



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS PROGRAMA DE
PÓS-GRADUAÇÃO EM BIODIVERSIDADE E
BIOTECNOLOGIA - REDE BIONORTE**



**O EFEITO DA ADIÇÃO DO RESÍDUO DE MADEIRAS PROCESSADAS
NO DESENVOLVIMENTO DE PLACAS DE
REVESTIMENTO CERÂMICO**

GERMANA DE VASCONCELOS DUARTE COSTA

Manaus – AM

2022

GERMANA DE VASCONCELOS DUARTE COSTA

**O EFEITO DA ADIÇÃO DO RESÍDUO DE MADEIRAS PROCESSADAS
NO DESENVOLVIMENTO DE PLACAS DE
REVESTIMENTO CERÂMICO**

Tese de doutorado apresentada ao Curso de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Biotecnologia – Rede BIONORTE, na Universidade Federal do Amazonas, como requisito parcial para obtenção do título de doutora em Biodiversidade e Conservação.

Orientador: Prof. Dr. Paulo de Tarso Sampaio

Coorientador: Prof. Dr. Ruy Sá Ribeiro

Manaus – AM

2022

Ficha Catalográfica

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

costa, germana
C837e O efeito da adição do resíduo de madeiras processadas no desenvolvimento de placas de revestimento cerâmico / germana costa, germana costa. 2022
144 f.: il. color; 31 cm.

Orientador: Paulo de Tarso Barbosa Sampaio
Coorientador: Ruy Alexandre de Sá Ribeiro
Tese (Doutorado em Biodiversidade e Biotecnologia da Rede Bionorte) - Universidade Federal do Amazonas.

1. Madeiras tropicais. 2. Pó de serragem. 3. Massas cerâmica. 4. Revestimento poroso. I. costa, germana. II. Universidade Federal do Amazonas III. Título

GERMANA DE VASCONCELOS DUARTE COSTA

**O EFEITO DA ADIÇÃO DO RESÍDUO DE MADEIRAS FOLHOSAS
PROCESSADAS NO DESENVOLVIMENTO DE PLACAS DE
REVESTIMENTO CERÂMICO**

Tese de doutorado apresentada ao Curso de
Doutorado do Programa de Pós-Graduação em
Biodiversidade e Biotecnologia – Rede
BIONORTE, na Universidade Federal do
Amazonas, como requisito parcial para
obtenção do título de doutora em
Biodiversidade e Conservação.

Aprovada em: __30__/_08__/_2022__.

Banca Examinadora

Documento assinado digitalmente
 PAULO DE TARSO BARBOSA SAMPAIO
Data: 14/02/2023 22:14:19-0300
Verifique em <https://verificador.itl.br>

Prof. Dr. Paulo de Tarso Sampaio (Orientador)
Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia- INPA/AM

Documento assinado digitalmente
 CLAUDETE CATANHEDE DO NASCIMENTO
Data: 10/02/2023 10:46:39-0300
Verifique em <https://verificador.itl.br>

Profa Dra Claudete Catanhede do Nascimento (Examinador Externo)
Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia – INPA/AM

Documento assinado digitalmente
 JAIR MAX FURTUNATO MAIA
Data: 27/01/2023 21:01:06-0300
Verifique em <https://verificador.itl.br>

Prof. Dr. Jair Max Furtunato Maia (Examinador Interno)
Universidade do Estado do Amazonas – UEA

Documento assinado digitalmente
 LUIZ ANTONIO DE OLIVEIRA
Data: 07/02/2023 23:49:56-0300
Verifique em <https://verificador.itl.br>

Prof. Dr. Luis Antonio de Oliveira (Examinador Interno)
Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia – INPA/AM



Profa. Dra. Maria da Gloria Goncalves de Melo (Examinador Interno)
Universidade do Estado do Amazonas - UEA

Antes de tudo, dedico este trabalho a DEUS,
presença constante em minha vida, a quem
busquei nos momentos difíceis e a quem
confiei, com a certeza de que chegaria até
aqui. Sem essa fé, nada eu poderia ter feito.

Dedico também aos meus três filhos, Mateus,
João Victor e Maria Eduarda, pois toda a
minha motivação e força de vontade é por
você e para você.

E aos meus Pais, pelo dom da vida e incentivo
diário. À minha mãe, por ser meu exemplo de
força e resiliência e, em especial, à memória
do meu pai, que partiu em meio a esse
processo e que, de onde estiver, tem cuidado
de mim – “Consegui, pai!”.

AGRADECIMENTOS

Tentarei ser breve, mas é chegada a hora de agradecer a todos que contribuíram de alguma forma para eu chegar até aqui.

Início meus agradecimentos ao meu amigo e Prof. Dr. Helder A. Amorim Pereira – responsável por me apresentar o Prof. Dr. Paulo de Tarso Sampaio, que prontamente aceitou o desafio de me orientar nesta missão – e à Prof.^a Dr.^a Claudete Barbosa – eles dois juntos foram os meus maiores incentivadores para fazer esse Dotourado.

Agradeço ao meu orientador, Prof. Dr. Paulo de Tarso Sampaio, pela sua disponibilidade, atenção e contribuições, e por não ter deixado de acreditar um só minuto no meu trabalho, quando muitas vezes nem eu acreditava.

Agradeço ao meu coorientador, Prof. Dr. Ruy A. de Sá Ribeiro, que, além de compartilhar as suas experiências e conhecimento sobre o assunto abordado, sempre me orientou na busca pelo meu melhor, ajudando-me durante todo esse processo, sempre com incentivo, paciência e carinho. Obrigada, por não ter soltado a minha mão. Serei eternamente grata.

Agradeço a toda equipe do LABPAV/FT/UFAM, (Professores, Técnicos e alunos de mestrado), na pessoa do Prof. Dr. Nilton S. Campelo, que disponibilizou o Laboratório e me deu as orientações iniciais de como eu deveria proceder, além de ter-me disponibilizado os seus técnicos, Reinaldo e Zeca (vocês foram fundamentais). Quero também agradecer aos colegas engenheiros (mestrandos na época), Marcus Baia, Eduarda Pimentel, Antônio Nina, Sebastião e, em especial, Jociely pela paciência e disponibilidade de sempre.

Aos Professores Dr. Humberto Lima (DeGeo/UFAM), Dr. Ranier Marques, (Laboratório de Materiais FT/UFAM), Dr. Lizandro Manzato (IFAM/AM), Dr.^a Claudia Cândida (UEA), Dr.^a Claudete Catanhede (INPA), obrigada por exercerem com amor e compromisso a função de ensinar e orientar, vocês foram essenciais. O meu muito obrigada.

Ao meu companheiro, meu amor, meu parceiro e amigo, José Josimar Soares (meu JOTA), pela paciência, pelo cuidado, pelo carinho e pela compreensão quanto à minha eventual ausência. Você foi incansável nesta etapa final, desdobrando-se acima do seu impossível para me ajudar no que podia na realização deste sonho. Sempre lhe falei que acredito em propósitos, e você com certeza chegou para me provar isso.

Muito obrigada.

COSTA, Germana de Vasconcelos Duarte. **O efeito da adição do resíduo de madeiras folhosas processadas no desenvolvimento de placas de revestimento cerâmico**. 2022. 144 f. Tese (Doutorado em Biotecnologia e Conservação) – Universidade Federal do Amazonas, Manaus, AM-Brazil, 2022.

RESUMO

A Floresta Amazônica é uma região de grande biodiversidade e que necessita de um manejo sustentável de forma a permitir a conservação de seu bioma. É preciso utilizar seus recursos de forma racional e estimular atividades de sustentabilidade para criação de produtos inovadores, a exemplo dos de pó de serragem de madeiras tropicais, a fim de diminuir a incidência de descartes de resíduos sólidos na natureza de forma inadequada e desordenada, os quais geralmente causam danos, até mesmo irreversíveis, ao meio ambiente. Contudo, constata-se que não existem trabalhos sobre a incorporação do uso do pó de serragem de madeira tropical (*in natura*) em massas cerâmicas como substituto parcial da argila, para fabricação de placas de revestimentos de paredes para uso interno, foco neste trabalho. Diante de tais argumentações, levanta-se a seguinte questão de pesquisa: Qual o impacto do uso do pó de serragem de madeiras tropicais, gerado no processo produtivo de uma indústria madeireira, quando misturado à argila, na produção de novos produtos cerâmicos de revestimento de parede, levando-se em consideração os valores sociais, ambientais e econômicos? Neste trabalho, portanto, tem-se como objetivo verificar a viabilidade de incorporar o pó de serragem das madeiras *Pithecellobium racemosum* Ducke (Angelim rajado) e *Andira parviflora* Ducke (Sucupira vermelha) em uma massa cerâmica composta como agentes porogênicos para fabricação de revestimentos cerâmicos, além de buscar minimizar os impactos destes no meio ambiente quando descartados. Os resíduos foram coletados na Indústria Mil Madeireira Preciosa Ltda, e a argila foi coletada no pátio da Cerâmica Montemar Indústria e Serviço de Coleta de Resíduos Ltda, localizadas, respectivamente, nos municípios de Itacoatiara e Iranduba no estado do Amazonas, Brasil. Para caracterização, foram desenvolvidas análises químicas, físicas e mineralógicas para avaliar o comportamento das matérias-primas e das formulações de massa entre a argila e a serragem, e as seguintes propriedades tecnológicas após a queima foram avaliadas: Retração Linear (RL), Resistência à Flexão (RF) de três pontos, Absorção de Água (AA), Porosidade (P) e Densidade Aparente (DA), Difractometria de Raio-X e Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) de acordo com as normas ABNT NBR 13818/1997 e ABNT NBR ISO 10545/2017. Em seguida, foram confeccionados 120 corpos de prova nas dimensões de 60x20x5 mm, sendo seis (6) amostras para cada grupo e com porcentagem específica. Após secagem, esses corpos de prova foram submetidos à sinterização, nas temperaturas de 750 °C e 850 °C, com taxa de aquecimento de 7 °C/min e tempo de queima de 180 min. A estimativa do RL, RF e AA foi obtida por meio de um modelo linear generalizado, de modo que os resultados foram validados por meio da Análise Estatística, utilizando métodos de análise descritiva, com cálculo das frequências e medidas de posição (médias e desvio padrão). Os resultados mostraram que a adição dos de pó de serragem, na argila, aumentou a densidade do solo seco, indicando um maior empacotamento. A retração linear de queima aumentou, com a inserção gradativa do teor de resíduo em todas as

formulações em comparação com a argila pura, mas os resultados se mantiveram dentro dos parâmetros exigidos pela norma ABNT NBR 13818/1997 nas composições AR 2,5%, SV 2,5%, SV 5% e ARSV 10%, configurando um resultado satisfatório, pela importância do controle dimensional do produto. Embora tenha ocorrido diminuição da resistência mecânica nos corpos de prova, causada pelo tamanho da granulometria das partículas do pó de serragem, que foram superiores a 2 μ m, os resultados da absorção de água foram considerados significativos, após a inclusão do pó de serra de *Andira parviflora* Ducke (Sucupira vermelha), nas formulações SV 5% e SV 10%, quando sinterizadas na temperatura de 850 °C. Conclui-se, com esses resultados, que o pó de serragem da Sucupira vermelha obteve melhor desempenho como agente porogênico em relação ao Angelim rajado, permitindo melhorias na argila vermelha de Iranduba/AM, deste modo, possui potencial para fabricação de produtos cerâmicos de base vermelha, tais como revestimentos porosos de classificação BIII.

Palavras-chave: madeiras tropicais, pó de serragem, massas cerâmicas, revestimento poroso.

COSTA, Germana de Vasconcelos Duarte. **The effect of the addition of processed hardwood residue on the development of ceramic tiles.** 2022. 144 f. Thesis (PhD in Biotechnology and Conservation) – Federal University of Amazonas, Manaus, AM-Brazil, 2022.

ABSTRACT

The Amazon Forest is a region of great biodiversity that needs sustainable management in order to allow the conservation of its biome. It is necessary to use its resources in a rational way and stimulate sustainability activities to create innovative products, such as the sawdust powders from tropical wood, in order to reduce the incidence of inadequate and disorderly disposal of solid residues in nature, which usually cause damage, even irreversible, to the environment. However, there are no studies on the incorporation of the use of sawdust powder from tropical wood (*in natura*) in ceramic masses as a partial substitute for clay, for the manufacture of wall coverings for internal use, the focus of this work. Faced with such arguments, the following research question arises: What is the impact of the use of the sawdust powders from tropical woods, generated in the production process of a wood industry, when mixed with clay, in the production of new ceramic products of wall covering, taking into account social, environmental and economic values? In this work, therefore, the objective is to verify the feasibility of incorporating sawdust powders from the wood *Pithecelobium racemosum* Ducke (Angelim rajado) and *Andira parviflora* Ducke (Sucupira vermelha) in a ceramic mass composed as porogenic agents for the manufacture of ceramic coatings, in addition to seeking to minimize their impacts on the environment when discarded. The residues were collected in Indústria Mil Madeireira Preciosa Ltda and the clay was collected in the yard of Cerâmica Montemar Indústria e Serviços de Coleta de Resíduos Ltda, located, respectively, in the municipalities of Itacoatiara and Iranduba in the state of Amazonas, Brazil. For characterization, chemical, physical and mineralogical analyzes were carried out to evaluate the behavior of raw materials and mass formulations between clay and sawdust, and the following technological properties after firing were evaluated: Linear Shrinkage (LS), Fracture Resistance (FR) of three-point, Water Absorption (WA), Porosity (P) and Apparent Density (AD), X-Ray Diffractometry and Scanning Electron Microscopy (SEM) according to ABNT NBR 13818/1997 and ABNT NBR ISO 10545/2017. Then, 120 specimens were made in the dimensions of 60x20x5 mm, with 6 samples for each group and with a specific percentage. After drying, these specimens were sintered at temperatures of 750 °C and 850 °C, with a heating rate of 7 °C/min and a burning time of 180 min. The estimation of LS, RF and WA was obtained through a generalized linear model, so that the results were validated through Statistical Analysis, using methods of descriptive analysis, with calculation of frequencies and position measurements (averages and

standard deviation). The results showed that the addition of sawdust powders, in the clay, increased the density of the dry soil, indicating a greater packing. Linear firing shrinkage increased with the gradual insertion of residue content in all formulations compared to pure clay, but the results remained within the parameters required by ABNT NBR 13818/1997 in the compositions of AR 2.5%, SV 2.5%, SV 5% and ARSV 10%, configuring a satisfactory result, due to the importance of dimensional control of the product. Although there was a decrease in the mechanical strength of the specimens, caused by the size of the granulometry of the residues, which were greater than 2 μm , the water absorption obtained a significant result after the insertion of sawdust powders from *Andira parviflora* Ducke (Sucupira vermelha), in the formulations of MC5 (SV 2.5%) and MC6 (SV 5%), when sintered at a temperature of 850 °C. It is concluded, with these results, that sawdust powders from Sucupira vermelha had better performance as a porogenic agent in relation to Angelim rajado, allowing improvements in the red clay from Iranduba/AM, in this way, it has potential for manufacturing red-based ceramic products, such as BIII-rated porous coatings.

Keywords: tropical wood, sawdust powders, ceramic masses, porous coating.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Estrutura cristalina da caulinita.....	33
Figura 2 – Área da coleta das amostras das argilas	35
Figura 3 – a) Fluxograma do processo de fabricação de revestimento cerâmico por via úmida; b) Fluxograma do processo de fabricação de revestimento cerâmico por via seca.....	39
Figura 4 – Esquema de preparação de massa cerâmica por via seca	41
Figura 5 – Curva típica de monoqueima para revestimento poroso	44
Figura 6 – Diagrama triaxial para as formulações	47
Figura 7 – Diagrama triaxial das matérias-primas.....	48
Figura 8 – Resíduos descartados encontrados na Mil Madeiras Preciosas Ltda, Itacoatiara/AM.....	53
Figura 9 – Classificação dos resíduos de madeira	54
Figura 10 – Pátio de preparação das toras a serem enviadas para o processamento mecânico	58
Figura 11 – Produtos desenvolvidos pela Mil Madeiras Preciosas Ltda para comercialização	59
Figura 12 – <i>Pithecellobium racemosum</i> Ducke (Angelim rajado)	61
Figura 13 – <i>Andira parviflora</i> Ducke (Sucupira Vermelha)	62
Figura 14 – Composição química da madeira	65
Figura 15 – Fluxograma da metodologia utilizada	69
Figura 16 – Argila a (maior teor de plasticidade) e argila b (maior teor de areia).....	70
Figura 17 – Argila armazenada no pátio da empresa.....	71
Figura 18 – Resíduo sólido em forma de serragem (1) e resíduo após o processo de moagem e peneiramento (Pó) (2).....	71
Figura 19 – Argilas coletadas em torrões secando ao ar	72
Figura 20 – Massas cerâmicas formuladas com as adições dos resíduos nas proporções de 2,5%, 5% e 10% e argila pura (ARG-A).....	76
Figura 21 – Matriz de aço para moldagem e prensa hidráulica para fabricação dos corpos de prova.....	79
Figura 22 – Corpos de prova prensados (barrinhas), estado “verde” e massa preparada para prensagem.....	80
Figura 23 – Difratoograma de argila a.....	88
Figura 24 – Difratoograma de massas formulado para revestimento poroso com argila e resíduo	89

Figura 25 – Diagrama triaxial para as formulações RO + R ₂ O + Fe ₂ O ₃	92
Figura 26 – Distribuição dos tamanhos de partículas da argila a	93
Figura 27 – Distribuição dos tamanhos de partículas da argila b	94
Figura 28 – Análise térmica (TG) e calorimetria diferencial de varredura (DSC).....	96
Figura 29 – Análise térmica (TG) e calorimetria diferencial de varredura (DSC) dos resíduos do Angelin rajado (AR) e da Sucupira vermelha (SV)	97
Figura 30 – Micrografia da argila a: (a) ≈ 5 Kx; (b) ≈ 833 x; (c) ≈ 160 x.....	98
Figura 31 – EDS da matéria-prima argila (ARG-A).....	98
Figura 32 – Micrografia do resíduo de AR: (a) ≈ 5 Kx; (b) ≈ 833 x; (c) ≈ 160 x.....	98
Figura 33 – Micrografia do resíduo de SV: (a) ≈ 1,67 Kx; (b) ≈ 584 x; (c) ≈ 128 x	99
Figura 34 – Retração linear (RLs) de secagem da argila (ARG-A) e as formulações de massa com resíduos de AR e SV, secas a 110 °C	100
Figura 35 – Massa específica aparente (MEA) seca a 110 °C, da argila (ARG-A) e as formulações de massa com resíduos de AR e SV	101
Figura 36 – Difratoograma da argila (ARG-A) sinterizada nas temperaturas de 750 °C e 850 °C.....	102
Figura 37 – Difratoograma de raios-X da amostra AR + SOLO em proporções de resíduo de 2,5%, 5% e 10% sinterizado nas temperaturas de 750 °C e 850 °C.....	102
Figura 38 – Difração de raios-X a da amostra SV + SOLO nas proporções de 2,5%, 5% e 10% sinterizada nas temperaturas de 750 °C e 850 °C.....	103
Figura 39 – Difratoograma de raios-X da amostra ARSV + SOLO nas proporções de 2,5%, 5% e 10% sinterizada nas temperaturas de 750 °C e 850 °C.....	103
Figura 40 – Morfologia de superfície de fratura da Argila A pura sinterizada à 750 °C: (a) ≈ 8 Kx; (b) ≈ 833 x; (c) ≈ 160 x.....	106
Figura 41 – Morfologia de superfície de fratura da Argila A pura sinterizada à 850 °C: (a) ≈ 8 Kx; (b) ≈ 833 x; (c) ≈ 160 x.....	106
Figura 42 – EDS da Argila A pura sinterizada à 850 °C.....	107
Figura 43 – Morfologia de superfície de fratura da formulação (AR2,5) sinterizada à 750 °C: (a) ≈ 8 Kx; (b) ≈ 833 x; (c) ≈ 160 x	108
Figura 44 – Morfologia de superfície de fratura da formulação (AR2,5) sinterizada à 850 °C: (a) ≈ 8 Kx; (b) ≈ 833 x; (c) ≈ 160 x	108
Figura 45 – Morfologia de superfície de fratura da formulação (SV2,5) sinterizada à 750 °C: (a) ≈ 8 Kx; (b) ≈ 833 x; (c) ≈ 160 x	108
Figura 46 – Morfologia de superfície de fratura da formulação (SV2,5) sinterizada à 850 °C: (a) ≈ 8 Kx; (b) ≈ 833 x; (c) ≈ 160 x	109

Figura 47 – Morfologia de superfície de fratura da formulação (ARSV2,5) sinterizada à 750 °C (a) $\approx$ 8 Kx; (b) $\approx$ 833 x; (c) $\approx$ 160 x	109
Figura 48 – Morfologia de superfície de fratura da formulação (ARSV2,5) sinterizada à 850 °C: (a) $\approx$ 8 Kx; (b) $\approx$ 833 x; (c) $\approx$ 160 x	110
Figura 49 – Morfologia de superfície de fratura da formulação (AR5) sinterizada à 750 °C: (a) $\approx$ 8 Kx; (b) $\approx$ 833 x; (c) $\approx$ 160 x	110
Figura 50 – Morfologia de superfície de fratura da formulação (AR5) sinterizada à 850 °C: (a) $\approx$ 8 Kx; (b) $\approx$ 833 x; (c) $\approx$ 160 x	110
Figura 51 – Morfologia de superfície de fratura da formulação (SV5) sinterizada à 750 °C: (a) $\approx$ 8 Kx; (b) $\approx$ 833 x; (c) $\approx$ 160 x	111
Figura 52 – Morfologia de superfície de fratura da formulação (SV5) sinterizada à 850 °C: (a) $\approx$ 8 Kx; (b) $\approx$ 833 x; (c) $\approx$ 160 x	111
Figura 53 – Morfologia de superfície de fratura da formulação (ARSV5) sinterizada à 750 °C: (a) $\approx$ 8 Kx; (b) $\approx$ 833 x; (c) $\approx$ 160 x	111
Figura 54 – Morfologia de superfície de fratura da formulação (ARSV5) sinterizada à 850 °C: (a) $\approx$ 8 Kx; (b) $\approx$ 833 x; (c) $\approx$ 160 x	112
Figura 55 – Morfologia de superfície de fratura da formulação (AR10) sinterizada à 750 °C: (a) $\approx$ 8 Kx; (b) $\approx$ 833 x; (c) $\approx$ 160 x	112
Figura 56 – Morfologia de superfície de fratura da formulação (AR10) sinterizada à 850 °C: (a) $\approx$ 8 Kx; (b) $\approx$ 833 x; (c) $\approx$ 160 x	113
Figura 57 – Morfologia de superfície de fratura da formulação (SV10) sinterizada à 750 °C: (a) $\approx$ 8 Kx; (b) $\approx$ 833 x; (c) $\approx$ 160 x	113
Figura 58 – Morfologia de superfície de fratura da formulação (SV10) sinterizada à 850 °C: (a) $\approx$ 8 Kx; (b) $\approx$ 833 x; (c) $\approx$ 160 x	113
Figura 59 – Morfologia de superfície de fratura da formulação (ARSV10) sinterizada à 750 °C: (a) $\approx$ 8 Kx; (b) $\approx$ 833 x; (c) $\approx$ 160 x	113
Figura 60 – Morfologia de superfície de fratura da formulação (ARSV10) sinterizada à 850 °C: (a) $\approx$ 8 Kx; (b) $\approx$ 833 x; (c) $\approx$ 160 x	114
Figura 61 – Média dos valores de RL por Temperatura, Resíduo e Madeira.....	117
Figura 62 – Média dos valores de AA por Temperatura, Resíduo e Madeira.....	118
Figura 63 – Média dos valores de RF por Temperatura, Resíduo e Madeira.....	119

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classificação dos revestimentos cerâmicos de acordo com a absorção de água, segundo a ABNT NBR 13818/1997	28
Tabela 2 – Classificação dos revestimentos cerâmicos de acordo a resistência à flexão, segundo a ABNT NBR 13818/1997	29
Tabela 3 – Massas cerâmicas formuladas.....	46
Tabela 4 – Óxidos para o diagrama triaxial (SiO_2 - Al_2O_3 – $\text{RO} + \text{R}_2\text{O} + \text{Fe}_2\text{O}_3$).....	47
Tabela 5 – Principais óxidos para o diagrama triaxial	48
Tabela 6 – Massas cerâmicas formuladas.....	49
Tabela 7 – Valores médios para as propriedades tecnológicas das espécies estudadas	64
Tabela 8 – Percentual químico de madeiras coníferas e folhosas	66
Tabela 9 – Composição Média de Madeiras de Coníferas e Folhosas.....	66
Tabela 10 – Formulação de Massas Cerâmicas	75
Tabela 11 – Composição química das matérias-primas (em óxidos %)......	91
Tabela 12 – Composição Química das formulações de massa cerâmicas (estado verde), ...	91
Tabela 13 – Distribuição de tamanho de partículas e limites de Atterberg (LL e PL) e índice de plasticidade PI das matérias-primas cerâmica conforme ABNT NBR 7181/1984).....	95
Tabela 14 – Propriedades físicas de Retração linear e Massa específica aparente da argila (ARG-A) e das formulações de massa dos corpos de prova secos na temperatura de 110 °C.....	100
Tabela 15 – Composição química das formulações de massa cerâmica e argila (ARG-A) sinterizada a 750 °C (em % em peso de óxidos).....	105
Tabela 16 – Composição química das formulações de massa cerâmica e argila (ARG-A) sinterizada a 850 °C (em % em peso de óxidos).....	105
Tabela 17 – Propriedades físicas e mecânicas de corpos de prova sinterizados nas temperaturas de 750 °C e 850 °C	115
Tabela 18 – Resultados do modelo linear generalizado utilizado para estimar a RF.....	119
Tabela 19 – Resultados do modelo linear generalizado utilizado para estimar a RL.....	120

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	17
1.1 ASPECTOS GERAIS	17
1.2 OBJETIVOS	20
1.2.1 OBJETIVO GERAL	20
1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	20
1.3 JUSTIFICATIVA.....	20
1.4 INEDITISMO	23
1.5 DESCRIÇÃO DOS CAPÍTULOS DA TESE.....	23
 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	25
2.1 REVESTIMENTOS CERÂMICOS	25
2.2 CLASSIFICAÇÃO DOS REVESTIMENTOS CERÂMICOS	27
2.3 PROPRIEDADES E CARACTERÍSTICAS DOS REVESTIMENTOS CERÂMICOS....	27
2.4 REVESTIMENTO POROSO.....	29
2.4.1 MATÉRIAS-PRIMAS UTILIZADAS NA FABRICAÇÃO DO REVESTIMENTO POROSO.....	31
2.5 MATÉRIAS-PRIMAS PLÁSTICAS.....	31
2.5.1 ARGILAS	32
2.5.2 CAULIM.....	35
2.6 MATÉRIAS-PRIMAS NÃO PLÁSTICAS.....	36
2.6.1 QUARTZO	36
2.6.2 CARBONATOS	37
2.7 PROCESSOS DE FABRICAÇÃO DOS REVESTIMENTOS CERÂMICOS	38
2.8 PROCESSO DE MOAGEM	39
2.9 PRENSAGEM	41
2.10 PROCESSO DE SECAGEM.....	43
2.11 SINTERIZAÇÃO.....	43
2.12 FORMULAÇÃO DE MASSAS PARA REVESTIMENTOS POROSOS.....	45
2.12.1 CARACTERIZAÇÃO DE MASSA PARA REVESTIMENTO POROSO	49
2.13 ATIVIDADE MADEIREIRA NA AMAZÔNIA	49
2.14 ESPÉCIES TROPICAIS DE INTERESSE COMERCIAL	50
2.15 RESÍDUOS GERADOS	51
2.15.1 RESÍDUOS DE MADEIRA.....	52
2.16 CLASSIFICAÇÃO QUANTO AOS TIPOS DE RESÍDUOS DE MADEIRA	55
2.16.1 CLASSIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS.....	55
2.16.2 APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS.....	56
2.16.3 RECICLAGEM E/OU REUTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DE MADEIRA.....	56
2.16.4 MADEIRA SERRADA.....	57
2.17 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO - MIL MADEIRAS PRECIOSAS LTDA (PRECIOUS WOODS AMAZON - PWA).....	58
2.18 IDENTIFICAÇÃO E QUALIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS ESTUDADOS	60
2.18.1 <i>PITHECELLOBIUM RACEMOSUM</i> DUCKE (ANGELIM RAJADO)	61
2.18.2 <i>ANDIRA PARVIFLORA</i> DUCKE (SUCUPIRA VERMELHA)	62
2.18.3 PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS.....	63
2.18.4 FUNDAMENTO TEÓRICO DA QUÍMICA DA MADEIRA	65
2.18.4.1 Componentes Químicos.....	66
2.18.4.2 Substâncias Macromoleculares das Madeiras	66
2.18.4.3 Materiais Compósitos	67

