

AValiação das Matérias-Primas e Proposta de Controle na Formulação da Massa para Fabricação de Tijolo numa Indústria de Manacapuru – AM

*EVALUATION OF RAW MATERIALS AND PROPOSAL FOR CONTROL IN THE
FORMULATION OF THE BRICK-MAKING MIXTURE IN AN INDUSTRY IN MANACAPURU-AM*

**Sebastião Batista RAMOS JÚNIOR, Raimundo Humberto Cavalcante LIMA, José Carlos
Calado SALES JÚNIOR**

Universidade Federal do Amazonas. Avenida General Rodrigo Octavio Jordão Ramos, 1200 - Coroado I, Manaus – AM.
E-mails: sb-ramos.eng.ambiental@hotmail.com; humbertoclima@ufam.edu.br; jccalado@gmail.com

Introdução
Contexto geológico
Materiais e método
Localização e coleta
Caracterização e formulação
Secagem e queima dos corpos de prova
Resultado e discussão
Ensaios tecnológicos
Conclusão
Agradecimento
Referências

RESUMO - A formulação da massa cerâmica é fundamental para qualidade dos produtos na indústria de cerâmica vermelha. Nessa perspectiva, esta pesquisa avaliou massas cerâmicas compostas de duas argilas oriundas da região de Manacapuru/AM. As matérias-primas, identificadas como Argila A e Argila B, e caracterizadas por meio das técnicas de Fluorescência de Raios X, Difração de Raios X, Granulometria à *laser* e determinação da Plasticidade pelos limites de Atterberg. Na segunda etapa do estudo, foram obtidas cinco formulações a partir de combinações das argilas A e B em diferentes proporções, sendo M1 (100% A e 0% B); M2 (0% A e 100% B); M3 (85% A e 15% B), M4 (80% A e 20% B) e M5 (75% A, e 25% B). Cinco corpos de provas de cada formulação foram queimados nas temperaturas de 700 °C, 800 °C e 900 °C para determinação da Retração Linear, Absorção de Água, Porosidade Aparente e Tensão de Ruptura à flexão. Os resultados das análises química, mineralógica e física das argilas identificaram teores elevados de dióxido de silício (SiO₂) e óxido de alumínio (Al₂O₃); predomínio de caulinita (Al₂Si₂O₅(OH)₄) e quartzo (SiO₂); a Argila A apresentou granulometria fina e alta plasticidade, enquanto a Argila B se apresenta como matéria-prima de menor plasticidade. Nos ensaios tecnológicos ficou constatado resultados satisfatórios para as massas M4 e M5, em consonância com as normas da ABNT. O controle na formulação e temperatura serviram como base para propor adaptações visando melhorar a qualidade do produto final.

Palavras-chave: Argila. Cerâmica. Controle. Massa. Temperatura.

ABSTRACT - The formulation of the ceramic mixture is essential for product quality in the red ceramic industry. In this perspective, this research evaluated ceramic bodies composed of two clays from the Manacapuru/AM region. The raw materials, identified as Clay A and Clay B, were characterized by means of X-ray Fluorescence, X-ray Diffraction, laser granulometry and determination of Plasticity by Atterberg limits. In the second step of the study, five formulations were obtained from combinations of clays A and B in different proportions, being M1 (100% A and 0% B); M2 (0% A and 100% B); M3 (85% A and 15% B), M4 (80% A and 20% B) and M5 (75% A, and 25% B). Five specimens of each formulation were fired at 700 °C, 800 °C, and 900 °C to determine Linear Shrinkage, Water Absorption, Apparent Porosity, and Bend Bend Tensile Strength. The results of the chemical, mineralogical and physical analyses of the clays identified high contents of silicon dioxide (SiO₂) and aluminum oxide (Al₂O₃); predominance of kaolinite (Al₂Si₂O₅(OH)₄) and quartz (SiO₂); Clay A presented fine granulometry and high plasticity, while Clay B presented itself as raw material of less plasticity. The technological tests showed satisfactory results for clays M4 and M5, in accordance with ABNT standards. The control of formulation and temperature served as a basis for proposing adaptations to improve the quality of the final product.

Keywords: Clay. Ceramics. Control. Mass. Temperature.

INTRODUÇÃO

A cerâmica vermelha, também conhecida como cerâmica estrutural, é denominação atribuída à categoria de produtos utilizados na construção civil, como tijolos, blocos e telhas bem como outros produtos para outras finalidades (Sales, 2012). Esses produtos são fabricados de argila, material natural terroso de granulação fina e definido como uma rocha dividida, constituída

essencialmente de minerais, matéria orgânica e outras impurezas (Reis et al., 2014). Uma das principais propriedades desses materiais é desenvolver plasticidade com quantidade apropriada de água e endurecer após secagem e queima (Savazzini-Reis et al., 2016).

No Brasil, a indústria cerâmica tem participação em cerca de 1% do PIB nacional, sendo

aproximadamente 40% representado por olarias de cerâmica vermelha (ANICER, 2021). Em escala regional, o polo oleiro no estado do Amazonas concentra-se, majoritariamente, nos municípios de Iranduba e Manacapuru, região metropolitana de Manaus, atualmente com 29 olarias ativas (Nascimento, 2019).

As jazidas favoráveis à exploração das argilas dessa região estão situadas, principalmente, nas regiões de planícies de inundação do Rio Negro e do Rio Solimões e, secundariamente, em depósitos sedimentares formados pelo intemperismo de rochas da Formação Alter do Chão com potencial para compor massas na fabricação de tijolos com alta qualidade (Rodrigues, 2012).

Porém, para Campelo (2010), essa qualidade apresentou deficiência quando, em seus estudos, foi verificado que as empresas desse polo trabalham de forma empírica, utilizando as experiências visual e tátil, obtendo pouco ou nenhum controle quanto aos processos, principalmente na formulação de massa e na queima das peças cerâmicas, fato ainda comum atualmente. Rodrigues (2012) também destacam a constatação, por meio de ensaios tecnológicos, de que mais de 50% dos tijolos estudados provenientes desse polo demonstraram inconformidade com os padrões exigidos pela norma brasileira.

A falta de gerenciamento técnico na preparação da massa acarreta problemas quanto ao aproveitamento eficiente dessas matérias-primas, além de influenciar negativamente a qualidade dos produtos e gerar entraves de projetos no desenvolvimento de novas produções (Lima, 2010). Esse contexto, com um mercado cada vez mais competitivo, obriga as empresas a atender a diversas exigências na padronização para garantir excelência do produto desejado pelo consumidor, aplicando melhorias no processo de fabricação (Gonçalves, 2021).

Diante dessa temática, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) apresenta, em seu acervo, métodos de ensaios e especificações

próprias para os blocos cerâmicos (Sena, 2014). Essas normas para controle distinguem-se em atributos qualitativos geralmente observados a olho nu e combinação com as variáveis verificadas por meio dos ensaios em laboratório (Killer, 2019).

Sendo assim, entende-se que a falta de estudos prévios sobre a melhor mistura a ser empregada pode ser um dos fatores que levam ao alto índice de perdas, ocasionadas por retrações excessivas, geralmente acompanhadas por trincas que conduzem ao enfraquecimento dos produtos (Azeredo, 2015 e Amaral, 2016).

Esse fator contribui para o elevado número de blocos quebrados na movimentação e no armazenamento (Correia & Bianchini, 2020 e Schackow et al., 2020). Segundo Laursen (2019), as deformações e a baixa resistência das peças fabricadas consistem na deficiência de controle tecnológico, na escolha e na dosagem de matérias-primas e nos mecanismos no processo. Para alcançar bons resultados, faz-se necessária a caracterização das matérias-primas por meio de ensaio químico, mineralógico, físico e mecânico, permitindo o fortalecimento dos requisitos para tomada de decisão na definição de controle e preparação da massa (Queiroz, 2021). Lima (2010) afirma que o atendimento a esses requisitos está relacionado com a forma como as atividades são desenvolvidas no controle de formulação.

Seguindo esse raciocínio, a presente pesquisa direciona-se a avaliar as matérias-primas argilosas quanto ao seu emprego na fabricação de tijolos, almejando sugerir técnica de controle na obtenção de uma massa cerâmica mais adequada para o processo produtivo em uma indústria cerâmica localizada no polo cerâmico de Manacapuru. O objetivo é avaliar em laboratório as matérias-primas compostas de duas argilas e elaborar formulação de massa mais adequada para queima dos Corpos de Prova (CP), visando melhorar a qualidade do produto final, gerando dados técnico-científicos para propor adaptações na indústria.

