realizar este estudo, Luz (2008) confeccionou três formulações 1, 2 e 3 para três tipos de amostras de argilas A, B e C. Estas, foram prensadas de maneira uniaxial a 45 MPa, obtendo assim corpos retangulares de dimensões 5mm x 20mm x 60mm. A secagem ocorreu à 110 °C durante 24 horas. A sinterização foi realizada em seis temperaturas 1150, 1170, 1190, 1210, 1230 e 1250 °C em um patamar de 7 minutos.

A composição química das formulações é de 45% de Feldspato e 17% Caulim para todas as três. Já a argila, que é adicionada, varia de 28 a 35%, o talco de 0 a 3% e o quartzo de 0 a 10%.

Em sua tese Luz (2008) concluiu que o SiO_2 e Al_2O_3 foram os responsáveis pela refratariedade dos materiais. O baixo teor de ferro nas misturas proporcionou uma cor mais clara do material. Nas temperaturas acima de 1150°C , todas as amostras resultaram em uma nova fase, a mulita. Todas as matérias primas empregues são factíveis no ponto de vista técnico para formulação de grés porcelanato.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Caracterização das matérias-primas

As matérias-primas utilizadas na confecção dos corpos cerâmicos foram previamente caracterizadas, conforme metodologia apresentadas nos subtópicos que seguem.

4.1.1 Caracterização mineralógica do rejeito do minério de lítio

O rejeito do minério de lítio, no Laboratório de Tratamento de Minérios (DEMIN – UFOP), foi inicialmente homogeneizado e quarteado para posteriormente ser submetido à caracterização mineralógica.

No Laboratório de Microscopia Ótica e Difração de Raios X (DEMIN – UFOP) encontra-se o difratômetro com tubo de cobre (PanAnalytical, modelo X'Pert³ Powder) utilizado para determinar qualitativamente a composição mineralógica por meio do procedimento difração de raios X (método do pó total).

4.1.2 Caracterização da argila

A amostra de argila utilizada foi coletada no Município de Novo Cruzeiro-MG e previamente caracterizada no trabalho de Martins (2021). Os dados referentes à caracterização foram resumidos e apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 – Caracterização da Matéria prima (Argila).

Argila	
D80	567,33 μm
Minerais constituintes	Caulinita e quartzo
Densidade	2,45 g/cm
Limite de Liquidez (LL)	53,57%
Limite de Plasticidade (LP)	40,97%
Índice de Plasticidade (IP)	12,60%

Fonte: Adaptado de Martins (2021).

De acordo com Mirian (2021), seria necessária a adequação granulométrica do material para produção de cerâmica branca, além de uma incorporação de agentes estruturantes, visando reduzir o limite de plasticidade para atender os critérios de manufatura. Entretanto, como o objetivo principal do trabalho é avaliar o efeito do rejeito como agente fundente, e por questões de desenvolvimento do trabalho em tempo hábil, essa adequação não foi realizada.

4.2 Confeção dos corpos de prova

A Figura 2 apresenta o fluxograma referente aos processos de confecção dos corpos cerâmicos. Neste trabalho, foi variado somente a porcentagem de incorporação do rejeito de minério de lítio (M4) presente nas composições cerâmicas.

Para cada uma das cinco condições, foram confeccionados 7 corpos de provas para realizar os testes em triplicata, até mesmo aqueles de natureza destrutiva.

Figura 2 - Fluxograma do processo de confecção da amostra.



Fonte: Autor.

4.2.1 Ajuste de umidade da amostra

Nesta fase, foi realizada a adequação da umidade de cada amostra. Segundo Paschoal (2003) a umidade deve estar contida entre 5 e 15% tratando-se de corpos cerâmicos prensados, evitando assim trincas e fraturas.

O ajuste foi promovido no Laboratório de Materiais Cerâmicos (DEMIN/UFOP). Para verificar a umidade presente no material foi utilizada uma balança analítica Marte ID 200 (Figura 3), na qual são colocados 3g da massa da amostra e posteriormente o equipamento é programado para aquecer a 100°C durante 3 minutos apresentando ao final do teste a nova massa e sua respectiva umidade. Esse procedimento foi executado para cada composição cerâmica.

Figura 3 – Amostra na balança analítica pronta para ter sua umidade examinada.



Fonte: Autor.

4.2.2 Conformação dos corpos cerâmicos

A conformação dos corpos cerâmicos foi realizada no Laboratório de Reologia e Petróleo (DEMIN/UFOP), por meio de uma prensa hidráulica SoloCap C1100 toneladas-forças Figura 4. A pressão de compactação aplicada no sistema foi de 28 MPa, conforme trabalho realizado por Silva (2020).

Figura 4 - Prensa hidráulica SoloCap CI100 toneladas-forças.



Fonte: Autor.

Para realizar a confecção dos corpos de prova, a massa da amostra foi inserida em um molde de peças metálicas Figuras 5 e 6. Nesta figura, apresenta-se as peças do molde, além de um recipiente de grafite, um martelo e um Pincel. O grafite foi utilizado para reduzir a perca de material nas áreas de contato da peça/amostra e diminuir o atrito para a facilitar a retirada do corpo de prova (CP). O Pincel, foi utilizado para espalhar o grafite por toda a peça. Já o martelo, contribuiu para a remoção da amostra.

Figura 5 – Peças e utensílios empregues para realizar a conformação das amostras.



Fonte: Autor.

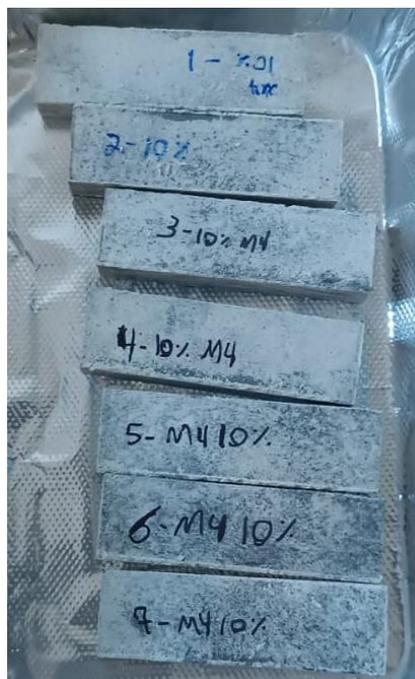
Figura 6 – Molde Prisma quadrangular.