2.18.4.4 Revestimentos Cerâmicos Compósitos	67
3 MATERIAL E MÉTODOS	69
3.1 METODOLOGIA	69
3.2 MATÉRIAS-PRIMAS	70
3.2.1 ARGILA	70
3.2.2 RESÍDUO SÓLIDO (PÓ DE SERRAGEM).....	71
3.3 PREPARAÇÃO DAS MATÉRIAS-PRIMAS	71
3.4 CARACTERIZAÇÃO DAS MATÉRIAS-PRIMAS	72
3.4.1 CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA.....	72
3.4.2 CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA.....	73
3.4.3 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA.....	73
3.4.3.1 Análise Granulométrica.....	73
3.4.3.2 Plasticidade	74
3.4.4 ANÁLISES TÉRMICAS (ATG/DSC).....	74
3.4.5 ANÁLISE MORFOLÓGICA (MEV).....	75
3.5 FORMULAÇÕES DAS MASSAS CERÂMICAS	75
3.5.1 PREPARAÇÃO DAS MASSAS CERÂMICAS.....	76
3.5.2 CARACTERIZAÇÃO DAS MASSAS CERÂMICAS	77
3.5.2.1 Caracterização Mineralógica	77
3.5.2.2 Caracterização Química.....	78
3.5.2.3 Diagrama Triaxial	78
3.5.2.4 Caracterização Física.....	78
3.6 ELABORAÇÃO DOS CORPOS CERÂMICOS	79
3.6.1 SECAGEM DOS CORPOS DE PROVA.....	80
3.6.2 PROCESSO DE QUEIMA	80
3.7 PROPRIEDADES FÍSICAS APÓS A SECAGEM DOS CORPOS CERÂMICOS	81
3.7.1 RETRAÇÃO LINEAR POR SECAGEM.....	81
3.7.2 MASSA ESPECÍFICA APÓS SECAGEM.....	82
3.7.3 QUEIMA DOS CORPOS CERÂMICOS.....	82
3.8 PROPRIEDADES FÍSICAS DOS CORPOS CERÂMICOS QUEIMADOS.....	83
3.8.1 RETRAÇÃO LINEAR DE QUEIMA.....	83
3.8.2 ABSORÇÃO DE ÁGUA (AA).....	84
3.8.3 POROSIDADE APARENTE	84
3.8.4 MASSA ESPECÍFICA APARENTE OU DENSIDADE APARENTE.....	85
3.8.5 TENSÃO DE RUPTURA À FLEXÃO (ΣQ).....	85
3.9 ANÁLISE MICROESTRUTURAL	86
3.9.1 MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV).....	86
3.9.2 DIFRAÇÃO DE RAIO-X APÓS QUEIMA (DRX).....	86
3.10 ANÁLISE ESTATÍSTICA	86
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	87
4.1. CARACTERIZAÇÃO DAS MATÉRIAS-PRIMAS UTILIZADAS	87
4.1.1 ANÁLISE MINERALÓGICA	87
4.1.2 ANÁLISES QUÍMICAS.....	89
4.1.3 DIAGRAMA TRIAXIAL	92
4.1.4 ANÁLISE FÍSICA DA MATÉRIA-PRIMA	93
4.1.4.1 Análise Granulométrica da Argila	93
4.1.5 ANÁLISE TÉRMICA DAS MATÉRIAS-PRIMAS.....	95

4.1.6 ANÁLISE MORFOLÓGICA DAS MATÉRIAS-PRIMAS.....	97
4.2 CARACTERIZAÇÃO DA ARGILA (ARG-A) E DAS MASSAS CERÂMICAS INCORPORADAS COM OS RESÍDUOS DE PÓ DE SERRAGEM DE MADEIRA APÓS A SECAGEM	99
4.2.1 AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADE TECNOLÓGICAS DAS MASSAS CERÂMICAS APÓS A SECAGEM.....	99
4.3 CARACTERIZAÇÃO DA ARGILA (ARG-A) E DAS MASSAS CERÂMICAS INCORPORADAS COM OS RESÍDUOS DE PÓ DE SERRAGEM DE MADEIRA APÓS A QUEIMA.....	101
4.3.1 ANÁLISE MINERALÓGICA DAS MASSAS CERÂMICAS APÓS A QUEIMA.....	101
4.3.2 ANÁLISE QUÍMICA DA ARGILA (ARG-A) E DAS MASSAS CERÂMICAS APÓS A QUEIMA.....	104
4.3.3 ANÁLISE MORFOLÓGICA DAS MASSAS CERÂMICAS.....	106
4.4 EFEITOS DOS RESÍDUOS DE PÓ DE SERRAGEM DAS MADEIRAS (AR E SV) NAS PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS DOS REVESTIMENTOS CERÂMICOS APÓS A QUEIMA	114
4.4.1 AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS APÓS A QUEIMA.....	114
 5 CONCLUSÃO	 121
 5.1 CONSIDERAÇÕES SOBRE OS RESULTADOS ALCANÇADOS	 ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.
5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	122
 REFERÊNCIAS.....	 124

1 INTRODUÇÃO

1.1 ASPECTOS GERAIS

Uma das atividades que vem aumentando e se consolidando como prática importante, na busca pela minimização dos impactos ambientais gerados por vários setores industriais, tem sido o reaproveitamento de resíduos sólidos.

O Brasil, com mais de 200 milhões de habitantes, é um dos países que mais gera resíduos sólidos, cuja destinação final deveria receber tratamento com soluções economicamente viáveis de acordo com a legislação e as tecnologias atualmente disponíveis (ZAGO; BARROS, 2019), mas, infelizmente, a maior parte desses resíduos continua sendo lançada na rede pública de esgotos, despejada a céu aberto ou queimada.

Os resíduos industriais e urbanos vêm-se tornando um dos mais sérios problemas que a sociedade moderna enfrenta (MENEZES; NEVES; FERREIRA, 2002). Sua deposição de forma inadequada provoca a degradação do meio ambiente e a contaminação dos mananciais de água e do solo. Uma das formas de solução para os problemas citados é a reciclagem de resíduos, essencial para o desenvolvimento sustentável de qualquer país, uma vez que a geração desses resíduos é inevitável. As vantagens potenciais da reciclagem para a sociedade são: a preservação de recursos naturais, a economia de energia, a geração de empregos, a redução da poluição, o volume de aterros, entre outros (GOUVEIA, 2012).

O estado do Amazonas possui grande variedade de indústrias madeireiras, cuja variedade de produção gera grandes quantidades de resíduos sólidos, oriundos de processamentos mecânicos (BRASILEIRO; MATOS, 2015). Apesar da Resolução nº 406/2009, do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), que estabelece parâmetros técnicos a serem adotados na elaboração, apresentação, avaliação técnica e execução de Plano de Manejo Florestal Sustentável (PMFS) com fins madeireiros, para florestas nativas e suas formas de sucessão no bioma Amazônia, boa parte desses resíduos de madeira, gerados na região, simplesmente é abandonada ou queimada sem nenhum fim energético, gerando danos ambientais muitas vezes irreversíveis.

O aproveitamento dos resíduos florestais é uma atividade que contribui para o manejo sustentável, agregando valor ao subproduto (VASCONCELLOS; OLIVEIRA, 2020). Novos estudos com o objetivo de obter alternativas e tecnologias para o uso dos resíduos florestais devem ser alcançados (BRAZ et al., 201n).

A Amazônia brasileira é uma das principais regiões produtoras de madeira tropical no mundo. A exploração e o processamento industrial de madeira estão entre suas atividades econômicas principais (VERÍSSIMO; PEREIRA, 2014).

Na Região Amazônica, a maior parte dos resíduos de madeira gerados é queimada ou acumulada na própria área industrial das empresas, resultando em danos ambientais e perdas econômicas significativas. A queima descontrolada dos resíduos de madeira na Região Amazônica gera uma série de problemas e ultrapassa perdas econômicas, ela contribui também para geração de CO₂, influenciando as mudanças climáticas do planeta, além de gerar problemas de saúde pública (RAMOS et al., 2017).

Outro fator importante é que o reaproveitamento dos resíduos geralmente é registrado em madeireiras de grande porte, estando as de pequeno porte pouco preocupadas em reutilizar o resíduo que gera (BRASILEIRO; MATOS, 2015).

Segundo o que Feitosa (2008) apresenta, apenas 35% de cada tora é transformada em produto serrado, os outros 65% da tora são desperdiçados, transformando-se em resíduo não aproveitado pela indústria. Outros estudos demonstram que o desperdício de madeira em tora nas indústrias de beneficiamento é cerca de 60%, sendo que, em algumas empresas, o volume de resíduo gerado chega a 80% por tora, um valor inaceitável, considerando-se as atuais preocupações ambientais e o aproveitamento econômico.

Uma das responsáveis por gerar esse tipo de resíduo é a empresa Mil Madeireira, localizada no município de Itacoatiara, distante 240 km de Manaus, a qual foi a primeira empresa da região a fazer exploração racional de madeira de terra firme com o máximo aproveitamento de cada árvore abatida. Ainda assim, chegava a produzir 215 toneladas/dia de resíduos, até então acumulados a céu aberto, junto à serraria. A cidade de Itacoatiara é pioneira na implantação de uma usina de cogeração de energia, mantida a partir de resíduos madeireiros.

Objetivando-se minimizar os impactos ecológicos, observou-se que, no Amazonas, uma das formas de conservação do bioma da Floresta Amazônica é o manejo sustentável, desenvolvido mediante a utilização racional de seus recursos, sem levar à sua total destruição (BRAZ *et al.*, 2014). É preciso estimular atividades de sustentabilidade nas áreas de manejo florestal, por meio da criação de produtos inovadores, gerados a partir de um planejamento e avaliação potencial da utilização racional e eficiente dos recursos florestais.

A quantidade de resíduos gerados no ano de 2018 foi de 52,2 milhões de toneladas, incluindo-se as atividades florestais e industriais. Aquelas foram responsáveis por 36,9 milhões de toneladas (70,9%), em contrapartida, estas geraram o equivalente a 15,1 milhões de toneladas de resíduos sólidos (29,1%) (INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES, 2019). O

impacto da disposição inadequada desses resíduos no meio ambiente afeta os ecossistemas aquáticos e terrestres (OWOYEMI; ZAKARIYA; ELEGBEDE (2016); HAJAM *et al.*, 2020).

Ao investigarem a exploração madeireira na Região Amazônica, Braz *et al.* (2014) constataram que muitos problemas ambientais poderiam ser reduzidos se houvesse estratégias para o reaproveitamento e consumo do grande volume de resíduos de madeira, gerados tanto na floresta como na indústria, os quais, na maioria das vezes, são desperdiçados desnecessariamente.

A utilização da madeira deve ser feita da forma o mais racional possível. Como alternativa, deve-se buscar sempre o máximo rendimento no desenvolvimento de novos produtos, pois, apesar de ser um recurso natural renovável, a reposição florestal acarreta custos significativos (VALÉRIO *et al.*, 2007).

Uma das alternativas utilizada nos últimos anos, e que tem ganhado grande importância, é a valorização do aproveitamento dos resíduos industriais poluentes em materiais cerâmicos. Faria (2015), afirma que esse processo se dá por meio da incorporação desse resíduo em uma massa argilosa usada na fabricação de materiais cerâmicos, sejam eles blocos cerâmicos, tijolos, telhas ou revestimentos para piso e parede.

Os aspectos que fazem a incorporação nas massas cerâmicas tornar-se cada vez mais interessante são o crescente volume de matérias-primas naturais consumidas pela indústria, poucas modificações no processo produtivo e a possibilidade de produção de materiais cerâmicos para construção civil, tais como tijolos, blocos cerâmicos, telhas e revestimentos para piso e parede. Esses materiais permitem larga variabilidade em suas composições química e mineralógica, podendo os resíduos poluentes serem inertizados na matriz cerâmica sinterizada, devido a suas diferentes temperaturas de queima. Deste modo, observa-se o crescimento de diversos trabalhos de pesquisa que utilizam a incorporação de resíduos orgânicos (lodos, bagaço de cana de açúcar, serragem) e inorgânicos (resíduos industriais de forma geral, cinzas) nas massas cerâmicas, visando, principalmente, análise e caracterização das propriedades tecnológicas das peças cerâmicas incorporadas.

Por outro lado, verifica-se na literatura, que não existem trabalhos sobre a incorporação de resíduo de madeira tropical (pó de serragem *in natura*) em massas cerâmicas como substituto parcial da argila, para fabricação de placas de revestimentos de paredes para uso interno.

Diante de tais argumentações, levanta-se a seguinte questão de pesquisa: Qual o impacto do uso do pó de serragem de madeiras tropicais, gerado no processo produtivo de uma indústria madeireira, quando misturado à argila, na produção de novos produtos cerâmicos de revestimento de parede, levando-se em consideração os valores sociais, ambientais e econômicos?

Na intenção de responder a essa questão, em termos de a hipótese, pressupõe-se que a formulação de uma massa cerâmica composta com pó de serragem, oriundos do processamento mecânico de madeiras tropicais, além de substituir parcialmente a argila na fabricação de um novo material cerâmico de revestimento, pode proporcionar benefícios econômicos e ambientais para o estado do Amazonas na busca por melhores resultados após o processamento e análise das propriedades tecnológicas e microestrutura sinterizada. Acrescenta-se a isso o impacto que tal procedimento tende a revelar no âmbito social, pelo potencial na captação de mão de obra e, conseqüentemente, geração de novos empregos.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo principal neste estudo é a formulação e a caracterização de massas cerâmicas, contendo pó de serragem de madeiras folhosas tropicais, proveniente da indústria de madeira, para produção de um novo revestimento cerâmico poroso (azulejo), em substituição parcial à argila, durante o processo de queima lenta.

1.2.2 Objetivos Específicos

- a) Formular, preparar e caracterizar as massas cerâmicas incorporadas com resíduos de madeiras folhosas;
- b) Preparar e avaliar os corpos cerâmicos, usando ciclo de queima lenta;
- c) Caracterizar física, química e mecanicamente os corpos cerâmicos queimados, de acordo com a norma ABNT NBR 13818/1997.
- d) Analisar as fases microestruturais dos corpos cerâmicos queimados.
- e) Identificar o melhor pó de serragem de madeiras de *Pithecelobium racemosum* Ducke (Angelim rajado) e *Andira parviflora* Ducke (Sucupira vermelha), para substituir parcialmente a argila na formulação das massas cerâmicas.
- f) Definir, qual das espécies estudadas melhora à proposição

1.3 JUSTIFICATIVA

Nos últimos anos, tem-se observado que a geração de grandes quantidades de resíduos sólidos poluentes tem despertado de forma bastante significativa o interesse na área acadêmica

pelo desenvolvimento de pesquisas que visam buscar alternativas viáveis para a valorização e reciclagem desses materiais. No que tange especificamente ao resíduo de pó de serragem, a importância se dá pelo constante crescimento da quantidade desse resíduo no setor madeireiro, aumentando a demanda por novas alternativas para o destino final desses resíduos de forma ambientalmente correta. Ademais, esse resíduo possui potencial porogênico, quando sinterizado, proporcionando diminuição da densidade aparente e diminuição da retração linear quando formulados em massas cerâmicas para fabricação de revestimentos porosos. Do ponto de vista científico, é importante compreender como funciona a interação entre os componentes do resíduo e da matriz cerâmica, que leve à completa inertização do resíduo de pó de serragem. Analisar o efeito do resíduo na microestrutura sinterizada é fundamental para o entendimento da densificação e controle das propriedades físicas e mecânicas dos corpos cerâmicos para revestimento poroso.

Portanto, neste estudo, não apenas se apresenta o benefício ambiental de destinar corretamente o resíduo de pó de serragem oriundo da indústria madeireira, para uma solução tecnológica viável, como também uma contribuição para uma menor utilização de argila aluvionar, proporcionando o surgimento de novos materiais para a construção civil.

Neste trabalho, os resíduos de madeiras processadas foram usados na formulação de massa cerâmica para revestimento poroso (azulejo) em substituição parcial da argila em quantidades crescentes.

A necessidade de estudos referentes a processos de produção, materiais e produtos eco-eficientes torna-se, portanto, cada vez mais importante. A utilização de resíduo industrial de madeira na transformação de produtos, seja sob a forma de utilitários ou decorativos, é uma grande resposta ao meio ambiente. Além de gerar outros produtos de utilização com maior valor agregado, essa atitude traz outros benefícios, pois, à medida que há melhor utilização de resíduos processados, realizando-se um melhor aproveitamento para os resíduos de madeira, contribui-se para diminuir a pressão sobre o desmatamento de florestas nativas, promovendo-se o equilíbrio ecológico e reduzindo-se a poluição.

A premissa de incorporar resíduos vem da necessidade de aproveitar matérias-primas industrializadas, comercializadas ou oriundas do processamento mecânico, nos mais diversos segmentos de mercado, que, sem aproveitamento, causam problemas de ordem econômica e ambiental. O setor florestal é apontado como o maior gerador de resíduos, pois, desde a extração vegetal até seu produto final industrializado, gera em torno de 70% de resíduos (BRASILEIRO; MATOS, 2015). Pode-se então afirmar que um material deixa de ser resíduo por sua valorização como matéria-prima, para a obtenção de novos produtos. Neste sentido, analisa-se a viabilidade

de conjugar estes resíduos (madeira/serragem) com outros materiais naturais (argila de várzea) na busca para gerar um novo produto.

Em face às dificuldades de encontrar estudos envolvendo a utilização de pó de serragem de madeira (em estado vegetal), como substituto parcial da argila e, especificamente, como agente porogênico na fabricação de revestimentos de parede cerâmicos BIII, buscaram-se estudos que evidenciassem o desenvolvimento de materiais cerâmicos utilizando matérias-primas orgânicas, com o mesmo objetivo (aumento da porosidade) em suas formulações em substituição da argila. Pesquisadores revisaram sobre o uso dessas matérias-primas e avaliaram suas características tecnológicas para fabricação de tijolos, blocos e outros materiais para uso na construção civil. Em seu estudo, Abjaghrou *et al.* (2020) analisaram a viabilidade de incorporar resíduos de madeira, para melhorar o isolamento térmico de tijolos. Bories *et al.* (2015) investigaram os impactos da adição de agentes formadores de poros (palha de torta de semente de girassol e farinha de caroço de azeitona) nas propriedades de tijolos cozidos. Guzman (2003) destacou os princípios da formação da cerâmica porosa. Novais, Seabra e Labrincha (2015) estudaram a incorporação de resíduos de madeira (serragem) como um agente formador de poros em ladrilhos de cerâmica para a produção de ladrilhos cerâmicos de duas camadas leves com condutividade térmica personalizada. Okada *et al.* (2011) desenvolveram estudos com o objetivo de formular cerâmicas porosas que imitam estruturas naturais. Ribeiro *et al.* (2016), em sua pesquisa, desenvolveram um material regional natural que pode ser usado como base para geopolímeros em processamento. Neste processo, o caulim amazônico foi convertido em metacaulinita por calcinação até 700 °C. Os resultados demonstram que o geopolímero de metacaulim reforçado com bambu é um potencial material para ser utilizado na construção sustentável verde, pois possui resistência à compressão e resistência à flexão compatíveis com os valores determinados pelos padrões da *American Society for Testing and Materials* (ASTM). Velasco *et al.* (2015) estudaram as propriedades térmicas e mecânicas dos tijolos de argila, incorporados com resíduos de gravetos de broto de videiras.

A utilização da porosidade na produção de produtos cerâmicos é uma alternativa funcional e estrutural, quando se busca soluções de isolamento térmico, filtros e desenvolvimento de materiais compósitos (HAMMEL; IGHODARO; OKOLI, 2014). Parâmetros relacionados à estrutura dos poros, como tamanho, formato e distribuição, influenciam a funcionalidade desses materiais, podendo os poros oferecer propriedade de isolamento quando submetidos a altas temperaturas, captura de impurezas a partir do uso de filtros ou aumento de porosidade com o objetivo de influenciar o peso dos produtos cerâmicos, entre outros. Os poros podem ser incorporados na estrutura cerâmica por meio de várias técnicas

de processamento. Uma técnica simples é sinterizar pós de resíduos de madeiras oriundas do processamento mecânico em cerâmica verde para impedir a densificação total desse material.

Outra justificativa que se considera importante é que, apesar do crescimento da indústria brasileira em produzir elevado volume de revestimentos cerâmicos, existe ainda uma deficiência de conhecimentos científicos e tecnológicos sobre revestimento cerâmico de parede poroso que tragam um profundo entendimento sobre as características das matérias-primas existentes, as transformações físicas e químicas que estas sofrem durante todo o processo produtivo, o comportamento de sinterização e as fases cerâmicas formadas no produto final.

1.4 INEDITISMO

Na presente tese de doutorado, foi realizado um estudo de incorporação de resíduos de pó de serragem de madeiras tropicais em substituição parcial à argila e como um agente porogênico em uma formulação para revestimento de parede (poroso) de base vermelha. Ênfase especial foi dada à influência desses resíduos sobre o processamento, propriedades e microestrutura sinterizada das peças de revestimento poroso. Destaca-se que a introdução desses resíduos na formulação para revestimento poroso levou à formação de novas fases cerâmicas. Essas fases desempenham um importante papel no desenvolvimento microestrutural durante a queima, que pode afetar o desempenho do revestimento. Por isso, é muito importante determinar as novas fases formadas e a evolução da microestrutura do novo revestimento cerâmico poroso (azulejo) incorporado com os resíduos de madeiras tropicais, bem como correlacionar essas fases aos materiais de partida, processamento e propriedades do produto final, o que, até o presente, não tem sido feito, evidenciando, assim, o ineditismo do trabalho de doutoramento proposto.

1.5 DESCRIÇÃO DOS CAPÍTULOS DA TESE

A tese encontra-se dividida da seguinte maneira:

- I. **Introdução** - Neste capítulo, apresentam-se as principais motivações que nortearam este estudo, uma breve apresentação sobre a relevância do tema, a problemática e a questão de pesquisa, descrição dos objetivos gerais e específicos, a justificativa e uma breve descrição de seu ineditismo.
- II. **Revisão bibliográfica** - Neste capítulo, apresenta-se uma breve revisão bibliográfica sobre os principais tópicos que foram abordados no trabalho.

- III. **Materiais e métodos** - Neste capítulo, são apresentados os materiais utilizados na pesquisa, os equipamentos e a metodologia aplicada tanto na fabricação quanto na caracterização dos compósitos.
- IV. **Resultados e discussões** - Neste capítulo, são apresentados os resultados quantitativos e qualitativos obtidos, de acordo com as atividades previstas na metodologia.
- V. **Conclusões** - Neste capítulo, apresentam-se as considerações finais da presente tese, abordando o cumprimento da metodologia utilizado, na descrição dos resultados, em que aspectos estes atenderam aos objetivos gerais e específicos previamente previstos, assim como sugestões para a realização de estudos futuros envolvendo o mesmo assunto.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 REVESTIMENTOS CERÂMICOS

De acordo com Callister Jr. (2002), um dos materiais mais antigos produzidos pelo homem é a cerâmica. O nome cerâmica origina do grego “keramos”, que significa “terra queimada” ou “argila queimada”. Suas propriedades são encontradas geralmente através de um processo térmico e tem como matéria-prima básica a argila.

A cerâmica de revestimento é uma mistura de argilas com matérias-primas inorgânicas, queimadas em altas temperaturas, utilizadas em larga escala na construção civil, atendendo as especificidades da Arquitetura e da Engenharia Civil (RODRIGUES, 2016).

Para a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 1997), o revestimento cerâmico é um material composto de argilas e outros materiais inorgânicos, geralmente utilizados para revestir pisos e paredes, sendo sua conformação por prensagem, extrusão ou outros processos, e podendo ser esmaltados ou não.

Para a Associação Brasileira de Cerâmica (2017), os revestimentos cerâmicos, denominados também como placas cerâmicas, são utilizados na construção civil para revestir pisos, paredes, bancadas, entre outros ambientes externos e internos.

O Brasil ocupa a terceira posição em produção mundial e segunda posição em consumo de revestimentos cerâmicos, além de ocupar o 7º lugar no *ranking* das exportações, sendo superado pela China (primeiro lugar) e a Índia (segundo lugar), principais protagonistas no mercado mundial desses produtos. Em 2020, foram produzidos 909 milhões de m², para uma capacidade instalada de 1.048 milhões. Ainda nesse mesmo ano, as vendas totais atingiram 920 milhões de m², dos quais 826 milhões foram vendidos no mercado interno e 94 milhões destinados ao mercado externo. Nesse ano, o Brasil exportou para mais de 110 países, gerando uma receita equivalente a US\$ 330 milhões (ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE CERÂMICA PARA REVESTIMENTOS, LOUÇAS SANITÁRIAS E CONGÊNERES, 2020 - ANFACER).

O Brasil necessita de expressiva quantidade de matérias-primas, para produzir tais volumes de revestimentos cerâmicos. De acordo com Biff e Silva (2016), a indústria de revestimentos no Brasil consome anualmente cerca de 12,6 milhões de toneladas de insumos, tais como: argilas, caulim, feldspatos, talco, quartzo, bentonita, calcário calcítico e dolomítico.

O setor cerâmico tem uma grande vantagem na reciclagem de resíduos industriais, uma vez que possui um enorme volume de produção que possibilita o consumo de grandes

quantidades de resíduos, levando-se em consideração os parâmetros físico-químicos das matérias-primas e as particularidades do processamento cerâmico (CALDAS, 2012).

A indústria de revestimentos cerâmicos é uma das que mais se destaca na reciclagem de resíduos sólidos em virtude de possuir elevado volume de produção, o que possibilita o consumo de grandes quantidades de resíduos aliado às características físico-químicas das matérias-primas cerâmicas e às particularidades do processamento cerâmico (BIFF; SILVA, 2016).

Os resíduos sólidos incorporados nos materiais cerâmicos podem vir a reduzir a demanda por matérias-primas convencionalmente utilizadas na indústria de revestimentos cerâmicos, minimizando desta forma os impactos ambientais causados pela mineração e também os custos relacionados à sua disposição final. É necessário, portanto, avaliar o potencial risco ao meio ambiente, para viabilizar o uso do resíduo na indústria de revestimento cerâmico (BIFF; SILVA, 2016).

Considerando-se que, nesta pesquisa, estuda-se o desenvolvimento de placas de revestimento para paredes internas, é importante considerar que a inserção de resíduos sólidos em massas cerâmicas interfere em algumas propriedades destas e se faz necessário observar os parâmetros de porosidade referenciados na norma ABNT NBR 13818/1997 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1997), pois, quanto maior a porosidade aberta, maior será a absorção de água. Outras características, como a resistência mecânica e a retração linear, após a queima, estão associadas também à absorção de água. Para produtos com a mesma composição de massa cerâmica, o incremento da porosidade (absorção de água) contribui para a redução da resistência mecânica, portanto, ambas as propriedades devem ser ponderadas no projeto do produto para atender as especificações do mercado e, conseqüentemente, sua usabilidade.