CONTEXTO GEOLÓGICO

Em decorrência da constituição do substrato geológico brasileiro, dispõe de extensas coberturas sedimentares, bacias fanerozoicas e depósitos cenozoicos, aliado à evolução geomorfológica, que propiciou a geração de expressivas coberturas residuais intemperizadas, formando os depósitos de argilas para fins cerâmicos com ampla distribuição geográfica em todo território

nacional (Motta, 2008).

Segundo Sabino (2016), no contexto geológico, são distinguidos em dois tipos principais de depósitos, as argilas aluvionares e as argilas de bacias sedimentares formacionais, exploradas para suprimento de matéria-prima na indústria de cerâmica vermelha. Nesse contexto destacando, geologicamente, o município de Manacapuru que

está situado em uma planície de dissecação, visualizado claramente em imagem de satélite.

Essa região dispõe de extensas áreas de depósitos aluvionares e de depósitos formacionais de alteração Alter do Chão, constituindo as principais fontes de matéria-prima para mistura de massa

para produção de tijolos conforme estudos geológicos realizados pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – CPRM- (BRASIL, 2011).

Para este artigo os estudos foram realizados em materiais argilosos do município de Manacapuru, como mostra na figura 1.



Figura 1 – Imagem da unidade geológica da área de estudo. (Fonte: Própria 2021). Link: <https://earth.google.com/web/@-3.21546218,60.51841406,14.77064886a,64463.6071521d,35y,57.16177607h,60.48118094t,0r> 2022.

Os depósitos aluvionares correspondem a terrenos geologicamente de formação mais recente representados por sedimentos depositados pelos rios atuais ao longo do período quaternário. As argilas aluvionar, geralmente apresenta maior plasticidade, (Emmerich & Steudel, 2016). Esses depósitos são representativos da sedimentação atual e pela presença de barras alongadas, predominantemente arenosas e pouco vegetadas (Soares, 2007).

São constituídos por sedimentos inconsolidados, compostos por areia e lama (silte e argila), que formam as barras marginais e ilhas ao longo dos canais primários e secundários do Rio Solimões (Soares et. al. 2001; Racanelli et al., 2020).

A região também apresenta sedimentos mais antigos, tratando-se de argilas das bacias sedimentares, também denominadas de formacionais; são unidades geológicas antigas das eras

paleozoica e mesozoica, de 570 a 65 milhões de anos, secundariamente, a cenozoica, de 65 a 1,8 milhões de anos. Nesses ambientes, as argilas mais puras constituem bolsões e lentes, e estão associadas a argilas arenosas, menos plásticas, que podem ser misturadas com as plásticas para a manufatura de diversos produtos (CPRM, 2007; e Rodrigues, 2012).

Os depósitos posicionados em cotas abaixo de 60 m, em relação ao nível do mar, são compostos, principalmente, de argila silto-arenosa, coloração avermelhada no topo dos perfis. Tem sido atribuído para a unidade um sistema deposicional continental que ocorre em discordância a algumas unidades paleozoicas das bacias Amazonas e Solimões. Geralmente os argilominerais subdividem-se em função de suas propriedades estruturais que fornecem o desempenho dessas matérias-primas para as mais diversas aplicações na indústria ceramista, (Queiroz, 2021).

MATERIAIS E MÉTODOS

Este tópico descreve a metodologia e os equipamentos utilizados para controle na formulação da massa e na queima, bem como os ensaios tecnológicos nos corpos de prova cerâmica.

Para isso, organizou-se um planejamento metodológico composto de quatro etapas sequenciadas cronologicamente com atividades e experimentos conforme a figura 2.

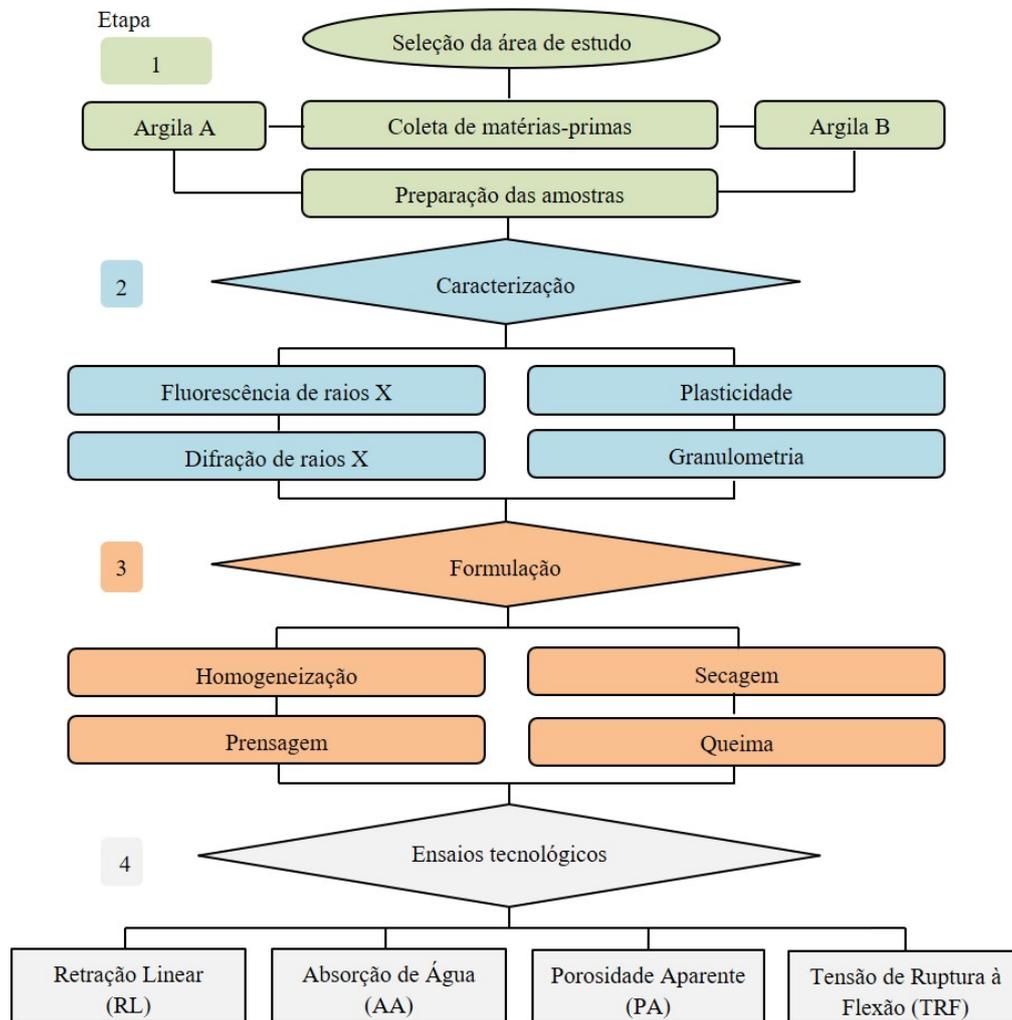


Figura 2 – Organograma das atividades metodológicas realizadas nesta pesquisa (Fonte própria 2022).

Localização e coleta

Para o desenvolvimento desta pesquisa, foram utilizadas duas matérias-primas classificadas como: argila A, de coloração bege e alta plasticidade, originada em aluviões recentes relacionados ao ambiente de planícies de inundação do período neógeno holocênico da Formação Rio Solimões; e argila B, apresentando baixa plasticidade, de cor avermelhada a mosqueada e com textura argilo-arenosa proveniente de sedimentos residuais de alterações de rochas da Formação Alter do Chão, do Grupo Javari e do Cretáceo da Bacia do Amazonas.

As coletas foram realizadas em uma empresa que utiliza esses minerais na indústria ceramista para fabricação de tijolos. Essas

argilas foram retiradas do pátio de armazenagem utilizado para o sazonalização das matérias-primas, etapa necessária para ocorrer estabilização e uniformidade após ações mecânicas na extração.

