

**UNIVERSIDADE DO ESTADO DO AMAZONAS ESCOLA SUPERIOR DE
TECNOLOGIA BACHARELADO EM ENGENHARIA DE MATERIAIS**

SAMUEL CORRÊA DA SILVA

**ANÁLISE E COMPARAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DE ARGILAS
UTILIZADAS POR DIFERENTES OLARIAS NA PRODUÇÃO DE TIJOLOS
TRADICIONAIS**

MANAUS-AM

2025

SAMUEL CORRÊA DA SILVA

**ANÁLISE E COMPARAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DE ARGILAS
UTILIZADAS POR DIFERENTES OLARIAS NA PRODUÇÃO DE TIJOLOS
TRADICIONAIS**

Trabalho de Conclusão de Curso,
apresentado ao Curso de bacharelado em
Engenharia de Materiais, da Escola
Superior de Tecnologia, da Universidade
do Estado do Amazonas, como requisito
parcial à obtenção do Título de Bacharel
em Engenharia de Materiais.

Orientador: Prof. Dr. José Costa de Macêdo Neto

Coorientador: MSc. Mateus Ferreira de Oliveira

MANAUS-AM

2025

Ficha Catalográfica

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Sistema Integrado de Bibliotecas da Universidade do Estado do Amazonas.

S586a

Silva, Samuel Corrêa da

Análise e comparação das características de argilas utilizadas por diferentes olarias na produção de tijolos tradicionais / Samuel Corrêa da Silva. Manaus : [s.n], 2025.

32 f.: color.; 21.0 cm.

TCC - Graduação em Engenharia de Materiais- Universidade do Estado do Amazonas, Manaus, 2025.

Orientador: José Costa de Macêdo Neto.

Coorientador: Mateus Ferreira de Oliveira.

1. Argilas. 2. Cerâmica vermelha. 3. Propriedades tecnológicas. 4. Caracterização. I. José Costa de Macêdo Neto (Orient.) II . Mateus Ferreira de Oliveira (Coorient.) III. Universidade do Estado do Amazonas. IV. Título

CDU(1997)66.03

UNIVERSIDADE DO ESTADO DO AMAZONAS
ESCOLA SUPERIOR DE TECNOLOGIA
BACHARELADO EM ENGENHARIA DE MATERIAIS
TERMO DE APROVAÇÃO

SAMUEL CORRÊA DA SILVA

ANÁLISE E COMPARAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DE ARGILAS
UTILIZADAS POR DIFERENTES OLARIAS NA PRODUÇÃO DE TIJOLOS
TRADICIONAIS

Trabalho de Conclusão de Curso aprovado como requisito parcial para a obtenção do
Título de Bacharel em Engenharia de Materiais, Escola Superior de Tecnologia,
Universidade do Estado do Amazonas, pela seguinte banca examinadora.

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente



JOSE COSTA DE MACEDO NETO
Data: 09/12/2025 20:44:15-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. José Costa de Macêdo Neto - Orientador

Documento assinado digitalmente



MATEUS FERREIRA DE OLIVEIRA
Data: 09/12/2025 12:52:40-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

MSc. Mateus Ferreira de Oliveira - Coorientador

Documento assinado digitalmente



JOAO CARLOS MARTINS DA COSTA
Data: 09/12/2025 16:03:06-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof.^a Dr. João Martins - Membro da banca

Documento assinado digitalmente



ANTONIO DE LIMA MESQUITA
Data: 09/12/2025 12:15:05-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Antônio de Lima Mesquita - Membro da banca

Manaus, 02 de Dezembro de 2025

RESUMO

Este trabalho apresenta a caracterização comparativa de duas argilas utilizadas por olarias do município de Iranduba (AM) para a produção de tijolos cerâmicos. As amostras foram analisadas por Fluorescência de Raios X (FRX), Difração de Raios X (DRX), limites de liquidez e plasticidade, retração linear e resistência à flexão. Os resultados químicos mostraram composições semelhantes entre as argilas, com predomínio de SiO_2 e Al_2O_3 . A análise mineralógica evidenciou a presença de quartzo e caulinita parcialmente desordenada. Os valores de limite de liquidez de ambas as argilas foram semelhantes, próximos de 64%, enquanto o limite de plasticidade revelou maior plasticidade para a argila B em comparação com a argila A. A retração linear apresentou valores baixos, variando entre 0,31% e 0,48%, indicando boa estabilidade dimensional após a queima. Os ensaios de flexão apresentaram valores médios próximos de 3 MPa, compatíveis com a norma. Após a queima, a argila B apresentou coloração ligeiramente mais escura que a argila A, diferença atribuída ao teor um pouco maior de Fe_2O_3 . De modo geral, ambas as argilas são adequadas para produção cerâmica, porém a argila A apresentou maior uniformidade e estabilidade dimensional, enquanto a argila B demonstrou maior plasticidade e sensibilidade ao processamento.

Palavras-chave: argilas; cerâmica vermelha; propriedades tecnológicas; caracterização

ABSTRACT

This work presents the comparative characterization of two clays used by ceramic industries in the municipality of Iranduba (AM) for the production of ceramic bricks. The samples were analyzed by X-ray Fluorescence (XRF), X-ray Diffraction (XRD), liquid and plastic limits, linear shrinkage, and flexural strength. The chemical results showed similar compositions between the clays, with predominance of SiO_2 and Al_2O_3 . The mineralogical analysis indicated the presence of quartz and partially disordered kaolinite. The Liquid Limit values of both clays were similar, around 64%, while the Plastic Limit revealed higher plasticity for clay B compared to clay A. Linear shrinkage values were low, ranging from 0.31% to 0.48%, indicating good dimensional stability after firing. Flexural strength tests showed average values close to 3 MPa, consistent with the standard requirements. After firing, clay B presented a slightly darker coloration than clay A, a difference attributed to its slightly higher Fe_2O_3 content. Overall,

both clays are suitable for ceramic production; however, clay A demonstrated greater uniformity and dimensional stability, while clay B showed higher plasticity and greater sensitivity to processing.

Keywords: clay; red ceramics; technological properties; characterization.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente às minhas mães, Sumaran Nunes Corrêa e Denise Carvalho Corrêa, que são a minha base e nunca me deixaram faltar nada. Obrigado por sempre me proporcionarem o melhor dentro de suas possibilidades e por me incentivarem continuamente nos estudos, acreditando em mim mesmo quando eu duvidava.

Aos meus pais, Francisco Lázaro e Valter Corrêa, deixo meu profundo reconhecimento por nunca terem permitido que eu me acomodasse e por me ensinarem a buscar sempre o melhor para a minha vida.

Agradeço também a todos os meus irmãos — Walter Corrêa, Dhonatan Corrêa, Fernando Corrêa, Samara Corrêa, Leandro Corrêa, Heitor Silva e Douglas Silva — por toda paciência com o caçula da família e por sempre estarem dispostos a me ajudar quando precisei. Em especial, agradeço ao meu irmão Walter Corrêa (“Waltinho”), que é meu suporte em tudo, me apoia em todos os momentos e se dedica para que eu esteja sempre na minha melhor versão.