A referida norma ABNT NBR 13818/1997 determina que, para o revestimento cerâmico poroso, os corpos de prova devem apresentar absorção de água maior que 10% e módulo de resistência à flexão maior que 15 MPa. A retração linear do produto é uma propriedade que quantifica a redução das dimensões do material cerâmico sinterizado, neste caso, valores altos podem resultar em divergências dimensionais dos materiais cerâmicos. Considerar as condições de processamento, a pressão de compactação, a temperatura de sinterização e as proporções entre as matérias-primas existentes nas massas cerâmicas, além das características físicas e químicas de cada matéria-prima, é de fundamental importância, pois estas influenciam diretamente nas propriedades do produto final, como, por exemplo, o fato de a plasticidade de determinada argila auxiliar a massa cerâmica no processo de conformação, dando uma boa resistência mecânica e estabilidade dimensional antes do processo de sinterização.

Conforme Oliveira e Hotza (2015) ensinam, as propriedades dos materiais cerâmicos são classificadas em função de sua natureza química, seu caráter cristalino ou amorfo, e das inúmeras transformações a que são submetidos durante as várias etapas de seu processamento.

2.2 CLASSIFICAÇÃO DOS REVESTIMENTOS CERÂMICOS

Os revestimentos cerâmicos são classificados de acordo com o local de sua aplicação. Os revestimentos para parede ou azulejos devem apresentar porosidade e estabilidade dimensional alta, além de facilidade de instalação. Já os revestimentos de piso devem apresentar alta resistência mecânica e baixa porosidade e absorção de água (RODRIGUES et al., 2015).

A cerâmica de revestimento é um produto que apresenta várias vantagens; de acordo com o desempenho técnico do material, deve proteger contra infiltrações externas, proporcionar conforto térmico no interior das edificações, ser resistente às intempéries e à maresia, conferir proteção mecânica de grande durabilidade, ter longa vida útil e possibilitar fácil limpeza e manutenção (RODRIGUES et al., 2015).

De acordo com a ABNT NBR 13818/1997, e baseando-se na ISO 13006/1998, os revestimentos cerâmicos são classificados, levando-se em consideração os seguintes critérios:

- 2.2.1 Esmaltados e não esmaltados;
- 2.2.2 Método de fabricação (prensado, extrudado, entre outros);
- 2.2.3 Grupos de absorção de água;
- 2.2.4 Classe de resistência à abrasão superficial – PEI;
- 2.2.5 Classe de resistência ao manchamento;
- 2.2.6 Classe de resistência ao ataque de agentes químicos, segundo diferentes níveis de concentração; e
- 2.2.7 Aspecto superficial ou análise visual.

2.3 PROPRIEDADES E CARACTERÍSTICAS DOS REVESTIMENTOS CERÂMICOS

As características das placas cerâmicas são analisadas em função de sua natureza química, seu caráter cristalino ou amorfo, e das inúmeras transformações a que são submetidas durante as várias etapas de seu processamento (HOTZA, 2007). As características finais de uma cerâmica de revestimento dependem da escolha criteriosa das matérias-primas, da proporção de cada uma delas na massa cerâmica e das condições de processamento. Para controle de qualidade, são feitos ensaios físicos e químicos para avaliar as propriedades tecnológicas dos

materiais cerâmicos e verificar se estes estão de acordo com as características exigidas, se possuem uma estrutura compatível com o produto e se apresentam defeitos oriundos do processo de fabricação. Para avaliar a qualidade dos produtos cerâmicos brasileiros, a norma ABNT NBR 13818/1997 é utilizada para fixar as características exigíveis ao produto acabado e os métodos de ensaios a serem utilizados.

Entre as características físicas das placas cerâmicas, destacam-se: a porosidade, medida pela absorção de água (%), e a resistência mecânica, medida pela carga de ruptura (N) ou módulo de resistência à flexão (MPa). Existe uma relação direta entre estas duas variáveis, de modo que elas se comportam de forma inversamente proporcional, ou seja, quanto menor a absorção de água maior será a resistência mecânica do corpo cerâmico. De acordo com a norma ABNT NBR 13818/1997, as características físicas que as placas cerâmicas obtidas pelo método de prensagem devem apresentar, segundo a absorção de água e correspondente à resistência mecânica, são apresentadas na tabela 1 a seguir.

Tabela 1 – Classificação dos revestimentos cerâmicos de acordo com a absorção de água, segundo a ABNT NBR 13818/1997

Grupos		AA (%)	Método de Fabricação			Denominação Usual
			Extrusão A	Prensagem B	Outros C	
I	Ia	$AA \leq 0,5$	AI	Bia	CI	Porcelanato
	Ib	$0,5 \leq AA \leq 3,0$		BIb		Grês
II	IIa	$0,3 \leq AA \leq 6,0$	AIIa	BIIa	CII	Semi-grês
	IIb	$0,6 \leq AA \leq 10$	AIIb	BIIb		Semi-poroso
III		$AA \leq 10$	AIIc	BIII	CIII	Poroso

Fonte: Elaboração própria com base em dados da Associação Brasileira de Normas Técnicas (1997).

Legenda: AA - Absorção de Água.

Os revestimentos cerâmicos são classificados de acordo com o local de sua aplicação. Os revestimentos para parede ou azulejos devem apresentar alta porosidade, alta estabilidade dimensional e facilidade de instalação, já os revestimentos para piso devem apresentar alta resistência mecânica, baixa porosidade e absorção de água (RODRIGUES, 2016). Segundo o que Cavalcante (2010) apresenta, pode-se também distinguir materiais vitrificados de não vitrificados, simplesmente pela absorção de água (AA), onde $AA \leq 0,5$ é considerado como muito vitrificado, $0,5 \leq AA \leq 3$ como vitrificado, $3 \leq AA \leq 7$ como semivitrificado e $7 \leq AA \leq 18$ como não vitrificado.

Outras características técnicas atribuídas ao revestimento cerâmico são: a máxima estabilidade durante a queima com valores de retração (inferiores a 1%) e os valores do módulo de ruptura do produto entre 200 e 250 Kg/cm². Esses indicativos são características que devem ser consideradas como parâmetros de enquadramento do produto sob o perfil mercadológico, para determinado uso e aplicação (OLIVEIRA, 2000).

Tabela 2 – Classificação dos revestimentos cerâmicos de acordo a resistência à flexão, segundo a ABNT NBR 13818/1997

Grupos		Tensão de Ruptura a Flexão (MPa)	Método de Fabricação			Denominação Usual
			Extrusão A	Prensagem B	Outros C	
I	Ia	$35 \leq RF \leq 50$	AI	BIa	CI	Porcelanato
	Ib	$30 \leq RF \leq 35$		BIb		Grês
II	IIa	$22 \leq RF \leq 30$	AIa	BIa	CII	Semi-grês
	IIb	$18 \leq RF \leq 22$	AIb	BIb		Semi-poroso
III		$15 \leq RF \leq 18$	AIc	BIII	CIII	Poroso

Fonte: Elaboração própria com base em dados da Associação Brasileira de Normas Técnicas (1997).

Os materiais cerâmicos com estrutura compacta, caracterizados por fases cristalinas dispersas em matriz vítrea, são encontrados no mercado na forma de porcelanato e grês e são pisos cerâmicos denominados vitrificados.

O porcelanato pertence ao grupo BIa, que é o grupo dos elementos com percentual de absorção de água contido no intervalo de 0% a 0,5%, e os materiais denominados de “grês” podem ser definidos como um material muito compacto, constituído por fases cristalinas imersas em uma fase vítrea. Estes materiais são do grupo BIb, caracterizados pela norma ABNT NBR 13818/1997, por obterem nos seus resultados, o percentual de absorção de água no intervalo de $0,5 \leq AA \leq 3$. Já os revestimentos cerâmicos porosos são materiais de alta porosidade, não vitrificados, classificados no grupo BIII, e apresentam valores de absorção de água $> 10\%$.

Aos materiais cerâmicos são atribuídas algumas características, tais como formas, dimensões (compreendidos entre 10X10 e 60X120 cm), e características técnicas, tais como resistência mecânica, absorção de água e resistência à abrasão. São classificados em vários grupos, conforme mostrada na tabela 2. Essa classificação está relacionada ao método de fabricação e à absorção de água do produto acabado (SOUZA, 2008).

2.4 REVESTIMENTO POROSO

Revestimentos cerâmicos porosos são fabricados por prensagem e utilizados para revestir paredes. Quanto à sua classificação, pertencem ao grupo BIII, de acordo com a norma ABNT NBR 13.818/1997. São produtos que, dentre outras características, devem possuir uma alta estabilidade dimensional durante a queima e porosidade aberta superior a 10%. São usados geralmente no revestimento de paredes para uso interno, em ambientes residenciais e comerciais. De acordo com Siqueira (2017), é uma classe de materiais caracterizados por uma

rede tridimensional de poros dispostos de forma regular e interconectados entre si por meio de canais. Produtos cerâmicos de base vermelha são utilizados como matérias-primas, uma mistura de argilas naturais, contendo óxido de ferro em proporções que variam de 4% a 8% (% Fe_2O_3 em peso), e quantidades de quartzo e carbonatos variáveis, na sua fabricação, até que as propriedades desejadas sejam atingidas (BENLOCK, 1993).

Se esse conteúdo for superior, as propriedades mecânicas serão prejudicadas, pois neste caso a peça irá apresentar uma porosidade excessiva, e se for inferior, a proporção de fases cristalinas formadas será muito baixa, facilitando a expansão por umidade das peças. Recomenda-se utilizar uma quantidade de 10% a 19% de carbonatos. Segundo o que Zauberas e Riella (2001) apresentam, o quartzo irá garantir a integridade estrutural das peças, pois apresenta um elevado ponto de fusão e permanece praticamente inalterado durante a sinterização. Além disso, é utilizado como principal controlador do coeficiente de variação térmica do produto.

Para se conseguir uma porosidade adequada, é necessário introduzir carbonato de cálcio ou magnésio na formulação cerâmica. Esses elementos são responsáveis também em reduzir a retração das peças durante a sinterização. Os óxidos de cálcio e magnésio, procedentes da decomposição dos carbonatos durante a sinterização, reagem principalmente com a sílica e alumina, que são fases amorfas, procedentes da decomposição dos argilominerais. Neste processo, novas fases cristalinas à base de cálcio e magnésio são formadas, e são as principais responsáveis pelas propriedades tecnológicas do produto cerâmico final (SOUSA; HOLANDA, 2006).

Para que um produto seja considerado um revestimento cerâmico poroso deverá atender aos seguintes critérios: obter módulo de ruptura à flexão igual ou superior a 15 MPa, com espessura de placas inferior a 7,5 mm, ou igual ou superior a 12 MPa, com espessura de placas superior ou igual a 7,5 mm; possuir boa estabilidade dimensional durante a queima, com valor de retração linear de queima inferior a 1,5%; absorção de água (porosidade), variando entre 10% e 20%, de acordo com a ABNT NBR 13818/1997.

Durante muitos anos, o revestimento poroso tinha como formato principal de fabricação o tamanho 30 x 30 cm; com os avanços tecnológicos dos processos de queima, as dimensões aumentaram gradativamente (SOUZA, 2008). Ainda de acordo com Souza (2008), um revestimento, poroso para ser considerado um produto de qualidade, deve apresentar uniformidade, tanto no que se refere a suas dimensões quanto ao seu aspecto final.

As cerâmicas porosas possuem potencial para serem utilizadas em diversas situações, podem ser aplicadas, segundo o que Dutra e Pontes (2002) apresentam, como: isolantes térmicos, materiais para proteção contrafogo, filtros, catalisadores, queimadores de gás, entre outros. É

possível combinar adequadamente as matérias-primas e as técnicas de processamento para se fabricar cerâmica porosa com altos valores de resistência mecânica, uniformidade e com elevada refratariedade.

2.4.1 Matérias-Primas Utilizadas na Fabricação do Revestimento Poroso

O termo matéria-prima refere-se a todos os materiais incorporados ao produto no processo de fabricação e a todo material que sirva de entrada para um sistema de produção qualquer. Comercialmente, as massas cerâmicas adequadas para a produção de revestimento poroso classificam-se em vermelhas e brancas, sendo constituídas por duas tipologias, as matérias-primas plásticas (argilosas) e as matérias-primas não plásticas (desplastificantes).

As principais matérias-primas utilizadas na produção de revestimentos porosos são argila, caulim, quartzo, ilita, calcita, dolomita, feldspato sódico ou potássico e talco (OLIVEIRA, 2003).

Estudos comprovam que o maior responsável pela mudança das fases cerâmicas que surgem na queima são as proporções de cada material mineral, além das condições de queima (temperatura, taxa de aquecimento e atmosfera do forno), estes influenciam significativamente a resistência à fratura por compressão diametral e o tamanho das partículas no produto verde. Junto às condições de processamento, a composição mineralógica influencia diretamente a propriedade do produto acabado (SOUZA, 2008).

2.5 MATÉRIAS-PRIMAS PLÁSTICAS

As argilas plásticas são aquelas que conferem importantes características na fase de conformação das peças cerâmicas, tais como plasticidade (trabalhabilidade), resistência mecânica a cru e no tratamento térmico (sinterização), estrutura e cor (MOTTA et al., 2008). São valorizadas, comercialmente, por possuírem duas características importantes. Devido à sua alta plasticidade, aumentam a trabalhabilidade e a resistência mecânica a seco dos corpos cerâmicos. As principais matérias-primas plásticas utilizadas em revestimentos cerâmicos porosos são as argilas (vermelha e branca) e os caulins. Suas propriedades reológicas são ideais para colagem e são indicadas na preparação de massas cerâmicas para a produção de placas (revestimentos - pisos e azulejos), porcelanas e louça de mesa, peças sanitárias e isolantes elétricos (MOTTA et al., 2008).

A plasticidade de uma matéria-prima cerâmica está relacionada à propriedade desse material de mudar sua forma sem ruptura, sob a ação de uma força externa, assim como à retenção da nova forma após a retirada da força (SANTOS, 1989).

Nas argilas carbonáticas, as fases mineralógicas que estão presentes podem ser ílítico-cloríticas e, eventualmente, ílítico-cauliníticas. A quantidade de calcita encontrada na matriz argilosa pode variar e alcançar valores muito elevados. Essas argilas contribuem também para conferir plasticidade à massa. Geralmente, após a queima, apresentam uma coloração bege-laranja pela presença de minerais ferrosos (OLIVEIRA; HOTZA, 2015).

2.5.1 Argilas

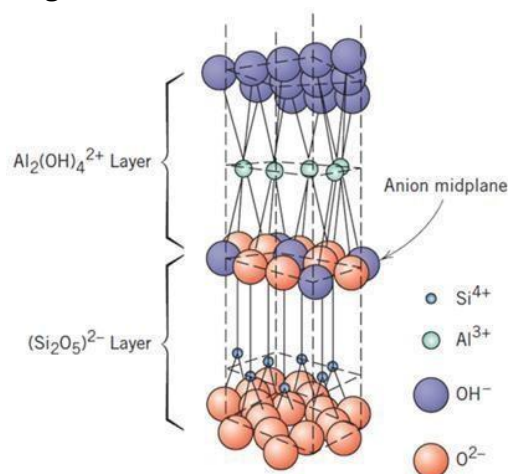
As argilas são importantes constituintes da crosta terrestre e fazem parte dos vários tipos de solos, podendo ser encontradas em seu estado puro ou conjugadas a outros minerais. Elas são formadas por rochas sedimentares, pela alteração dos silicatos de alumínio de origem magmática, metamórfica ou sedimentar. De acordo com Medeiros (2014), o termo argila não tem significado genético, normalmente utilizado para os materiais que são o resultado de modificações de caráter físico (degradação) e químico (intemperismo), sofridas pelas rochas a partir da ação hidrotérmica, ou que se depositaram como sedimentos fluviais, marinhos ou eólicos.

Do ponto de vista químico, as argilas são formadas essencialmente por silicatos hidratados de alumínio, ferro e magnésio, conhecidos como aluminossilicatos, e possuem estrutura arranjada em camadas. Elas são constituídas principalmente de argilo-minerais com pequena fração de minerais e material orgânico. As argilas minerais são silicatos hidratados de alumínio com partículas de diâmetro esférico equivalente abaixo de $2\mu\text{m}$ (RODRIGUES et al., 2015). Também é comum a presença de certo teor de matéria orgânica, considerada como impureza. As argilas são de natureza e origem muito variáveis, apresentando, portanto, características e propriedades bem distintas (SANTOS, 1989). Quando umidificadas com água, tornam-se plásticas, podendo dessa forma ser trabalhadas, moldadas ou deformadas quando submetidas a um esforço. A plasticidade pode ser definida como a capacidade de um material ser deformado sem ruptura pela ação de uma força e, posteriormente, reter a deformação resultante quando a força aplicada for removida (BARBA et al., 2002).

As argilas ílíticas e/ou carbonáticas podem exercer uma forte ação fundente, dependendo de sua natureza mineralógica. Outros minerais, como carbonatos de cálcio (calcitas) e/ou magnésio (dolomitas) e até subprodutos de mineração, são, com certa frequência, utilizados como fundentes (OLIVEIRA; HOTZA, 2015).

Devido a essa complexidade, algumas considerações se fazem necessárias a respeito de sua formação. Na fabricação de revestimentos cerâmicos, onde as matérias-primas principais são as argilas, os argilominerais de maior interesse são a ilita e a caulinita. Na figura 1, demonstra-se a estrutura cristalina da caulinita, a qual se apresenta com um empilhamento regular de uma folha tetraédrica de SiO_4 e de uma folha octaédrica de hidróxidos de alumínio ($\text{Al}_2(\text{OH})_6$), ligadas entre si por um íon de oxigênio. Sua fórmula estrutural é $\text{Al}_4\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8$ ou $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ de composição em peso: $\text{SiO}_2 = 46,54\%$, $\text{Al}_2\text{O}_3 = 39,5\%$ e $\text{H}_2\text{O} = 13,96\%$. Sua característica durante a queima é a formação de uma fase líquida bem gradual, sendo assim, uma ampla faixa de queima pode ser obtida (SOUZA, 2008).

Figura 1 – Estrutura cristalina da caulinita



Fonte: Callister (2007).

As matérias orgânicas, os sais solúveis (Ca^{2+} , SO_4^{2-}), entre outros tipos de materiais, tais como calcita, dolomita, pirita, carbono e biotita, são considerados as impurezas mais comuns encontradas nas argilas usadas para fabricação de revestimentos cerâmicos, de acordo com Sanchez et al. (1996). O carbonato de cálcio (CaCO_3) não é considerado uma impureza, nos revestimentos porosos, pois regula a porosidade, além de atuar na diminuição da expansão térmica por umidade (BELTRÁN et al., 1996).

No Brasil, as indústrias que utilizam argila como matéria-prima em seus processos produtivos são: indústria de cerâmica vermelha (tijolos, telhas, ladrilhos etc.), indústria de cerâmica branca (louça doméstica, material sanitário, azulejos etc.), indústria de material refratário, de borrachas, plásticos, papel, metalúrgica, inseticidas e pesticidas, derivados de petróleo, entre outras. Na indústria cerâmica tradicional, as matérias-primas estratégicas são as argilas. Essa matéria-prima desempenha um papel fundamental na aglutinação e no processamento a verde. Do ponto de vista químico, as argilas são formadas essencialmente por silicatos hidratados de alumínio, ferro e magnésio. Estruturalmente, as argilas são constituídas

por partículas cristalinas extremamente pequenas, que formam os argilominerais. Também são constituídas de outros materiais e minerais, tais como matéria orgânica, sais solúveis e partículas de quartzo, pirita, mica, calcita, dolomita, além de minerais não-cristalinos, também chamados de amorfos (SOUZA SANTOS, 1992).

No estado do Amazonas, os minerais argilosos mais usados são três, conhecidos como argilas muito plásticas (empregadas na indústria da cerâmica vermelha); argilas pouco plásticas, oriundas de depósitos residuais formados de alteração de rochas da Formação Alter do Chão; e argilas levemente arenosas, oriundas de latossolos, utilizadas na construção de aterros, preparo de argamassas e produção de cimento *Portland*, de acordo com a Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais (SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL, 2004).

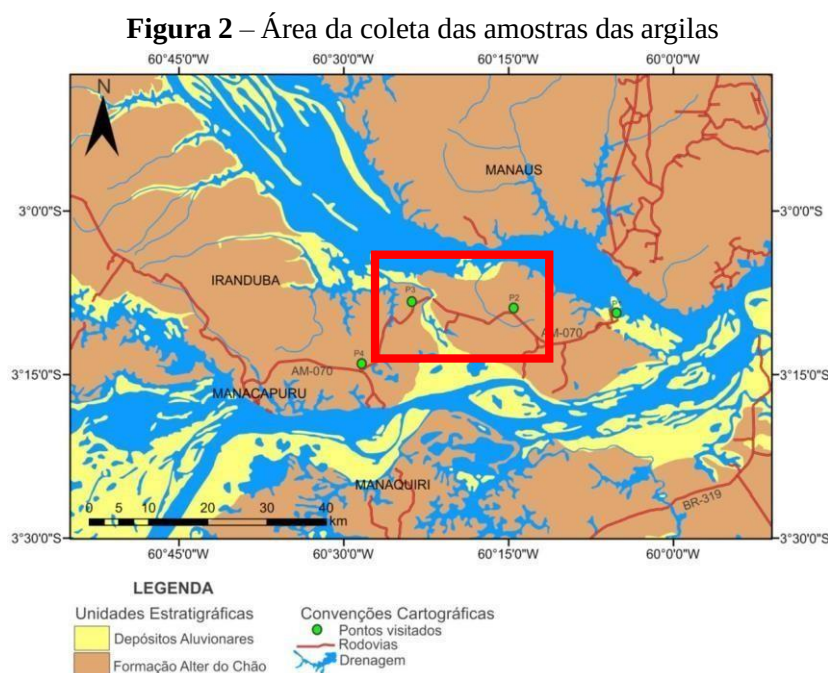
A argila aluvionar encontrada na Região Amazônica, especificamente no Polo Oleiro do município de Itacoatiara, é caracterizada pela presença de materiais, tais como quartzo, illita, montmorillonita (LIMA, 2010).

Na busca por um material natural alternativo e não convencional que pudesse oferecer preço competitivo em relação ao agregado (resíduo de madeira), será estudada a argila de várzea, material considerado um recurso mineral abundante na Região Amazônica, por sua própria formação geológica. O interesse na pesquisa e uso das argilas vem ganhando força devido à busca por materiais que não alterem o meio ambiente quando descartados. Com a possibilidade de ser modificada quimicamente, a argila permite seu uso para diversos tipos de aplicações tecnológicas, agregando valor a esse abundante recurso natural (TEIXEIRA-NETO; TEIXEIRA-NETO, 2009).

Os municípios de Iranduba e Manacapuru, no estado do Amazonas, são considerados polo oleiro de cerâmica por possuírem uma extensa área de solo argiloso, considerado fonte de matéria-prima para produtos e/ou processos que requerem esse material para sua fabricação (CABRAL, 2009). O Pólo Ceramista de Iranduba (PCI) compreende um conglomerado de 18 indústrias localizadas na margem direita do Rio Negro, em frente à cidade de Manaus, com acesso e fluxo de produção pela ponte do Rio Negro (FLORENTINO et al., 2019). O centro de cerâmica tem relevância estratégica para o desenvolvimento econômico da cidade de Manaus, pois absorve cerca de 95% de toda a produção cerâmica do município de Iranduba (MME, 2000).

São inúmeros os produtos industriais nos quais se utiliza a argila como matéria-prima, dentre eles se destacam a cerâmica artística, agentes ligantes, tijolos, telhas, cimentos, materiais cerâmicos para a indústria química, louça branca, agregados para concreto, cosméticos, materiais isolantes térmicos, pisos e revestimentos, fluidos ou lamas para perfuração, dentre outros.

Considerando-se que os municípios de Manacapuru e Iranduba constituem o maior polo cerâmico vermelho do Amazonas, e têm a capital Manaus como principal mercado consumidor, neste trabalho, analisa-se a argila de várzea coletada no Polo Oleiro de Iranduba, retiradas do pátio da Cerâmica Montemar Indústria e Serviço de Coleta de Resíduos Ltda, localizada na Rodovia AM 070 (Estrada Manoel Urbano), Km 39 (ME), por ser uma empresa que investe e acredita em desenvolvimento de produtos inovadores. A argila é a mesma utilizada pela empresa para desenvolver seus produtos, e que é extraída das jazidas dentro da própria Cerâmica Montemar, identificadas na figura 2 por meio dos pontos e suas coordenadas, Latitude 03° 08' 20,98" S, e Longitude 60° 23' 17,04" W – Iranduba/AM.



Fonte: Lima (2010).

2.5.2 Caulim

Caulim é um material formado pelos elementos caulinita e haloisita e fazem parte do grupo dos silicatos hidratados de alumínio. A principal característica desses elementos é proporcionar às peças fabricadas a cor branca após a queima. Essa característica se deve à ausência de óxido de ferro ou à sua baixa porcentagem (menos de 0,5%). Segundo Lima (2010) o processo do beneficiamento do caulim consiste na separação de suas impurezas, tais como mica, óxidos de ferro, feldspato, titânio, dentre outros que podem interferir na sua alvura, comprometendo sua qualidade.. O caulim contém outras substâncias sobre a forma de impurezas, desde traços até a faixa de 40 – 50% em volume, consistindo, de modo geral, de

areia, quartzo, palhetas de mica, grãos de feldspato, óxidos de ferro e titânio, etc., (ANDRADE et al., 2015).

As porcentagens de alumina do caulim são superiores a 30%, isso faz com que sua refratariedade aumente, quando submetido a temperaturas superiores a 1.250 °C. Apresenta granulometria mais grosseira que a das demais argilas (menor que 0,2 mm). Devido ao tamanho maior de sua partícula, apresenta plasticidade inferior, menor contração de secagem, menor resistência mecânica a seco e mais rápida decantação (ALMEIDA et al., 2011).

O caulim tem muitas aplicações industriais. É um mineral industrial de características especiais, porque é quimicamente inerte dentro de uma ampla faixa de pH; tem cor branca; apresenta ótimo poder de cobertura quando usado como pigmento ou como extensor em aplicações de cobertura e carga; é pouco abrasivo; possui baixas condutividades de calor e eletricidade; e seu custo é mais baixo que o da maioria dos materiais concorrentes (CASTRO, 2015).

2.6 MATÉRIAS-PRIMAS NÃO PLÁSTICAS

É na fase do processamento térmico que as matérias-primas não plásticas mais atuam, pois de acordo (MOTTA et al., 2008) é neste momento que desempenham o seu papel mais relevante, o de controlar as transformações físico-químicas, densificação e as possíveis deformações. Esses materiais são ainda qualificados de inertes e fundentes. As principais matérias-primas não plásticas utilizadas em revestimentos cerâmicos porosos são o quartzo e os carbonatos (cálcio e magnésio) (SOUZA, 2008).

2.6.1 Quartzo

O Quartzo é o mineral mais abundante na crosta terrestre, elemento fundamental das rochas ígneas, sedimentares e metamórficas. É encontrado em forma cristalina da sílica (SiO_2) sob as formas polimorfas, existindo ainda tridimita e cristobalita. Com a variação de temperatura, ocorrem as transformações de fase, recebendo cada uma a sua denominação específica (MME, 2009).

O quartzo apresenta-se de duas formas: quartzo- α , estável na temperatura ambiente, e quartzo- β , nas temperaturas acima de 573 °C. Transforma-se em tridimita a 870 °C, e à temperatura de 1470 °C, ocorre a transformação para cristobalita, até atingir o ponto de fusão a 1713 °C (SOUZA, 2011)

O quartzo geralmente já está presente na composição mineralógica de uma massa cerâmica composta por argilas, materiais fundentes, talcos e carbonatos ou ainda pode ser adicionado como material não plástico (ARAÚJO et al., 2012).

A função do quartzo quando se trabalha com cerâmica de revestimento é de fundamental importância. Esse mineral age como regulador da plasticidade da massa, facilita a etapa de secagem e a saída de gases durante a queima, além de garantir a estabilidade das peças durante o processo de queima, ajustando tanto a viscosidade da fase líquida formada durante a queima, quanto o coeficiente de expansão térmica (WOLFF, 2008).