A indústria cerâmica parceira nesta pesquisa está localizada no km 2 do ramal Bela Vista, zona rural vicinal da Rodovia Manuel Urbano, no município de Manacapuru – AM (ver coordenada na figura 3). Após a coleta e o armazenamento adequado em sacos plásticos, as referidas argilas foram levadas ao Laboratório de Laminação e Matérias-Primas Minerais do Departamento de Geociências, pertencente à Universidade Federal do Amazonas (UFAM), para a realização das análises.

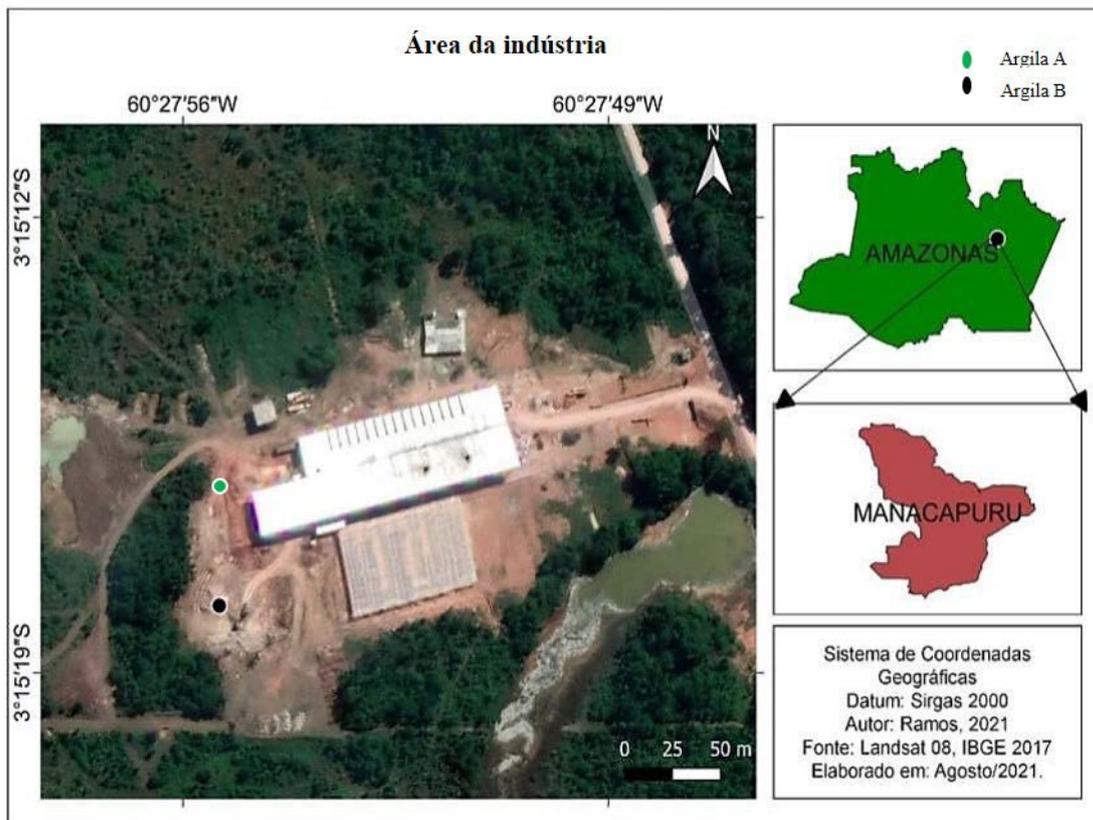


Figura 3 – Localização da indústria onde foram coletadas as amostras de argila (Fonte própria 2021).

Caracterização e formulação

Todas as matérias-primas foram analisadas observando as características química, mineralógica e física, como granulometria e plasticidade.

As argilas fornecidas pela empresa estavam na forma de torrões grosseiros conforme observado na figura 4. Inicialmente, as amostras foram deixadas ao ar livre em bandejas de alumínio por

um período de aproximadamente uma semana, a fim de eliminar a umidade higroscópica e facilitar o processo de redução granulométrica para melhor trabalhabilidade. Para isso, as argilas foram moídas separadamente em moinho de bolas, passadas em peneira de 100 mesh (0,149 μm), de acordo com a norma, NBR 13818 (ABNT, 1997), e secas em estufa a 110 $^{\circ}\text{C}$ por 24 horas.



Figura 4 – Coleta das matérias-primas no estoque de argila numa indústria de Manacapuru-AM. Fonte própria 2022.

Em seguida, foi realizada a caracterização da composição química, por meio de um espectrometro de fluorescência de raios X por dispersão de ondas, utilizando espectrômetro WDS sequencial, modelo Axios Minerals da marca PANalytical, com tubo de raios X cerâmico, anodo de ródio (Rh) e máximo nível de potência, 3,0 kW. Para a realização desse procedimento, as amostras foram transformadas em pó usando almofariz e pistilo de ágata, sendo, posteriormente, separadas em volume de 10 g em porta-a mostras a fim de serem analisadas

Para identificação das fases cristalográficas, foram executados ensaios de difratometria de raios X num difratômetro de raios X modelo X'pert Pro MPD (PW 3040/60), da PANalytical, com goniômetro PW3050/60 (Theta/Theta) e tubo de raios X cerâmico de anodo de Cu ($K\alpha 1$ 1,5406 Å), modelo PW 3373/00, foco fino longo, 2200 W, 60 kV. O detector utilizado é do tipo RTMS, Pixel/1D. A aquisição de dados foi feita com o *software* X'Pert Data Collector, versão 2.1a, e o tratamento dos dados, com o *software* X'Pert HighScore, versão 3.0d, ambos da PANalytical. Ainda foram utilizadas as seguintes condições de análise: *voltage* (kV) 40; *current* (mA) 40; *scan range* ($^{\circ} 2\theta$) 5-70 (MA) e 5-50 (RJ); *step size* ($^{\circ} 2\theta$) 0,02; *scan mode continuous*; *counting time* (s) 50; *divergence slit slit fixed* 1/2 $^{\circ}$; *mask fixed* 10 mm; *anti-scatter slit name* 5,7 mm.

As características granulométricas foram identificadas pelo método espalhamento a *laser* ou granulometria a *laser* por meio de granulômetro Malvern Instruments, *mastersizer* 2000, in

MAN0384 *issue* 1.0, 2007. Essas análises foram realizadas no Laboratório de Análises Mineraias (LAMIN), instalado no Serviço Geológico do Brasil (CPRM/Manaus).

Já os ensaios de determinação da plasticidade utilizaram os limites de Atterberg, com base nas normas da ABNT, NBR 6459 (ABNT, 2016a) (Limite de Liquidez) e NBR 7180 (ABNT, 2016b) (Limite de Plasticidade). Esses ensaios foram realizados no Laboratório de Laminação do Departamento de Geociências (DEGEO), da UFAM.

Na formulação da massa cerâmica, as argilas foram homogeneizadas manualmente e umedecidas por aspersão a 8% de umidade, separadas nas devidas proporções em massa e, quando apresentavam torrões, eram peneirados em peneira tamanho 40 mesh (420 μ m) para manter a distribuição de umidade uniforme.

Em seguida, elas foram acondicionadas em sacos plásticos durante um período de 24 horas, buscando uma homogeneização de umidade e tamanho para cada amostra. As formulações foram compostas da mistura das duas argilas conforme percentuais planejados e definidos em peso por meio de uma balança analítica. Foram elaboradas cinco composições identificadas como M1, M2, M3, M4 e M5, sendo duas massas puras das argilas como referência para comparação de resultados, em que M1 = A100% e M2 = B100%. Posteriormente, foram elaboradas outras três composições nas seguintes proporções: M3 = A85% – B15%; M4 = A80% – B20%; e M5 = A75% – B25%, conforme, tabela 1.

Tabela 1 – Formulação de massa cerâmica para conformação dos corpos de prova.

Formulação de massa	% em peso de matérias-primas		Total
	Argila A	Argila B	
M1	100	0	100
M2	0	100	100
M3	85	15	100
M4	80	20	100
M5	75	25	100

Para definir umidade de prensagem, foi realizado ensaio em balança analítica para leitura do percentual de umidade da massa, que indicou a quantidade de água a ser adicionada para atingir umidade planejada de 8% para realização dos ensaios laboratoriais. Esse controle é importante na preparação de massa para prensagem.