Aos meus orientadores, Prof. Dr. José Costa de Macêdo Neto (Orientador) e MSc. Mateus Ferreira de Oliveira (Coorientador), agradeço por acompanharem de perto o desenvolvimento deste trabalho, pelas orientações e pelo apoio prestado ao longo de toda a pesquisa. À Prof.^a Dra. Juciklécia Reinaldo, sou grato pela confiança depositada em mim nos projetos de extensão e pela liderança inspiradora neles exercida. Ao Prof. Dr. Antônio Mesquita, agradeço pela supervisão ao longo do Trabalho de Conclusão de Curso.

Registro também meus agradecimentos ao Departamento de Engenharia de Materiais e a todos os docentes do curso, que contribuíram decisivamente para minha formação acadêmica e profissional. Aos meus amigos Luis Felipe, Diego Souza, Gabriel Pádua, Gabriela Rocha e Nalanda Said, e aos colegas e grupos de pesquisa que compartilharam os desafios deste percurso, deixo meu sincero reconhecimento.

Por fim, manifesto meu agradecimento à Escola Superior de Tecnologia da Universidade do Estado do Amazonas, em especial aos Laboratórios de Materiais (LABMAT), de Pesquisa e Desenvolvimento (LABP&D) e ao Laboratório de Solos e

Pavimentação, onde tive experiências fundamentais para minha formação e para o desenvolvimento das competências que levo para minha vida profissional.

1. INTRODUÇÃO.....	11
2. OBJETIVOS.....	13
2.1 Objetivo geral.....	13
2.2 Objetivos específicos.....	13
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	14
3.1 Coleta das amostras.....	14
3.2 Preparo das argilas.....	15
3.3 Caracterização das argilas.....	16
3.3.1 Fluorescência de Raios X (FRX).....	16
3.3.2 Difração de Raios X (DRX).....	17
3.3.3 Limite de liquidez.....	17
3.3.4 Limite de plasticidade.....	18
3.4 Confeção dos Corpos de Prova para Teste de Flexão.....	19
3.5 Caracterização dos Corpos de Prova.....	20
3.5.1 Retração linear.....	20
3.5.2 Resistência à flexão.....	21
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	21
4.1 Avaliação da composição química.....	22
4.2 Composição mineralógica (DRX).....	23
4.3 Índices de Atterberg.....	24
4.4 Retração linear.....	26
4.5 Resistência à flexão.....	27
5. CONCLUSÃO.....	28
6. REFERÊNCIAS.....	30

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Fluxograma da metodologia	14
Figura 2 – Processo de confecção do tijolo (Olaria A)	15
Figura 3 – Preparo das argilas	15
Figura 4 – Equipamento de FRX	16
Figura 5 – Difração de Raios X	17
Figura 6 – Ensaio de Limite de Liquidez	18
Figura 7 – Equipamentos do LP	19
Figura 8 – Moldagem dos corpos de prova	19
Figura 9 – Corpos de prova antes e depois da queima	20
Figura 10 – Ensaio de flexão	20
Figura 11 – Difratoogramas das argilas	22
Figura 12 – Gráfico LL Argila A	24
Figura 13 – Gráfico LL Argila B	24

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Composição química das argilas	21
Tabela 2 – Limite de liquidez e plasticidade	23
Tabela 3 – Retração linear	24
Tabela 4 – Resistência à flexão	25

1. INTRODUÇÃO

A indústria cerâmica desempenha um papel fundamental no setor da construção civil, sendo os tijolos cerâmicos tradicionais amplamente utilizados devido à sua viabilidade econômica e resistência (ABCERAM et al., 2023). Publicações especializadas ressaltam a relevância do setor e destacam a importância da seleção adequada das matérias-primas no processo produtivo.

No processo de fabricação desses materiais, a argila é a principal matéria-prima, e sua caracterização envolve tanto parâmetros tradicionais quanto técnicas modernas que visam maior rapidez e confiabilidade. A distribuição granulométrica é um método ágil — embora limitado — para avaliar a adequação da argila bruta, sendo que frações mais uniformes entre silte e areia tendem a melhorar a resistência a seco e influenciar reações de queima e porosidade final do produto (KAGONBÉ et al., 2021; VASIĆ et al., 2024b). Outro determinante importante é a plasticidade, pois orienta a necessidade de aditivos nas formulações cerâmicas (MACEDO et al., 2008).

Além disso, agentes fundentes presentes na composição controlam a temperatura e a qualidade da queima (KUZMANOVIĆ et al., 2024), e relações químicas como a razão $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ permitem identificar a predominância de determinados argilominerais. O teor de Fe_2O_3 , por sua vez, afeta tanto a coloração final quanto a adequação do produto — teores elevados favorecem argilas para cerâmicas pesadas e para revestimentos com absorção de água $\geq 10\%$ (ARKAME et al., 2024).

Com o avanço das técnicas instrumentais, análises modernas passaram a priorizar custo-benefício, agilidade e precisão. A análise química convencional de silicatos vem sendo amplamente substituída pela Fluorescência de Raios X (FRX), que fornece resultados rápidos e confiáveis, embora dependentes do equipamento, da granulometria e do preparo da amostra (ARKAME et al., 2024; VASIĆ et al., 2024a). Paralelamente, a Difração de Raios X (DRX) possibilita análises mineralógicas completas sem necessidade de orientação preferencial ou tratamentos térmicos, permitindo interpretações semiquantitativas de fases (VASIĆ et al., 2023). Assim, métodos analíticos rápidos e consistentes tornam-se essenciais para uma avaliação sustentável e eficaz das matérias-primas cerâmicas.

Sendo assim, as características físico-químicas como composição mineralógica, granulometria, teores de óxidos (SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3), plasticidade e comportamento durante a queima exercem influência direta na qualidade dos produtos finais. Estudos de

caracterização de argilas provenientes de diferentes polos cerâmicos apontam que tais variações impactam propriedades como resistência mecânica, porosidade e aspecto visual dos tijolos.

Entretanto, ainda não se sabe de forma totalmente detalhada como as características específicas das argilas extraídas nas olarias do município de Iranduba (AM) influenciam diretamente a qualidade final dos tijolos tradicionais, especialmente considerando que as práticas de extração e beneficiamento variam significativamente entre os depósitos locais. Estudos anteriores já mostraram que as argilas de Iranduba possuem composição mineralógica (por exemplo, caulinita, mica/illita, montmorilonita, quartzo) e variabilidade química mensuradas por DRX e FRX. Rodrigues et al. (2015) realizaram essa caracterização física e mineralógica no polo cerâmico de Iranduba, enquanto Batalha et al. (caracterização tecnológica da argila vermelha) avaliaram as propriedades de plasticidade, granulometria e comportamento à queima dessas argilas.

Compreender a relação entre as características físico-químicas e mineralógicas das argilas de Iranduba e o comportamento tecnológico dos produtos cerâmicos permite aprimorar a seleção das matérias-primas, reduzindo desperdícios e otimizando propriedades como resistência mecânica, absorção de água e estabilidade dimensional. Esse entendimento também pode subsidiar diretrizes técnicas específicas para o setor ceramista da região amazônica, respeitando as particularidades das matérias-primas locais.

Estudos como (SANTOS; LIMA, 2016), (SILVA et al., 2017) e (SANTOS, P. S.; MENEZES, R. R.; NEVES, G. A. et al., 2009) reforçam que variáveis como composição mineralógica, granulometria e condições de queima exercem impacto direto sobre as propriedades finais dos produtos cerâmicos.