É preciso evitar quantidades excessivas de quartzo, pois, se for usado um percentual acima de 20% em massa, podem ocorrer trincas no corpo cerâmico, especificamente na fase de resfriamento, devido a tensões produzidas pela transformação do quartzo- α em quartzo- β , que ocorre a uma temperatura de 573 °C (OLIVEIRA, 2000). A reatividade do quartzo livre com relação aos óxidos presentes na massa é considerada modesta, já que sua granulometria geralmente é grossa, e os ciclos de queima atuais são rápidos, por isso é de suma importância controlar a quantidade e a granulometria do quartzo, devido a seu alto ponto de fusão, e por sua granulometria ser geralmente grosseira. Em massas com óxido de cálcio (CaO), o quartzo finamente moído contribui para o aumento da resistência mecânica, pois durante a queima reage com o CaO, formando o silicato de cálcio (SOARES et al., 2010).

2.6.2 Carbonatos

A calcita (carbonato de cálcio – CaCO_3) e a dolomita (carbonato de cálcio e magnésio – $\text{MgCa}(\text{CO}_3)_2$) são os constituintes fundamentais de rochas sedimentares carbonatadas, encontrados em grande quantidade na crosta terrestre (BARBA et al., 2002). Elas são consideradas as principais matérias-primas carbonáceas (calcárias) utilizadas como fontes de elementos alcalinos terrosos (CaO e MgO) na indústria de revestimento cerâmico poroso (SOARES et al., 2010).

Em uma massa cerâmica, a utilização de calcita (calcário calcítico) e de argilas carbonáticas promove uma ação branquejante em uma massa cerâmica, além de regular a porosidade, promover ampla faixa de temperatura de queima, diminuir a expansão por umidade das peças, proveniente à formação de fases cristalinas na temperatura de queima geralmente utilizada com pouca formação de fase líquida, e aumentar o coeficiente de dilatação térmica (SOUZA, 2008).

A granulometria é um dos critérios a ser considerado quando se utilizam carbonatos em massa cerâmica. Esta, quanto mais fina melhor, pois favorece as reações de síntese com

fragmentos de materiais argilosos residuais, especialmente sílica amorfa, tornando-se possível a formação de novos compostos cristalinos a temperaturas superiores a 900 °C (BARBA et al., 2002).

Soares *et al.* (2010) sugerem utilizar uma quantidade de carbonato em torno de 10% a 19%, com o objetivo de evitar problemas de expansão por umidade devido a pouca proporção de fases cristalinas resistentes à ação da umidade ou a sensível diminuição da resistência mecânica decorrente do excesso de poros abertos na peça. O ciclo de queima em massas cerâmicas deve ser projetado de forma que ocorra a total decomposição e saída do CO₂, para, só assim, possibilitar a completa reatividade dos óxidos alcalinos terrosos com os demais componentes da massa cerâmica (SEGURA, 1995).

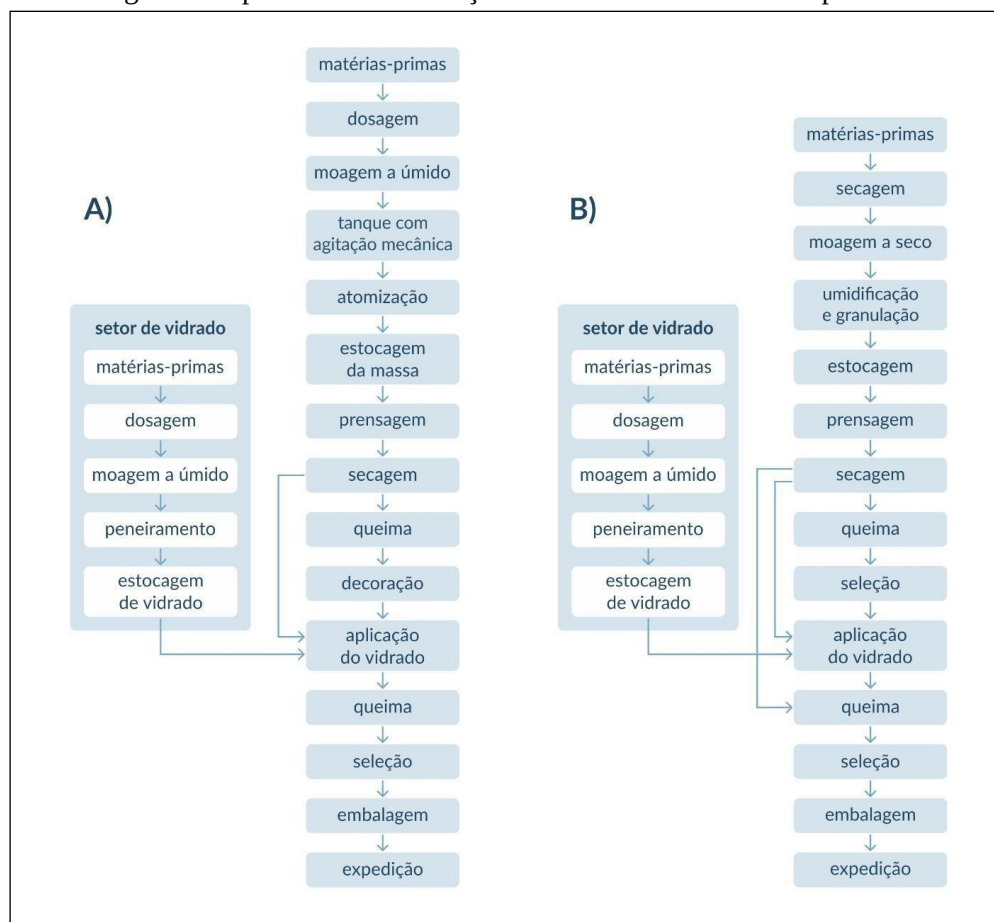
2.7 PROCESSOS DE FABRICAÇÃO DOS REVESTIMENTOS CERÂMICOS

A preparação das massas cerâmicas é considerada uma das etapas mais importantes do processo (SOUZA, 2008), levando-se em conta que, para a fabricação de revestimento cerâmicos (pisos e azulejos), há uma variedade de produtos e, conseqüentemente, possibilidades diferentes de combinações. Tais combinações implicam o tipo de massa, a forma de preparo, a conformação, o acabamento da superfície, o tipo de queima e, finalmente, as características técnicas do produto. Além disso, para o sucesso comercial, é importante destacar o design das peças e sua aplicação.

O processo de fabricação adotado pela indústria cerâmica deve ser de tal forma que possibilite oferecer produtos ao mercado com as características técnicas e estéticas adequadas com um preço atrativo, que seja rentável e satisfatório para o cliente durante o uso (SOARES et al., 2010).

Na figura 3a, demonstra-se o fluxograma de fabricação dos revestimentos cerâmicos com massa preparada por via seca. Na figura 3b, por sua vez, demonstra-se o fluxograma de fabricação por via úmida (atomizada).

Figura 3 – a) Fluxograma do processo de fabricação de revestimento cerâmico por via úmida; b) Fluxograma do processo de fabricação de revestimento cerâmico por via seca



Fonte: ABCERAM (2019).

2.8 PROCESSO DE MOAGEM

A moagem tem por objetivo a comunicação e a homogeneização das matérias-primas. O grau de moagem pode condicionar a reatividade entre os vários componentes durante a queima, influenciando significativamente a velocidade de decomposição dos carbonatos. Portanto, pode também favorecer a formação de novos compostos de modo mais ou menos intenso (LOLLI et al., 2000). Uma reatividade forte favorece a formação de cristais e contribui para melhorar as características mecânicas do material queimado (Sousa e Cardoso (2008).

O controle no processo de moagem torna-se muito importante. A moagem escassa pode provocar partículas grosseiras na massa e desencadear uma desestabilidade dimensional, proporcionando menor reatividade da massa, o que compromete moagem por via úmida.

De acordo com a Associação Nacional dos Fabricantes de Cerâmica para Revestimentos, Louças Sanitárias e Congêneres (ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE CERÂMICA PARA REVESTIMENTOS, LOUÇAS SANITÁRIAS E CONGÊNERES, 2016), atualmente, o processo de via úmida responde aproximadamente por

27% da produção nacional de revestimentos cerâmicos. É um processo em que as partículas são dispersas em um líquido por cisalhamento, impacto, esmagamento ou atrito.

Soares *et al.* (2010) afirmam que são produtos com excelentes propriedades tecnológicas. Uma das características dessas massas é que, depois de queimadas, apresentam coloração clara. Os produtos correspondem a um alto valor agregado depois de fabricados.

Em sua composição, são utilizados, além da argila, materiais fundentes, talcos e carbonatos. Estas matérias-primas contidas na composição das massas cerâmicas são homogeneizadas e armazenadas em silos e, a partir daí, são trituradas até um tamanho de 30 mm. O moinho é carregado com pequenas contas ou esferas e é ativado por uma haste que agita em alta velocidade, separando as partículas individuais. Quando o agitador gira, ele transmite energia cinética para as esferas. Quando o material é bombeado para o moinho, essa energia age nos sólidos suspensos em líquido (lama), separando-as ou esmagando-as, reduzindo assim seu tamanho. As partículas são simultaneamente dispersadas no líquido, ficando prontas para serem usadas ou podem ser desidratadas e separadas para o uso em outros produtos. O silicato de sódio é um dos defloculantes mais utilizados, em proporções que variam de 0,6% até 0,8% (em peso) (MASSAD, 2016).

Na moagem, o teor de material seco (resíduo) deve ser próximo de 5%, o (resíduo) retido em malha ABNT 250 (63 μ m), na composição da barbotina. A secagem da barbotina se dá em atomizadores (*spray-dryer*) e a umidade do pó atomizado situa-se entre 6% e 8% (ZAUBERAS; RIELLA, 2001). A suspensão aquosa das matérias-primas vai de encontro a uma corrente de ar quente a temperaturas entre 600 °C e 700 °C, ocorrendo rápida evaporação da água, originando grânulos esféricos e ocos.

A morfologia dos grânulos obtidos propicia uma boa fluidez da massa cerâmica durante o preenchimento da matriz de compactação. Além disso, os grânulos ocos deformam-se mais facilmente, aumentando o contato entre as partículas (RIBEIRO *et al.*, 2001). Isto favorece a reatividade entre os componentes da massa cerâmica. Dessa maneira, pode-se alcançar uma maior densificação e, com isso, promover um aumento da resistência mecânica das peças sinterizadas (SOUZA, 2008).

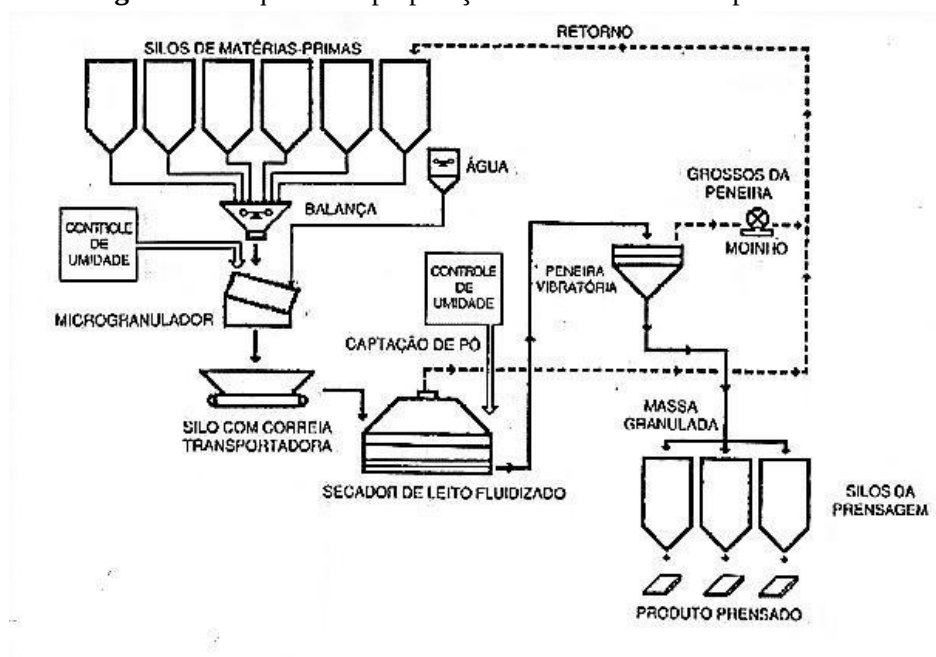
A moagem a seco foi o primeiro método utilizado por antepassados, e atualmente é responsável por 73,4% da produção nacional. É um método muito econômico quando comparado com o processo úmido (ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE CERÂMICA PARA REVESTIMENTOS, LOUÇAS SANITÁRIAS E CONGÊNERES, ANFACER, 2016). Normalmente, os equipamentos usados são: moinhos de pendulares, de martelo, de fricção ou até de bolas. Na maioria dos casos, as indústrias estão localizadas

próximas às jazidas, que contam com argilas mais ou menos carbonáticas com alto teor de ferro (GALDINO, 2010).

Neste processo, utilizam-se normalmente os moinhos pendulares, na qual se obtém uma mistura com elevada proporção de partículas finas ($80\% < 60\mu\text{m}$) e uma porcentagem de partículas grossas (superior a $200\mu\text{m}$) menores que 5%. Na figura 4, demonstra-se um esquema de preparação de massa cerâmica por via seca. A mistura é ligeiramente umedecida e granulada para conseguir uma distribuição de tamanhos adequada para ser prensada nas melhores condições possíveis. Depois de ajustar o conteúdo de água (de 6% a 8 %), os grânulos são armazenados em silos de repouso para serem homogeneizados. Antes da prensagem, é conveniente eliminar os aglomerados não grossos (SOUZA, 2008).

Considera-se que a escolha do processo de produção por meio do processo de moagem a seco se dá principalmente pelas questões econômico-financeiras e pela rapidez de sua execução, segundo o que é apresentado por Galdino (2010). Neste trabalho, utiliza-se também esse processo.

Figura 4 – Esquema de preparação de massa cerâmica por via seca



Fonte: Souza (2008).

2.9 PRENSAGEM

O processo de conformação mais utilizado, tanto pelo processo por via úmida quanto pelo processo por via seca, para revestimentos cerâmicos porosos é a prensagem. Considera-se a prensagem uma etapa importantíssima na fase do processo produtivo de revestimento

cerâmico, pois uma compactação mal feita pode proporcionar vários defeitos ao produto final, comprometendo sensivelmente sua qualidade (SOARES et al., 2010).

De acordo com Lota *et al.* (2017), a conformação das peças é feita por prensagem unidirecional a seco com massa de 6% a 8% de umidade. Geralmente, utilizam-se prensas hidráulicas para realizar esse procedimento. Além de elevar a massa específica verde (geralmente na ordem de 1,9 - 2,0 g.cm⁻³), o objetivo da prensagem é fornecer resistência mecânica suficiente (0,6 - 1,0 MPa) para que a peça (corpo de prova) suporte o transporte até o secador.

A prensagem é uma das técnicas mais utilizadas para o processamento das 28 cerâmicas, sendo utilizada para fabricação de cerâmicas argilosas e não argilosas; ela consiste na aplicação de pressão em um material pulverizado (ROCHA, 2011).

Segundo o que Sanchez e Monfort (2003) apresentam, à medida que se aumenta a pressão de compactação e a umidade, a resistência mecânica das peças em estado verde também aumenta. A prensagem consiste na conformação da massa granulada com baixo teor de umidade por meio de prensas. A etapa de conformação das placas, tanto a massa cerâmica moída, no caso por via seca, quanto o pó atomizado, no caso por via úmida, são carregados em caixas-moldes do tamanho de fabricação e, na sequência, são lançados em cavidades de prensas e submetidos a uma pressão específica, gerando a “bolacha” ou base da cerâmica. Nesta fase, a “bolacha” apresenta baixa resistência mecânica e alta umidade, por este fato, passa pelo processo de secagem (FRANCO, 2008).

Essa operação tem como objetivo obter peças uniformes de acordo com as dimensões e a geometria pré-estabelecidas, contribuir para a obtenção de uma microestrutura adequada às características finais desejadas, bem como fornecer resistência mecânica suficiente para manuseio e transporte das peças até o secador (LOTA et al., 2017).

A prensagem uniaxial baseia-se na compactação do pó em uma matriz metálica, de modo que é aplicada uma pressão em uma única direção. A peça então conformada assume as dimensões da configuração da matriz metálica. É um método de alta produção e considerado barato, porém fornece apenas geometrias relativamente simples (CALLISTER JR., 2002). O método de conformação utilizado no presente trabalho é o de conformação por prensagem uniaxial de ação simples. Essa técnica se baseia na compactação de uma massa aglomerada contida em uma cavidade rígida, mediante a aplicação de pressão em apenas uma direção axial por meio de uma ou várias punções rígidas, obtendo-se concomitantemente a conformação e a condensação do pó cerâmico.

2.10 PROCESSO DE SECAGEM

A secagem é a etapa seguinte à da conformação da peça cerâmica crua e é um processo relativamente simples. Segundo o que Soares *et al.* (2010) advertem, deve ser realizada com muito cuidado para evitar defeitos na peça compactada.

A secagem também é denominada como um processo térmico, que pode ser definido como a eliminação de grande parte da água contida no corpo conformado, através de sua evaporação progressiva. Nesta etapa, percebe-se que, à medida que a água é evaporada, ocorre a densificação da peça crua e, conseqüentemente, um aumento da resistência mecânica. Isto é atribuído ao empacotamento e à atração entre as partículas que promovem o aumento das forças de ligação entre elas (OLIVEIRA, 2000).

Esses valores deverão ser suficientemente altos no caso da monoqueima para suportar as solicitações mecânicas na fase de impressão serigráfica. Com os ciclos de secagem atualmente utilizados, para evitar problemas de trincas e pequenas fissuras localizadas, sobretudo nas bordas das peças, é conveniente manter as variações dimensionais referentes à retração na fase de secagem, com valores compreendidos entre 0% e 0,3%, no máximo, e os valores do módulo de ruptura à flexão deverão ser superiores a 2,5 MPa (Sousa e Cardoso (2008).

2.11 SINTERIZAÇÃO

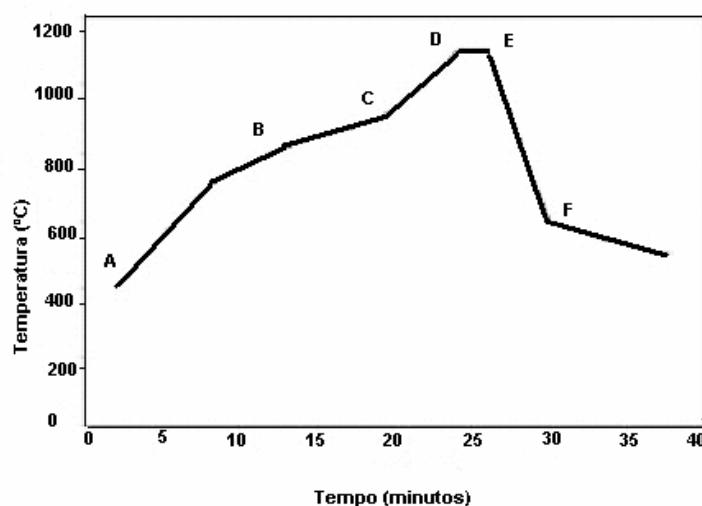
Após a secagem à esmaltação, inicia-se o processo de queima. Durante esse tratamento, ocorre uma série de transformações em função dos componentes da massa, tais como: perda de massa, desenvolvimento de novas fases cristalinas, formação de fase vítrea e a soldagem dos grãos. Desta forma, em função do tratamento térmico e das características das diferentes matérias-primas, são obtidos produtos para as mais diversas aplicações. É nessa etapa em que os formatos das peças que foram obtidos na etapa de conformação se consolidam.

No revestimento poroso, pode-se submeter a queima de duas maneiras, são elas, a biqueima ou monoqueima rápida. Na biqueima, o esmalte e o suporte são queimados em etapas distintas. No caso da monoqueima, a queima do suporte e do esmalte são feitas simultaneamente, buscando-se assim reduzir custos energéticos, ao mesmo tempo em que se otimizou o tempo do processo.

As temperaturas de queima dos revestimentos porosos normalmente variam de 1080 °C até 1150 °C, segundo o que é apresentado por Sanchez e Monfort (2003). Pode-se observar na figura 5, uma curva típica de monoqueima de revestimento poroso (monoporosa) (OLIVEIRA,

2000). Pode-se observar nela uma maior ligação entre a base (biscoito) e o esmalte, dando-lhe maior resistência. O processo de biqueima é dado somente ao esmalte, haja vista que a base já havia sido queimada anteriormente (FRANCO, 2008).

Figura 5 – Curva típica de monoqueima para revestimento poroso



Fonte: Franco (2008).

Observa-se na figura 5 que no início da queima, entre os trechos A-B, com a temperatura da curva até 800 °C, há apenas a eliminação da água residual presente nas peças. Já no intervalo da curva entre os trechos B-C, entre os 800 °C e 900 °C, desenvolve-se a decomposição dos carbonatos com a emissão de CO₂. É importante que neste intervalo térmico o esmalte mantenha certa porosidade para favorecer a expulsão dos gases (OLIVEIRA; LABRINCHA, 2002).

No intervalo C-D da curva entre 900 °C e 1100 °C, desenvolvem-se as reações de síntese entre os óxidos alcalinos terrosos (CaO, MgO) provenientes da decomposição dos carbonatos, com fases amorfas residuais. A formação desses novos compostos é de fundamental importância para o ajuste e a definição das características físico-mecânicas dos produtos (OLIVEIRA; HOTZA, 2015). Na zona de máxima temperatura, no trecho D-E, conclui-se o processo de sinterização do suporte. Ao mesmo tempo, o esmalte funde-se e estende-se completamente. O intervalo E-F corresponde à fase de resfriamento rápido do esmalte, que se estende até 600 °C.

Em seguida, o resfriamento prossegue lentamente para amenizar ou mesmo equilibrar as tensões atribuídas à transformação do quartzo livre, ainda presente no suporte queimado.

Quando a fabricação do revestimento poroso utiliza a moagem por via seca, a biqueima é recomendada para prevenir o aparecimento de defeitos causados pelo retardamento da

desgaseificação. Isto ocorre durante a queima devido a uma ineficiente moagem das matérias-primas que não eliminam partículas grossas de impurezas ($>125\mu\text{m}$). Tal problema pode ser solucionado com a utilização de moinhos pendulares e posterior granulação com a obtenção de grânulos esféricos com distribuição granulométrica que confere um bom preenchimento da cavidade da matriz e com elevado percentual de partículas primárias finas (BARBA et al., 2002).

Assim sendo, é possível elaborar uma composição de massa mais complexa por via seca e utilizar a técnica da monoqueima, que aplicada aos revestimentos porosos é denominada monoporosa. Se a moagem é feita por via úmida, utiliza-se preferencialmente a monoqueima, já que esse tipo de moagem minimiza os problemas de eliminação de impurezas e tamanho de partículas. A tendência atual é a utilização do processo de monoqueima em substituição à biqueima na fabricação de revestimento poroso. Isto é decorrente do menor custo energético e solução de problemas de interação do esmalte com o suporte e desgaseificação das massas cerâmicas.

2.12 FORMULAÇÃO DE MASSAS PARA REVESTIMENTOS POROSOS

Para elaboração das formulações de massas para revestimento poroso é importante utilizar uma variedade de matérias-primas que podem ser diferentes entre si. É fundamental, que na mistura se utilizem matérias-primas necessárias para que haja a formação de fases cristalinas, geralmente compostas de alumino-silicato de cálcio e/ou magnésio, que estejam presentes durante a queima. A formulação dessas fases, precedidas de intensa desgaseificação, caracteriza os produtos de revestimento poroso sinterizados em uma única queima (monoporosa) (BITTENCOURT; B. JÚNIOR; SILVESTRE, 2001).

É a partir da formulação que se estabelece a relação entre proporção e matérias-primas que irão compor o sistema desejado (corpo cerâmico) em função das fases finais pretendidas (SANCHEZ; MONFORT, 2003).

Segundo o que Sanchez e Monfort (2003) apresentam, após estabelecer as propriedades do produto a ser fabricado, as características do processo de fabricação e o processo empregado, analisam-se as matérias-primas à disposição, faz-se um estudo das características das massas e procede-se à formulação. No caso do revestimento poroso, com base em Souza (2008), consideram-se os seguintes critérios específicos:

- a) Moderada densidade aparente a seco: $> 1,95 \text{ g.cm}^{-3}$;
- b) Baixa expansão após a prensagem da massa e baixa retração após secagem:

- expansão após prensagem: < 0,6%.
- retração por secagem: < 0,2%;
- c) Elevada resistência mecânica a seco: > 3 MPa;
- d) Ausência de impurezas;
- e) Baixa retração linear por queima: < 1,5%;
- f) Baixa expansão por umidade: < 1,0%;
- g) Pouca formação de fase vítrea nas temperaturas de trabalho:
 - temperatura (°C): 1120 °C – 1150 °C.

Souza (2008), desenvolveu uma formulação de massa por meio de um método matemático e geométrico. Foram formuladas quatro massas cerâmicas denominadas M1, M2, M3 e M4 (tabela 3). Para esta formulação, foi fixado o teor de argila na faixa de 70% em massa, e a variação foi feita com o conteúdo de quartzo e calcário. Para o conteúdo de quartzo, utilizaram-se 18%, 15% e 12%, e para o conteúdo de calcário, 12%, 15% e 18%. Ainda foram adicionados 5% de talco em substituição do quartzo, na massa formulada, de modo que se permitiu avaliar o efeito da adição do talco no processo de densificação da massa.

Tabela 3 – Massas cerâmicas formuladas

Formulações (% em peso)			
Matérias-primas	M1	M2	M3
Argila	70	70	70
Calcário	12	15	18
Quartzo	18	15	12

Fonte: Sousa e Holanda (2006).

A composição de partida na formulação das massas para revestimentos porosos é um parâmetro muito importante. Introduzindo-se carbonato de cálcio (CaCO_3) ou de cálcio e magnésio ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) na composição de partida, consegue-se uma adequada porosidade do suporte queimado e reduz-se a retração das peças durante o processo de queima. Além disso, durante a queima, os óxidos de cálcio (CaO) e magnésio (MgO), procedentes da decomposição dos carbonatos, reagem com as fases amorfas resultantes da desidratação dos minerais argilosos, formando aluminossilicatos de cálcio e magnésio, que são estáveis frente à ação da umidade (CHIARI et al., 1996).

Normalmente, quanto maior o conteúdo de carbonato de cálcio da composição de partida, menor é a variação da retração linear e da absorção de água, com a temperatura no intervalo próximo à temperatura máxima de queima (ESCARDINO, 1993). O conteúdo de carbonatos recomendável na composição inicial varia de 10% a 16%. Caso se utilizem valores

inferiores, a proporção de fases cristalinas formadas durante a queima será muito baixa, isso fará com que a peça apresente uma retração superior à desejável. O produto irá apresentar também uma capacidade de hidratação muito maior do que o esperado, ocorrendo expansão por umidade. Se isso ocorrer, quanto maior a umidade da peça maior sua porosidade e, conseqüentemente, um aumento da porosidade irá prejudicar as propriedades mecânicas, deixando a peça frágil e quebradiça (MARINO; BOSCHI, 1998). Além do mais, a decomposição dos carbonatos durante a etapa de aquecimento seria incompleta devido ao fato de os ciclos de queima empregados atualmente serem muito rápidos.