A análise foi feita de acordo com os parâmetros estabelecidos em roteiro de norma técnica

da ABNT (NBR-15270-2) (ABNT, 2017a). Os resultados dessa análise foram obtidos pelo cálculo das Massas úmidas (M_u) e das Massas secas (M_s) por meio da equação 1. Tais resultados serviram como base de dados para avaliar a densidade de prensagem recomendando acima de 1,8%, que permite prever o comportamento das peças durante a secagem (Moreno et al., 2016).

$$U (\%) = \frac{(Mu - Ms)}{Ms} \times 100 \quad (g) \quad (1)$$

Em que: $U =$ Umidade; $Mu =$ Massa úmida; $Ms =$ Massa seca

Após a definição de umidade, foram produzidos 75 corpos de prova CP em molde de aço imprimindo pressão de 25 MPa. Na prensagem, foi utilizada uma prensa hidráulica, modelo MPH 30 da marca Marcon, com

capacidade de 30 toneladas, compatível com a pressão utilizada na empresa.

Os CP foram dimensionados e pesados para determinação da densidade verde por meio da equação 2.

$$d = \frac{m}{v} \quad (g/mm^3) \quad (2)$$

Em que: $d =$ densidade; $m =$ massa; $v =$ volume

No tratamento térmico, os CP foram secos a 110 °C para eliminação de umidade em estufa do modelo MA 033 da marca Marcon, série FOI 7170. A queima final foi em forno tipo mufla da marca Jung, modelo/série FOI 7170, com temperatura controlada por termopar digital programando três patamares com diferentes temperaturas, 700 °C, 800 °C e 900 °C, respectivamente. Foi considerada a temperatura inicial ambiente

de 30 °C. O ciclo térmico foi realizado à taxa de aquecimento de 10 °C por minuto, com tempo no patamar de queima de 1 hora e 20 minutos. Conforme a programação estabelecida, foi elaborado um gráfico com as representações das curvas de queima planejada (figura 5). A elaboração das curvas de foram planejadas com base em estudos anteriores sobre controle térmico (Gondim, 2021).

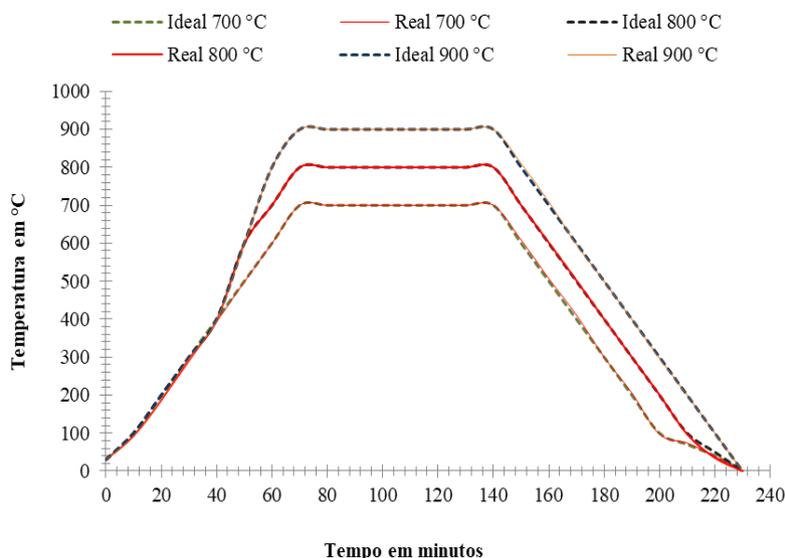


Figura 5 – Curva da queima dos corpos de prova (Fonte própria 2022).

Após a queima, os CP foram resfriados lentamente e removidos de dentro do forno para realização das análises de Retração Linear (RL), Absorção de Água (AA), Tensão de Ruptura à Flexão (TRF), Porosidade Aparente (PA).

Para determinação da RL, as dimensões dos CP foram medidas por meio de um paquímetro com o objetivo de analisar comprimento, largura e espessura e calculados por meio da equação 3.

$$RL (\%) = \frac{L0 - L1}{L0} \times 100 \quad (mm) \quad (3)$$

Onde: ($L0 =$ Comprimento verde), ($L1 =$ Comprimento após queima)

No ensaio de absorção, os CP foram colocados em um recipiente com água com volume suficiente para mantê-los submersos. O recipiente foi gradativamente aquecido até entrar em ebulição, mantendo os CP em água fervente por 2 horas. Transcorrido o tempo, os CP foram resfriados via substituição lenta da água quente por água à temperatura ambiente de acordo com NBR-15270-2 (ABNT, 2017a). Em

seguida foi realizada a pesagem dos CP, obedecendo ao tempo-limite de tolerância máxima estabelecido na norma técnica 15270-1, que é de 15 minutos (ABNT, 2017b). As medidas de massa imersa (Pi) e massa úmida (Pu) mostraram a variação de absorção de água conforme equação 4.

Já os cálculos para determinar a PA foram utilizados na fórmula presente na equação 5.

$$AA (\%) = \frac{Pu - Ps}{Ps} \times 100 (g) \quad (4)$$

Em que: Pu = massa do corpo úmido (g); e Ps = massa do corpo seco (g)

$$PA (\%) = \frac{Pu - Pi}{Pu - Pi} \times 100 (g) \quad (5)$$

Em que: Pi = massa do corpo imerso em água (g)

A tensão e a ruptura da flexão foram determinadas em um flexímetro da marca Nannetti Faenza, modelo CC 6696.20076, série 1402012. Nesse equipamento, os CP foram alinhados sobre os mancais fixados na base do equipamento, com distância entre as peças da

ordem de 20% em relação ao comprimento. Os resultados fornecidos pela leitura de rompimento foram impressos nas conversões de unidade, MPa e kgf/mm², sendo que, para esta pesquisa, foram considerados os resultados em MPa para analisar a resistência mecânica dos CP.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da composição química das argilas A e B, em forma de óxidos estão expostos na para análise na tabela 2. Vê-se que a constituição da argila A é principalmente de SiO₂, seguida de Al₂O₃ e percentuais menores para Fe₂O₃ e K₂O, enquanto a argila B tem, em

sua maioria, SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃ e K₂O. Observa-se que o percentual de óxido de silício (SiO₂) variou entre 59,25% e 70,41%, e os teores de óxidos de alumínio (Al₂O₃) estiveram entre 27,29% e 20,33%, para argilas A e B, respectivamente.

Tabela 2 – Composição química média das amostras.

Composição Química (%)	Amostras	
	Argila A	Argila B
SiO ₂	59,25	70,41
Al ₂ O ₃	27,29	20,33
Fe ₂ O ₃	3,09	4,18
TiO ₂	0,91	0,48
K ₂ O	3,15	0,62
Na ₂ O	3,29	2,02
MgO	1,60	< 0,1
CaO	0,93	1,46
P ₂ O ₅	0,49	0,20

Os níveis elevados de sílica e alumínio estão relacionados com a estrutura básica dos aluminossilicatos, no caso específico a caulinita, formados por poliedros tetraédricos (SiO₂) e octaédricos (Al₂O₃) conjuntamente.

De acordo com Azeredo (2015), a sílica é responsável por garantir boa resistência à mudança de dimensões durante a secagem e a queima de tijolos considerando a relação com índice de plasticidade das matérias – primas.

Já os teores de Fe₂O₃ variaram de 3,09% nas argilas A e 4,18% na argila B; na análise, TiO₂ mostrou 0,91 A e 0,48 B; para K₂O, teor foi de 3,15 A e 0,62 para a argila B. O teor de Fe₂O₃ e TiO₂ pode influenciar a tonalidade do produto queimado a partir de 4%, promovendo uma cor avermelhada (Correa et al., 2020). Nota-se, também, que as argilas apresentaram teores baixos de álcalis (K₂O, Na₂O, CaO e MgO). Os compostos alcalinos (K₂O, Na₂O) e alcalino

terrosos (CaO e MgO) possuem efeito fundente, o que facilita a formação de fase líquida necessária à consolidação das partículas e, consequentemente, aumenta a RL das peças no processo de queima (Racanelli et al., 2020).

A porcentagem de óxidos de sódio (Na₂O) e potássio (K₂O), que geralmente se apresentam na forma de feldspatos, é fator preponderante para o processo de fabricação da cerâmica vermelha e contribui para boa resistência mecânica (Nascimento, 2019). O percentual representado pelo pentóxido de fósforo P₂O₅ corresponde à presença de matéria orgânica que geralmente é volatilizada durante o processo de queima das peças. Nos resultados das análises de Difração de Raios X (DRX), foram mostradas as fases minerais na argila, basicamente representadas por caulinita e quartzo, com pequenas frações de outros minerais, conforme exposto na figura 6.