Diante desse contexto, o objetivo deste trabalho é realizar a caracterização comparativa das argilas utilizadas por duas olarias localizadas no município de Iranduba (AM), avaliando suas propriedades químicas, mineralógicas e tecnológicas por meio das técnicas de FRX, DRX, limites de consistência, retração linear e resistência à flexão. Busca-se compreender como essas características influenciam o comportamento das massas cerâmicas durante o processamento e a queima, identificando eventuais diferenças entre as matérias-primas e suas implicações na qualidade dos tijolos produzidos. Os resultados pretendem subsidiar melhorias no controle de matérias-primas, otimização do processo cerâmico regional e desenvolvimento de diretrizes técnicas adequadas ao polo ceramista da Amazônia

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Analisar e comparar as características físico-químicas e mecânicas das argilas utilizadas por diferentes olarias no município de Iranduba (AM), considerando as influências das condições locais de extração e das proporções de mistura empregadas pelas olarias, visando compreender o impacto desses fatores na qualidade e desempenho dos tijolos tradicionais produzidos.

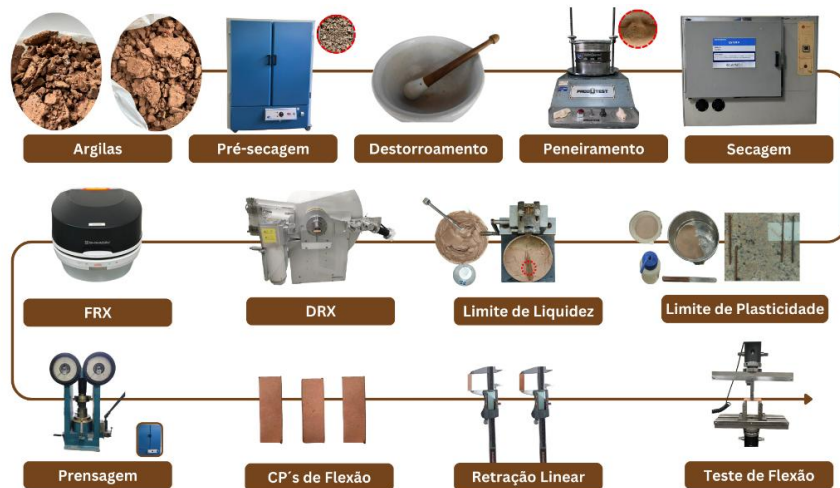
2.2 Objetivos específicos

- Determinar a composição química das amostras de argila por meio da técnica de Fluorescência de Raios X (FRX), identificando os principais óxidos presentes e suas proporções.
- Identificar as fases mineralógicas das argilas analisadas utilizando Difração de Raios X (DRX), com ênfase nos argilominerais predominantes e nas fases acessórias.
- Avaliar os limites de liquidez e plasticidade (LL e LP) para determinar a plasticidade e a trabalhabilidade das massas cerâmicas.
- Medir a retração linear de secagem das amostras conformadas, verificando a estabilidade dimensional após a queima.
- Determinar a resistência à flexão após a queima, analisando a influência das características físico-químicas na resistência mecânica dos corpos cerâmicos.
- Comparar o desempenho das argilas das duas olarias, correlacionando os resultados químicos, mineralógicos e tecnológicos ao comportamento final dos tijolos produzidos.

3. MATERIAIS E METODOS

A Figura 1 apresenta o fluxograma das etapas realizadas no processamento das argilas e na execução dos ensaios laboratoriais.

Figura 1: Fluxograma da metodologia usada



Fonte: Própria do Autor, 2025

3.1 COLETA DAS AMOSTRAS

As argilas utilizadas neste estudo foram coletadas em duas olarias localizadas no estado do Amazonas. A primeira situa-se ao longo da rodovia AM-070, nas proximidades do município de Iranduba, com coordenadas geográficas aproximadas de $(-3.153011, -60.078265)$. A segunda olaria localiza-se também no município de Iranduba, com coordenadas de $(-3.168628, -60.089435)$.

O processo industrial da cerâmica vermelha envolve etapas sucessivas de preparação da argila, incluindo coleta, trituração, mistura, laminação, extrusão a vácuo e conformação, sendo cada fase determinante para a seguinte. Nas olarias estudadas, a argila é inicialmente extraída de áreas próximas às unidades produtivas e mantida em repouso por alguns dias, permitindo a estabilização da umidade e a pré-homogeneização natural do material.

Em ambas as unidades, o processamento segue fluxo semelhante: após o período de descanso, a argila é encaminhada ao alimentador, responsável por dosar o material que segue para o misturador, onde ocorre a homogeneização mecânica da massa. Em seguida, a argila é transportada por uma esteira até o laminador, que corta a massa em lâminas

regulares utilizadas nas etapas subsequentes da produção. As fases do processo podem ser vistas nas Figuras 2-a-f.

A coleta das amostras foi realizada entre o fatiador e a maromba, garantindo que as amostras representassem a massa já homogeneizada.

Figura 2. Processo de confecção do tijolo (Olaria A) – a) Alimentador; b) Misturador; c) Misturador - visão de cima; d) Laminador; e) Maromba a vácuo; e f) Fatiador automático.

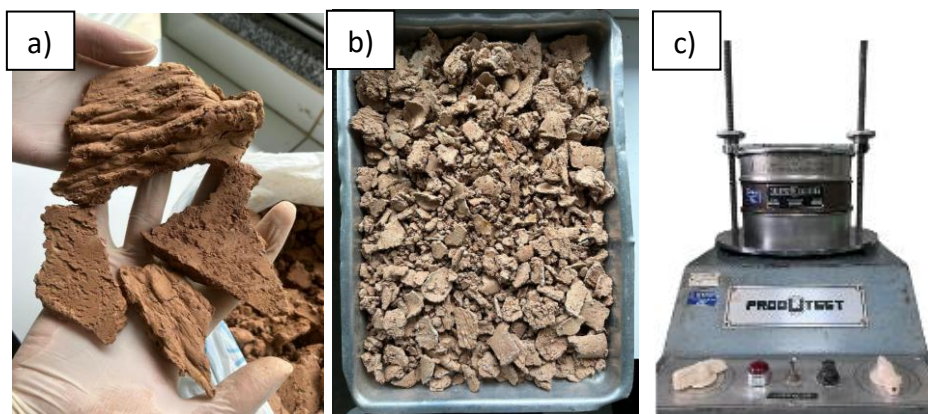


Fonte: Própria do Autor, 2025

3.2 PREPARO DAS ARGILAS

As amostras de argila foram inicialmente secas em estufa a 50 °C por 24 h, conforme as Figuras 3-a e 3-b, até atingirem massa constante, com o objetivo de facilitar a redução granulométrica. Em seguida, o material foi destorroado manualmente com almofariz e pistilo e peneirado em peneiras de diferentes malhas utilizando agitador mecânico, ilustrados na Figura 3-c para peneiras redondas, conforme os procedimentos descritos na ABNT NBR 6457(2024).

Figura 3. Preparo das argilas. a) Torrões úmidos; b) Torrões secos; e c) Agitador mecânico



Fonte: Própria do Autor, 2025

A fração em pó obtida foi então submetida a uma nova etapa de secagem em estufa Quimis a $(105 \pm 5) ^\circ\text{C}$, até atingir massa constante, garantindo a completa remoção da umidade.