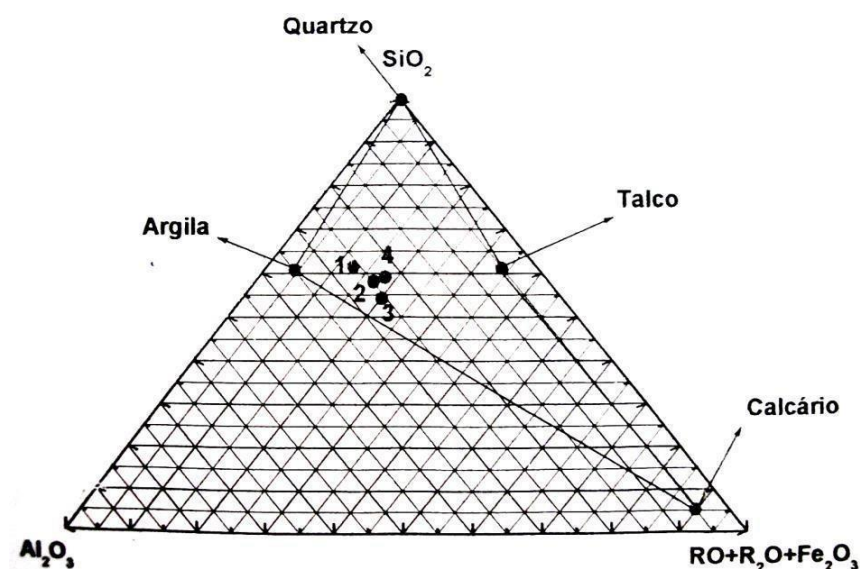
Para determinar a quantidade de matéria-prima utilizada em uma formulação de massa cerâmica, Souza (2006) valeu-se de resultados da composição química das matérias-primas, demonstradas na tabela 4 a seguir, e obteve os óxidos que influenciaram a formulação das massas cerâmicas. Os óxidos SiO_2 , Al_2O_3 na terceira extremidade do diagrama triaxial, os óxidos alcalinos e alcalinos terrosos $\text{RO}+\text{R}_2\text{O}$ e o Fe_2O_3 que nesse caso é um produto de base vermelha foram incluídos. Esses valores são mostrados na tabela 4, sendo que a localização das matérias-primas é mostrada no diagrama triaxial na figura 6, em que qualquer ponto dentro da área formada pelas matérias-primas representa uma possível formulação de massa para revestimento poroso.

Tabela 4 – Óxidos para o diagrama triaxial (SiO_2 – Al_2O_3 – $\text{RO} + \text{R}_2\text{O} + \text{Fe}_2\text{O}_3$)

Óxidos	Argila	Calcário	Quartzo	Talco
SiO_2	53,74	10,03	100,00	63,05
Al_2O_3	32,30	1,35	0,00	1,68
$\text{RO}+\text{R}_2\text{O}+\text{Fe}_2\text{O}_3$	13,96	13,96	0,00	35,27
Total	100,00	100,00	0,00	100,00

Fonte: Sousa (2003).

Figura 6 – Diagrama triaxial para as formulações



Fonte: Sousa (2003).

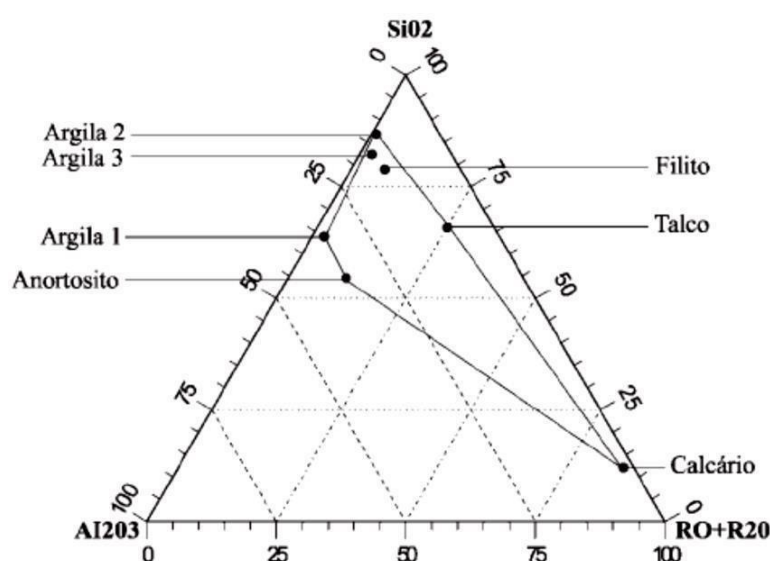
Em formulações de massas para revestimento poroso elaboradas por Bittencourt, B. Júnior e Silvestre (2001) também se utilizaram os resultados de sua composição química. No caso do produto monoporoso, entram a sílica, a alumina, os óxidos alcalinos e os alcalinos terrosos, como podem ser observados no diagrama triaxial (figura 6). Esses valores podem ser identificados na tabela 5, sendo que a localização das matérias-primas, no diagrama triaxial mostrado na figura 7, apresenta uma restrição pela área formada dentro do gráfico, possibilitando que qualquer ponto dentro dele possa ser uma formulação utilizando todas as matérias-primas.

Tabela 5 – Principais óxidos para o diagrama triaxial

Óxidos	Argila 1	Argila 2	Argila 3	Talco	Filito	Anort.	Calcário
SiO ₂	63,87	86,75	82,26	65,91	78,96	54,57	12,07
Al ₂ O ₃	33,87	12,36	15,47	9,04	14,65	34,27	1,95
RO+R ₂ O	2,27	0,89	2,27	25,05	6,40	11,16	85,99
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Fonte: Bittencourt, B. Júnior e Silvestre (2001).

Figura 7 – Diagrama triaxial das matérias-primas



Fonte: Bittencourt, B. Júnior e Silvestre (2001).

Ressalta-se que a programação linear (PL) é uma técnica que ajuda a otimizar os custos de determinado processo ou produto. Juntamente com o diagrama triaxial, a PL auxilia na visualização de uma formulação a partir dos óxidos presentes. O diagrama fornece a posição das matérias-primas, e a PL possibilita obter diversas soluções possíveis, a partir de restrições registradas no software, podendo identificar a formulação que mais se adapta ao processo, com

relação ao percentual de óxidos e ao da massa desejada, além de visualizar também a formulação de menor custo de produção (BITTENCOURT; B. JÚNIOR; SILVESTRE, 2001).

2.12.1 Caracterização de Massa para Revestimento Poroso

Conhecer as matérias-primas utilizadas e as peças cerâmicas produzidas torna-se um fator importante. Para tal, é realizada a caracterização do material cerâmico, a fim de saber se o material ou produto fabricado está dentro das especificações estabelecidas pelas normas de revestimento poroso.

Estudos foram feitos para analisar características do material para cerâmica porosa, a exemplo do que foi realizado por Sousa e Holanda (2006), que utilizaram uma formulação com três massas cerâmicas (tabela 6), com o objetivo de obter revestimento poroso de base vermelha, usando argila, calcário e quartzo.

Tabela 6 – Massas cerâmicas formuladas

Formulações (% em peso)			
Matérias-primas	M1	M2	M3
Argila	70	70	70
Calcário	12	15	18
Quartzo	18	15	12

Fonte: Sousa e Holanda (2006).

A referência a este estudo de Sousa e Holanda (2006) é importante para nortear e estabelecer os parâmetros do desenvolvimento deste trabalho. Utilizar resíduos pó de serragem de madeira tropical como substitutos parciais da argila na formulação de uma massa cerâmica, buscando-se um destino melhor para seu descarte, com temperaturas inferiores a 900 °C, a partir de um processo de monoqueima, com o objetivo de minimizar o custo energético na fabricação do revestimento cerâmico, é a premissa principal neste trabalho, no qual se observa a caracterização das massas cerâmicas queimadas nas temperaturas entre 750 °C e 850 °C e se avaliam corpos de prova queimados, levando-se em conta as seguintes propriedades: retração linear, resistência à flexão e absorção de água, de acordo com os parâmetros determinados na norma ABNT NBR 13818/1997.

2.13 ATIVIDADE MADEIREIRA NA AMAZÔNIA

A Amazônia brasileira é conhecida como uma das principais regiões produtoras de madeira tropical no mundo, atrás apenas da Malásia e Indonésia (IMAZON, 2010), Suas

principais atividades econômicas é a exploração e o processamento industrial da madeira ao lado da mineração e da agropecuária (VERÍSSIMO et al., 2006). O setor madeireiro é o principal responsável por impulsionar a economia de dezenas de municípios da Amazônia. No ano de 2004, este setor gerou cerca de 400 mil empregos, o equivalente a 5% da população economicamente ativa da região, e sua receita bruta foi de US\$ 2,3 bilhões (LENTINI et al., 2006). Com a construção de estradas estratégicas de acesso na Amazônia (BR-010 e BR-230), a exploração madeireira tornou-se uma atividade de grande importância econômica na região, a partir da década de 1970. Os fatores que contribuíram para o crescimento do setor madeireiro foram: a construção das estradas, que possibilitou o acesso a recursos florestais em florestas densas, ricas em madeiras de valor comercial; o baixo custo de aquisição dessa madeira, pois a extração era realizada sem restrição ambiental e fundiária; e o esgotamento dos estoques madeireiros no Sul do Brasil que, aliado ao crescimento econômico do País, criou uma grande demanda para a madeira amazônica (VERÍSSIMO et al., 1998).

2.14 ESPÉCIES TROPICAIS DE INTERESSE COMERCIAL

Cerca de 250 espécies são exploradas pela indústria florestal, a grande maioria possui pouca demanda na região amazônica, e somente cerca de 80 são comercializadas internamente. Destas, as mais exportadas são mogno, virola, sucupira, cedro, ipê, cerejeira, andiroba, louro, angelim e muiracatiara, em madeira serrada. O estado do Pará é o principal exportador de madeira dentro da Amazônia Legal; considerando-se todo o território brasileiro, ele é o terceiro, ficando atrás somente do Paraná e Santa Catarina (ABIMCI, 2016).

O cedro, marfim e a peroba são as espécies mais utilizadas como madeira serrada pelas marcenarias; o mogno, para laminados; a garapa, para dormentes; o ipê e o jatobá, para pisos e assoalhos; mogno, freijó, cerejeira, cedrorana e angelim-pedra, para portas, janelas e guarnições; curupixá, virola rosa, sumaúma e achichá, para compensados; e cedrinho, peroba, entre outras, para construção civil. (MARCHESAN, 2012).

Os principais produtos da indústria de madeira tropical dura do Brasil são madeiras serradas, incluindo-se madeira para construção, madeira certificada, assoalhos, painéis e madeira não classificados, laminados, compensados e móveis (REMADE, 2016). As atividades relacionadas à exploração de madeira na Amazônia brasileira resumem-se a corte seletivo e, em sua grande maioria, ainda possuem níveis tecnológicos obsoletos nos processos de desdobro de toras em serrarias e técnicas que negligenciam parte da dinâmica florestal durante e depois da exploração (GARGIA et al., 2012).

De acordo com Higuchi e Clement (2006), os processos de desdobro realizados na maioria das serrarias na Amazônia apresentam baixos rendimentos, em torno de 30%, devido à

falta de tecnologia utilizada no processo produtivo. Cerca de 80% do volume de madeira tropical serrada não atinge esses 30% de rendimento, aumentando assim o preço final do produto e o volume de resíduos gerados em forma de pó de serra e costaneiras (BIASI 2005)

É imprescindível que os empresários do setor florestal conheçam os rendimentos de determinada espécie para que melhorem o planejamento, a otimização e o controle da produção. Com o objetivo de garantir a sustentabilidade da indústria madeireira amazônica, será necessário incentivar o desenvolvimento de pesquisas que gerem dados que servirão de base para determinar técnicas que visem à maximização do rendimento de madeira serrada de espécies amazônicas.

2.15 RESÍDUOS GERADOS

O Brasil, com mais de 200 milhões de habitantes, é um dos países que mais geram resíduos sólidos, cuja destinação final deveria receber tratamento com soluções economicamente viáveis de acordo com a legislação e as tecnologias atualmente disponíveis, mas, infelizmente, a maior parte desses resíduos continuam sendo lançados na rede pública de esgotos, despejados a céu aberto ou queimados. Dentre esses resíduos, dar-se-á ênfase a alguns mais complexos, como os de construção civil e resíduos industriais. A população responsável pela geração desse tipo de resíduo em sua maioria se encontra nas cidades brasileiras. Se forem consideradas as práticas de descarte estabelecidas, aliadas ao ainda alto custo de armazenagem, percebe-se que esses volumes de resíduos sólidos urbanos (RSU) só crescem, gerando, conseqüentemente, sérios problemas ambientais e de saúde pública, a partir da contaminação de solos, cursos d'água e lençóis freáticos. Com a política nacional de resíduos sólidos (Lei nº 12.305/2010), as empresas geradoras de resíduos ficaram responsáveis por seu plano de gerenciamento.

De acordo com Remade (2016), um dos grandes problemas existentes nas serrarias brasileiras é o volume de resíduos gerados pelas indústrias de transformação da madeira. Por mais que muitas dessas empresas incluam em seu planejamento o gerenciamento ambiental, visando ao aproveitamento de todos esses resíduos, a grande maioria das serrarias ainda estão despreparadas para o descarte adequado de seus rejeitos. Fatores como falta de qualidade de matéria-prima, uso de técnicas inapropriadas devido à falta de tecnologia, decisões erradas dos operadores de serra, entre outros, são responsáveis pela geração desses resíduos.

A geração de resíduos tem sido significativa no setor florestal, sendo aproximadamente 48 toneladas de resíduos para cada 100 toneladas de celulose produzida (REMADE, 2016). O aterro sanitário como opção para disposição final desses resíduos é inviável, em função dos

altos custos para sua implantação e manutenção, além da exigência de cuidados especiais no manuseio, tendo em vista os riscos de contaminação ambiental (FERREIRA, 2019).

Segundo o que foi divulgado pela Indústria Brasileira de Árvores (IBÁ), em 2015, o setor gerou 13,8 milhões de toneladas de resíduos sólidos.

2.15.1 Resíduos de Madeira

Muito se tem falado sobre os resíduos gerados pela indústria madeireira e de movelaria e o que fazer com o seu descarte em todo o país. Por se tratar de resíduos naturais, lignocelulósicos, biodegradáveis, não deveriam causar problemas à saúde pública. Porém, devido ao grande volume destes, muitas vezes acondicionados de forma inadequada em determinado local, e à demora para a sua total degradação, estes podem causar sérios problemas socioambientais.

Um dos grandes problemas socioambientais é quando resíduos madeireiros, conforme sinalizado, são gerados em grande quantidade e são armazenados de maneira incorreta, causando contaminação ambiental do ar, dos cursos d'água e do solo (RAMOS et al., 2017). Cita-se também o desperdício de matéria-prima e energia, além de riscos à saúde pública e do trabalhador (RIUL; RIBEIRO, 2012). Por isso, é importante considerar a sua reutilização ou reciclagem como ações gerenciais que devem ser conduzidas por todas as empresas que geram esse tipo de resíduo (LEEUEWESTEIN; MONTEIRO, 2000), o que nem sempre ocorre, muitas vezes, por falta de conhecimento dos gestores e trabalhadores ou em decorrência da deficiente fiscalização do poder público.

Pode-se citar ainda o desmatamento sem controle e a liberação de gases e solventes no ambiente como algumas das consequências da má utilização e tratamento inadequado dos resíduos desse setor. A reutilização desses materiais para a fabricação de briquetes é uma alternativa que podem minimizar os impactos ambientais e garantir a não contaminação do solo e de fontes de água potável.

Os resíduos da indústria madeireira podem ser considerados sólidos e inertes segundo a ABNT -1269/79, de acordo com a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), por meio da Lei nº 12.305/2010, eles são definidos como: material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade para cuja destinação final se procede, se propõe a proceder ou se está obrigado a proceder de forma racional, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável seu lançamento na rede pública de esgoto ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnicas ou economicamente inviáveis diante da melhor tecnologia disponível. A partir dessa legislação, todo resíduo deve ser tratado e acondicionado conforme sua necessidade e de forma

a impactar o mínimo possível o ambiente circundante, que inclui também a comunidade ou a sociedade.

Várias pesquisas culminam na busca de soluções viáveis, seja para minimizar os impactos ambientais ou buscar soluções de reaproveitamento ou reciclagem desse material. Sabe-se que no Brasil, atualmente, tem-se um número bastante expressivo de resíduos madeireiros gerados, sendo que apenas uma pequena parcela destes gera algum aproveitamento econômico, ambiental e social. A produção excessiva desse tipo de material (resíduos madeireiros), além dos danos ambientais já citados, pode ser reaproveitada também por meio de políticas públicas que incentivem seu reaproveitamento, visando ainda à geração de renda, iniciativas pública e privada, além da redução de problemas ambientais para a sociedade como um todo.

Hoje, na região Amazônica, boa parte dos resíduos madeireiros gerados são queimados a céu aberto. Essa é uma das formas de diminuir a quantidade de resíduos de madeira, entretanto, essa prática contribui para a geração de CO₂, influenciando drasticamente a mudança climática do planeta, além de problemas de saúde pública, como os respiratórios, tanto nos trabalhadores como na comunidade no entorno dos focos de queima (TUOTO, 2009).

Faz-se necessário gerenciar os descartes dos resíduos madeireiros de forma correta. Essa ação pode trazer benefícios econômicos e ambientais para toda a sociedade. Pode-se relatar algumas formas ou metodologias de reciclagem já descritas na literatura. As principais alternativas para a reciclagem ou a reutilização dos resíduos de madeira recomendadas são: compostagem, geração de energia, produção de painéis, fabricação de pequenos artefatos de madeira e utilização como condicionantes do solo (GOMES; SAMPAIO, 2004). Os principais resíduos gerados pela indústria moveleira são pedaços de madeira pó de serra (figura 8) solventes e água da cabine de pintura. Esses resíduos, quando não tratados corretamente, podem causar sérios danos ao ambiente e à saúde pública.

Figura 8 – Diferentes tipos de resíduos encontrados na Mil Madeiras Preciosas Ltda, Itacoatiara/AM



a) Po de serragem



b) Costaneras



c) Po de serragem



d) Costaneiras



e) Cavacos



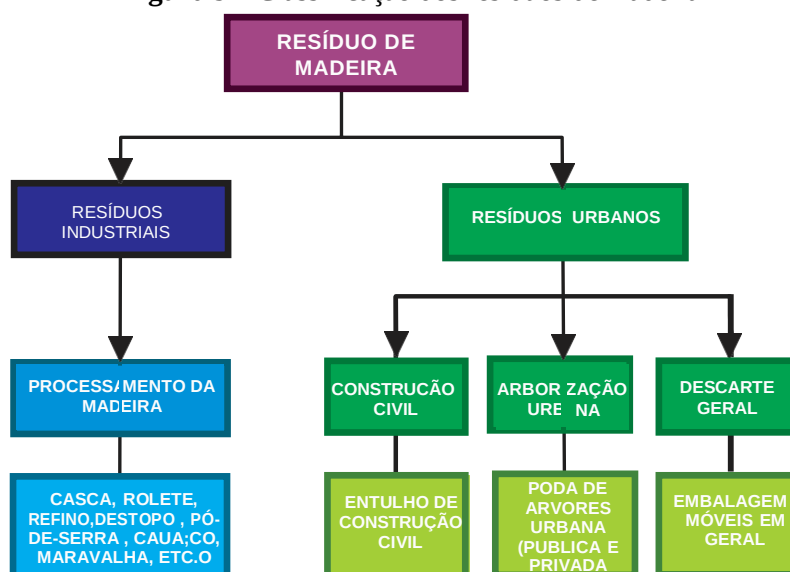
f) Po de serragem

Fonte: Arquivos fotográficos da pesquisadora (2019).

Segundo o que Cerqueira *et al.* (2012) apresentam, a geração de resíduos é consequência direta do processamento primário ou secundário da madeira sólida, independentemente do tipo de indústria madeireira. A extração e a industrialização da madeira geram uma quantidade considerável de resíduos, os quais acabam destinados para a produção de energia, por meio de queima, para uso doméstico e produção de carvão. O aproveitamento eficiente desses resíduos tem impactos em toda a cadeia produtiva, com benefício desde as indústrias de processamento primário à indústria de móveis (MARTINS, 2008).

Os resíduos de madeiras classificam-se em industriais e urbanos (figura 9). Entende-se como resíduos industriais aqueles originados do processamento da madeira, durante o seu beneficiamento e produção de novos produtos, e os resíduos urbanos são os originados da construção civil, da arborização urbana e do descarte em geral. Ressalta-se que estes últimos possui uma classificação mais heterogênea e de difícil especificação, não havendo um controle da sua coleta e produção, muitas vezes se juntando ao lixo urbano.

Figura 9 – Classificação dos resíduos de madeira



Fonte: Ministério de Minas de Energia; Brasil (2009).

2.16 CLASSIFICAÇÃO QUANTO AOS TIPOS DE RESÍDUOS DE MADEIRA

2.16.1 Classificação dos resíduos

A NBR10004 (ABNT,2004) classifica os resíduos de madeira como resíduos sólidos não perigosos, uma vez que não apresentam periculosidade, salvo os resíduos de madeira tratada quimicamente.

Os resíduos industriais têm sua origem no processamento e industrialização do produto de madeira; já os resíduos urbanos se originam das construções de obras civis, podas de arborização pública ou privada e comercialização de produtos em geral, tais como resíduos de embalagens e descarte. Hillig *et al.* (2006) caracterizam os resíduos florestais como sendo os que sobram da colheita florestal e da produção madeireira (desdobro e beneficiamento), e, quanto à sua classificação e características morfológicas, segundo o que Fontes (1994 apud CERQUEIRA et al., 2012) e Dutra, Nascimento e Numazawa (2005) apresentam, os resíduos podem ser de quatro tipos distintos, quais sejam:

- a) maravalhas ou cepilhos – resíduo gerado pelas plainas nas instalações de serraria/beneficiamento e beneficiadora (indústrias que adquirem a madeira já transformada e a processam em componentes para móveis, esquadrias, pisos, forros, etc.); resíduo com menos de 2,5 mm;
- b) serragem – resíduo proveniente da ação mecânica de serras e máquinas usadas no desdobro da madeira, encontrado em todos os tipos de indústria
- c) lenha – resíduo de maiores dimensões, gerado em todos os tipos de indústria, compostos por costaneiras, aparas e resíduo de topo de tora;
- d) cavacos – partículas com dimensões máximas de 50 × 20 mm, em geral provenientes do uso de picadores.

Diante dessa análise, percebe-se que os resíduos de madeira, além de serem destinados para fins energéticos na fabricação de briquetes para queima ou como matéria-prima, também se adequam ao processamento e fabricação de novos produtos de maior valor agregado (PMVA).

Alternativas tecnológicas direcionam esta pesquisa para a utilização de resíduos da madeira, oriundos de processamento mecânico, buscando-se a reutilização, reciclagem e processamento de produtos de maior valor agregado, como uma estratégia para o desenvolvimento de um produto inovador.

Outro aspecto relevante desta pesquisa é considerar as mudanças estabelecidas recentemente por meio da Resolução nº 474/2016, do CONAMA, a qual:

Altera a Resolução nº 411, de 6 de maio de 2009, que dispõe sobre procedimentos para inspeção de indústrias consumidoras ou transformadoras de produtos e subprodutos florestais madeireiros de origem nativa, bem como os respectivos padrões de nomenclatura e coeficientes de rendimento volumétricos, inclusive carvão vegetal e resíduos de serraria, e dá outras providências.

2.16.2 Aproveitamento de Resíduos

O baixo grau de rendimento da matéria-prima nas indústrias madeireiras tem gerado um grande volume de resíduos não aproveitáveis; conseqüentemente, ocorre uma maior pressão e demanda de recursos da floresta. O rendimento em madeira serrada (ou porcentagem de aproveitamento) é a relação entre o volume de madeira serrada produzido e o volume da tora antes do desdobro, expresso em porcentagem. Para Rocha (2002), o rendimento no desdobro varia de 45% a 55% para folhosas, o restante é considerado como rejeitos, levando-se em conta que não somente a espécie afeta o rendimento, mas que este será maior ou menor em função da qualidade dos equipamentos, técnicas de desdobro e da qualificação profissional dos operários.

O CONAMA, por meio da resolução nº 484/2018, alterou a resolução nº 474/2016, em que fixou provisoriamente em até 45% o percentual de aproveitamento de toras nas serrarias, ou seja, permitindo a geração de 55% de resíduos de madeiras certificadas. Vale ressaltar que essa Resolução não mostra a realidade da maioria das indústrias madeireiras da Amazônia, fazendo-se necessário observar que essa medida ainda permite a geração de 55% de resíduos que, na maioria das vezes, são utilizados principalmente para obtenção de energia, de modo que 55% de 25 madeiras licenciadas e certificadas são queimadas. Neste caso, faz-se necessário desenvolver políticas públicas, buscando-se minimizar o desperdício por meio do incentivo da inovação tecnológica no setor madeireiro, desenvolvendo-se o trabalho legal, equilibrado e com competitividade.

2.16.3 Reciclagem e/ou Reutilização de Resíduos de Madeira

Mesmo com algumas empresas incluindo em sua atividade o gerenciamento ambiental e o aproveitamento integrado de seus subprodutos, o grande volume de resíduos gerados pelas indústrias de transformação da madeira é um problema existente em praticamente todas as serrarias brasileiras. Segundo o que foi divulgado pela Revista da Madeira (REMADE, 2005),

a maioria das serrarias instaladas ainda está despreparada para o descarte e aproveitamento apropriado de seus rejeitos.

Alguns métodos já são utilizados para reciclar e reutilizar resíduos de madeira, são eles: compostagem; geração de energia; produção de painéis; fabricação de pequenos artefatos de madeira (MONTEIRO et al., 2010).

2.16.4 Madeira Serrada

O contexto de produção de madeira serrada no Brasil (prancha, vigas, vigotas, caibros, tábuas, sarrafos etc.) dispõe de aproximadamente 10.000 empresas, serrarias, indústrias de móveis e outras, com predomínio daquelas de pequeno porte, onde 74,6% têm capacidade instalada inferior a 10.000 m³/ano e 24,7%, entre 10.000 e 30.000 m³/ano (MARTINS, 2008).

É nas regiões Centro-Oeste e Norte do país em que aproximadamente 60% das serrarias existentes no Brasil se concentram. Nessas regiões, predominam unidades produtoras de serrados de folhosas (nativas), enquanto nas regiões Sul e Sudeste, a maioria das indústrias processa a madeira de *Pinus* (MARTINS, 2008).

Nas duas últimas décadas, o mercado de madeira tropical amazônica sofreu uma retração significativa. A Amazônia brasileira, em 1998, gerou 10,8 milhões de metros cúbicos de produtos de madeira nativa e, após 20 anos, produziu apenas 57% desse volume, o equivalente a 6,2 milhões de m³. Apesar dessa redução, houve um aumento significativo (de 1,5 milhão de m³ em 1998 para 2,2 milhões de m³ em 2018) do consumo de madeira tropical dentro da própria Amazônia. Esse aumento se deve ao crescimento da classe média regional e a uma maior demanda por parte do setor da construção civil. Um dos fatores que justifica a queda da produção madeireira na Amazônia ao longo dos últimos 20 anos foi a diminuição do interesse das regiões Sul e Sudeste, considerados um dos principais mercados internos, em consumir essa matéria-prima, especialmente, no setor da construção civil, já que, ao longo desses 20 anos, esses produtos foram sendo substituídos por outros, como plásticos, aço e alumínio. Mesmo assim, o estado de São Paulo continua sendo o maior comprador de madeira amazônica, tendo consumido 20% da produção só em 2018. Entretanto, concessões florestais oferecem oportunidades para uma maior agregação de valor aos produtos madeireiros da Amazônia.

Alguns estudos comprovam que, em relação ao volume de resíduos gerados, esse comércio de produtos de origem florestal tem-se comportado de forma bastante positiva ao longo da última década. Os produtos madeireiros respondem por 90% do valor da produção florestal do país e, de acordo com o IBGE (2018), tiveram aumento de 3,6% em 2017. Segundo

o que é apresentado pelo IBGE (2018), isso se deve ao maior controle na exploração das espécies nativas e ao incentivo à preservação das florestas. Deste modo, serão estudadas possibilidades para verificar o potencial de aproveitamento de resíduos de madeira como agregados para fabricação de placas cerâmicas de revestimento, podendo esta ser uma alternativa não convencional de material de construção, a partir de parâmetros industriais de materiais cerâmicos já comercializados.