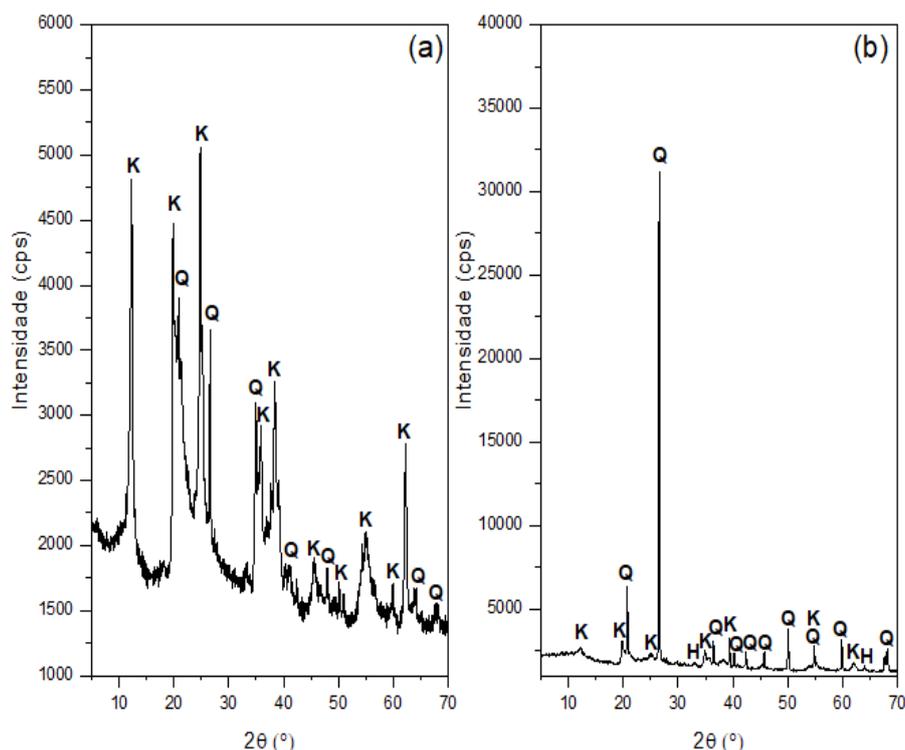


Figura 6 – Difratoograma da análise de mineralogia das argilas: (a) Argila A: Q – Quartzo (ICSD 079634) / K – Caulinita (ICSD 068697); (b) Argila B: Q – Quartzo (ICSD 089278) / K – Caulinita (ICSD 068697) / H – Hematita (ICSD 082136) (Fonte própria 2022).

No difratograma, é possível identificar que a argila A é extraída de depósitos de aluviões e contém teor elevado de caulinita $Al_2Si_2O_5(OH)_4$ e, nos picos com menor intensidade, mostra pequenas frações de quartzo (SiO_2).

Segundo Rodrigues (2012), essas características correspondem a depósitos situados ao longo da AM-070 em leito e nas margens da drenagem, incluindo as planícies de inundação e as áreas delta com material mais fino extravasado dos canais nas cheias.

Para Sabino (2016), a presença elevada de caulinita é atributo que confere a esse material boa plasticidade, tornando-o ideal para o controle de formulação quando misturado com argilas mais ricas em sílica na composição de massas ótimas para fabricação de tijolo na indústria de cerâmica vermelha. O difratograma da argila B evidencia picos com maior intensidade para o quartzo, pequenas frações de caulinita e hematita. A presença elevada de quartzo justifica a baixa plasticidade do material oriundo da alteração da Formação Alter do Chão, composto essencialmente de quartzo, feldspato e caulinita. Em seu trabalho, Crozetta et al. (2016) afirmam que o quartzo (SiO_2) é um mineral desplastificante e tem comportamento inerte durante a queima, justificando menor retração.

A hematita (Fe_2O_3) é responsável pela cor avermelhada dos produtos cerâmicos devido à

presença do óxido de ferro, possivelmente influenciado pela lateralização das rochas, processo bem comum na Bacia do Amazonas (Correa et al., 2020).

Os resultados das análises granulométricas das argilas podem ser observados na figura 7.

Verifica-se que a argila A apresenta uma constituição granulométrica caracterizada por um maior grau de desuniformidade dos tamanhos de partículas em comparação à argila B, o que pode ser quantificado pelos valores obtidos por meio da relação $D_{90}/D_{10} - 135,72$ (argila A) e $53,99$ (argila B). A maior amplitude do espectro granulométrico ocupado pelas partículas da argila A revela que essa matéria-prima deve contribuir para o processo de densificação dos produtos cerâmicos, em especial durante a etapa de conformação.

A argila A também exibe um expressivo volume de partículas abaixo de $2 \mu m$, com percentuais de volumes acumulados na ordem de $27,5\%$, enquanto que na argila B foi detectado um volume de apenas $14,1\%$ nessa faixa granulométrica. A apreciável quantidade de partículas abaixo de $2 \mu m$ na argila A é mais um indicativo da forte presença de argilominerais do grupo da caulinita. A argila B é particularmente siltosa e, portanto, possui significativo volume de partículas na faixa de $2 \mu m$ a $60 \mu m$ (aproximadamente $72,45\%$). A elevada concentração de SiO_2 e a alta intensidade

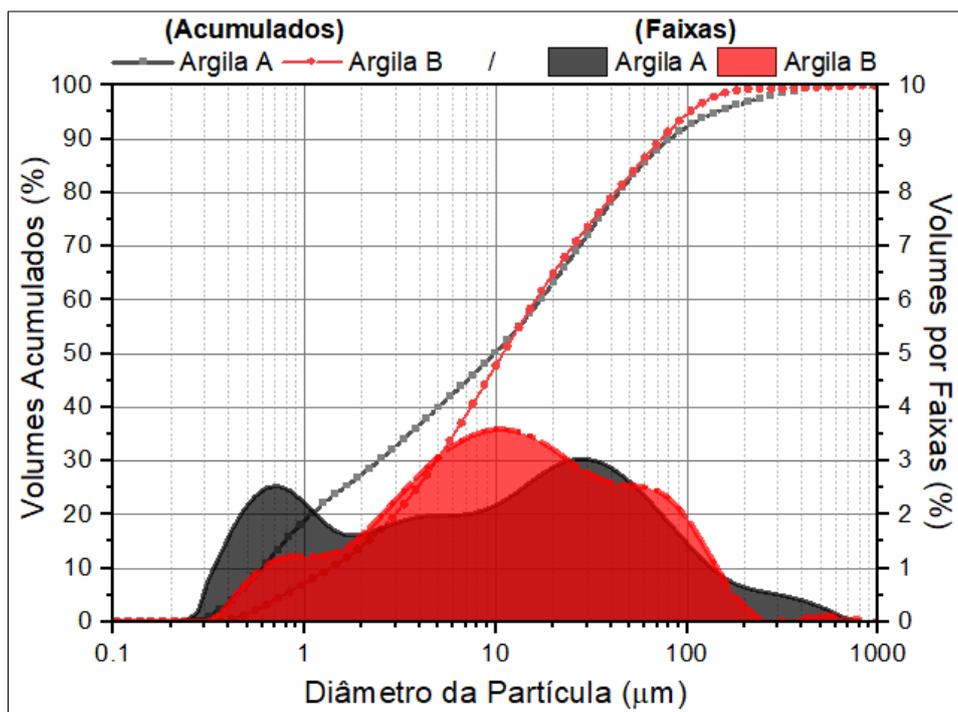


Figura 7 – Comportamento granulométrico da argila A (Fonte própria 2022).

dos picos característicos de quartzo levam à conclusão de que a partícula situada nesse intervalo granulométrico é predominantemente do supracitado mineral. Na faixa arenosa (acima de 60 µm), há frações volumétricas próximas em ambos os materiais analisados, com um percentual volumétrico discretamente menor na argila B (13,2%) em comparação à argila A (14,1%).

Moreno et al. (2016) ressaltam as principais diferenças granulométricas pelo maior conteúdo de SiO₂ em A, indicando tratar de um material menos alterado em relação à argila B, na qual as quantidades de Al₂Si₂O₅(OH)₄ devido ao intem-

perismo são mais acentuadas. Esses resultados norteiam a tomada de decisão no planejamento da formulação de massa adequada para obter melhor desempenho na qualidade do produto final (Sabino, 2016).