Fonte: Autor.

Posteriormente a compressão, as amostras assumem a forma de um prisma quadrangular de dimensões 70 x 10 x 20 mm, Figura 7.

Figura 7 – Corpos de prova após a conformação.



Fonte: Autor.

4.2.3 Secagem

O processo de secagem foi efetuado no Laboratório de Materiais Cerâmicos (DEMIN/UFOP) em uma estufa da marca Biopar (Figura 8) no decorrer de 24 horas a 110°C, consoante com Brito *et al.* (2015).

Figura 8 – Estufa Biopar.



Fonte: Autor.

4.2.4 Sinterização

No Laboratório de Reologia e Petróleo (DEMIN- UFOP) efetuou-se a sinterização dos corpos cerâmicos a uma temperatura de 1100°C em um patamar de 2 horas, a uma taxa de aquecimento de 5°C/min, em concordância com Albuquerque *et al.* (2007). O equipamento empregue nesse procedimento foi o forno Linn Elektro Therm CC405.

4.3 Ensaios tecnológicos para caracterização dos corpos cerâmicos

A fim de averiguar as características do produto alcançado, executaram-se testes científicos para definir a retração linear (RL), massa específica aparente (MA), resistência à compressão uniaxial (RCU) e absorção de água (AA), relatados nos itens 3.3.1 a 3.3.4. Todos os ensaios de caracterização dos corpos cerâmicos foram realizados em triplicata atendendo um desvio médio padrão de 5%.

4.3.1 Retração linear de secagem (RLS) e retração linear de queima (RLQ)

A retração linear é um coeficiente associado a variação deformacional que um corpo cerâmico sofre depois de realizar as etapas de secagem e queima. É obtida por meio da razão entre o comprimento do corpo de prova (CP) antes e após ser concluída o estágio em evidência. A seguir são expressas as equações utilizadas para realizar o cálculo da RLS Equação 1 e RLQ Equação 2.

$$RLS = \frac{L_i - L_s}{L_s} \times 100 \quad (1)$$

$$RLQ = \frac{L_s - L_q}{L_q} \times 100 \quad (2)$$

Onde:

RLS – retração linear de secagem;

RLQ – retração linear de queima;

L_i – comprimento do CP antes da secagem (cm);

L_s – comprimento do CP após a secagem (cm);

L_q – comprimento do CP após a queima (cm).

4.3.2 Massa específica aparente (MEA)

A Equação 3, evidencia que o MEA é um fator obtido por meio do quociente da massa do corpo de prova (CP) seco após a queima e o volume aparente do corpo de prova (CP).

$$MEA = \frac{m_s}{V_{ap}} \quad (3)$$

Onde:

MEA – massa específica aparente (g/cm³);

m_s – massa do CP seco (g);

V_{ap} – volume aparente do CP (cm³).

4.3.3 Resistência à compressão uniaxial (RCU)

Variável definida ao empregar a prensa hidráulica SoloCap CI100 toneladas-forças, Figura 9, onde é inserida o corpo de prova (CP) em seu interior, dispondo-o no centro do equipamento. Ao ligá-lo, há um aumento contínuo de força normal projetado na amostra até que ocorra a ruptura, instante no qual é registrado a carga incidente.

Figura 9 – CP posicionado para iniciar o teste de RCU.



Fonte: Autor.

A resistência à compressão uniaxial pode ser obtida por meio do quociente da carga aplicada no instante de ruptura do corpo de prova (CP) pela área transversal do corpo de prova (CP), como ilustra a Equação 4.

$$RCU = \frac{F}{A} \times 10 \quad (4)$$

Onde:

RCU – resistência a compressão (MPa);

F – carga no instante em que o CP se rompe (KN);

A – área da superfície do CP (cm²).

4.3.4 Absorção de água (AA)

Absorção de água é um parâmetro analisado posteriormente a etapa de queima do material. Neste ensaio, os corpos de prova são submetidos durante 2 horas em um vasilhame com água em ebulição. Para evitar o contato próximo da amostra com a

chama, é adicionado bolas de vidro maciço no fundo do vasilhame. Ao terminar a fase de aquecimento, deixa-se o corpo ocioso por 30 minutos. Na sequência, o excedente de água existente foi retirado, por meio de papel toalha. Por fim, o elemento de avaliação pode ser obtido pela Equação 5.

$$AA = \frac{m_u - m_s}{m_s} \times 100 \quad (5)$$

Onde:

AA – índice de absorção de água (%);

m_u – massa do CP úmido (g);

m_s – massa do CP seco (g).

4.3.5 Perda ao Fogo

É definida como perda de massa dos corpos cerâmicos no decorrer da etapa de sinterização. Pode-se mensurá-la por meio da Equação 6, para isso deve-se verificar as massas dos corpos cerâmicos antes e após o processo de queima.

$$PF = \frac{(m_s - m_q)}{m_s} \times 100 \quad (6)$$

Onde:

PF : perda ao fogo (%);

m_s : massa do CP após a secagem (g);