2.17 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO - MIL MADEIRAS PRECIOSAS LTDA (*PRECIOUS WOODS AMAZON* - PWA)

A pesquisa foi realizada no pátio de preparação das toras da empresa Mil Madeiras Preciosas Ltda – *Precious Woods Amazon* (PWA) (figura 10), localizada na zona rural do município de Itacoatiara, na Rodovia AM 363/km 1,5 (Situa-se na Região Metropolitana de Manaus). Localiza-se a uma Latitude 03°08'01.65" Sul e a uma Longitude 58°26'19.04" Oeste. A cidade de Manaus – Latitude 3°6'26" Sul e Longitude 60°1'34" Oeste – por ser uma das cidades que apresenta maior crescimento demográfico e econômico da Amazônia legal, é a que mais consome os produtos produzidos e projeta um futuro promissor para o setor se houver melhoria na qualidade e variedade de seus produtos.

Figura 10 – Pátio de preparação das toras a serem enviadas para o processamento mecânico



Fonte: Arquivos fotográficos da pesquisadora (2019).

As áreas da empresa que integram o projeto da PWA somam atualmente 506.736,60 hectares no estado do Amazonas, incluindo as fazendas que concentram suas atividades.

A empresa busca aliar tecnologia ao desenvolvimento sustentável, explorando a madeira por meio de Planos de Manejo e processando-a na própria indústria, sendo comercializada no Brasil e no exterior nas formas serrada, semi-acabada ou mesmo transformada em produto acabado (CABETE; CABETE; DACOL, 2009).

As atividades da Mil Madeiras vão desde a exploração de madeiras tropicais por meio de manejo florestal até o processamento da madeira na serraria de sua própria indústria, onde aproximadamente 70% da produção é destinada ao mercado internacional, e a área referente ao plano de manejo certificado é de 122.729 hectares. São efetivamente explorados apenas 67.000 hectares, e o restante, preservado, são áreas protegidas por lei, por serem próximas a rios e igarapés e áreas com declividade acima de 45°, que também têm a função de manter a qualidade da água e servir de refúgio para a fauna (CABETE; CABETE; DACOL, 2009).

Desde 1997, toda a produção da Mil Madeiras Preciosas Ltda é certificada de acordo com os padrões do *Forest Stewardship Council* (FSC) e também com os padrões do Programa de Certificação de Certificação Florestal (PEFC).

Dentre os produtos desenvolvidos, têm-se: madeira serrada seca em estufa, madeira serrada plainada e pré-processada, toras para poste pré-cortadas, peças e componentes para indústria de móveis, assoalhos etc. (figura 11).

Figura 11 – Produtos desenvolvidos pela Mil Madeiras Preciosas Ltda para comercialização



Fonte: Arquivos fotográficos da pesquisadora (2019).

Os resíduos madeireiros gerados na preparação das toras no pátio e no processamento mecânico na serraria são utilizados como combustível para mover as turbinas a vapor da usina termoeletrica BK energia, gerando eletricidade para 50% da população do município de Itacoatiara – AM.

Os resíduos da empresa são utilizados como combustível para geração de energia elétrica pela *Precious Woods Energia*, empresa do mesmo grupo, que é responsável por seu

próprio abastecimento e ainda por 70% da energia gerada para a população do município de Itacoatiara, que é de 86.839 mil habitantes, de acordo com o IBGE (2020).

A quantidade de madeira colhida obedece a critérios e limites que não prejudiquem a preservação das espécies. A empresa busca encontrar valor na maior quantidade de espécies possíveis, a fim de diminuir a pressão sobre as espécies mais conhecidas. Atualmente, já são 83 espécies inventariadas contra apenas 16 conhecidas no início das atividades, e 62 dessas espécies já possuem mercado garantido, expandindo o potencial econômico da região (CABETE; CABETE; DACOL, 2009).

De acordo com Martins (2008), na Amazônia, a primeira área certificada foi a da Mil Madeireira Preciosa. Após o período inicial de certificação, as empresas optaram pelo processo de renovação, comprovando-se assim que investir em certificação é realmente uma ação boa e lucrativa.

2.18 IDENTIFICAÇÃO E QUALIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS ESTUDADOS

A Amazônia possui um vasto estoque de madeira comercial e representa cerca de 30% de todas as florestas tropicais remanescentes do mundo. Porém, segundo o que Fernandes, Valle e Calderon (2018) apresentam, o desconhecimento das características tecnológicas de diversas espécies tropicais é um obstáculo para sua melhor utilização, além de gerar uma exploração desordenada de algumas espécies e um desinteresse por outras.

O material analisado foi proveniente de resíduos madeireiros de duas espécies que no momento da coleta eram as mais comercializadas na indústria Mil Madeiras Preciosas Ltda, localizada no município de Itacoatiara – AM. A *Pithecelobium racemosum* Ducke, popularmente conhecida como Angelim rajado, e a *Andira parviflora* Ducke, popularmente conhecida como Sucupira vermelha, são espécies comercializadas no setor madeireiro na Amazônia.

A identificação científica das espécies foi realizada por meio de pesquisas bibliográficas, a exemplo de artigos científicos, inclusive na internet, além de publicações encontradas no acervo do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA). Observou-se que essas espécies possuem propriedades físicas, químicas e características semelhantes, como a maioria das outras espécies comercializadas na Mil Madeira Preciosas, proporcionando assim uma amostragem significativa para uso dos resíduos gerados na produção e beneficiamento dessa matéria-prima.

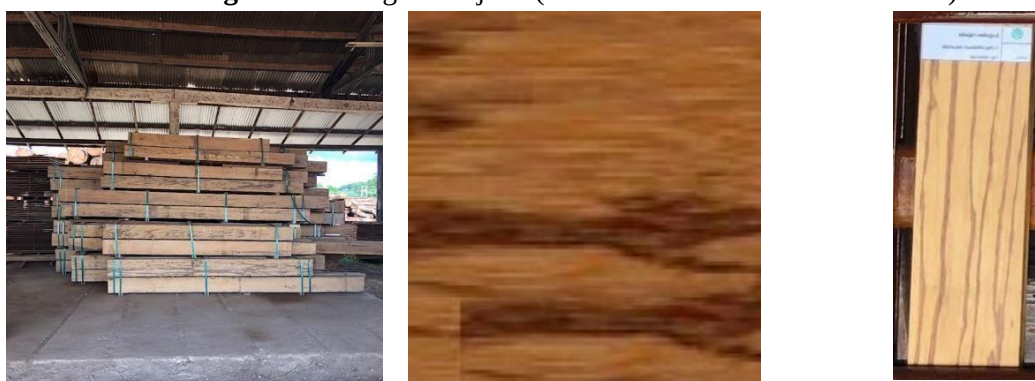
2.18.1 *Pithecellobium Racemosum* Ducke (Angelim Rajado)

A *Pithecellobium racemosum* Ducke (Angelim rajado) é uma espécie pertence à família Mimosaceae, também conhecida vulgarmente como Angelim-bordado, Angelim-pintado, Angico rajado, Corticeira-do-campo, Ingá, Ingá-caetetu, Ipê-tigre, Sobreiro, Sucupira, Urubuzeiro etc.

Quanto às características anatômicas, destaca-se a parênquima axial paratraqueal, predominantemente vasicêntrica, aliforme, com confluências curtas e oblíquas, ocasionalmente em finas linhas terminais; parênquima radial em disposição irregular; poros pequenos a médios, predominantemente solitários, múltiplos de 2-3, obstruídos por resina da cor do lenho. Seu uso é indicado para fabricação de objetos de adorno, tacos de assoalhos, construção civil, laminados, faqueados, marcenaria de luxo, carpintaria, cabo de talheres, bengalas, dormentes etc. (INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS DA AMAZÔNIA, 1991).

A árvore possui altura comercial de 9 m, diâmetro (DAP) de 49 cm e tronco retilíneo/tortuoso. Quanto às suas características, possui cerne/alburno distinto, com espessura do alburno de 2,0 a 11,5 cm; cor do cerne amarelado, com faixas marrons a marrom-escuras; cor do alburno amarelo, com camadas de crescimento, pouco distintas; grã: direita; textura: média; figura tangencial: em faixas escuras, devido à diferença de cor e de aspecto fibroso acentuado, causado pelo destaque entre o parênquima axial, as linhas vasculares e as fibras; figura radial: em faixas escuras, devido à diferença de cor e de aspecto fibroso atenuado, causado pelo destaque entre o parênquima axial, as linhas vasculares e as fibras; brilho: ausente; cheiro: imperceptível; resistência ao corte transversal manual: dura. Ademais, possui uma rápida secagem em estufa e apresenta uma pequena tendência ao encanoamento médio e às rachaduras de topo e torcimento forte; e, em programa de secagem, é considerada moderada.

Figura 12 – Angelim rajado (*Pithecellobium racemosum* Ducke)



Fonte: Arquivos fotográficos da pesquisadora (2019).

Essa espécie possui alto potencial econômico, podendo ter uso medicinal, madeireiro, aplicações ambientais e em arborização. É também indicada em programas de recuperação de áreas degradadas, de reflorestamento em áreas de preservação permanente pelo fato de ser classificada como pioneira e secundária tardia e por apresentar tolerância a solos secos, inférteis e arenosos (SOUSA, 2003).

2.18.2 *Andira parviflora* Ducke (Sucupira Vermelha)

A *Andira parviflora* Ducke, conhecida como Sucupira vermelha, é uma espécie nativa da Amazônia brasileira, pertencente à família Fabaceae e apresenta ocorrência nas matas de terra firme, na região Amazônica.

A Sucupira vermelha é uma espécie de grande porte e atinge facilmente os 25 m de altura e diâmetro de 60 cm, casca de espessura média e coloração castanho avermelhado. As folhas são compostas com pecíolo e pelos avermelhados, possui de 5-9 folíolos igualmente pilosos, espessos de 30-90 mm de comprimento por 15-35 mm de largura, com formato obovado-oblongos de base estreitamento de base estreita e arredondada ou obtusa e ápice obtuso, agudo ou curto-acuminado e margem revoluta, face superior lustrosa com as nervuras imersas e face inferior proeminente recoberta por pelos avermelhados. A inflorescência é em panículas densifloras e comumente terminais, possui densamento recoberto por pilosidade avermelhada curta de até 10 cm de comprimento.

As flores são sésseis com cheiro desagradável, pétalas de 5-6 mm de comprimento, glabras brancas, vexilo linear, violáceo. O fruto é do tipo drupa ovóide de 40-45 mm de comprimento por 35-45 mm de largura, glabra um pouco oblíqua e comprimida e a casca castanha avermelhada, com placas soltas (REMADE).

Figura 13 – Sucupira vermelha (*Andira parviflora* Ducke)



Fonte: Arquivos fotográficos da pesquisadora (2019).

Quanto às suas características, possui peso específico básico, entre 0,80 a 0,90 (g/cm³), considerada pesada. A cor do alburno é bege e a cor do cerne, avermelhada. De aspecto fibroso, possui grã direita e textura grossa. Quanto à sua durabilidade, é altamente resistente à ação dos fungos e moderadamente resistente ao ataque de cupins.

Quanto à sua trabalhabilidade, moderadamente fácil de serrar, fácil de aplainar, pregar e aparafusar; recebe bom acabamento; poros: visíveis a olho nu, médios a grandes, poucos, solitários, múltiplos e formando longas cadeias radiais, obstruídos por resina; possui linhas vasculares bem demarcadas, retas e altas, contendo resina; figura radial: fina e numerosa; e figura tangencial: baixa e disposta irregularmente e, em alguns trechos, tendendo à estratificação; parênquima axial visível a olho nu; aliforme de aletas longas, formando arranjos oblíquos, ligando os poros; e, por fim, camadas de crescimento: distintas por zonas de tecido fibroso.

2.18.3 Propriedades Tecnológicas

A madeira folhosa apresenta o tecido básico de sustentação mecânica constituído por fibras libriformes e fibro-traqueóides. Dentro desse tecido de sustentação, estão distribuídos vasos (poros) de condução, frequentemente com grandes lumes. Esses vasos são tubos, variando de poucos centímetros até alguns metros de comprimento e consistem em elementos simples com extremidades abertas ou perfuradas. A madeira folhosa possui um sistema biológico complexo e muito variável, fazendo com que suas propriedades químicas, anatômicas, físicas e mecânicas variem entre espécies, entre indivíduos de uma mesma espécie e entre diferentes partes de um mesmo indivíduo (OLIVEIRA; SILVA, 2003).

Diversos trabalhos vêm sendo desenvolvidos com o intuito de detectar os fatores que afetam essas propriedades, que podem ser inerentes à própria madeira ou de sítio, fertilidade, microfauna, clima e ambiente. As propriedades mecânicas da madeira são dependentes e estão ligadas a influências internas, como a densidade básica, grã irregular da madeira, teor de umidade, estrutura anatômica, ataque de xilófagos, anéis de crescimento, lenho juvenil, presença de nós, teor de extrativos, crescimento excêntrico do indivíduo e influências externas, como umidade e temperatura, entre outros (MORESCHI, 2012). A densidade básica é um indicador da qualidade da madeira e de suas propriedades, tornando-se um dos principais parâmetros utilizados devido à sua ligação com outros atributos da madeira e à facilidade de mensuração (TRAUTENMÜLLER et al., 2016).

Na tabela 7, demonstram-se as propriedades físicas e mecânicas das espécies coletadas que fazem parte desta pesquisa.

Tabela 7 – Valores médios para as propriedades tecnológicas das espécies estudadas

			Propriedades Físicas				
Espécie	Condições de umidade da madeira		Densidad e básica (g/cm³)	Contração		Coeficien te de anisotrop ias	Módulo de elasticid ade x 1000 (kg/cm 3)
				Tangencial (%)	Radial (%)		
Angelim rajado (<i>Pithecelob ium racemosu</i> Ducke)	Verde		0,73	9,0	7,04	1,29	11,5
	Seca		(0,81)	(12,4)	(6,54)		
Sucupira vermelha (<i>Andira parviflora</i> Ducke)	Verde		-	-	-	1,43	15,11
	Seca		(0,67)	(9,11)	(5,19)		
Propriedades Mecânicas							
Espécies	Flexão estática		Compres são paralela	Compressã o perpendicular	Cisalhame nto	Dureza Janka	
	Módulo de elasticid ade x 1000 (kg/cm³)	Módul o de ruptur a (kg/c m³)	Módulo de ruptura (kg/cm³)	Tensão no limite proporciona l (kg/cm³)	Tensão de ruptura (kg/cm ³)	Paralela (Kg)	Transvers al (Kg)
Angelim rajado (<i>Pithecelob ium racemosu</i> Ducke)	115	909	563	125	118	939	992
	140	1252	817	145	184	038	1132
Sucupira vermelha (<i>Andira parviflora</i> Ducke)	108	868	470	107	105	708	733
	115	959	697	132	141	819	793

Fonte: Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (1991).

A densidade básica é uma das propriedades físicas mais importantes de um material, ela está diretamente associada a propriedades como resistência mecânica da madeira e grau de alteração dimensional e perda ou absorção de água (HERMIDA,2021). As variações da densidade básica (DB) entre espécies florestais estão relacionadas também com sua anatomia. A densidade básica da madeira se classifica como: leve ($\leq$ que 0,50 g/cm³); média (entre 0,50

g/cm³ e 0,72 g/cm³) e pesada ($\geq 0,72$ g/cm³). Nenhuma das duas espécies estudadas se enquadra na classificação de madeiras pesadas e não é indicada para ser usada na construção civil. (LOPES; GARCIA, 2002).

Na tabela 7, pode-se observar os valores da densidade básica das duas espécies de madeiras estudadas. O Angelim rajado (*Phytocellobium racemosum* Ducke) e a Sucupira vermelha (*Andira paviflora* Ducke) são de 0,65 g/cm³ e 0,67 g/cm³, respectivamente, e foram classificadas como madeiras de média densidade.

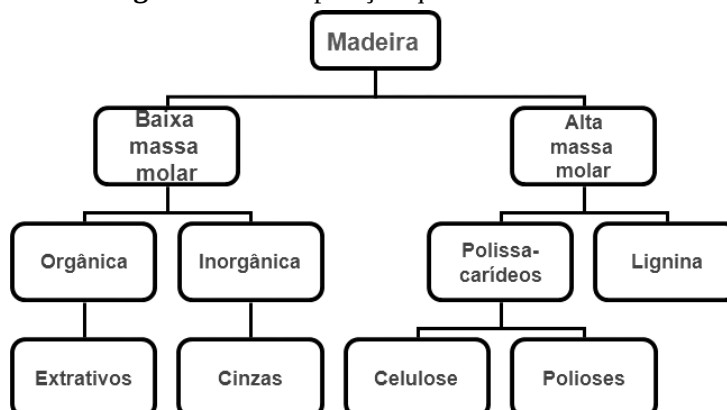
Com relação à variação dimensional tangencial e radial, observou-se que a espécie Sucupira vermelha (1,43%) apresentou valor de anisotropia um pouco menor do que a espécie Angelim rajado (1,52 %). Segundo o que Norech (2014) explica, é por meio do coeficiente de anisotropia (CA) que se pode classificar a madeira como excelente (valores entre 1,0 e 1,5); normal (valores entre 1,6 e 1,9); baixa qualidade (valores acima de 2,0). Deste modo, madeiras com valores de coeficientes próximos de 1, terão melhor estabilidade dimensional.

Para se conhecer a estabilidade dimensional da madeira quanto ao seu comportamento em relação à trabalhabilidade, secagem e uso, propriedades anisotrópicas são parâmetros importantes e devem ser levados em consideração.

2.18.4 Fundamento Teórico da Química da Madeira

Para avaliação do potencial das madeiras é imprescindível conhecer sua composição química, assim como qualificar e quantificar suas propriedades termoquímicas de interesse. Considerando-se que a madeira é um material orgânico, seus constituintes químicos estão relacionados às suas propriedades. Quimicamente, a madeira é composta por substâncias de baixa massa molar, polissacarídeos (celulose e polioses ou hemiceluloses) e lignina, conforme demonstrado na figura 14 a seguir.

Figura 14 – Composição química da madeira



Fonte: Fengel e Wegener (1984), Hon e Shiraishi (1991) e Sjöström (1993).

2.18.4.1 Componentes Químicos

Do ponto de vista da química elementar da madeira, não há diferenças consideráveis, entre as diversas espécies existentes. Os principais elementos encontrados são o carbono (c), o hidrogênio (h), o oxigênio (o) e o nitrogênio (n), em pequenas quantidades. Além destes elementos, encontram-se pequenas quantidades de cálcio (ca), potássio (k), magnésio (mg) e outros, constituindo as substâncias minerais existentes na madeira. Em relação ao peso seco, as madeiras coníferas e folhosas demonstram o percentual químico apresentado a seguir.

Tabela 8 – Percentual químico de madeiras coníferas e folhosas

Elemento	(%)
C	49 - 50
H	6
O	44 - 45
N	0,1 - 1

Fonte: Klock (2003).

2.18.4.2 Substâncias Macromoleculares das Madeiras

Do ponto de vista da análise da madeira, os principais componentes macromoleculares constituintes da parede celular são a celulose, polioses (hemiceluloses) e a lignina. É necessário distinguir as características existentes entre estes principais componentes macromoleculares constituintes da parede celular que estão presentes em todas as madeiras, e os componentes minoritários de baixo peso molecular, extrativos e substâncias minerais, os quais são geralmente mais relacionados à madeira de certas espécies, no tipo e quantidade, considerando-se que as proporções e composição química da lignina e polioses diferem em coníferas e folhosas, enquanto que a celulose é um componente uniforme da madeira.

Tabela 9 – Composição média de madeiras de coníferas e folhosas

Constituinte Químicos	Coníferas	Folhosas
Celulose	42 ± 2%	45 ± 2%
Polioses	27 ± 2%	30 ± 5%
Lignina	28 ± 2%	20 ± 4%
Extrativos	5 ± 3%	3 ± 2%

Fonte: Klock (2003).

2.18.4.3 Materiais Compósitos

A variedade de materiais disponíveis hoje para o uso em engenharia é enorme, sendo possível encontrar materiais cada vez mais especializados para aplicações distintas. Os materiais compósitos representam um caso de particular importância dentro dos designados materiais de engenharia não tradicionais.

Os avanços tecnológicos e novas pesquisas permitem diminuir os custos de processamento das matérias-primas, garantindo desta forma um melhor aproveitamento das vantagens dos materiais não tradicionais. Prevê-se que esses materiais continuam a ter uma aplicação privilegiada em mercados avançados, podendo vir a substituir também, de forma crescente, materiais tradicionais nas aplicações mais frequentes em várias áreas da engenharia.

Assim, tornam-se novos materiais com propriedades superiores ou melhores em alguns aspectos às propriedades de seus constituintes. São fabricados artificialmente e constituídos por materiais quimicamente diferentes.

A combinação dos materiais depende da aplicação específica que se pretende utilizar e da relativa importância de fatores, tais como: resistência à corrosão, rigidez, peso, resistência à fadiga, expansão térmica, propriedades eletromagnéticas, condutibilidade térmica, comportamento acústico (MOREIRA, 2009).

Para Callister (2002), composto é “qualquer material multifásico que exiba uma proporção significativa das propriedades de ambas as fases que o constituem, de tal modo que é obtido uma melhor combinação de propriedades.”

Portanto, tem fases constituintes de diferentes estruturas moleculares com diferentes propriedades, de modo que, de acordo com o princípio da ação combinada, sca-se a melhoria de propriedades mecânicas, tais como, flexão, tração, dureza, impacto, resistência térmica ao meio ambiente.

Smith (1998) comenta não existir uma mesma definição que seja aceita por todos os pesquisadores e define compósito como sendo um “material formado por mistura ou combinação de dois ou mais micro ou macro constituintes, que diferem na forma e na composição química e que, na sua essência são insolúveis uns aos outros.”

O objetivo é a obtenção de um material que, combinando-se as características de seus componentes de maneira adequada, apresente uma condição estrutural melhor do que quando estes são utilizados isoladamente.

2.18.4.4 Revestimentos Cerâmicos Compósitos

Os materiais compósitos são uma nova e importantíssima tendência do mercado industrial mundial em geral. O futuro é dos materiais compósitos e, no presente, eles já estão sendo usados intensivamente na fabricação/construção de uma grande variedade de produtos, incluindo aeronaves, mísseis e lançadores de satélites, embarcações de pequeno e médio portes, coletes à prova de balas e blindagens de automóveis, instrumentos musicais, capacetes militares e esportivos, cintos de segurança em automóveis, pranchas de surf e skates, raquetes de tênis, cordas e redes, vários produtos para pesca, caixas d'água e piscinas residenciais, tubulações hidráulicas e mangueiras de alta pressão, pneus e freios de automóveis, entre outros.

A síntese de materiais compósitos se dá por misturar compostos de naturezas diferentes com o intuito de imprimir novas propriedades aos materiais. Matriz é como são chamadas as fases dos compósitos, as quais podem ser de natureza cerâmica, polimérica e metálica, além da fase dispersa, composta geralmente por fibras ou partículas que servem como carga.

A matriz geralmente é um material que envolve a fase dispersa. Para que se forme um compósito, é necessário que haja afinidade entre os materiais que serão unidos. É fundamental conhecer as propriedades químicas e físicas dos diferentes materiais envolvidos, mais especificamente, as propriedades das interfaces desses materiais que constituirão os compósitos.

A segunda função da matriz é de proteger as fibras individuais contra danos superficiais em decorrência de abrasão mecânica ou de reações químicas com o ambiente. Praticamente, não se alteram.

Muitas das tecnologias modernas requerem materiais com combinações bem peculiares de propriedades que não podem ser atendidas por ligas metálicas, cerâmicas e materiais poliméricos; são exemplos de tecnologias indispensáveis em aplicações aeroespaciais, subaquáticas e de transporte.

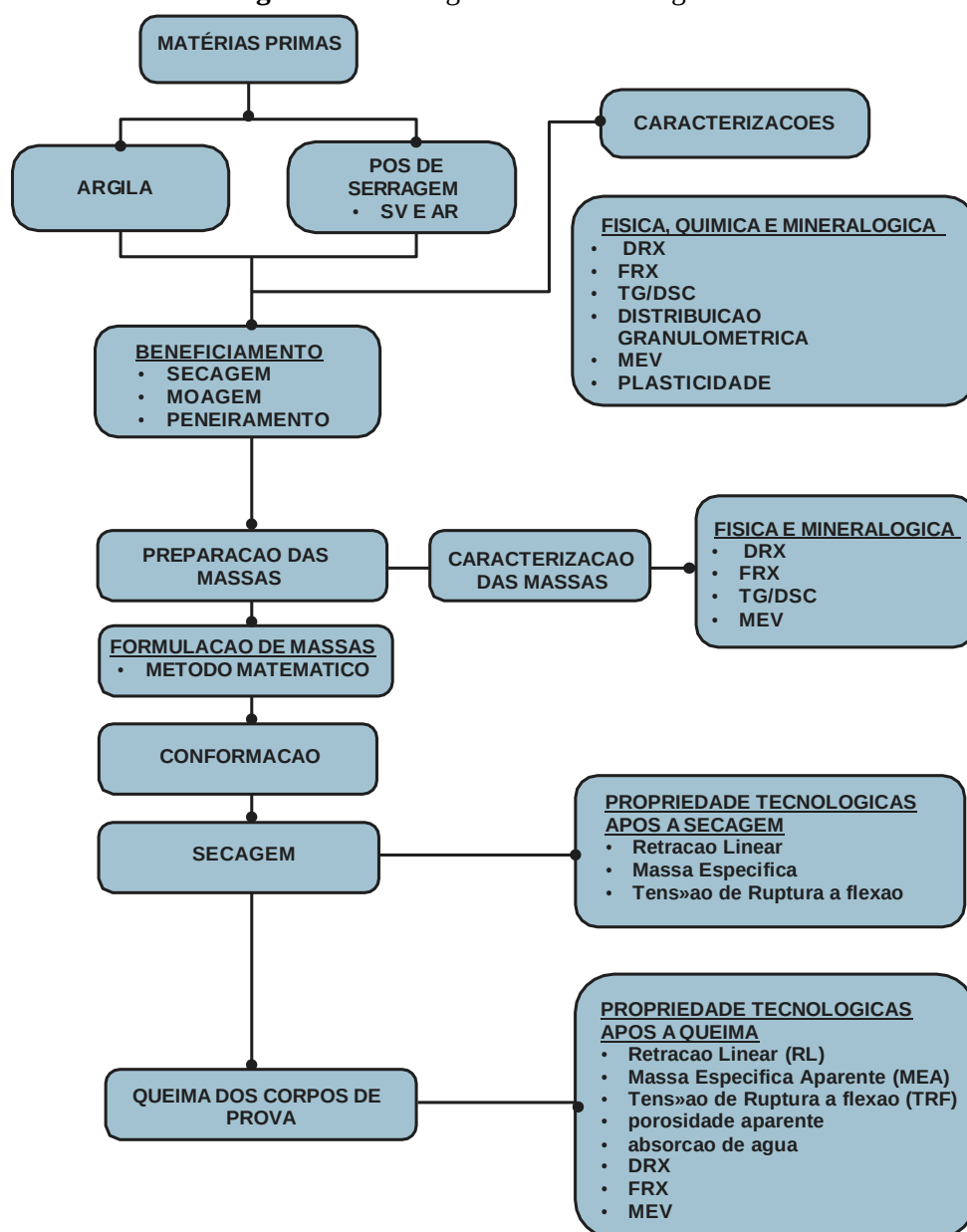
Observa-se que, nos últimos anos, a busca por materiais ecologicamente corretos tem levado ao desenvolvimento de materiais de matrizes poliméricas com fibras naturais, mesmo que estas apresentem poucas vantagens, considerando-se que as propriedades mecânicas pioram ou praticamente não se alteram. Em contrapartida, devido ao apelo comercial para utilizar matérias-primas de baixo custo, sendo estas de fontes renováveis e inesgotáveis, por possuírem baixa densidade e menor abrasão nas máquinas, durante seu processamento, e por terem a capacidade de aderirem bem à matriz, o uso dessas fibras em compósitos estruturais tem crescido no setor industrial.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 METODOLOGIA

Na figura 15, apresenta-se o fluxograma geral da metodologia utilizada para preparação, caracterização e ensaios físicos do compósito argila-serragem. A descrição de cada etapa é apresentada na sequência.