3.3 CARACTERIZAÇÃO DAS ARGILAS

3.3.1 Fluorescência de Raios X (FRX)

A composição elementar das argilas foi determinada por Fluorescência de Raios X (FRX), utilizando o espectrômetro (EDX-700, Shimadzu), em modo de energia dispersiva mostrada na Figura 4. As amostras foram previamente secas em estufa a $(105 \pm 5) ^\circ\text{C}$ até massa constante, moídas e peneiradas em malha 100 mesh ($150 \mu\text{m}$), sem etapa de queima, conforme recomendações da ASTM C323-56 (2014) para análise química de argilas.

Figura 4: Espectrômetro (EDX-7000, Shimadzu)

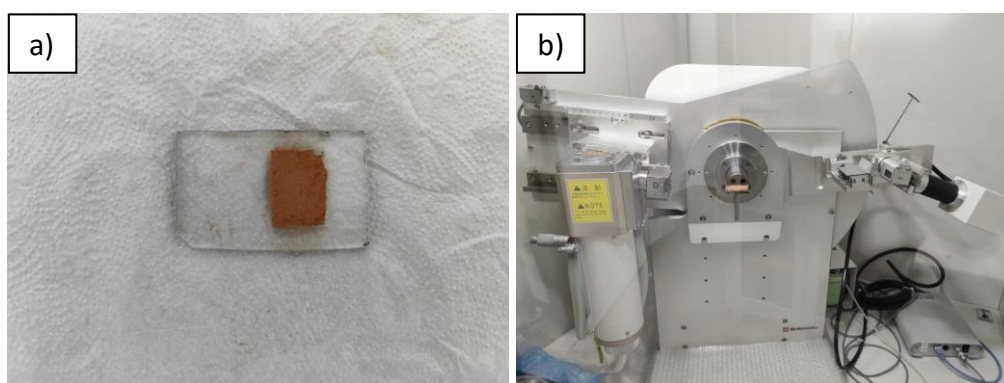


Fonte: Própria do autor, 2025

3.3.2 Difração de Raios X (DRX)

As argilas foram analisadas, na Central Analítica do Instituto Federal do Amazonas (IFAM/CMC), por difração de raios X (DRX) registrados em um Difratorômetro de Raios X, (XRD 7000, Shimadzu), com tubo de Raios X Cu/ $k\alpha$, $\lambda = 0,154$ nm, variação angular de 10° a 80° (2θ), velocidade de $0,02^\circ \text{min}^{-1}$, tensão de 60 kV e corrente de 50 mA (Figuras 5a-b). Nas análises, utilizou-se os padrões de difração fornecidos pelo *Inorganic Crystal Structure Database (ICSD)*.

Figura 5: Difração de Raios X – a) Preparo da amostra; e b) Difratorômetro de Raios X (XRD -7000, Shimadzu)



Fonte: Própria do Autor, 2025

3.3.3 Limite de Liquidez

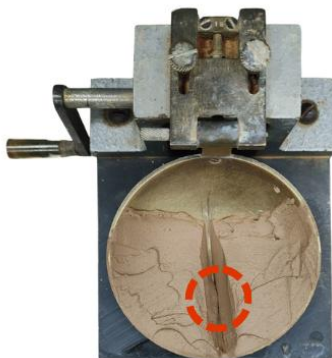
O ensaio de Limite de Liquidez foi realizado conforme preconiza a NBR 6459 (ABNT, 2025). Inicialmente foram utilizados cerca de 150 g da amostra seca, passante na peneira de abertura 0,42 mm, previamente homogeneizada e umedecida gradualmente com água destilada, até obter uma pasta de consistência adequada.

A massa foi colocada na cápsula de Casagrande, preenchendo cerca de dois terços do recipiente. Com o cinzel curvo padrão, realizou-se a ranhura central, dividindo a amostra em duas partes simétricas. Com o aparelho de Casagrande devidamente calibrado, aplicou-se uma sequência de golpes a uma frequência de dois golpes por segundo, até que as metades da amostra se unissem por cerca de 13 mm, caracterizando a região de união mostrada na Figura 6, de acordo com o critério da norma. O número de

golpes necessários para essa união foi registrado para cada um dos teores de umidade testados.

As porções correspondentes à região de fechamento foram coletadas em cápsulas metálicas identificadas, pesadas (massa úmida) e secas em estufa a $(105 \pm 5) ^\circ\text{C}$ por 24 h para determinação do teor de umidade.

Figura 6: Região de união



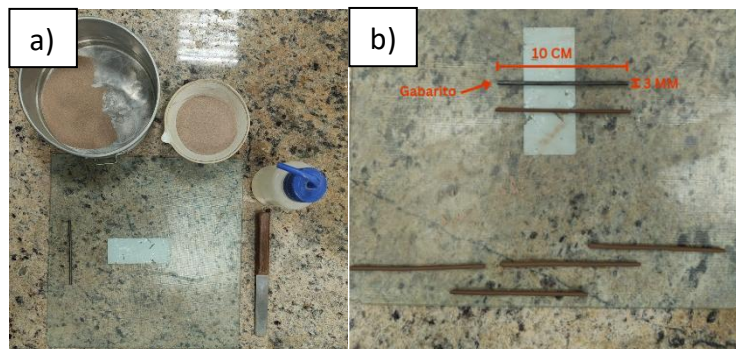
Fonte: Própria do Autor, 2025

3.3.4 Limite de plasticidade

O ensaio de Limite de Plasticidade foi conduzido conforme a ABNT NBR 7180 (2025). A amostra seca foi novamente umedecida gradualmente com água destilada até atingir uma consistência plástica homogênea.

Porções da massa foram moldadas sobre uma placa de vidro esmerilhada, mostrada na Figura 7-a, formando cilindros de aproximadamente 10 cm de comprimento e 3 mm de diâmetro, utilizando um gabarito metálico para controle dimensional, ilustrada na Figura 7-b. O Limite de Plasticidade foi determinado no momento em que os cilindros começaram a fragmentar-se ou apresentar fissuras durante a rolagem.

Figura 7: a) Equipamentos para o teste; e b) Gabarito e moldes



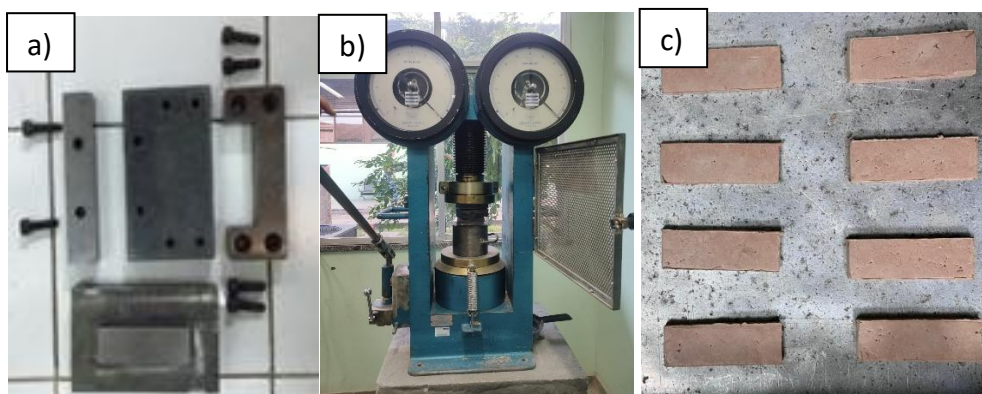
Fonte: Própria do Autor, 2025

As amostras representativas desse ponto foram colocadas em cápsulas taradas, pesadas (massa úmida) e secas em estufa a (105 ± 5) °C até massa constante, para o cálculo do teor de umidade correspondente.