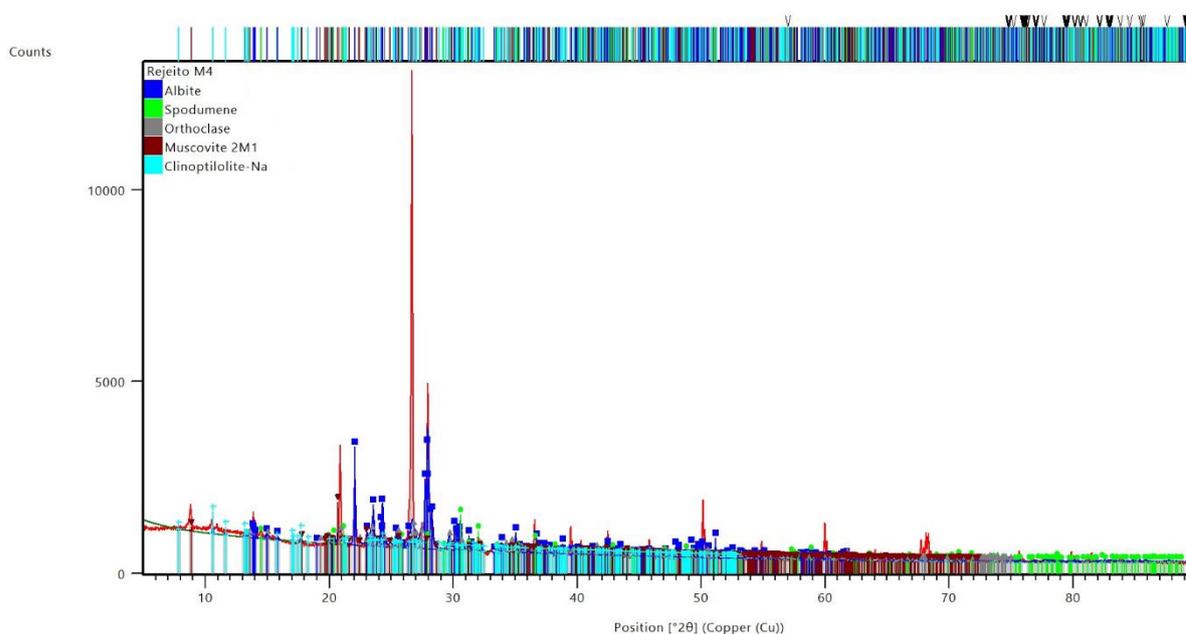
m_q : massa do CP após a queima (g).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Caracterização Mineralógica da amostra de rejeito de minério de lítio (M4)

A partir da difração de raios X (DRX) foram identificados os seguintes minerais: Albita ($(\text{Na}_{1-0,9}, \text{Ca}_{0-0,1})\text{Al}(\text{Al}_{0-0,1}, \text{Si}_{1-0,9})\text{Si}_2\text{O}_8$), Espodumênio ($\text{LiAl}(\text{SiO}_3)_2$), Ortoclásio (KAlSi_3O_8), Muscovita ($\text{KAl}_3\text{Si}_3\text{O}_{10}(\text{OH})_2$) e Clinoptilolita ($(\text{Na})_{2-3}\text{Al}_3(\text{Al}, \text{Si})_2\text{Si}_{13}\text{O}_{36} \cdot 12\text{H}_2\text{O}$). O Figura 10, apresenta os minerais presentes na amostra:

Figura 10 - Difratoograma do rejeito de minério de lítio.



Fonte: Autor.

5.2 Ensaios tecnológicos para caracterização dos corpos cerâmicos

Nos tópicos que seguem serão apresentados os resultados obtidos a partir da determinação dos parâmetros de qualidade dos corpos cerâmicos obtidos.

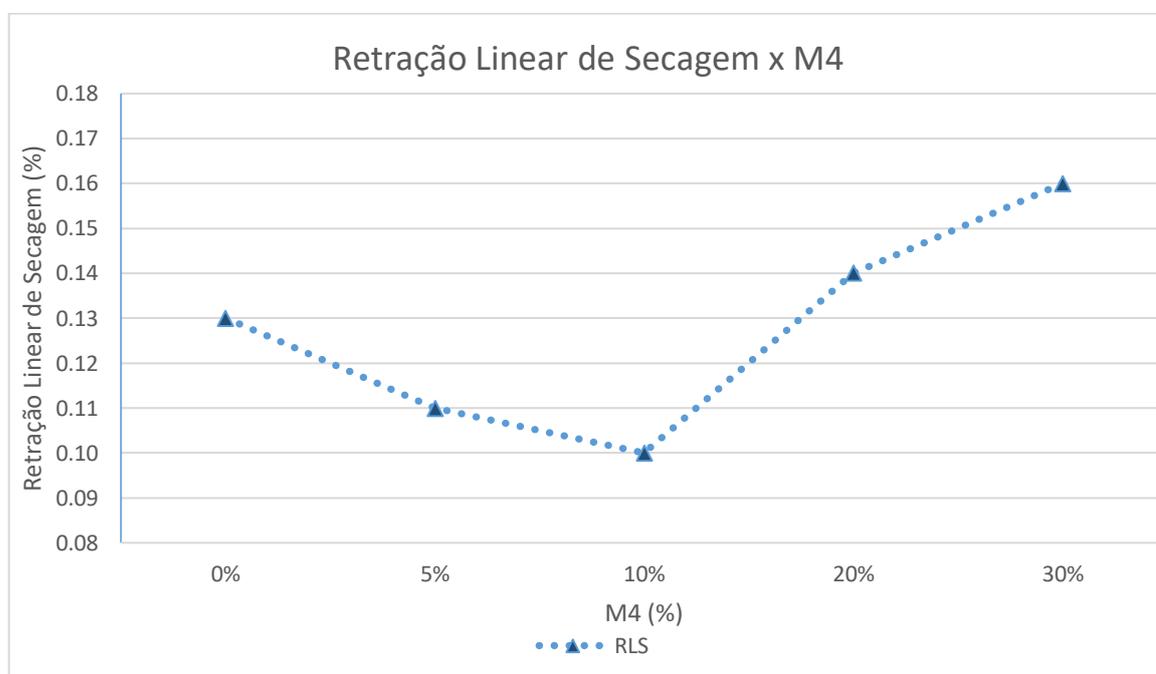
5.2.1 Retração linear de secagem (RLS) e de queima (RLQ)

O Gráfico 1 apresenta as porcentagens de rejeito de minério de lítio (M4) adicionado nas amostras em porcentagem do seu peso total e a retração linear que sucedeu a secagem dos corpos de prova.