Figura 15 – Fluxograma da metodologia utilizada



Fonte: Elaboração própria.

3.2 MATÉRIAS-PRIMAS

Neste trabalho, foram utilizadas como matérias-primas duas argilas – sendo uma denominada de Argila A (ARG-A), caracterizada como Silte Argilosa, por possuir um elevado teor de plasticidade, e outra de Argila B (ARG-B), caracterizada como Silto Arenosa inorgânica, por conter maior quantidade de resíduos e baixo teor de plasticidade – e a serragem em pó de duas espécies madeireiras, oriundas do processamento mecânico.

3.2.1 Argila

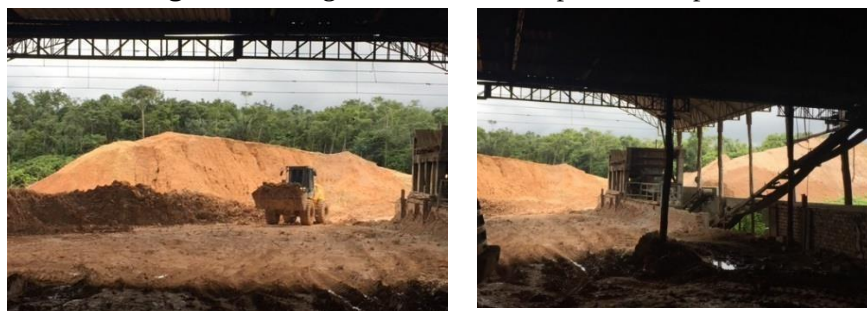
A argila foi fornecida pela Cerâmica Montemar Indústria e Serviço de Coleta de Resíduos Ltda, localizada na Avenida Manoel Urbano S/N, Km 36, Iranduba/AM, sendo a principal matéria-prima utilizada para fabricação de seus produtos. A empresa trabalha com dois tipos de argila, classificadas como argila A e argila B (figura 16). Para a fabricação de seus produtos, a empresa utiliza as duas argilas em uma proporção de 2:1, sendo duas medidas da argila A e uma da argila B, como uma forma de minimizar os custos de fabricação, considerando-se que uma possui teor maior de plasticidade e a outra maior teor de areia. O material foi coletado no pátio da empresa na forma de torrões, onde, durante o período de seis meses, ficam descansando para serem utilizadas. As argilas demonstradas na figura 17 são utilizadas como matérias-primas na fabricação dos produtos de cerâmica vermelha, tais como blocos cerâmicos de vedação, tijolos e telhas, segundo informações obtidas na própria empresa. A presença da estrutura do tipo caulinita, $\text{Al}_4\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8$, pode favorecer essa plasticidade, pois sua estrutura formada por folhas tetraédricas (Si-O) e octaédricas (Al-O/AlOH), proporcionam a modelagem do corpo cerâmico devido à presença de água que atua como liga para os constituintes no estado verde (ARAÚJO, 2008).

Figura 16 – Argila A (maior teor de plasticidade) e Argila B (maior teor de areia)



Fonte: Arquivo fotográfico da pesquisadora (2018).

Figura 17 – Argila armazenada no pátio da empresa



Fonte: Arquivo fotográfico da pesquisadora (2018).

3.2.2 Resíduo Sólido (Pó de Serragem)

O resíduo sólido foi coletado na empresa Mil Madeiras Preciosas Ltda, localizada no Km 1,5 AM-363 no município de Itacoatiara/AM, oriundo do processamento mecânico das espécies em forma de serragem e, após sua moagem e peneiramento em peneira 100 μ m (177 mesh), utilizou-se para formulação das massas cerâmicas o pó de serragem, conforme demonstrado na figura 18. As espécies escolhidas foram o Angelim rajado (*Pithecelobium racemosum* Ducke) e a Sucupira vermelha (*Andira parviflora* Ducke), e foram utilizadas *in natura*. O critério de escolha das espécies madeireiras foi baseado naquelas mais comercializadas pela empresa, durante o procedimento de coleta, considerando-se que, em sua grande maioria, as espécies utilizadas pela empresa possuem características físicas e químicas similares.

Figura 18 – Resíduo sólido em forma de serragem (1) e resíduo após o processo de moagem e peneiramento (pó) (2)



Fonte: Arquivo fotográfico da pesquisadora (2018).

3.3 PREPARAÇÃO DAS MATÉRIAS-PRIMAS

A argila fornecida na forma de torrões grosseiros foi inicialmente deixada ao ar livre em bandejas de alumínio para redução do teor de umidade por um período de aproximadamente

uma semana (figura 19). Em seguida, a argila foi triturada manualmente com o almofariz, moída e homogeneizada manualmente.

O tempo de moagem foi de aproximadamente quatro horas com uma batelada realizada de aproximadamente 6 kg de argila. Essa cominuição permitiu que a argila apresentasse um resíduo de moagem em peneira de 230 mesh ($63\mu\text{m}$) inferior a 4% de massa retida e garantiu que todo o material moído passasse em peneira de 200 mesh ($74\mu\text{m}$). Terminada essa etapa, tanto a argila como as demais matérias-primas foram acondicionadas em bandejas de alumínio e submetidas à secagem em estufa a uma temperatura de aproximadamente $110\text{ }^{\circ}\text{C}$ por um período de 24 horas. A serragem foi peneirada em peneira de 80 mesh ($177\mu\text{m}$), e, em seguida, utilizou-se o material (pó) que passou na peneira.

Figura 19 – Argilas coletadas em torrões secando ao ar



Fonte: Arquivo fotográfico da pesquisadora (2018).

3.4 CARACTERIZAÇÃO DAS MATÉRIAS-PRIMAS

De cada matéria-prima, foram retiradas quantidades suficientes para a realização dos ensaios de caracterização mineralógica, física e química por meio de técnicas de difração de raios-X, fluorescência de raios-X, análise térmica diferencial e termogravimétrica, análise de tamanho de partículas, microscopia eletrônica de varredura (MEV) e plasticidade. Os procedimentos experimentais adotados são apresentados a seguir.

3.4.1 Caracterização Mineralógica

Com o objetivo de identificar os minerais argilosos e não argilosos presentes na argila e nas formulações de massa com o resíduo de serragem, foram realizadas análises qualitativas

por difração de raios-X. A análise por difração de raios-x (DRX) é uma das técnicas mais utilizadas para análise e caracterização de estruturas cristalinas. Esse método pode ser realizado de duas formas diferentes, uma a partir da difração de um único cristal, e outra a partir da difração de partículas em pó, onde cada partícula, ou grão, com orientações aleatórias, representa o conjunto total do material (KOLLER, 1994). Foram feitos ensaios de difratometria de raios-x com um difratômetro de marca SEIFERT, modelo URD 65, utilizando-se radiação Cu-K α , sob ângulo 2 Θ de 5 até 60°, passo de 0,05° e tempo por passo de 2 segundos, visando-se obter fases cristalinas predominantes nas amostras coletadas. A identificação das fases presentes foi feita por meio da comparação do ângulo de Bragg, da distância interplanar e da intensidade relativa dos principais picos de difração com fichas padrão *Joint Comitee on Powder Diffraction Standards* (JCPDS).

3.4.2 Caracterização Química

As composições químicas das matérias-primas foram determinadas por espectrometria de fluorescência de raios-x de energia dispersiva (EDX), marca Shimadzu, modelo EDX-700, acoplado a um computador para o processamento de dados. A perda ao fogo (PF) foi determinada de acordo com a expressão utilizada no item (3.1), demonstrado a seguir, que representa os materiais voláteis contidos nas amostras e liberados quando submetidos a uma temperatura de 1000 °C (LIMA, 2010). Esse ensaio foi desenvolvido no laboratório de UEA.

$$PF = \frac{M_s - M_c}{M_g} \times 100 \quad (3.1)$$

Onde:

PF = perda ao fogo (%);

Ms = massa da amostra seca a 110 °C; e

Mc = massa da amostra calcinada a 1000 °C.

3.4.3 Caracterização Física

3.4.3.1 Análise Granulométrica

Para análise das argilas estudadas, foram determinadas as seguintes características físicas das massas cerâmicas em estado vegetal: distribuição de tamanho das partículas primárias e distribuição de tamanho de grânulos (peneiramento). A distribuição do tamanho das partículas primárias (análises granulométricas das matérias-primas) foi realizada por peneiramento por via úmida e sedimentação pelo método de “pipeta de Anderson”, onde através da adição de uma dispersante químico, observa-se a velocidade de queda das partículas que compõem o solo, fixando-se o tempo de deslocamento vertical na suspensão do solo e a água. A distribuição de tamanho de grânulos das massas cerâmicas micro granuladas foi determinada de acordo com os procedimentos descritos pela norma ABNT NBR 7181 (1984). Nessa etapa, foi utilizado um picnômetro para determinar a massa específica real dos grãos de acordo com a norma ABNT NBR 6508/1984.

3.4.3.2 Plasticidade

As propriedades plásticas (limite de liquidez, limite de plasticidade índice de plasticidade) foram determinadas de acordo com a ABNT NBR 6459/1984 e ABNT NBR 7180/1984. Os limites de consistência de Atterberg foram determinados segundo os procedimentos descritos nas normas ABNT NBR 6459/1984 para limite de liquidez e ABNT NBR 7180/1984 para o limite de plasticidade.

Todos esses experimentos foram realizados no Laboratório de Pavimentação (LABPAV) da Universidade Federal do Amazonas (UFAM).

$$IP = LL - LP \quad (3.2)$$

Onde:

IP = índice de plasticidade; e

LL = limite de liquidez, pela diferença entre eles.

3.4.4 Análises Térmicas (ATG/DSC)

O comportamento térmico das massas cerâmicas foi avaliado por meio de ensaios de análise termogravimétrica (ATG) e espectroscopia de calor (DSC), realizados em um analisador térmico simultâneo, marca TA Instruments, modelo SDT Q600. A amostra foi aferida a aproximadamente 10 mg, a taxa de aquecimento foi de 10 °C/min até a temperatura final de

1200 °C, com fluxo de gás N 5.0 de 30 ml/min. O cadinho utilizado nos testes foi o de alumina de 90 microlitros sem tampa. O ensaio foi realizado no laboratório de Ensaio Físico-Químicos/FT/UFAM.

3.4.5 Análise Morfológica (MEV)

A microscopia eletrônica de varredura (MEV) foi utilizada para analisar a morfologia das matérias-primas e região de fratura das amostras depois dos ensaios de flexão. No trabalho, foi utilizado um instrumento MEV da marca TESCAN, modelo VEGA3, com detector SE de tensão 15 KV e distância de trabalho em 8,0 mm. As amostras foram colocadas em porta-amostra, aderidas por uma fita dupla face de carbono, depois foram previamente metalizadas com uma fina camada, condutora de ouro, utilizando-se um metalizador (BALTEC, modelo CPD 050), por um tempo de 70 segundos em 50 mA. O ensaio foi desenvolvido no Laboratório Temático de Microscopia e Nanotecnologia, vinculado à Coordenação de Pesquisas (COPES), no INPA/AM.

3.5 FORMULAÇÕES DAS MASSAS CERÂMICAS

Foram preparadas massas cerâmicas para revestimento poroso (azulejo) de base vermelha incorporadas com resíduos vegetais de pó de serragem de duas espécies madeiras, quais sejam, Angelim rajado (*Pithecelobium racemosum* Ducke) e Sucupira vermelha (*Andira parviflora* Ducke), cujas proporções são dadas na tabela 10. Os resíduos de pó de serragem das madeiras estudadas foram usados para substituir a argila.

Tabela 10 – Formulação de Massas Cerâmicas

Massas Cerâmicas (MC)	Argila A (%) (ARG-A)	Angelim rajado (AR%)	Sucupira vermelha (SV%)	AR + SV (ARSV%)	Quantitativo de Amostras	
					750 °C	850 °C
(ARG-A)	100	-	-	-	6	6
AR 2,5 (MC1)	97,5	2,5	-	-	6	6
AR 5 (MC2)	95,0	5	-	-	6	6
AR 10 (MC3)	90,0	10	-	-	6	6
SV 2,5 (MC4)	97,5	-	2,5	-	6	6
SV 5 (MC5)	95,0	-	5	-	6	6
SV 10 (MC6)	90,0	-	10	-	6	6
ARSV 2,5 (MC7)	97,5	-	-	2,5	6	6
ARSV 5 (MC8)	95,0	-	-	5	6	6
ARSV 10 (MC9)	90,0	-	-	10	6	6

Fonte: Costa (2018).

A argila foi substituída parcial e gradativamente, conforme observado na figura 20, pelos resíduos de pó de serragem das espécies estudadas, nas proporções de peso de 2.5%, 5% e 10%, como forma de minimizar o uso desse material natural (argila) e contribuir para o meio ambiente por meio do reaproveitamento dos resíduos de madeiras tropicais oriundas de processamento mecânico, na busca de se obter uma massa cerâmica com propriedades tecnológicas superiores à da argila padrão (ARG-A), além de formular uma massa cerâmica com retração linear, resistência à flexão e absorção de água dentro dos parâmetros para fabricação de placas de revestimento cerâmico para uso interior classe BIII.

Figura 20 – Massas cerâmicas formuladas com as adições dos resíduos nas proporções de 2,5%, 5% e 10% e argila pura (ARG-A)



Fonte: Arquivo fotográfico da pesquisadora.

A massa cerâmica ARG-A, isenta de resíduos (pó de serragem), foi utilizada para efeito de comparação, avaliada nas mesmas propriedades tecnológicas das demais formulações.

3.5.1 Preparação das Massas Cerâmicas

Neste trabalho, utilizou-se o processo de via seca na preparação das massas cerâmicas. Após secagem e caracterização das matérias-primas, foi realizada a dosagem das massas cerâmicas por pesagem de acordo com as formulações propostas na tabela 10. Essa etapa foi realizada por medidas de massa em uma balança digital ($\pm 10^{-2}$ g), marca GEHAKA, modelo BG2000. Essa balança foi a mesma utilizada em todos os procedimentos de medida de massa.

Em seguida, as massas cerâmicas foram submetidas a um processo de mistura, homogeneização e microgranulação manual. Primeiramente, as massas cerâmicas secas foram misturadas de forma intensiva por um período de 5 minutos. A umidificação das massas cerâmicas se deu por aspersão de água (*spray*) e com o misturador sendo mantido em operação durante 5 minutos. Imediatamente após à retirada das massas cerâmicas da cuba do misturador,

elas foram peneiradas em malha de 200 mesh (74 μ m) para a eliminação dos grânulos muito grandes e de outros aglomerados de formatos irregulares, formados durante a retirada da massa da cuba.

Em seguida, foi feito o controle da umidade para cerca de 8 % da massa microgranulada por secagem em estufa a 110 °C e pesagem em intervalos de tempos regulares até a obtenção da umidade desejada. Por fim, as massas cerâmicas foram acondicionadas em sacos plásticos e mantidas em um dessecador por um período de 24 horas para que fosse garantida uma boa homogeneização da umidade.

3.5.2 Caracterização das Massas Cerâmicas

Após a preparação, as massas cerâmicas foram caracterizadas sob o ponto de vista mineralógico, físico e químico. Os procedimentos experimentais adotados são apresentados a seguir.

Foi feita a dosagem das massas, por pesagem, e estas foram homogeneizadas e microgranuladas num microgranulador Eirich, modelo R02. Em seguida, foi feito o controle da umidade para cerca de 8%. Os aglomerados grossos, maiores que 2 mm, foram eliminados do processo. Os corpos de prova foram compactados por prensagem uniaxial em matriz de aço com dimensões de 60 x 20 x 0,75 mm. A pressão de compactação aplicada foi da ordem de 20 MPa, pressão equivalente a 30 toneladas.

A queima foi realizada em uma mufla de laboratório, utilizando-se um ciclo de queima de aproximadamente 1 hora e patamar de queima de 3 horas e com máximas temperaturas de queima variando de 750 °C a 850 °C. As seguintes propriedades tecnológicas dos corpos de prova sinterizados foram determinadas: retração linear, absorção de água, massa específica aparente e tensão de ruptura à flexão (ensaio de carregamento em três pontos).

3.5.2.1 Caracterização Mineralógica

Com o objetivo de verificar os componentes químicos presentes na argila estudada nas formulações de massa cerâmica (MC2 a MC10), das matérias-primas *in natura* e após a queima, foi feita uma análise qualitativa por difração de raios-x. O experimento foi realizado em um difratômetro de marca SEIFERT, modelo URD 65, utilizando-se radiação Co-K α , sob ângulo 2 Θ de 5 até 60 °, passo de 0,05 ° e tempo por passo de 2 segundos. Esse experimento foi efetuado no Laboratório de Geologia (DEGEO) da UFAM.

3.5.2.2 Caracterização Química

As composições químicas das matérias-primas foram analisadas e realizadas em equipamento de fluorescência de raios-x por dispersão de ondas (WD-XRF) da marca Rigaku, modelo Supermini com tubo de paládio, tempo de exposição de 200 s, com potência de 200 W. As condições foram ajustadas, levando-se em consideração a matriz da amostra, o porta amostras e o suporte da amostra. Todos os elementos foram identificados por suas energias $K\alpha$ e/ou $K\beta$. Para cada amostra, com o auxílio de um prensa de 10.000 Kgf, foram preparadas pastilhas do pó fino com granulometria uniforme, cuja composição apresenta 1,000 g da amostra, homogeneizada com 4,000 g de H_3BO_3 , de alta pureza em almofariz de ágata. Todas as amostras foram analisadas em triplicata. Os óxidos e os componentes químicos encontrados nas matérias-primas estudadas na argila e nas massas cerâmicas formuladas estão descritos na tabela 12, no capítulo 4, que trata dos resultados.

3.5.2.3 Diagrama Triaxial

Para auxiliar na formulação das massas cerâmicas, diagramas triaxiais foram utilizados. Esses diagramas são bastante utilizados em formulações de materiais cerâmicos e na formulação de revestimentos porosos à base vermelha (PERALTA-SÁNCHEZ et al., 2011), dos quais se podem extrair os óxidos que mais influenciam as formulações. Fazem parte do diagrama o percentual de SiO_2 , o percentual de Al_2O_3 e, na terceira extremidade, o percentual referente aos metais alcalinos ($Na_2O_2+K_2O_3$), alcalinos terrosos (CaO e MgO) e o Fe_2O , de modo que, quanto maior for o conteúdo de argilominerais, maior será sua plasticidade.

3.5.2.4 Caracterização Física

Foram determinadas as seguintes características físicas das massas cerâmicas: distribuição de tamanho das partículas primárias, distribuição de tamanho de grânulos (peneiramento), limite de liquidez, limite de plasticidade, massa específica real dos grãos, massa específica aparente dos grânulos, massa específica dos grânulos após vibração e o índice de Hausner. Além disso, a morfologia dos grânulos foi analisada.

A distribuição de tamanho das partículas primárias foi realizada num analisador de tamanho de partículas CILAS, modelo 920 L, utilizando-se como meio água destilada, com tempo de dispersão de 60 segundos e detergente neutro como dispersante. A distribuição de tamanho de grânulos das massas cerâmicas microgranuladas foi determinada de acordo com os

procedimentos descritos pela norma ABNT NBR 7181/1984. Os limites de consistência de Atterberg foram determinados segundo os procedimentos descritos nas normas ABNT NBR 6459/1984 para limite de liquidez e a ABNT NBR 7180/1984 para o limite de plasticidade. A massa específica real dos grãos foi determinada pelo método de picnometria de líquido, de acordo com os procedimentos previstos pela norma ABNT NBR 6508/1984. Esses experimentos foram realizados no LABPAV da UFAM.

3.6 ELABORAÇÃO DOS CORPOS CERÂMICOS

As massas cerâmicas foram conformadas por prensagem uniaxial em matriz de aço inoxidável retangular, em prensa hidráulica modelo P3OST (figura 21), marca BOVENAU, com capacidade de até 30 toneladas. Os corpos de provas foram fabricados em formas retangulares com dimensões de aproximadamente 60 x 20 x 7 mm (figura 22). Eles ainda foram submetidos a uma carga de 3 toneladas, que equivale a uma pressão de compactação de 20 MPa. Foram confeccionados um total de 120 corpos de prova.

Figura 21 – Matriz de aço para moldagem e prensa hidráulica para fabricação dos corpos de prova



Fonte: Arquivo fotográfico da pesquisadora (2018).

Figura 22 – Corpos de prova prensados (barrinhas), estado “verde” e massa preparada para prensagem



Fonte: Arquivo fotográfico da pesquisadora (2018).

3.6.1 Secagem dos Corpos de Prova

A secagem dos corpos cerâmicos foi feita em estufa, modelo Deleo – Tipo 840, na temperatura de 110 °C, durante 24 h. Após a secagem, os corpos de prova foram submetidos a ensaios para determinação de suas propriedades físicas. Foram usados seis corpos de prova na determinação de valores médios de cada propriedade.

3.6.2 Processo de Queima

Após o processo de compactação dos pós-cerâmicos, as pastilhas obtidas foram postas em cadinhos de alumina de alta pureza e introduzidas em um forno tipo mufla de alta temperatura (modelo Jung 0614), com taxa de elevação de temperatura constante (7 °C/min), dando-se início ao processo de sinterização em fase sólida, com atmosfera ambiente e temperatura de 750 °C e 850 °C, durante 24 h (para cada temperatura). Após isto, as amostras foram resfriadas, em temperatura ambiente. O ciclo térmico utilizado está apresentado na seção 3.7.3, da Queima dos Corpos Cerâmicos. A taxa de resfriamento ilustrada não foi controlada, sendo apenas teórica, pois não houve ventilação forçada.

Os produtos adquirem propriedades finais importantes, tais como brilho, cor, porosidade, estabilidade dimensional, resistência à flexão, tornando-se resistentes a altas temperaturas, à água, ao ataque de agentes químicos, entre outras (OLIVEIRA, 2006).

A monoqueima rápida (monoporosa) e biqueima rápida são os dois processos utilizados na queima do revestimento poroso. Como mencionado, a monoqueima rápida é a mais utilizada

pelas indústrias, que consiste em queimar ao mesmo tempo a base e o esmalte. Esse processo confere maior ligação entre o biscoito (base) e o esmalte, dando-lhe maior resistência. O processo de biqueima é dado somente ao esmalte, haja vista que a base (biscoito) já havia sido queimada anteriormente (FRANCO, 2008). Nesse procedimento de biqueima, a peça cerâmica possui uma resistência baixa ao impacto, causada pela sinterização da base e o esmalte em momentos distintos. Outro aspecto negativo desse processo de biqueima é a elevação do consumo de energia. Por queimar as peças duas vezes, o consumo de energia é maior, tornando-se bem menos econômico se comparado com a monoqueima (GALDINO, 2010). Pretende-se, portanto, utilizar neste trabalho o processo de monoqueima.

Análises térmicas foram realizadas nos materiais com o objetivo de observar como determinada propriedade do material se comporta quando submetido a uma variação de temperatura, ou a uma variação de tempo com temperatura fixa. Uma técnica de análise é a termogravimétrica, por meio da qual se analisa a variação da massa da amostra, em função da programação de temperatura. Ou seja, essa técnica torna possível o conhecimento das alterações que a temperatura pode causar na massa das substâncias em análise.

O resultado de uma termogravimetria (TG) é representado em um gráfico, onde a abscissa é referente à variação de temperatura ou tempo, e a coordenada, ao percentual de massa perdida ou que se ganhou, conforme ilustrado na figura 13, onde estão apresentadas duas temperaturas, T_i e T_f , onde T_i indica a menor temperatura em que começa a variação de massa, e T_f , a menor temperatura que dá fim ao processo de variação de massa.

A variação de massa acontece devido as perdas ou ganhos de massa durante o processamento, tais como, perda de gases para o ambiente com o aumento da temperatura. Quando transformações de fase ou reações químicas ocorrem, há variação na massa, pois, para a reação acontecer, a amostra deve estar absorvendo gases. Para realização da análise termogravimétrica, utiliza-se basicamente uma termobalança, composta por um forno, termopares, um programador de temperatura, um sistema de fluxo de gás e um computador para aquisição de dados (DENARI; CAVALHEIRO, 2012). A análise termogravimétrica foi realizada no Laboratório de Ensaios Físico-Químicos de Materiais da UFAM.

3.7 PROPRIEDADES FÍSICAS APÓS A SECAGEM DOS CORPOS CERÂMICOS

3.7.1 Retração Linear por Secagem

A retração linear por secagem (RLs) dos corpos cerâmicos foi determinada de acordo com os procedimentos descritos na norma ABNT MB305/1984 pela seguinte expressão (3.3):

$$RL_s = \frac{L_0 - L_q}{L_0} \times 100 \quad (3.3)$$

Onde:

RL_s = retração linear de secagem (%);

L_0 = comprimento do corpo cerâmico úmido (mm); e

L_q = comprimento do corpo cerâmico seco (mm).

As medidas foram aferidas com o auxílio de um paquímetro digital ($\pm 0,01$ mm) da marca Mitutoyo, com precisão de $\pm 10^{-2}$ mm. ($\pm 0,01$ mm). Esse paquímetro foi utilizado em todos os experimentos deste trabalho que exigiram medidas de comprimento.

3.7.2 Massa Específica após Secagem

A determinação da massa específica dos corpos cerâmicos após secagem ($_S$) foi obtida de acordo com a seguinte expressão (3.4).

$$P_b = \frac{M_s}{V_s} \quad (3.4)$$

Onde:

P_b = massa específica Bulk;

M_s = massa (g) dos corpos cerâmicos secos;

V_s = volume (cm³) dos corpos cerâmicos secos; e

L_q = comprimento do corpo cerâmico seco (mm).

3.7.3 Queima dos Corpos Cerâmicos

A etapa de queima dos corpos cerâmicos prensados foi realizada em um Forno Mufla microprocessado com rampas e patamares, modelo Q3185, da marca QUIMIB, em atmosfera oxidante (ar) nas temperaturas máximas de 750 °C, 850 °C e 950°C, no LABPAV da UFAM. O ciclo de queima foi dado pelas seguintes etapas:

a) De aquecimento

- da temperatura ambiente ($\sim 25\text{ }^{\circ}\text{C}$) até $100\text{ }^{\circ}\text{C}$, com taxa de aquecimento de $7\text{ }^{\circ}\text{C.min}^{-1}$;
- de 100 até $600\text{ }^{\circ}\text{C}$, com taxa de aquecimento de $100\text{ }^{\circ}\text{C.min}^{-1}$; e
- de $600\text{ }^{\circ}\text{C}$ até a máxima temperatura de queima, com taxa de aquecimento de $200\text{ }^{\circ}\text{C.min}^{-1}$.

b) Patamar de temperatura máxima de queima

- Permanência de 2 horas na temperatura máxima de queima.

c) Etapa de Resfriamento

- da máxima temperatura de queima até $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, com taxa de resfriamento de $145\text{ }^{\circ}\text{C.min}^{-1}$;
- de $600\text{ }^{\circ}\text{C}$ até $100\text{ }^{\circ}\text{C}$, com taxa de resfriamento de $25\text{ }^{\circ}\text{C.min}^{-1}$.

3.8 PROPRIEDADES FÍSICAS DOS CORPOS CERÂMICOS QUEIMADOS

Os corpos cerâmicos queimados foram avaliados, levando-se em conta as seguintes propriedades: retração linear, absorção de água, porosidade aparente e massa específica aparente.

3.8.1 Retração Linear de Queima

A retração linear por queima (RL_q) foi determinada segundo a norma ABNT MB305/1984, de acordo com a seguinte expressão (3.5):

$$RL_q = \frac{L_s - L_q}{L_s} \times 100 \quad (3.5)$$

Onde:

RL_q = retração linear do corpo cerâmico queimado em %;

L_s = valor do comprimento do corpo cerâmico antes da queima, em mm; e

Lq = valor do comprimento do corpo cerâmico após a queima, em mm.