3.4 CONFECCÃO DOS CORPOS DE PROVA PARA TESTE DE FLEXÃO

Os corpos de prova destinados ao ensaio de flexão foram confeccionados a partir do pó de argila previamente peneirado em peneira de 100 mesh ($150 \mu\text{m}$), conforme procedimento recomendado para a obtenção de granulometria uniforme em ensaios cerâmicos (ASTM C1161:2018; ABNT NBR 15310:2009). O material peneirado foi homogeneizado e submetido à prensagem manual em molde metálico de dimensões $60 \times 20 \times 5$ mm, mostrados nas Figuras 8a-c, adaptadas a partir dos padrões normativos, a fim de possibilitar a execução do ensaio de flexão em três pontos com as dimensões disponíveis em laboratório.

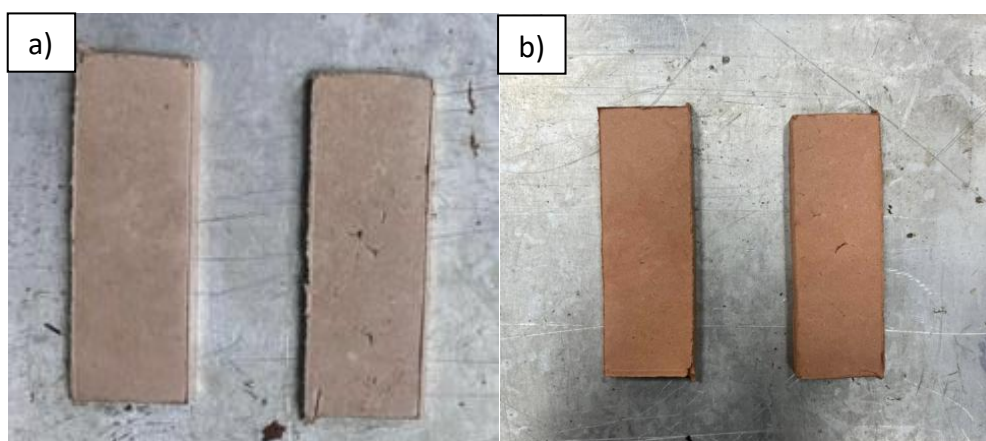
Figura 8: a) Molde de peças cerâmicas; b) Prensa manual utilizada para moldar as peças; e c) Corpos de prova moldados



Fonte: Própria do autor, 2025

Depois de moldados, os corpos de prova foram submetidos à queima em forno mufla (Quimis) seguindo procedimento compatível com a ABNT NBR 15270-1(2017), que indica temperaturas entre 900 °C e 1100 °C para a sinterização de cerâmica vermelha. As amostras previamente secas a 105 °C foram pré-aquecidas a 200 °C por 1 h, seguidas de aquecimento até 650 °C com patamar de 1h30. Em seguida, a temperatura foi elevada a 1000 °C, mantida por 1 h para promover a sinterização. O resfriamento ocorreu naturalmente dentro do forno, conforme recomendado na literatura para evitar choques térmicos (MENEZES et al., 2002; MACEDO et al., 2008). As Figuras 9a-b, apresentadas abaixo, mostram o aspecto dos corpos de prova antes e após a queima.

Figura 9: a) Corpo de prova antes da queima; e b) Corpo de prova após a queima



Fonte: Própria do Autor, 2025

3.5 CARACTERIZAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA

3.5.1 Retração Linear

A retração linear de queima foi determinada conforme ABNT NBR 15270-2 (ABNT,2017). Os corpos de prova retangulares foram medidos no sentido longitudinal antes da queima utilizando um paquímetro digital Shimadzu com resolução de 0,01 mm. Em seguida, as amostras foram submetidas ao ciclo térmico de queima previamente estabelecido. Após o resfriamento até temperatura ambiente, as mesmas amostras foram novamente medidas no mesmo ponto e com o mesmo paquímetro, registrando-se o comprimento final. A retração linear de queima (RLQ) foi calculada para cada corpo de prova segundo a Equação 1.

$$RLQ (\%) = \frac{L1-L2}{L1} \times 100 \quad (\text{Equação 1})$$

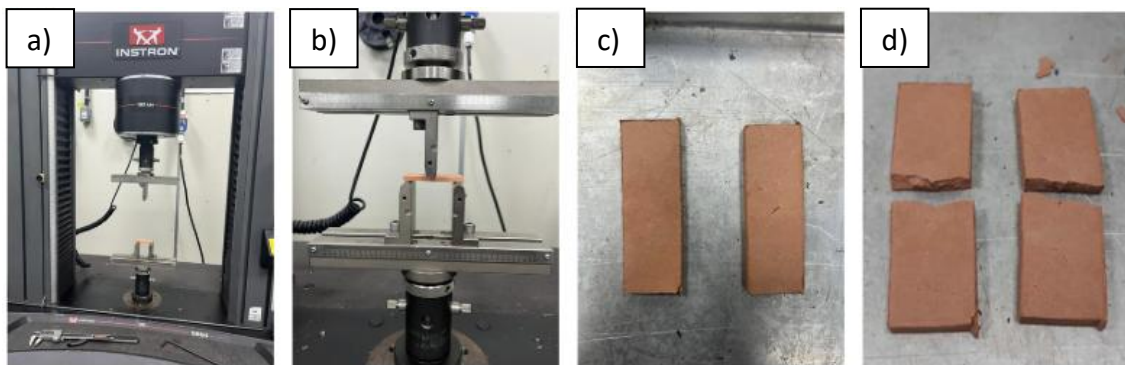
Onde:

- L1 = Comprimento inicial do corpo antes da queima (mm); e
- L2 = Comprimento após a queima (mm),

3.5.2 Teste Mecânico (Flexão)

O ensaio de flexão foi realizado na máquina universal da Instron 5984, com célula de 150 kN, usando vão de 45 mm e velocidade de 0,5 mm/min, mostrados nas Figuras 10-a e 10-b, conforme recomendado pela ASTM C1161. A carga foi aplicada até a ruptura, seguindo o procedimento usado em estudos cerâmicos, como Pereira et al. (2017). A Figura 10-c apresenta os corpos de prova antes da ruptura, e a figura 10-d mostra os corpos de prova após a ruptura.

Figura 10: Teste de flexão (Instron 5984) - a) e b) Máquina de teste; c) Corpos de prova antes da ruptura; e d) Corpos de prova após a ruptura



Fonte: Própria do Autor, 2025

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 AVALIAÇÃO DA COMPOSIÇÃO QUÍMICA

Conforme a análise quantitativa dos elementos, realizada por FRX, encontrou-se a composição elementar das argilas coletadas nas olarias A e B (Tabela 1). A análise por FRX mostrou que as argilas têm composições muito parecidas, principalmente nos teores de SiO_2 e Al_2O_3 , que ficaram dentro do esperado para argilas usadas na cerâmica vermelha no Brasil. Isso indica que as duas tendem a apresentar características semelhantes de plasticidade, conformação e comportamento durante a secagem, como já é discutido na literatura nacional sobre o assunto (MENEZES; FERREIRA; NEVES, 2006; VIEIRA; MONTEIRO, 2003).