Percebe-se que há uma pequena variação na retração linear e que seus valores são muito baixos não dependendo da quantidade de rejeito presente no corpo de prova (CP).

A retração linear de secagem não desempenha uma ação considerável sobre os corpos cerâmicos, visto que seus resultados são menores que 1,0%. A umidade dos grãos da amostra é diretamente proporcional a magnitude da retração de secagem das peças (Melchiades *et al*, 2001).

Gráfico 1 - Retração Linear de Secagem.

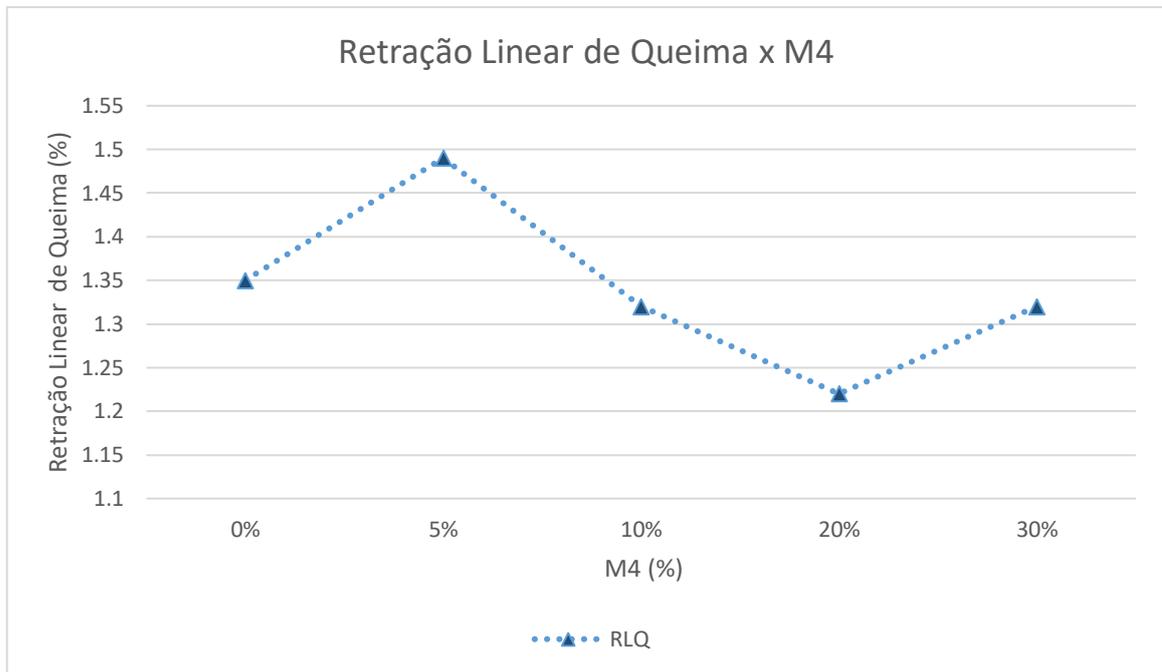


Fonte: Autor.

5.2.2 Retração linear de queima (RLQ)

O Gráfico 2 apresenta o resultado obtido na retração linear de queima para cada porcentagem em peso de rejeito de minério de lítio (M4) presente nos corpos de prova.

Gráfico 2 - Retração Linear de Queima.

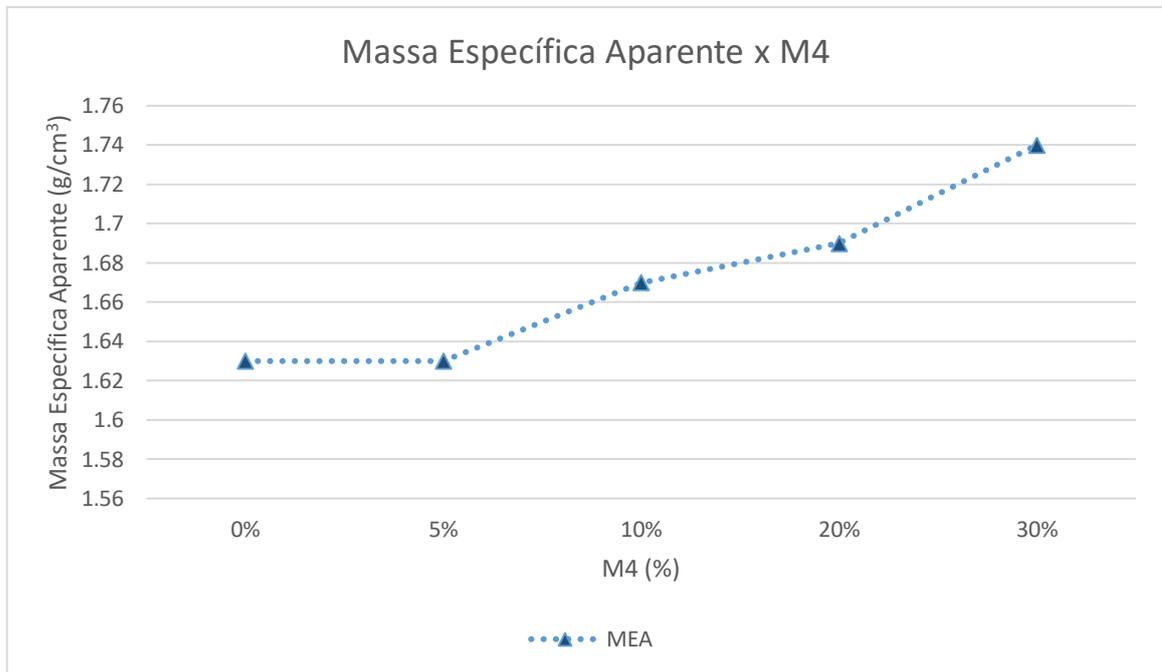


Nota-se que existe uma pequena variação na RLQ das amostras (de 1,2 a 1,5%). Entretanto, não houve um esclarecimento sobre a influência da quantidade de feldspato no corpo de prova (CP) para o aumento ou redução da RLQ.