Os limites de Atterberg, identificados na tabela 3, revelam que o Índice de Plasticidade (IP) mais elevado na amostra A é influenciado pela granulometria mais fina com predominância de caulinita. O resultado indica que a argila A é um material altamente plástico, com (IP ≥ 15). Isso configura como indicador para a demanda de água aplicada na composição da massa a ser moldada.

Tabela 3 – Valores de Limite de Liquidez (LL), Limite de Plasticidade (LP) e Índice de Plasticidade (IP).

Argila	LL (%)	LP (%)	IP (%)
A	46,64	27,54	20,46
B	28,00	24,74	8,26

O percentual hídrico influencia o controle do tratamento térmico, estabelecendo menor ou maior tempo de secagem e queima (Gomes, 2015). Entretanto, em função da plasticidade, as argilas tendem ter maior resistência mecânica após queima devido à boa coesão entre os argilominerais (Crozzeta et al., 2016). Já os valores de IP abaixo de 15% para a argila B mostram que é um material pouco plástico relacionado à predominância de quartzo. Nesse caso, a argila B exige menor quantidade de água para a conformação. No entanto, para Dias (2016), essa argila não adquire boa resistência e, devido à interação mais lenta das partículas,

ela precisa de temperatura mais elevada para que ocorra o cozimento ou a sinterização dos minerais dominantes

Ensaios tecnológicos

Este item mostra os valores referentes aos ensaios de RL, AA, PA e TRF após queima nas temperaturas de 700 °C, 800 °C e 900 °C, considerando as médias dos resultados de cinco amostras. De posse dos dados, foram elaborados gráficos para melhor interpretação dos resultados obtidos nos ensaios após tratamento térmico.

A figura 8 mostra o gráfico das curvas de retração linear pós queima de todas as formulações nas temperaturas de 700 °C, 800 °C, e 900 °C.

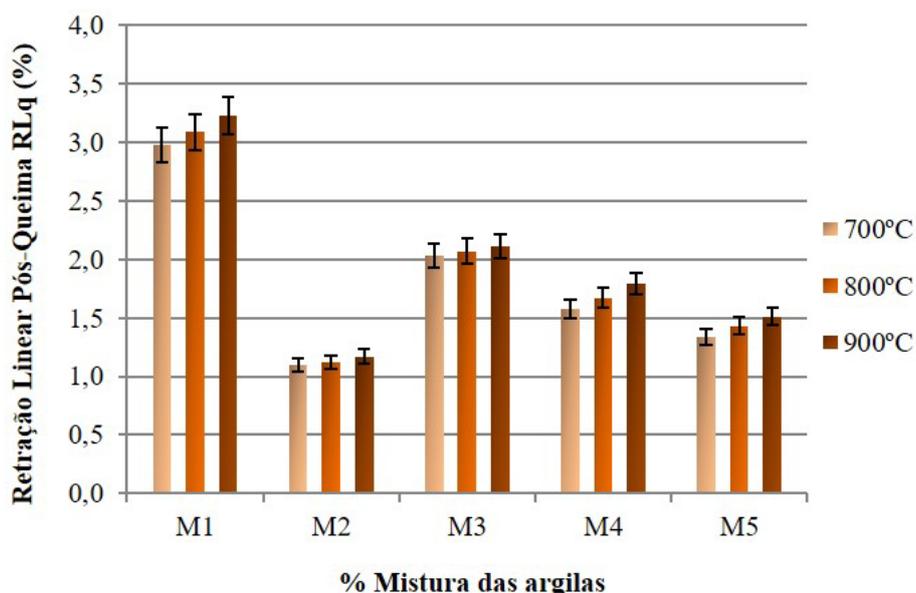


Figura 8 – Retração linear dos corpos de prova queimados (Fonte: Elaboração Própria 2022).

Os dados dispostos abaixo são as médias relativas a cinco amostras para cada formulação. Nas análises, é possível observar que, nos testes das argilas puras, a amostra M1, com maior percentual de partículas finas e maior plasticidade, teve retração acentuada quando comparada com a argila M2, que possui menor plasticidade.

Porém, quando as argilas A e B foram misturadas em proporções diferentes, ocorreu certa estabilidade nos valores de retração em relação aos percentuais de mistura da massa M3, M4 e M5. Nota-se que a formulação M5 apresentou o menor resultado de retração similar

para todas as temperaturas, provavelmente influenciado pela mistura, reduzindo a plasticidade com incremento de material menos plástico com predominância de quartzo. Quando analisadas, as misturas M3 e M4 também permaneceram dentro da faixa tolerável dos parâmetros e das normas da ABNT, que estabelece que a retração permitida seja abaixo de 2% após a queima. De acordo com Racanelli et al. (2020), também foi comprovado, em seus estudos, que, quanto mais plástico o material, maior tende a ser a retração obtida. A figura 9 salienta o comportamento da absorção de água das peças cerâmica queimadas.

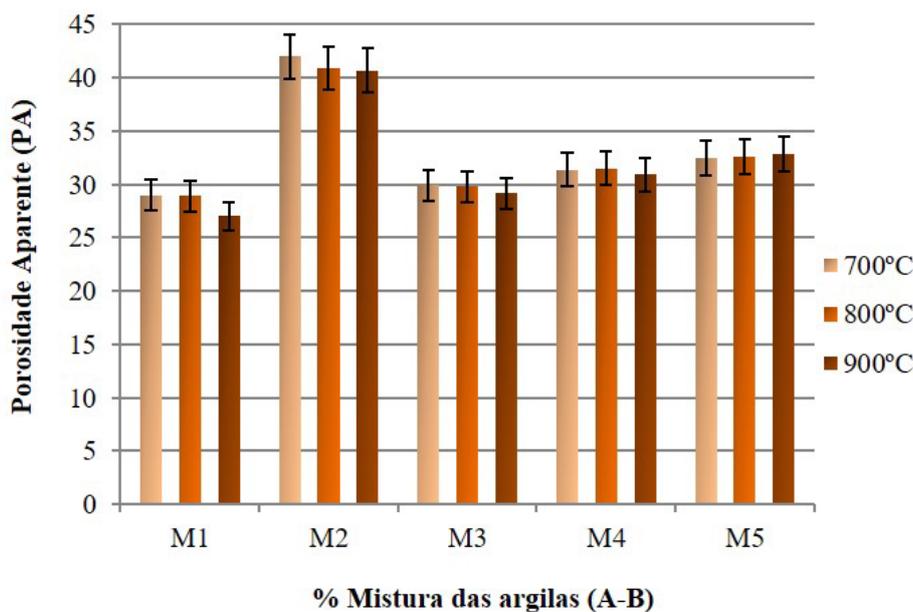


Figura 9 – Absorção de água e corpos de prova queimados (Fonte: Elaboração Própria 2022).

Em relação aos resultados de absorção de água, considerando a mistura e a temperatura usada, entende-se que não ocorreram grandes

variações mesmo com a mudança da temperatura de queima, com exceção da amostra M2, que teve o resultado influenciado provavelmente pelo teor

de areia e quartzo presente nessa amostra, dificultando o empacotamento eficiente das partículas e aumentando o percentual de poros. A diferença granulométrica entre as amostras plásticas (partículas mais finas) e as menos plásticas (partículas mais grossas) evidencia a influência que essa propriedade exerce sobre a queima das peças quando há aumento da temperatura no teste em M1 e M2.

A interação de contato intergranular com a redução do tamanho dos poros ocorre mais rápida na argila plástica, enquanto, na menos plástica, acontece de forma lenta, influenciando no índice de absorção (Lima, 2010). À medida que se misturam, as duas argilas tendem a equilibrar a variação de absorção, conferindo melhor estabilidade considerando desvio padrão.

Vale ressaltar que apenas M2 apresentou inconformidade com os parâmetros das normas NBR 15270-1 e NBR 15270-2 (ABNT, 2017b, 2017a), que estabelecem os limites permitidos de absorção entre 8% a 22%.

A PA mostrada tem relação com a capacidade dos materiais de absorver água, fato que é confirmado pela comparação entre as figuras 8 e 9, mostrando que, quanto maior a absorção, maior a porosidade.