Tabela 1: Composição Química das Argilas das Olarias A e B

Compostos Químicos	Olaria A	Olaria B
SiO_2	65,09%	64,36%
Al_2O_3	23,69%	23,86%
Fe_2O_3	7,13%	8,10%
TiO_2	1,83%	1,88%
K_2O	1,61%	1,56%
Outros	0,66%	0,24%

Fonte: Própria do Autor, 2025

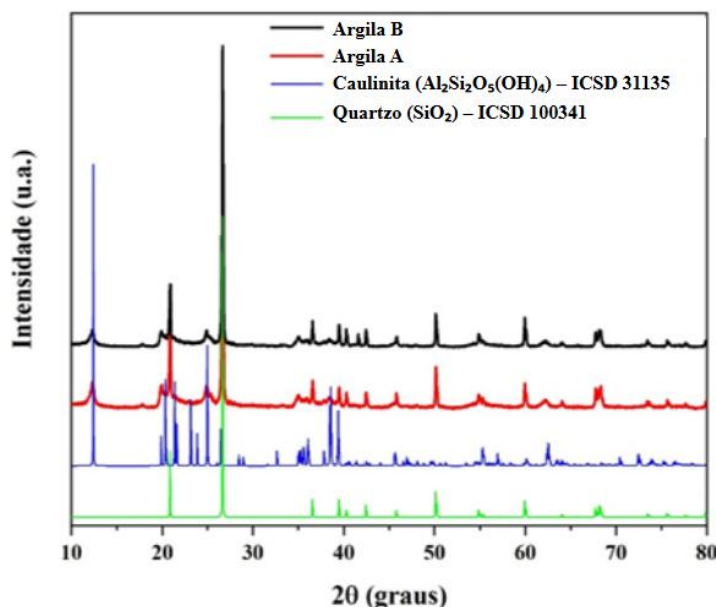
A diferença principal entre as amostras foi o teor de Fe_2O_3 , que foi um pouco maior na argila B (8,10%) quando comparado à argila A (7,12%). De acordo com Souza Santos (1975) e com estudos feitos sobre argilas estruturais brasileiras, teores mais altos de ferro costumam intensificar a cor avermelhada depois da queima e ainda podem aumentar a formação de fase líquida, contribuindo para uma sinterização um pouco mais eficiente. Por isso, a tendência é que a argila B gere peças um pouco mais escuras e com maior vitrificação.

Os valores de teores de TiO_2 e K_2O foram praticamente iguais nas duas argilas, o que sugere que o comportamento térmico delas deve ser bem parecido, já que esses óxidos atuam como mineral acessório e fundente, respectivamente (SOUZA SANTOS, 2002). Os elementos-traço encontrados, todos abaixo de 0,1%, também estão dentro do padrão de argilas naturais e não devem interferir no desempenho das massas cerâmicas.

4.2 COMPOSIÇÃO MINERALÓGICA (DRX)

Na Figura 11 podem ser observados os DRX para as argilas coletadas em ambas as olarias. Nos difratogramas das argilas A e B é possível observar picos relacionados principalmente ao quartzo e à caulinita, usando como referência os padrões da base cristalográfica ICSD que foram colocados no gráfico. Apesar dessa correspondência geral, os picos das amostras não coincidem exatamente com o padrão de caulinita da ICSD. Isso acontece porque, em argilas naturais, a caulinita normalmente não aparece pura, mas sim misturada com outros minerais da matriz, o que altera a posição e a intensidade dos picos no DRX. Esse comportamento também é relatado em estudos brasileiros que analisam argilas para uso cerâmico, onde a caulinita costuma apresentar cristalinidade reduzida e certo grau de desordem estrutural (FREITAS et al., 2024; MENEZES; FERREIRA; NEVES, 2006).

Figura 11 – Difratogramas de raios X das argilas coletadas



Fonte: Própria do Autor, 2025

A presença de picos sobrepostos e a dificuldade em identificar fases isoladas também são comuns em argilas aplicadas à cerâmica. Trabalhos como os de Lira et al. (2017), Vieira e Monteiro (2003) e Menezes et al. (2006) mostram que é frequente encontrar uma combinação de caulinita parcialmente desordenada com quartzo bem cristalino e outras fases acessórias, o que explica por que os difratogramas reais não coincidem perfeitamente com os padrões cristalográficos da ICSD. O comportamento

observado nas amostras deste estudo segue exatamente essa tendência descrita na literatura.

Comparando as duas amostras, o padrão geral dos picos é bastante semelhante. Em alguns trechos, a olaria B apresenta picos um pouco mais intensos na região do quartzo, enquanto a olaria A mostra sinais de caulinita levemente mais marcados. Essa diferença é esperada para argilas naturais e está de acordo com o que autores brasileiros descrevem para matérias-primas usadas na cerâmica vermelha (NASCIMENTO et al., 2024).

4.3 ÍNDICES DE ATTERBERG

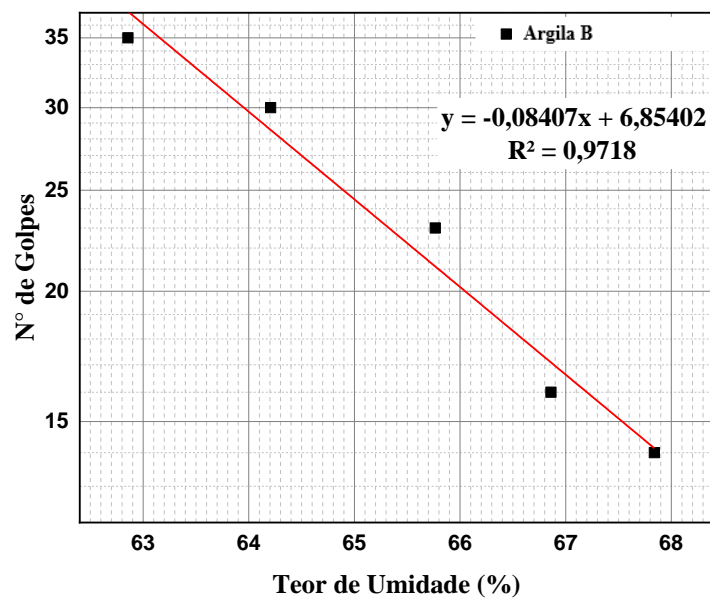
Os resultados de Limite de Liquidez e Limite de Plasticidade encontram-se elencados na Tabela 2, por meio da qual se observam diferenças relevantes entre as duas argilas avaliadas. Além disso, nas Figuras 12 e 13 são apresentados os gráficos de LL para ambas as argilas.