5.2.3 Massa específica aparente (MEA)

A massa específica aparente segundo as composições de rejeito de minério de lítio (M4) presente nos corpos de prova são apresentadas no Gráfico 3.

Gráfico 3 - Massa Específica Aparente.



Fonte: Autor.

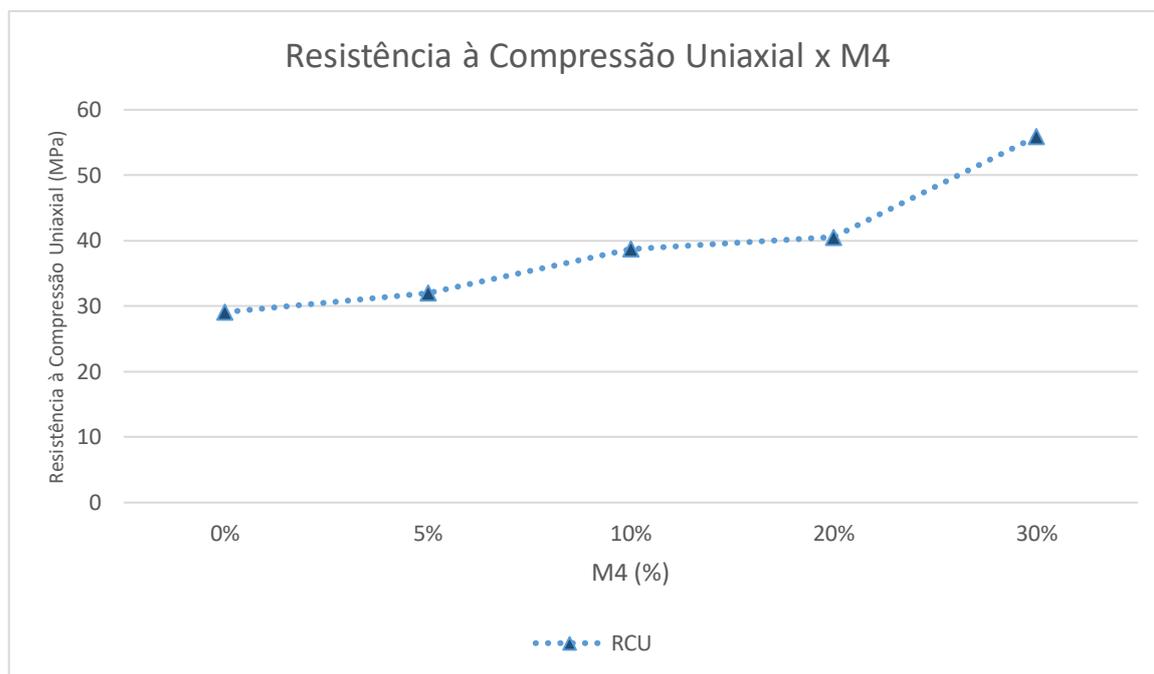
Os resultados obtidos demonstram que o acréscimo da porcentagem de M4 na amostra é diretamente proporcional ao aumento da massa específica aparente da mesma. É possível supor que a incorporação do rejeito de minério de lítio (M4) proporcionou maiores índices de densificação dos corpos cerâmicos.

Esse fenômeno ocorre porque o feldspato presente no M4, em altas temperaturas, assumiu a fase fluida, ocupando poros entre os grãos e, assim, conduz à densificação dos corpos de prova (Rodriguez *et al*, 2004).

5.2.4 Resistência à compressão uniaxial (RCU)

No Gráfico 4, observa-se a variação da resistência à compressão uniaxial para cada composição mássica dos corpos de prova.

Gráfico 4 - Resistência à Compressão Uniaxial.



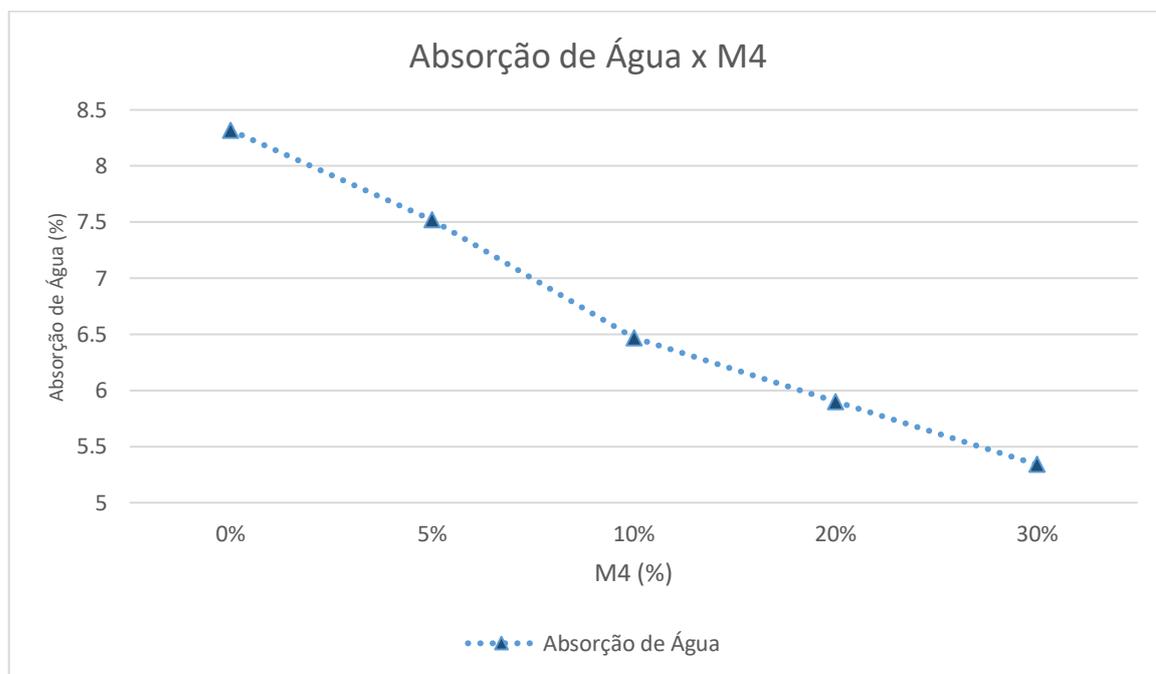
A partir dos dados apresentados, fica claro que o parâmetro resistência à compressão uniaxial é diretamente proporcional à percentual de incorporação do rejeito de minério de lítio (M4) à composição cerâmica. Nas amostras de 0 a 20% de M4 as condições de resistência à compressão uniaxial atenderam aos critérios dispostos por Cruz et al (2021), exposto na Tabela 1, estando entre 25 e 50 MPa.