Assim, foi analisada uma discrepância entre as amostras M1 e M2, a qual foi estabilizada após mistura planejada, o que conferiu resultados similares para M3, M4 e M5, considerando a curva no gráfico. A relação entre absorção e porosidade está associada às propriedades de granulometria e plasticidade. A porosidade, quando excessiva, é um dos fatores que prejudica o desempenho mecânico; no entanto, dentro dos parâmetros normativos, ela ajuda no processo de secagem e evita o aparecimento de defeitos por consequência dos gases produzidos na queima. No gráfico da figura 10, podemos observar o comportamento poroso dos materiais, principalmente ao traçar uma linha imaginária entre M1 e M5, analisando as barras de desvio padrão.

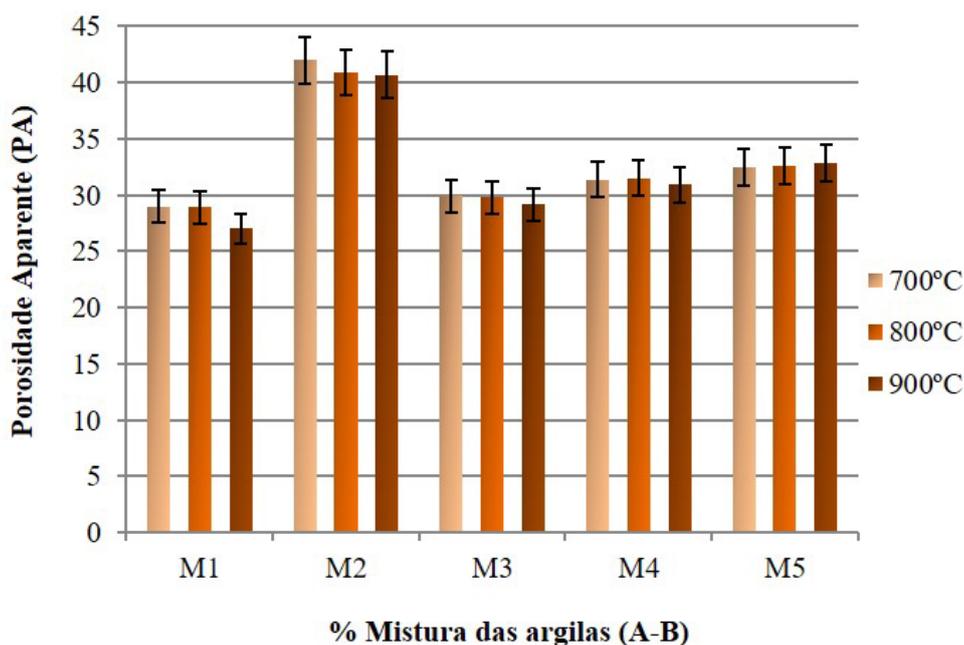


Figura 10 – Porosidade aparente dos corpos de prova queimados. (Fonte: Elaboração Própria 2022).

O resultado de resistência observa-se em relação ao de retração; à medida que a temperatura aumenta, também coincide com os resultados de menor absorção e porosidade. Na M1 (plástica), a porosidade aparente diminuiu, e os grãos se uniram por efeito de maior reatividade, adquirindo maior resistência. Esse efeito é reduzido na M2 (menos plástica). Com o incremento na formulação de mistura da massa entre M1 e M2, verifica-se que as massas M3, M4 e M5 apresentaram estabilidade entre si,

mostrando resistência após queima dentro da mesma faixa de desvio padrão e considerando a possibilidade de usar diferentes temperaturas de queima. Vale ressaltar que os resultados de resistência obtidos atendem aos parâmetros da NBR-15270-2, sendo acima de 1,5 MPa para fabricação de tijolos de vedação com furos horizontais e acima de 3 MPa para tijolos estruturais com furos verticais (ABNT, 2017a). Os dados de resistência estão representados no gráfico da figura 11.

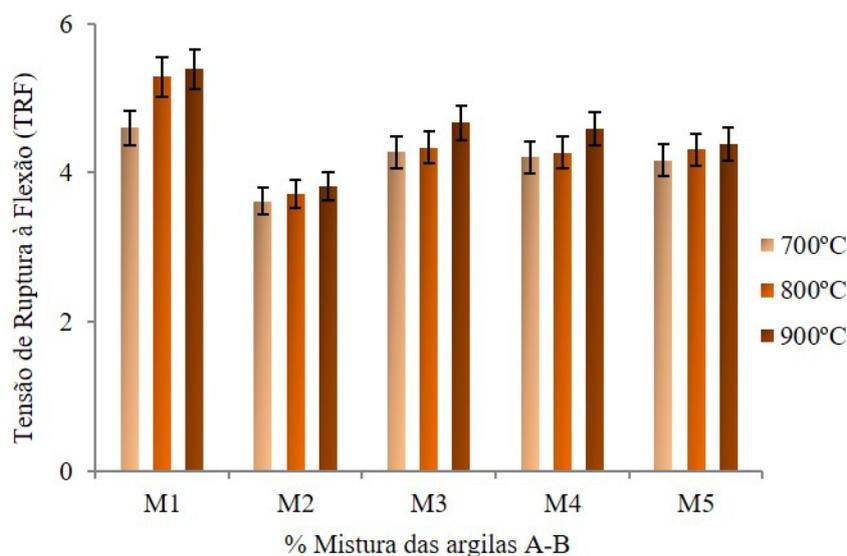


Figura 11 – Tensão de ruptura à flexão nos corpos de prova queimados (Fonte: Elaboração Própria 2022).

CONCLUSÃO

Este trabalho demonstra a importância do processo de caracterização e controle de matérias-primas na formulação de massa e na temperatura de queima para fabricação de artefatos de cerâmica vermelha testados em laboratório. Para encontrar as melhores proporções no preparo das massas cerâmicas, é necessária a realização de testes que definem, de forma adequada, a variação nas propriedades.

A compreensão elementar da argila coopera com o planejamento para o uso racional das matérias-primas em sua aplicação.

O conhecimento das características das argilas nos aspectos físico, químico e mineralógico serve como subsídio para estabelecer parâmetros de controle na preparação de massa cerâmica, o que permite compreender o comportamento das argilas durante o processo de queima das peças.

Com o estudo realizado nesta pesquisa, pode-se concluir que a caracterização química das amostras indicou teores de óxido de alumínio de (Al_2O_3) e dióxido de silício (SiO_2), bem como percentuais baixos de óxido de ferro (Fe_2O_3) e presença elevada de alumina e sílica para as argilas A e B, respectivamente.

O teor químico apresenta, em sua composição, o principal constituinte que justifica a mineralogia, com predominância de caulinita na argila A e quartzo na argila B, também com picos pequenos de hematita, responsável pela cor laranja das peças após queima.

A caulinita é o mineral responsável pelo desenvolvimento de plasticidade e tem maior retração em função de melhor arranjo das partí-

culas finas. O quartzo atua como matéria-prima não plástica e inerte durante a queima, além de contribuir com a vitrificação após queima.

Os elementos químicos e a mineralogia também colaboraram com influência direta na granulometria com predominância de argilominerais caulínicos com maior percentual de partículas finas na argila A, contribuindo com plasticidade elevada, efeito característico da caulinita. Já com os grãos mais grossos na argila B refletem em menor percentual plástico influenciado pelo quartzo.

Com base nos estudos de caracterização, foi possível avaliar o comportamento dos componentes individuais e das misturas para elaborar formulações mais adequadas no balanço de mistura do material plástico com o menos plástico, objetivando melhorar a qualidade do produto final.

Para as cinco formulações experimentadas, conclui-se que a mistura M5, após queima nas temperaturas de 700 °C, 800 °C e 900 °C, obteve melhor desempenho nos resultados de retração linear, absorção de água, porosidade e resistência à compressão.

Porém, quando analisado o desvio padrão, as formulações M3 e M4 também revelaram resultados semelhantes aos de M5, atendendo aos parâmetros estabelecidos em normas da ABNT NBR 15270 - 2.

Do ponto de vista técnico, essa similaridade nos resultados tecnológicos é importante à medida em que aumenta a capacidade de propor adaptação dos testes em laboratório para aplicação na indústria. Com os controles labora-

toriais aplicados nesta pesquisa para formulação de massa e temperatura de queima, puderam ser observadas a instabilidade e a uniformidade das peças do corpo de prova em cada caso. Os resultados obtidos nesse processo permitiram concluir que, quando queimadas nas temperaturas entre 700 C a 900°C, as misturas M3, M4 e M5 apresentam característica mais apropriada para

formulação da massa em laboratório.