Tabela 2: Comparação de LL e LP das Argilas das Olarias A e B

Parâmetro	Olaria A	Olaria B
Limite de liquidez	64,21%	64,90%
Limite de plasticidade	23,58%	27,89%
Índice de plasticidade	40,63%	37,01%

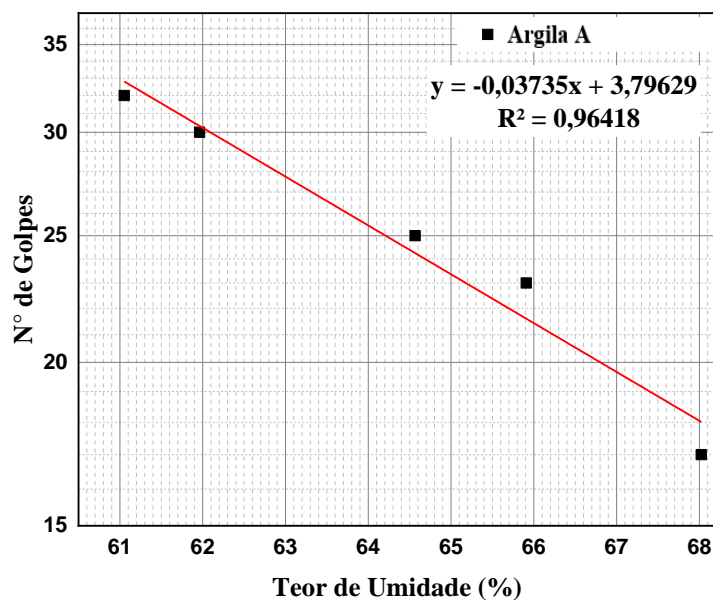
Fonte: Própria do autor, 2025

Figura 12 – Gráfico LL Olaria B



Fonte: Própria do autor, 2025

Figura 13 – Gráfico LL Olaria B



Fonte: Própria do autor, 2025

Por meio dos resultados acima, nota-se que a argila da Olaria A apresentou LL de 64,21% e LP médio de 23,6%. Esses valores indicam uma plasticidade intermediária, suficiente para permitir boa moldagem sem que a massa se torne excessivamente coesa, como é comum em argilas caulínicas de uso cerâmico (SANTOS, 1989; MENEZES; NEVES; FERREIRA, 2002). O Índice de Plasticidade (IP) resultante foi de 40,63%, sugerindo um material com boa trabalhabilidade e menor tendência a problemas dimensionais durante secagem e queima.

A argila da Olaria B apresentou LL de 64,90% e LP médio de 27,6%, resultando em IP de 37,01%. O LP mais elevado indica maior presença de argilominerais hidratados, característica geralmente associada a massas mais coesas e fáceis de moldar, mas também mais sensíveis ao processo de secagem (MACEDO et al., 2008; HOLANDA; SOUZA, 2001). Esse comportamento é típico de argilas mais plásticas, que podem oferecer vantagens na conformação, mas exigem maior controle no processamento para evitar fissuras e deformações.

4.4 RETRAÇÃO LINEAR

As retrações lineares de queima das argilas confeccionadas estão listadas na Tabela 3. Os valores médios foram de 0,48% para a Olaria B e 0,31% para a Olaria A. Tais resultados são considerados baixos quando comparados aos intervalos normalmente descritos para massas usadas em cerâmica vermelha, que podem variar entre 3% e 9% dependendo da composição e da quantidade de óxidos fundentes presentes (SANTOS, 1989; MENEZES; NEVES; FERREIRA, 2002). A baixa retração observada está relacionada ao elevado teor de sílica identificado por FRX, principalmente na forma de quartzo, que atua como fase inerte e reduz a contração durante a sinterização.

Tabela 3 - Comparação de Retração Linear

Retração Linear	Olaria B	Olaria A
Amostra 1	0,37%	0,10%
Amostra 2	0,84%	0,45%
Amostra 3	0,56%	0,42%
Amostra 4	0,28%	0,10%
Amostra 5	0,35%	0,24%
Amostra 6	1,02%	0,31%
Amostra 7	0,26%	0,47%
Amostra 8	0,27%	0,31%
Amostra 9	0,42%	0,40%
Média	0,48%	0,31%

Fonte: Própria do autor, 2025

Entre as duas amostras, a argila de B apresentou retração ligeiramente maior. Esse comportamento pode ser explicado pelo seu maior teor de Fe_2O_3 e outros óxidos fundentes, que favorecem a formação de fase líquida e tendem a aumentar discretamente a retração linear, como já relatado em estudos sobre argilas amazônicas (MACEDO et al.,

2008). Já a argila da olaria A, por apresentar maior fração de sílica, mostrou maior estabilidade dimensional, o que é desejável para evitar empenamentos e fissuras durante a queima.

4.5 RESISTÊNCIA A FLEXÃO

Na Tabela 4 mostra os valores de resistência à flexão, obtidos para as argilas A e B, que apresentaram médias muito próximas, ambas em torno de 3 MPa. Esse desempenho é compatível com materiais empregados na cerâmica vermelha e encontra suporte em estudos que avaliaram blocos e corpos cerâmicos prensados e queimados. Cerqueira et al. (2022) destacam que resistências nessa faixa são comuns em materiais destinados à aplicação estrutural quando há adequado controle de processamento.

Tabela 4: Estatísticas do ensaio de flexão das argilas A e B

Parâmetro (MPa)	Argila A	Argila B
Resistência máxima	6,39	6,59
Resistência média	3,36	3,17
Resistência mínima	1,04	0,65
Desvio-padrão	1,72	1,93

Fonte: Própria do autor, 2025

A influência da composição mineralógica também é um fator determinante no comportamento mecânico. Trabalhos publicados na revista *Cerâmica* mostram que pequenas variações nas proporções entre argila plástica, fases inertes e óxidos fundentes modificam diretamente a sinterização e, por consequência, a resistência à flexão após a queima (SOUZA et al., 2019). Esse entendimento é coerente com os resultados observados neste estudo, principalmente ao comparar as duas argilas.

A argila A apresentou maior uniformidade entre os corpos de prova, indicando boa homogeneidade da massa. Já a argila B apresentou maior dispersão dos valores de resistência, o que pode estar relacionado ao seu teor mais elevado de óxidos fundentes, como Fe_2O_3 , identificado nas análises de FRX. Esses óxidos tendem a intensificar a sinterização de maneira menos uniforme, gerando regiões com diferentes graus de densificação e contribuindo para a variabilidade medida.

5. CONCLUSÃO

As caracterizações físico-químicas e tecnológicas realizadas permitiram avaliar de forma abrangente o desempenho das argilas A e B, ambas empregadas na produção de cerâmica vermelha no município de Iranduba (AM). As análises químicas por FRX indicaram composições semelhantes, com predomínio de SiO_2 e Al_2O_3 , enquanto o DRX evidenciou a presença marcante de quartzo e caulinita parcialmente desordenada, mineralogia caracteristicamente associada a massas cerâmicas estruturais de baixa sinterabilidade.

Os ensaios de retração linear de queima (RLQ) revelaram valores significativamente baixos — 0,31% para A e 0,48% para B — comportamento diretamente relacionado ao elevado teor de quartzo presente nas amostras. Essa elevada fração de sílica atua como fase inerte, minimizando a formação de fase líquida e, conseqüentemente, conferindo alta estabilidade dimensional aos corpos cerâmicos. Essa característica é essencial para evitar empenamentos, fissuras e variações indesejadas no formato final dos produtos.

Os limites de Atterberg também forneceram informações importantes sobre o comportamento reológico das argilas. Ambas apresentaram limite de liquidez elevado, compatível com argilas plásticas, porém o limite de plasticidade da argila B foi superior ao da A, resultando em um índice de plasticidade (IP) mais alto. Esse maior IP indica que a argila B possui maior capacidade de deformação antes da ruptura, favorecendo o processo de conformação, mas podendo resultar em maior retração na secagem e maior sensibilidade a fissuras se o processo não for bem controlado. Já a argila A, com menor IP, tende a apresentar trabalhabilidade mais equilibrada, menor risco de trincamento e comportamento mais previsível na etapa de moldagem.