5.2.5 Absorção de água (AA)

O Gráfico 5 exibe o índice de absorção de água para cada variação de M4 na massa dos corpos de prova. O aumento de rejeito de minério de lítio (M4) nas amostras promoveram uma redução na absorção de água do material. Isso era esperado, porque o feldspato, presente no M4, atua como fundente na cerâmica, pois proporciona as primeiras fases líquidas na amostra, pelo fato de ter o menor ponto de fusão, essas fases irão preencher os poros levando a uma aproximação entre as partículas, aumentando a densificação do corpo de prova (CP), reduzindo a

porosidade e conseqüentemente a absorção de água do material (Rodriguez *et al*, 2004).

Gráfico 5 - Absorção de Água.



Fonte: Autor.

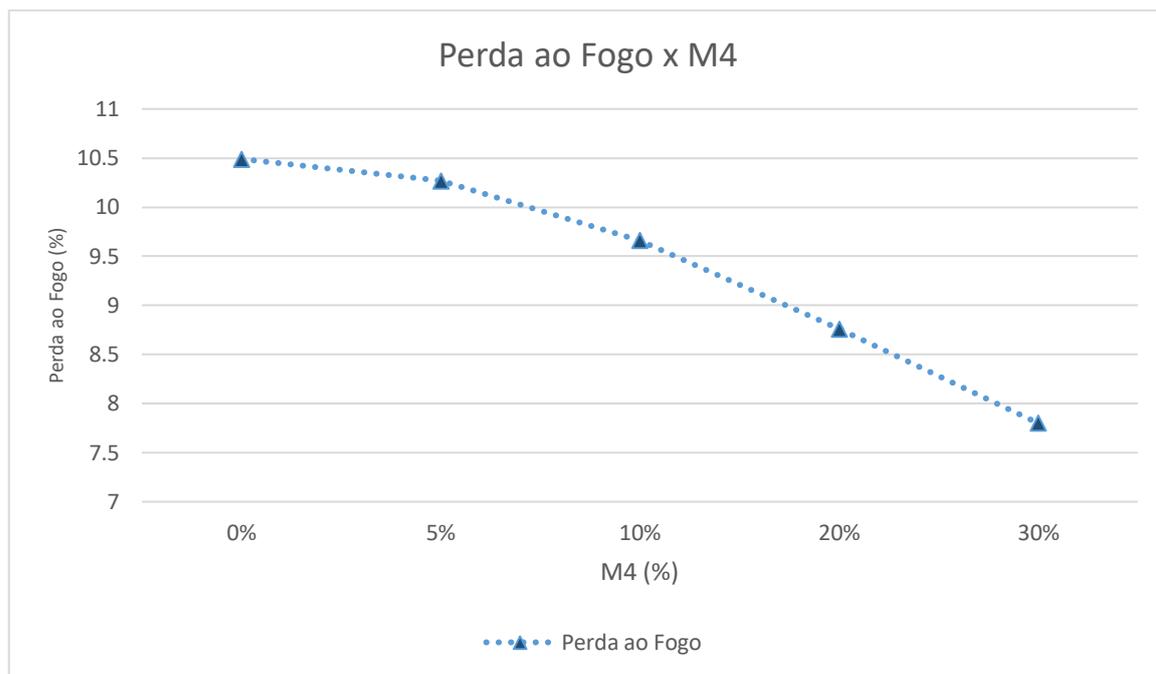
Todas as amostras classificam-se como faiança no quesito absorção de água como demonstra a Tabela 3Tabela 1 (Zimmer *et al*, 2019), Cruz *et al* (2021).

5.2.6 Perda ao Fogo (PF)

A Perda ao Fogo sofrida pelas amostras para cada porcentagem de M4 presente na composição está exposta no Gráfico 6. O aumento do M4 é inversamente proporcional a PF dos corpos cerâmicos. Isso acontece devido ao M4 substituir a argila, um material caracterizado por conter maior quantidade de matéria orgânica. Portanto, à medida que a proporção de M4 se eleva, há uma diminuição na PF.

Em concordância com Santos (1975), essa propriedade reflete a quantidade de substâncias voláteis e matéria orgânica presentes na composição, as quais são removidas durante o processo de queima.

Gráfico 6 - Perda ao Fogo.



Fonte: Autor.

A análise do parâmetro Perda ao Fogo é de extrema relevância para a padronização do material fabricado, uma vez que elevadas reduções de massa podem resultar na inadequação do produto às especificações dimensionais estipuladas, podendo impactar na qualidade final (Gurgel *et al*, 2020).

6 CONCLUSÃO

A caracterização mineralógica da amostra identificou que o rejeito de minério de lítio (M4) é constituído por Albita, Ortoclásio, Espodumênio, Clinoptilolita e Muscovita.

Nota-se que a retração linear de secagem foi inferior a 1% em todas as amostras com mínima alteração para cada porcentagem de M4, devido a isso, pode-se deduzir que este parâmetro exerce pouca influência sobre as dimensões finais de um corpo de prova (CP). O maior valor de retração linear de queima foi de 1,49%, observado na formação com 5% de M4.