Nesse sentido, a proposta desta pesquisa tem como finalidade sugerir o gerenciamento na formulação de massa e temperatura na fabricação de tijolo numa indústria de cerâmica vermelha do polo de Manacapuru. Esse controle visa melhorar continuamente os resultados positivos na fabricação de produtos uniformes e padronizados.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Deus, à Universidade Federal do Amazonas (UFAM), ao Programa de Pós-Graduação em Geociências (PPGGEO) e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas (FAPEAM) pelo apoio à pesquisa.

REFERÊNCIAS

- ABNT - NBR 15270-1: Componentes cerâmicos. **Parte 1: Blocos cerâmicos para alvenaria de vedação – Terminologia e requisitos**. Associação Brasileira de Normas Técnicas, p. 15, 2017b.
- ABNT - NBR 15270-2 Componentes cerâmicos – Blocos e tijolos para alvenaria **Parte 2: Métodos de ensaios**. Associação Brasileira de Normas Técnicas, v. 2, p. 29, 2017a.
- ABNT - NBR 6459-2016-**Solo-Determinacao-do-limite-de-liquidez**-pdf, 2016a.
- ABNT - NBR 7180 Solo – **Determinação do limite de plasticidade**. Associação Brasileira de Normas Técnicas, p. 8, 2016b.
- AMARAL, L.F. **Formulação de Massa Cerâmica Para Fabricação de Telhas**, Campos Dos Goytacazes. 2016. 92 p. Dissertação (Mestrado). Engenharia e Ciência dos Materiais. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro.
- ANICER. Associação Nacional da Indústria Cerâmica – **Relatório Anual**. <https://www.anicer.com.br>. 2021.
- AZEREDO, N.G. **Avaliação das propriedades físicas e mecânicas em blocos cerâmicos estruturais através do método de ultrassom na região de Campos dos Goytacazes, RJ**. Campos dos Goytacazes, p. 130, 2015. Tese (Doutorado), Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro
- CAMPELO, N.S. Determinação da formulação de massas argilosas para emprego em cerâmica vermelha, oriundas do polo oleiro de Iranduba. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, 54, 2010. Foz do Iguaçu. **Anais...**Foz do Iguaçu, 2010
- CORREIA, S.L. & BIANCHINI, S.S. Importância do Gerenciamento Colorimétrico na Cerâmica. **Cerâmica Industrial**, v. 25, n. 1, p. 14–33, 2020.
- CROZETTA, J.R.; NANDI, V.S.; ROSSO, F.; ZACCARON, A.; NIERO, D.F. Influência da Granulometria na Plasticidade e Retração de Secagem das argilas. **Cerâmica Industrial**, v. 21, n. 1, p. 21-29, 2016.
- DIAS, D.K.D.R. **Reutilização do Resíduo Cerâmico Oriundo do Polo Oleiro de Iranduba e Manacapuru para Emprego como Elemento Constituinte de Base e Sub-Base de Pavimento**. Manaus. p. 166, 2016. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal do Amazonas.
- GOMES, L.K.S. **Caracterização da matéria-prima utilizada na fabricação de blocos cerâmicos em Serra Talhada-PE**. Serra Talhada, 2015. 46 p. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal Ceará, 2015.
- GONÇALVES, R.S. **Teste de precisão e análise estatística em lotes de blocos cerâmicos segundo a ABNT / NBR 15270-1 DE 2017 no Município de Santa Helena de Goiás** Rio Verde, 2021. Trabalho (Conclusão de Curso), Centro de Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde, 2021.
- GONDIM, I.L.M. **Análise da eficiência do secador rápido do tipo talisca em indústrias de cerâmica vermelha: produtividade na fabricação de telhas – estudo de caso localizado na cidade de Russas-CE**. 2021. Trabalho (Conclusão de Curso), Engenharia Civil, Universidade Federal do Ceará.
- KILLER, A.R. & ROTTA, I.S. A evolução e as estratégias do setor cerâmico no contexto brasileiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, IX, Ponta Grossa, 2019. **Atas...**Ponta Grossa, 2019.
- LAURSEN, L.N.L.; SANTANA, R.R.; MENEZES. Characterization of brazilian northeastern plastic clays. **Cerâmica**, v. 65, n. 376, p. 578–584, 2019.
- LIMA, R.H.C. **Preparação e controle de massa para o APL de cerâmica vermelha de Russas - Ceará**. Fortaleza, Banco do Nordeste do Brasil, 2010.
- MORENO, M. M. T., ROVERI, C. D., GODOY, L. H., & ZANARDO, A. Caracterização de argilas e composição de massas cerâmicas preparadas com base na análise de curvas de consistência de misturas argila-água. **Cerâmica**, v. 62, n. 361, p. 21–31, 2016.
- NASCIMENTO, L.C. **Otimização de massa cerâmica de caulim com a incorporação de resíduos de vidro e rocha para a produção de materiais cerâmicos**. Manaus. 2019. Dissertação (Mestrado), Instituto de Ciências Exatas Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Amazonas.
- QUEIROZ, A. Caracterização mineralógica e física de argila do amazonas para a indústria cerâmica. **Equação 1**, p. 1–6, 2021.
- RACANELLI, L. D. A., CÂNDIDO, V. S., SOUZA, J. A. D. S., & CARDOSO, D. N. Caracterização e Estudo das Propriedades Físicas, Químicas e Mecânicas das Argilas Caulínicas da Região Nordeste do Estado do Pará. **Matéria** (Rio de Janeiro), v. 25, n. 1, 2020.
- REIS, A.S.D.; JUNCA, E.; GRILLO, F.F.; DELLA-SAGRILLO, V.P.; VALENZUELA DÍAZ, F.R. Caracterização de Argila para Utilização em Cerâmica Vermelha Estrutural. (2014). Caracterização de argila para utilização em cerâmica vermelha estrutural. In: CONGRESSO ANUAL DA ABM, 2014. **Anais...**São Paulo: ABM, 2014, p. 8301–8309.
- RODRIGUES, V.O. **Caracterização das Matérias-primas empregadas na Fabricação de Produtos do Polo Cerâmico de Iranduba-Am**. Relatório PIBIC, 2012.
- SABINO, A.R. Características Físico-químicas das Argilas Utilizadas na Indústria de Cerâmica Vermelha no Município de Tabatinga-AM: Um estudo de caso em indústrias do município/Artemizia Rodrigues Sabino. 2016. **Euphytica**, v. 18, n. 2, p. 22280, 2016.
- SAVAZZINI-REIS, A.; DELLA-SAGRILLO, V.P.; VALENZUELA-DIAZ, F.R. Caracterização e propriedades cerâmicas de argilas usadas em cerâmica vermelha no estado do Espírito Santo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA E CIÊNCIA DOS MATERIAIS, 22. Natal, 2016. **Anais...**Natal: CEbcimat, v. 3, n. 3, p. 822–832, 2016.
- SCHACKOW, A.; CORREIA, S.L.; EFFTING, C. Influence of

- microstructural and morphological properties of raw natural clays on the reactivity of clay brick wastes in a cementitious blend matrix. **Cerâmica**, v. 66, n. 378, p. 154-163, 2020.
- SENA, N.O. Investigation of the mechanical properties of magnesium metal matrix composites with a fine dispersion of CeO₂ particles. In:– CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA E CIÊNCIA DOS MATERIAIS, 21, 2014, Cuiabá. **Anais...**Cuiabá, 2014, v. 5738, n. 1, p. 2665–2672.
- SOARES, E.A.A. **Depósitos pleistocenos da região de confluência dos rios, Negro e Solimões, porção oeste da Bacia do Amazonas**. São Paulo, 205 p., 2007. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- SOARES, E.A.A.; SILVA, C.L.; NOGUEIRA, A.C.R.; SUGUIO, K.; BARROS, D.S.; SANTOS, W.H.D. (2001), Os depósitos quaternários na confluência dos rios Negro e Solimões, municípios de Iranduba e Manacapuru, Amazonas. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 7, Belém, 2001. **Anais...**Belém: Sociedade Brasileira de Geologia, 2001.

Submetido em 20 de março de 2023
Aceito para publicação em 6 de julho de 2023