Os ensaios mecânicos demonstraram que ambas as argilas atingiram resistências à flexão próximas de 3 MPa após a queima, valores coerentes com cerâmicas vermelhas conformadas manualmente e queimadas em mufla. No entanto, a argila A apresentou menor dispersão nos resultados, indicando maior uniformidade da massa e melhor previsibilidade de desempenho. A argila B, por possuir maior teor de Fe_2O_3 , exibiu maior tendência à sinterização e densificação, mas com comportamento menos uniforme devido ao efeito fundente parcial do ferro.

De modo geral, ambas as argilas são adequadas para a produção de cerâmica vermelha. Contudo, a argila A demonstrou melhor estabilidade dimensional, maior

homogeneidade e comportamento mais previsível, o que a torna mais favorável para processos de produção que exigem regularidade. A argila B, embora mais plástica e potencialmente mais densificável, exige maior controle nas etapas de secagem e queima devido à sua maior sensibilidade a variações dimensionais.

Os resultados reforçam a importância da caracterização físico-química e tecnológica para o controle de qualidade e seleção adequada de matérias-primas no polo cerâmico da região amazônica. O conjunto de análises aqui realizadas fornece subsídios importantes para a otimização dos processos produtivos e para a melhoria das propriedades tecnológicas dos tijolos fabricados em Iranduba.

REFERÊNCIAS

ABCERAM – Associação Brasileira de Cerâmica. Definição e classificação. Disponível em: <https://abceram.org.br/definicao-e-classificacao/>. Acesso em: 17 jun. 2025.

ABCERAM – Associação Brasileira de Cerâmica. Cerâmica no Brasil – números do setor. São Paulo, 2023. Disponível em: <https://abceram.org.br/>. Acesso em: 16 set. 2025.

ARKAME, Y. et al. Evaluation and application of Moroccan clay materials in ceramic tiles: Composition and technological behavior. **Open Ceramics**, v. 18, p. 100591, 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15270-1:2017 — Componentes cerâmicos. Parte 1: Blocos e tijolos para alvenaria. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15270-2:2017 — Componentes cerâmicos. Parte 2: Métodos de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6457:2016 — Amostras de solo – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6459:2016 – Solo – Determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15270-1:2017 — Componentes cerâmicos. Parte 1: Blocos e tijolos para alvenaria. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15270-2:2017 — Componentes cerâmicos. Parte 2: Métodos de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7180:2020 – Solo – Determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro: ABNT, 2020.

CERQUEIRA, N. A. et al. Mechanical feasibility study of pressed and burned red ceramic blocks. *Materials*, v. 15, n. 14, p. 5004, 2022. DOI: 10.3390/ma15145004.

GUIMARÃES, T. C. F.; SANTOS, A. V.; THEDOLDI, A. C.; LIMA, D. C. Estudo das propriedades físicas e mecânicas com a composição química de argilas vermelhas da Bahia. *Revista Matéria*, v. 26, n. 4, 2021. DOI: 10.1590/S1517-707620210004.

HOLANDA, J. N. F.; SOUZA, A. V. M. Processamento e propriedades de cerâmicas vermelhas. *Cerâmica*, v. 47, n. 304, p. 178–182, 2001.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS – IPT. Manual de procedimentos para a indústria de cerâmica vermelha (estrutural). Relatório 24422. São Paulo, 1986. Disponível em: <https://www.univille.edu.br/...> Acesso em: 23 jun. 2025.

KAGONBÉ, B. P. et al. Mineralogical, physico-chemical and ceramic properties of clay materials from Sekandé and Gashiga (North, Cameroon) and their suitability in earthenware production. *Heliyon*, v. 7, n. 7, 1 jul. 2021.

KUZMANOVIĆ, P. et al. Natural radioactivity and technological properties of kaolinized granite from the Motajica mine, Bosnia and Herzegovina. *Construction and Building Materials*, v. 451, p. 138811, 2024.

MACEDO, R. S. et al. Estudo de argilas usadas em cerâmica vermelha da região Norte. *Cerâmica*, v. 54, n. 330, p. 168–175, 2008.

MACEDO, R. S. et al. Influência de aditivos na produção de blocos cerâmicos. *Cerâmica*, v. 54, p. 373–381, 2008.

MENEZES, R. R.; NEVES, G. A.; FERREIRA, H. C. O processo de queima na cerâmica vermelha: influência das matérias-primas. *Cerâmica Industrial*, v. 7, n. 5, p. 33–38, 2002.

NASCIMENTO, D. C. B. et al. Caracterização física, mineralógica e mecânica das argilas do polo cerâmico de Moju. *Cerâmica Industrial*, v. 29, n. 2, p. 27–35, 2024. DOI: 10.1590/0366-69132024293287240.

OLIVEIRA, A. S.; SILVA, T. R. *Materiais cerâmicos na construção civil*. 2. ed. São Paulo: Blucher, 2022. DOI: 10.33448/rsd-v8i10.1281.

OLIVEIRA, R. H.; SILVA, C. R. C.; REIS, D. A. Caracterização mineralógica, físico-química e tecnológica da argila de Angélica. *Cerâmica Industrial*, v. 27, n. 1, p. 17–25, 2017.

PASCHOAL, J. A. A. *Estudos de parâmetros de qualidade para a cerâmica estrutural vermelha*. 2004. 188 p. Dissertação (Mestrado) – UFSCar, São Carlos. Disponível em: <https://repositorio.ufpa.br/...> Acesso em: 23 jun. 2025.

SANTOS, P. S. *Ciência e tecnologia das argilas*. 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1989.

SANTOS, R. C. Formulação de massas cerâmicas para a produção de telhas. 2012. 89 p. Dissertação (Mestrado) – UFCG, Campina Grande. Disponível em: <https://bdtd.ibict.br/...> Acesso em: 13 jun. 2025.

SOUZA, G. et al. Three-point flexural strength of red ceramic pieces containing argillite. *Cerâmica*, v. 65, n. 376, p. 501–508, 2019.

SOUZA SANTOS, H. Função dos fundentes na cerâmica vermelha. *Cerâmica Industrial*, v. 7, n. 4, p. 32–38, 2002.

SANTOS, P. S.; MENEZES, R. R.; NEVES, G. A. Interação entre características de argilas e parâmetros de processamento sobre propriedades tecnológicas de corpos cerâmicos. *Cerâmica*, v. 55, n. 336, p. 385–392, 2009.

SOUZA SANTOS, P.; ANGÉLICA, R. S. Argilas: o que são e para que servem. *Química Nova na Escola*, v. 34, n. 2, p. 75–83, 2012.

VASIĆ, M. V. et al. Raw kaolinitic–illitic clays as high-mechanical-performance hydraulically pressed refractories. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, v. 148, n. 5, p. 1783–1803, 2023.

VASIĆ, M. V. et al. Geochemical Profiles of Deep Sediment Layers from the Kolubara District (Western Serbia): Contamination Status and Associated Risks of Heavy Metals. *Agronomy*, v. 14, n. 12, 2024a.

VASIĆ, M. V. et al. Sustainable approach to raw clays for ceramic and refractory applications: insights from updated traditional ternary diagrams. *Clay Minerals*, v. 59, n. 3, p. 202–212, 2024b.

VIEIRA, C. M. F.; MONTEIRO, S. N. Características de argilas e propriedades de produtos cerâmicos estruturais do Vale do Paraíba. *Materials Research*, v. 6, n. 3, p. 335–341, 2003.