As amostras de 30 e 20% apresentaram as maiores massas específicas aparente, 1,74% e 1,69%, respectivamente. Verifica-se que esse parâmetro se altera em uma relação diretamente proporcional a massa em peso de M4 presente nas amostras. Esta ocorrência se dá devido ao feldspato existente no M4, que, quando submetido a elevadas temperaturas, adota o estado fluido, preenchendo os poros entre os grãos e, desse modo, resulta na densificação dos corpos de prova que possuem maior concentração do rejeito de minério de lítio.

A resistência à compressão uniaxial demonstra uma correlação diretamente proporcional com a proporção de M4 presentes na mistura. O menor valor de RCU registrado foi de 29,09 MPa para amostras sem M4, enquanto o maior atingiu 55,90 MPa para amostras contendo 30% de M4. Entre as amostras que continham de 0 a 20% de M4, as condições de resistência à compressão uniaxial estavam em conformidade com os critérios dispostos por Cruz *et al* (2021), conforme exposto na Tabela 3, situando-se entre 25 e 50 MPa. Por outro lado, a amostra com 30% enquadra-se como porcelana, como indicado na mesma tabela.

O valor da absorção de água das amostras se altera em uma relação inversamente proporcional a massa em peso de M4 presente nas amostras. Sendo o maior valor 8,32 % nas amostras sem o rejeito de minério de Lítio (M4) e o menor, 5,34%, nos corpos com 30% de M4. Essa diminuição ocorre devido à presença de feldspato no M4. O feldspato desempenha a função de fundente na cerâmica, iniciando as fases líquidas iniciais na amostra devido ao seu ponto de fusão mais baixo. Essas fases, por sua vez, preenchem os poros, resultando na proximidade entre as partículas, o que reduz a porosidade do produto e, conseqüentemente, a

absorção de água pelo material. Todos os produtos, neste critério, se caracterizam como Faiança.

A medida de perda ao fogo modificou de maneira inversamente proporcional a quantidade de rejeito de minério de lítio (M4) presente na amostra. A mistura sem M4 e de 30% M4 apresentaram 10,49% e 7,80%, respectivamente. Elas representam as amostras com maior e menor perda de massa após a sinterização.

Globalmente, constatou-se que as proporções de rejeito de minério de lítio (M4) na amostra não têm impacto na retração linear do material. Elas guardam uma relação inversamente proporcional com a perda ao fogo e a absorção de água do material, ao passo que mantêm uma relação diretamente proporcional com a massa específica aparente e a resistência à compressão uniaxial. A conexão entre o M4 esses três últimos parâmetros devem-se à ação do feldspato presente no rejeito como agente fundente durante o processo de queima da mistura.

Assim, confirma-se a viabilidade do uso do M4 como agente fundente na fabricação de cerâmica branca, e todos os artefatos são categorizados como faiança quanto à absorção de água. Por outro lado, em relação à resistência a compressão uniaxial (RCU), as amostras contendo de 0 a 20% se enquadram como faiança, enquanto aquelas com 30% são identificadas como porcelana. No entanto, é imperativo realizar uma análise detalhada sobre como esse material se posicionaria em relação à perda ao fogo, massa específica aparente e retração linear.

REFERÊNCIAS

ABCERAM. Considerações Gerais. 2023. Disponível em: <<https://abceram.org.br/processo-de-fabricacao/>>. Citado 2 vezes na página 5.

ALBUQUERQUE, F. R. et al. Planejamento experimental aplicado à otimização de massas cerâmicas contendo matérias-primas naturais. **Cerâmica**, v. 53, p. 300-398, 2007.

ALMEIDA, Sónia Isabel Santos. **Caracterização dos Granulados Para Prensagem Isostática de Louça de Faiança, Grés e Porcelana**. 2009. Tese de Doutorado. Universidade de Aveiro (Portugal).

ANFACER – Associação Nacional dos Fabricantes de Cerâmica para revestimento, Louças Sanitárias e Congêneres – disponível em <https://www.anfacer.org.br/setor-ceramico/numeros-do-setor>. Consulta feita em 23.10.2023.

BRAGANCA, SAULO ROCA; ZIMMER, ANDRE; PEDRASSANI, JAIME. Uma revisão sobre a terminologia e classificação das cerâmicas brancas. **cerâmica**, v. 65, p. 485-497, 2019.

BRIGIDO, Caroline R. et al. Lítio: um elemento estratégico para uma economia de baixo carbono. 2023.

BRITO, I. P. et al. Avaliação de novos depósitos de argilas do Estado da Paraíba visando sua aplicação como matérias-primas cerâmicas. **Cerâmica**, v. 61, p. 391-398, 2015.

BUSTAMANTE, GLADSTONE; BRESSIANI, JOSE C. **A indústria cerâmica brasileira**. Cerâmica industrial, 2000.

COSTA, Bruno Ferreira. Caracterização geológica, petrográfica e litogeoquímica do granito de Carnaíba: potencial metalogenético para lítio. 2020.

CRUZ, RICARDO THOMÉ DA; PEDRASSANI, JAIME; BRAGANCA, SAULO ROCA. Faianças, grês e porcelanas: matérias-primas, moagem, conformação, secagem, queima, esmaltação, decoração, defeitos e propriedades gerais. 2021.

DE SOUSA SANTOS, Pérsio. **Tecnologia de argilas: aplicada às argilas brasileiras**. Universidade de São Paulo, 1975.

DE SOUSA, WELISON TEODORO. et al. Os impactos causados devido ao crescimento desordenado das cerâmicas no município de redenção-pa. 2012.

DO LÍTIO, CADEIA GLOBAL DE PRODUÇÃO. LUCAS FUKAMI BITTENCOURT.

GUEDES, Pedro Henrique Costa; XAVIER, Lúcia Helena da Silva Maciel. Circularidade a partir da recuperação de produtos e materiais: estudo de caso de refrigeradores e bateria íon-lítio. 2022.

GURGEL, Jayne Francielle Santana et al. Coprocessamento de rejeito do Garimpo Areinha (Diamantina/MG) para produção de cerâmica vermelha. **Matéria (Rio de Janeiro)**, v. 25, 2020.

HUANCA, Karina Zuñiga. Produção de suporte cerâmico poroso para a redução de material particulado da indústria cerâmica vermelha. 2013.

KAWAGUTI, Wagner Mitio. **Estudo do Comportamento Térmico de Fornos Intermitentes tipo “Paulistinha” Utilizados na Indústria de Cerâmica Vermelha.** 2004. 100 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

LINO, Felipe Rocha; ECKS, Jackson; SOKACHESKI, Joviano. LIMITES DE ATTERBERG NA CARACTERIZAÇÃO DE SOLOS PARA OBRAS DE ENGENHARIA. **Enaproc**, v. 1, n. 1, 2015.

LOPES, MORGANA DE MATOS. LÍTIO--CARACTRÍSTICAS, OCORRÊNCIAS, PRODUÇÃO E USO.

LUZ, Jota Carlos. **Desenvolvimento de formulações para produção de grês porcelanato a partir de matérias-primas da região da bacia do Parnaíba.** 2008. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

MARTINS, Miriam Gomes. Caracterização de uma argila da região norte de Minas Gerais para aplicações industriais. 2021.

MATEUS, Tânia Filipa Ribeiro. **Estudo do ciclo de vida do Lítio em aplicações para o armazenamento de energia.** 2022. Tese de Doutorado.

MEDEIROS, Mirela Jacomasso. **Avaliação dos aspectos e impactos ambientais do setor cerâmico na Bacia do Rio Itaqui-município de Campo Largo, e**

propostas de controle ambiental: estudo de caso. 2012. Dissertação de Mestrado. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

MELCHIADES, Fábio G. et al. Controle dimensional e do formato de revestimentos cerâmicos; parte 1: dimensões. **Cerâmica Industrial**, v. 6, n. 5, p. 27-33, 2001.

MELCHIADES, Fábio G.; QUINTEIRO, Eduardo; BOSCHI, Anselmo O. A curva de gresificação: Parte I. **Cerâmica Industrial**, v. 1, n. 04/05, p. 30-31, 1996.

MENDES, Ligia. **Qual a diferença entre a cerâmica Grés, Faiança e Porcelana.** 2022

MOREIRA, Bruna Soares. Influência da incorporação de filito e escória de aciaria nas propriedades tecnológicas de cerâmicas estruturais. 2013.

MOTTA, JOSÉ FRANCISCO MARCIANO; ZANARDO, ANTENOR; CABRAL JÚNIOR, MARSIS. As matérias-primas cerâmicas. parte i: o perfil das principais indústrias cerâmicas e seus produtos. *cerâmica industrial*, v. 6, n. 2, p. 28-39, 2001

NAMPI, Padmaja Parameswaran et al. Effect of surface roughness on grain growth and sintering of alumina. **Bulletin of Materials Science**, v. 34, p. 799-804, 2011.

NASCIMENTO, Kamila Ângela Leal do. **Utilização de escória proveniente da reciclagem do aço em concreto de cimento Portland.** 2007. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

NBR 16661, “Materiais refratários densos conformados – Determinação do volume aparente, volume aparente da parte sólida, densidade de massa aparente, densidade da parte sólida, porosidade aparente e absorção”, Ass. Bras. Norm. Técn. (2017).

OLIVEIRA, Maria Cecília; MAGANHA, Martha Faria Bernils. Guia técnico ambiental da indústria de cerâmicas branca e de revestimentos. **São Paulo: CETESB**, 2006.

PASCHOAL, José Antonio Armani. Estudos de parâmetros de qualidade para cerâmica estrutural vermelha. 2003.

PEREIRA, Sibeli Warmling et al. Análise ambiental do processo produtivo de pisos cerâmicos: aplicação de avaliação do ciclo de vida. 2004.

PINTO, ROCHELLY SIRREMES. et al. Modelagem econômica de uma indústria cerâmica através do sistema de apoio à decisão poc®. revista gestão industrial, v. 10, n. 4, 2014.

PUKASIEWICZ, Anderson GM; GROSSA, Ponta. Tecnologia dos processos de fabricação IV materiais cerâmicos. **Coordenação de Mecânica. Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná (in Portuguese)**, 2001.

RODRIGUEZ, Adriana Marin et al. Propriedades de matérias-primas selecionadas para a produção de grês porcelanato. **Cerâmica Industrial**, v. 9, n. 1, p. 33-38, 2004.

SANTOS, Gabriel Mann. **Estudo do Comportamento Térmico de um Forno Túnel Aplicado à Indústria Cerâmica Vermelha**. 2011. 136 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011.

SILVA, A. L. et al. Avaliação de novos depósitos de argilas provenientes da região sul do Amapá visando aplicação na indústria cerâmica. **Cerâmica**, v. 64, p. 69-78, 2018.

SILVA, F. N. et al. O USO DA FÉCULA DE MANDIOCA COMO ADITIVO NA CONFORMAÇÃO DE PEÇAS CERÂMICAS POR EXTRUSÃO.

SILVA, Juliana Carvalho da. **Aproveitamento do lodo da estação de tratamento de efluentes de indústria cerâmica na composição de massa cerâmica para a produção de louças sanitárias**. 2008. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco.

SILVA, Mariana Caroline Andrade. Incorporação de finos de quartzito na produção de cerâmica vermelha. 2020.

SMITH, William F.; ROSA, Maria Emília. **Princípios de ciência e engenharia de materiais**. 1998.

TORQUATO, Frederico Campos Regazoni. Sustentabilidade no reaproveitamento de rejeitos de mineração: uma revisão sistemática sobre as diferentes técnicas. 2022.

VALE, Eduardo. O Impacto das novas tecnologias na demanda do lítio. 2021.

VIEIRA, Laercio Evaristo et al. Avaliação do comportamento térmico de uma placa cerâmica ao longo do processo de monoqueima em forno a rolos. 2002.