3.8.2 Absorção de Água (AA)

A absorção de água (AA), a massa específica aparente (MEA) e a porosidade aparente (PA) foram determinadas pelo método descrito pela norma ABNT NBR 13.818/1997. Nesse método, os corpos de prova são imersos em água destilada em ebulição e deixados por 2 h. Após a esfriarem, são feitas medidas do peso saturado (PSAT) e do peso imerso (PI) em uma balança analítica hidrostática. Inicialmente, é medido o peso seco (PS) dos corpos de prova. O cálculo dessas propriedades foi representado pela seguinte expressão (3.6):

$$AA = \frac{Mu - Ms}{Ms} \times 100 \quad (3.6)$$

Onde:

AA = taxa de absorção de água em %;

Mu = massa saturada em água do corpo cerâmico em gramas; e

Ms = massa seca do corpo cerâmico em gramas.

3.8.3 Porosidade Aparente

A porosidade aparente (PA) dos corpos cerâmicos sinterizados foi determinada, realizando-se os procedimentos descritos pela norma C 373-88 (ASTM, 1994), de acordo com a seguinte expressão (3.7):

$$A = \frac{Mu - Ms}{Ms - Mi} \times 100 \quad (3.7)$$

Onde:

PA = porosidade aparente (%);

Mu = a massa saturada em água do corpo cerâmico em gramas;

Ms = massa seca do corpo cerâmico em gramas; e

Mi = massa do corpo cerâmico imerso em água, medida pelo método de balança hidrostática.

3.8.4 Massa Específica Aparente ou Densidade Aparente

A massa específica aparente (MEA) dos corpos cerâmicos foi determinada realizando-se os procedimentos descritos pela norma ABNT NBR 13818/1997, de acordo com a seguinte expressão (3.8):

$$Mea = \frac{Ms}{Va} = \frac{Ms}{Mu - Mi} \quad (3.8)$$

Onde:

MEA = massa específica aparente, em g/cm³;

Ms = massa (g) dos corpos cerâmicos secos;

Mu = massa (g) dos corpos cerâmicos umidos

Mi = massa (g) do corpo cerâmico imerso em água; e

Va = volume aparente.

3.8.5 Tensão de Ruptura à Flexão (σ_q)

O ensaio de tensão de ruptura à flexão (ensaio de carregamento em três pontos) dos corpos cerâmicos queimados foi determinado pela norma ABNT NBR 13818/1997, com o objetivo de conhecer os valores referentes à resistência das peças de revestimento poroso da classe BIII. Foi utilizada uma prensa de rompimento CBR e a tensão de ruptura à flexão foi calculada pela seguinte expressão (3.9):

$$\sigma_q = \frac{3PL}{2bd^2} \quad (3.9)$$

Onde:

σ_q = tensão de ruptura à flexão, MPa;

P = carga aplicada em N;

L = comprimento entre os cutelos de apoio em mm;

b = largura do corpo cerâmico em mm; e

d = espessura do corpo cerâmico em mm.

Esse ensaio foi executado no Laboratório de Geologia (LABGEO) da UFAM.

3.9 ANÁLISE MICROESTRUTURAL

3.9.1 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

A microscopia eletrônica de varredura (MEV) foi utilizada para analisar a microestrutura da superfície de fratura das massas cerâmicas sinterizadas, utilizando-se um microscópio eletrônico de varredura (TESCAN modelo VEGA3) com detector SE, com voltagem de aceleração de 15KV e distância de trabalho em 8,0 mm. As amostras foram previamente metalizadas com uma camada de ouro, utilizando-se um metalizador (BALTEC, modelo CPD 050), por um tempo de 70 segundos em 50 mA. Esse ensaio realizado no Laboratório Temático de Microscopia e Nanotecnologia, vinculado à COPES/INPA.

3.9.2 Difração de Raio-X após Queima (DRX)

Com o objetivo de verificar as fases cristalinas presentes na argila estudada nas formulações de massa cerâmica MC2 a MC 10, foi feita uma análise qualitativa por difração de raios-x. O experimento foi realizado em um difratômetro de marca SEIFERT, modelo URD 65, utilizando-se radiação Co-K α , sob ângulo 2θ de 5 até 60 °, passo de 0,05 ° e tempo por passo de 2 segundos. Esse experimento foi efetuado no LABGEO da UFAM.

3.10 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Após a coleta e tabulação dos questionários em um banco de dados em uma planilha do software Excel da MICROSOFT® OFFICE Excel 2016, as informações foram trabalhadas, inicialmente, com métodos de análise descritiva, com cálculo das frequências e medidas de posição (médias e desvio padrão).

Segundo o que Tabachnick e Fidell (1996) apresentam, a qualidade do modelo linear generalizado (MLG) pode ser avaliada através do valor do coeficiente de determinação múltipla (R^2) e expressa matematicamente, o que permite verificar se há reprodutibilidade dos resultados, por meio da análise do comportamento das médias e dos erros, e rastrear fontes de erro para que assim seja possível diminuir a variabilidade (AZEVEDO, 2001; CARVALHO et al., 2014).

A estimativa da retração linear (RL), da resistência à flexão (RF) e da absorção de água (AA) foi obtida por meio de um modelo linear generalizado. Para todas as análises, foi fixado um nível de significância igual a 0,05 e um coeficiente de confiança de 95%.

Os modelos lineares são utilizados para avaliar a influência da adição de elementos químicos e da adição de resíduos de madeiras na formação de massas cerâmicas (ARAÚJO, 2008), como também para avaliar a relação dos elementos meteorológicos com as condições de qualidade do ar (GOYAL et al., 2006).

Quanto ao Modelo Linear Generalizado (MLG), seu ajuste assume que as variáveis respostas Y_{ijk} (RL e RF) são analisadas na Temperatura i , com o Resíduo j e para a madeira k , levando-se em conta a expressão $i = 1, \dots, 2$, $j = 1, \dots, 3$ e $k = 1, \dots, 3$. Neste caso, o modelo tem a seguinte fórmula funcional (F):

$$\mu_{ijk} = \beta_o + \beta_{1(i)} + \beta_{2(j)} + \beta_{3(k)} + s, \text{ onde: } \mu_{ijk} = E(Y_{ijk})$$

Onde:

Y_{ijk} = valor esperado da variável resposta (RL e RF);

β_o = intercept;

$\beta_{1(i)}$ = parâmetro referente à temperatura;

$\beta_{2(j)}$ = parâmetro referente ao resíduo; e

$\beta_{3(k)}$ = parâmetro referente à madeira.

As análises estatísticas dos resultados foram realizadas por meio de um modelo linear generalizado. Utilizou-se para análise o programa *Statistical Package for Social Sciences* (SPSS) 16.0 e R versão 3.6.1.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. CARACTERIZAÇÃO DAS MATÉRIAS-PRIMAS UTILIZADAS

4.1.1 Análise Mineralógica

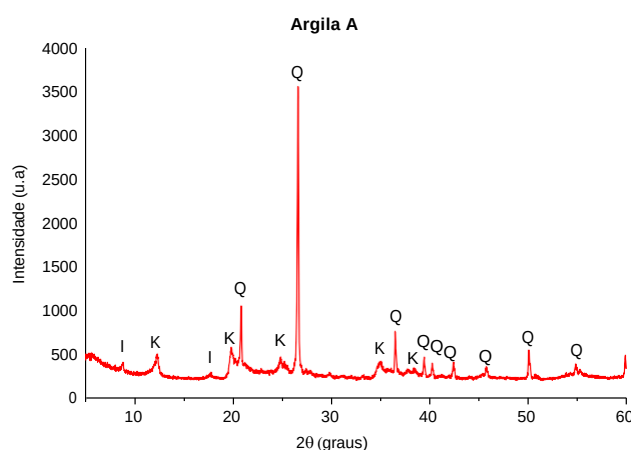
O difratograma de raios-x da ARG-A é apresentado na figura 23. As fases minerais identificadas foram caulinita ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$), quartzo (SiO_2) e illita ($((\text{K},\text{H}_3\text{O})\text{Al}_2\text{Si}_3\text{AlO}_{10}(\text{OH})_2)$). Rodrigues *et al.* (2015) estudaram amostras de argila da mesma região de

coleta. Esses autores também observaram a presença de mineralogia formada, principalmente, por caulinita de baixa cristalinidade e quartzo bem cristalizado e com ocorrências de illita, o que explica o pico intenso de quartzo. Foi observado também elevado teor de sílica livre (SiO_2), sendo esta a fase mineralógica principal do solo.

Para Rodrigues *et al.* (2015), a determinação das fases minerais permite a avaliação da potencialidade de propriedades expansivas da matéria-prima. De acordo com a literatura, a caulinita é o principal argilomineral encontrado nas argilas da região de Iranduba/AM e é responsável pela plasticidade da argila vermelha. Apesar de o quartzo ser considerado uma impureza, é um mineral encontrado naturalmente nas argilas e atua como um material inerte, responsável por diminuir a plasticidade do material (MENDONÇA *et al.*, 2011). Ainda segundo o que Mendonça *et al.* (2011) apresentam, o quartzo é considerado responsável pela contração de peças cerâmicas durante o processo de secagem e está ligado a formação de fase vítrea, e a illita pode apresentar características expansivas. Com relação à presença de caulinita, Souza (2008) afirma que se trata de um argilomineral pouco expansivo, porém, quando umedecida, adquire boas características de plasticidade. A caulinita presente contribui para facilitar a trabalhabilidade da massa cerâmica (CARREIRO *et al.*, 2016).

Estudos do Serviço Geológico do Brasil (2016) revelaram que as argilas localizadas na região do objeto de estudo desta pesquisa são constituídas basicamente por quartzo, caulinita, illita, goethita, anatásio, feldspato, esmectita e hematita. Fato este que corrobora as fases minerais encontradas na amostra analisada.

Figura 23 – Difratoograma de argila A



Fonte: Elaboração própria com base nos dados de pesquisa (2021).

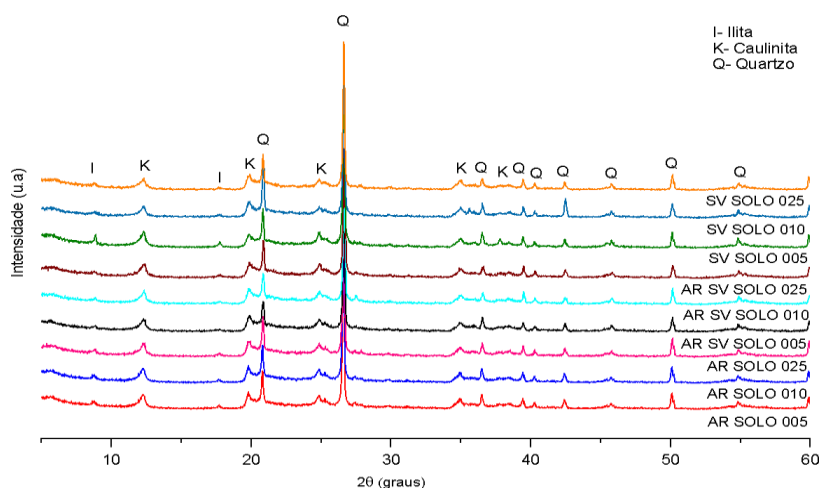
Legenda: K = Caulinita, Q = Quartzo, I = Illita.

Com relação à fração dos resíduos de madeira presentes na amostra (figura 24), pode-se verificar que os picos, referentes aos materiais orgânicos não foram observados, sendo predominantes, apenas, as fases em função da fração de argila. Atribui-se esse resultado ao

equipamento utilizado, que não faz leitura de material amorfo. De acordo com Almeida *et al.* (2020), difratogramas característicos desses tipos de amostras apresentam picos referentes à celulose, sendo este o principal componente das madeiras, apresentando picos no ângulo de difração 2θ em 23° , 21° , 17° e 15° (ALMEIDA *et al.*, 2020).

Os difratogramas das formulações de massas analisadas indicam um padrão de similaridade com pequenas variações na intensidade dos picos na adição de serragem de eucalipto em misturas para a produção de tijolos maciços (MORI; COVEZZI; MORI, 2011).

Figura 24 – Difratograma de massas formulado para revestimento poroso com argila e resíduo de serragem em 2,5%, 5% e 10% em peso na temperatura ambiente



Fonte: Elaboração própria com base nos dados de pesquisa (2021).

Nos resultados das análises de difração de raios-x (DRX) para as misturas de argila e serragem, identificaram-se, na argila, basicamente, as fases minerais caulinita e quartzo. A presença de quartzo nas amostras pode causar a redução da plasticidade da argila, fazendo com que esta apresente baixa retração linear quando submetida a altas temperaturas, já que esse mineral é o responsável pela contração das peças cerâmicas durante a secagem. (MORI; COVEZZI; MORI, 2011).

4.1.2 Análises Químicas

Na tabela 11, encontram-se os resultados da análise química das matérias-primas utilizadas em estado vegetal, argila padrão (ARG-A), resíduo de madeira Angelim rajado (AR) e resíduo de madeira Sucupira vermelha (SV). A argila padrão (ARG-A) e os resíduos de serragem analisados são essencialmente constituídos por SiO_2 , Al_2O_3 e Fe_2O_3 . Observa-se que o percentual de óxido de silício (SiO_2), entre as matérias-primas, variou de 13,50% a 59,92%. A sílica indica presença de argilominerais, tais como caulinita, illita e quartzo, como

identificado no difratograma de raios-x na figura 24). O teor de K_2O indica a presença do argilomineral da illita e feldspato. A illita atua como fundente (TAGUCHI et al., 2014). Já os teores de (Al_2O_3) ficaram entre 9,90% e 27,92%, para as matérias-primas analisadas. A argila (ARG-A), em estado vegetal, apresentou um teor de óxido de ferro (Fe_2O_3) de 7,05%, superior a 5%, caracterizando, assim, uma massa cerâmica vermelha (CABRAL JUNIOR et al., 2005).

Óxidos alcalinos podem estar associados à formação do caulim, pois este é formado pela alteração de silicatos de alumínio, particularmente dos feldspatos, que apresentam em sua composição óxidos de potássio, sódio e cálcio (ARAÚJO et al., 2012). Os teores de óxidos alcalinos (K_2O e Na_2O) encontrados na argila (ARG-A) foram de 2,57% e na serragem do Angelim rajado, 2,24%, os quais são considerados baixos, podendo estar presentes na argila como parte de compostos, tais como: feldspato potássico e illita, detectados no difratograma de raios-x.

Também, na tabela 11, os teores de óxidos alcalinos (K_2O e Na_2O) encontrados nos resíduos de serragem da Sucupira vermelha (15,25%) são bem mais elevados, os quais podem gerar produtos de hidratação indesejáveis e reagir com certos agregados, proporcionando fissuras (SANTOS, 2017) se utilizados em grandes porcentagens de massa, nas formulações para fabricação de revestimentos cerâmicos porosos. A presença do óxido de cálcio (CaO), no resíduo SV (9,51%), auxilia na formação do hidróxido de cálcio, o qual é responsável por acelerar o processo de endurecimento das misturas. Na indústria cerâmica, a aplicação do calcário calcítico ou dolomítico na composição das massas cerâmicas fornece ao produto uma redução nas expansões térmicas (SOARES et al., 2016). Os óxidos alcalinos de cálcio (CaO) e magnésio (MgO) são agentes fundentes e podem diminuir a refratariedade das peças. Estes estão presentes em maior teor no resíduo da SV (9,51% e 2,52%).

Com relação aos óxidos fundentes (Fe_2O_3 , MgO , CaO e K_2O), observa-se que os resíduos das madeiras estudadas apresentaram valores bem mais elevados quando observada a ARG-A (10,17%), comprovando que estes podem vir a agir como materiais fundentes, aumentando a densificação dos corpos de prova quando sinterizados. Observa-se mais uma vez que o resíduo de SV (64,72%) possui teores maiores de óxidos fundentes quando comparado ao resíduo do AR (18,76%), indicando que ele pode agregar mais valor do que o Angelim rajado, quando formulada a massa cerâmica para fabricação de revestimento cerâmico. De acordo com Barreto e Costa (2018), quanto mais elevados os valores dos óxidos fundentes de um material, mais estes atuam nas fases líquidas e contribuem para aumentar a densificação das peças cerâmicas, reduzindo a porosidade e, consequentemente, aumentando a resistência à flexão.

Foi detectado um elevado valor de óxido de ferro (Fe_2O_3) nos resíduos das madeiras AR (15,76%) e SV (41,95%) quando comparado aos valores da ARG-A (7,05%). Esses resultados são responsáveis pela cor avermelha da argila após a queima. De modo geral, apesar de ambos os resíduos serem oriundos de madeiras tropicais, possuindo, assim, propriedade mecânicas e físicas similares, existem diferenças quanto à sua constituição química, do ponto de vista inorgânico, proporcionando alterações tecnológicas perceptíveis quando estes são formulados com a argila e submetidos à sinterização.

Tabela 11 – Composição química das matérias-primas (em óxidos %)

Elementos	Solo Argila (ARG-A)	Angelim rajado (AR)	Sucupira vermelha (SV)
Na_2O	0,22	0,17	4,51
MgO	0,69	0,78	2,52
Al_2O_3	27,92	28,36	9,90
SiO_2	59,92	33,76	13,50
K_2O	2,35	2,09	10,74
CaO	0,08	0,14	9,51
TiO_2	1,62	1,36	-
Fe_2O_3	7,05	15,76	41,95

Fonte: Elaboração própria com base nos dados de pesquisa (2021).

Na tabela 12, observa-se que as formulações de massa que contêm resíduos de serragem de madeira apresentam resultados dos teores de óxidos dos principais elementos (SiO_2), (Al_2O_3) e (Fe_2O_3) bem semelhantes à massa padrão da argila.

De acordo com Cabral Junior *et al.* (2005), os percentuais de óxidos presentes nas massas cerâmicas são característicos das massas utilizadas na fabricação de produtos cerâmicos, tais como blocos estruturais, blocos de isolamento, blocos de vedação, entre outros. Analisando-se as formulações, observa-se, também, valores relativamente altos dos óxidos fundentes (Fe_2O_3 , MgO , CaO e K_2O), principalmente nas misturas que contêm o resíduo de serragem da Sucupira Vermelha, nas porcentagens de 2,5%, 5% e 10%.

Tabela 12 – Composição química das formulações de massa cerâmicas (estado verde), em % de óxidos

Elementos	AR2,5 (MC2)	AR5 (MC3)	AR10 (MC4)	SV2,5 (MC5)	SV5 (MC6)	SV10 (MC7)	ARSV2,5 (MC8)	ARSV5 (MC9)	ARSV10 (MC90)
Na_2O	0,18	0,60	1,34	0,35	0,72	0,98	0,20	0,36	0,20
MgO	0,63	0,73	0,69	0,77	0,76	0,73	0,78	0,79	0,77
Al_2O_3	28,18	29,41	29,54	29,52	29,48	29,01	29,22	29,45	29,54
SiO_2	59,55	53,06	52,79	52,31	52,73	51,82	52,06	51,86	51,51
K_2O	2,35	1,98	1,99	1,95	1,91	1,95	1,91	1,31	1,95
CaO	0,14	0,09	0,08	0,07	0,07	0,09	0,09	0,47	0,08
TiO_2	1,61	1,44	1,40	1,32	1,25	1,35	1,36	1,27	1,28
Fe_2O_3	7,24	12,96	13,13	13,74	13,80	14,70	14,11	14,12	14,51

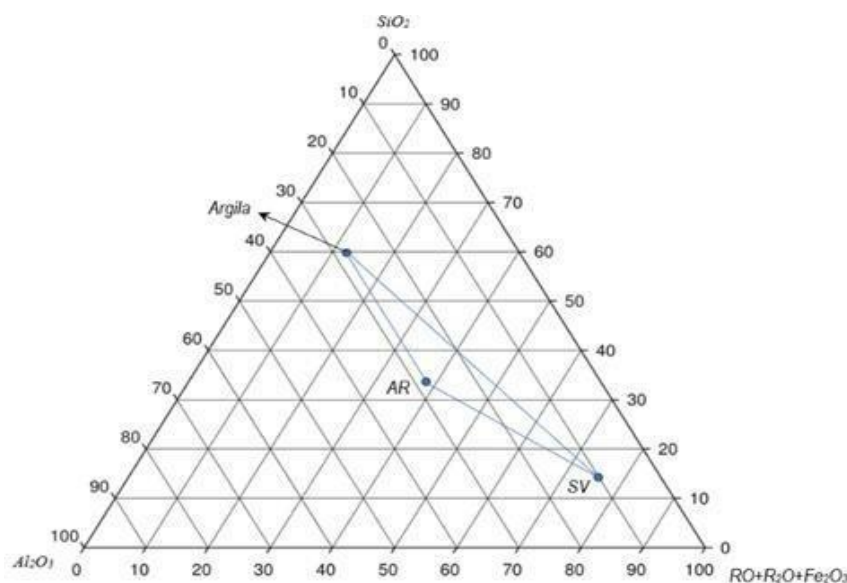
Fonte: Elaboração própria com base nos dados de pesquisa (2020).

Já os teores de óxidos alcalinos (K_2O e Na_2O) encontrados nas massas cerâmicas são relativamente baixos. De acordo com Santos (1989), eles podem estar fazendo parte da própria estrutura cristalina dos argilominerais como a illita.

4.1.3 Diagrama Triaxial

O diagrama triaxial foi utilizado para otimizar as formulações cerâmicas, quanto aos percentuais em peso dos três componentes utilizados (figura 25). Esse diagrama identifica os pontos referentes às matérias-primas dos óxidos principais (SiO_2 , Al_2O_3) e, na terceira extremidade, a soma dos óxidos alcalinos ($Na_2O + KO$), alcalinos terrosos ($CaO + MgO$) e o Fe_2O_3 . O resíduo da AR é constituído principalmente por SiO_2 e Al_2O_3 , enquanto o da SV é essencialmente constituído pelo Fe_2O_3 . A utilização desse método auxilia no planejamento da formulação de um produto com boa eficácia.

Figura 25 – Diagrama triaxial para as formulações $RO + R_2O + Fe_2O_3$



Fonte: Elaboração própria (março de 2022).

O resultado da aplicação desse método indica que as melhores formulações são as que utilizaram o resíduo da Sucupira Vermelha, por apresentarem maiores teores de elementos fundentes, responsáveis pela densificação dos materiais cerâmicos, durante a sinterização, melhorando a propriedade tecnológica de resistência à flexão, contribuindo, assim, para a fabricação de placas de revestimento de parede classe BIII.

4.1.4 Análise Física da Matéria-Prima

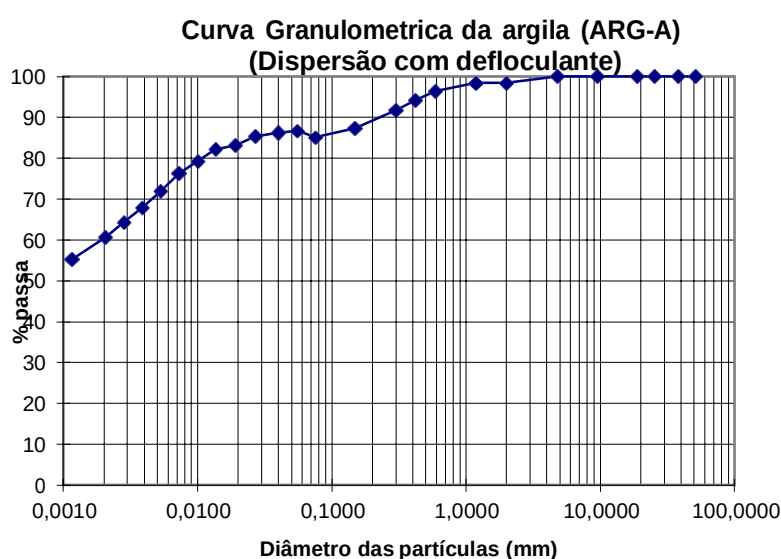
4.1.4.1 Análise Granulométrica da Argila

Nas figuras 26 e 27, apresentam-se as curvas granulométricas de distribuição de tamanhos de partícula das argilas (ARG-A e ARG-B). A argila A apresentou um elevado conteúdo de partículas $< 2\mu\text{m}$ (fração de argila) no valor de 54,6%, fração de silte ($2 \leq x < 63 \mu\text{m}$) de 29,1% e fração de areia fina ($63 \leq x < 200 \mu\text{m}$) de 16,3%.

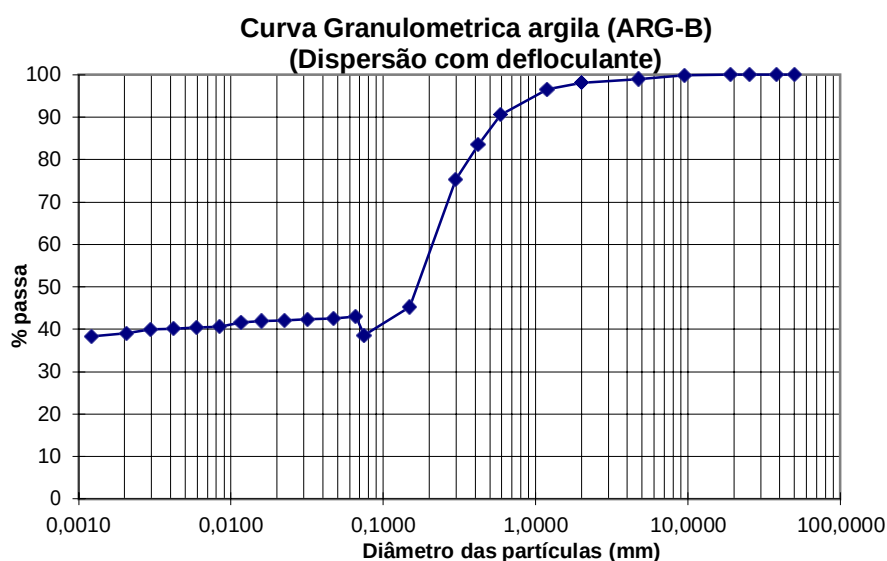
Já a argila B apresentou um conteúdo de partículas $< 2\mu\text{m}$, inferiores à argila A, com valor de fração de argila de 38,67%. Já a fração de silte ($2 \leq x < 63 \mu\text{m}$) foi baixa, 1,31%, e a fração de areia fina ($63 \leq x < 200 \mu\text{m}$) de 58,37% (tabela 13).

Analisando-se os dados observamos, pode-se dizer que, do ponto de vista da granulometria, a ARG-A é Silte Argilosa (alto teor de plasticidade), com 83,70% de silte e argila e, aproximadamente, 16,3% de areia. Enquanto a ARG-B é Silte Arenosa, com 39,98% de silte e argila e, aproximadamente, 58,37% de areia. Esses valores demonstram que a argila A é uma argila vermelha, rica em materiais argilosos, com valor da massa específica real dos grãos de $2,63 \text{ g/cm}^3$ e a umidade hidrocópica de 6,59%.

Figura 26 – Distribuição dos tamanhos de partículas da argila A



Fonte: Elaboração própria com base nos dados de pesquisa.

Figura 27 – Distribuição dos tamanhos de partículas da argila B

Fonte: Elaboração própria com base nos dados de pesquisa.

Os resultados dos índices físicos das Argilas A e B, em estado vegetal, estão apresentados na tabela 13. É a partir dos limites de consistência que se pode analisar as variáveis que melhor expressam as condições de trabalhabilidade dos solos.

Analisando-se os resultados, observou-se que a ARG-B apresentou um índice de plasticidade inferior à ARG-A. Isso se explica pela presença de areia, argila e silte nas amostras. Sabe-se que uma maior quantidade de areia e uma menor quantidade de silte torna a argila pouco plástica. De acordo com o Sistema Unificado de Classificação dos Solos (SUCS), a ARG-A foi classificada como silte argilosa por possuir um elevado teor de plasticidade, e a ARG-B foi classificada como silte arenosa inorgânica por conter maior quantidade de resíduos e baixo teor de plasticidade.

Neste trabalho, foi utilizada apenas a argila A, considerando-se que as argilas plásticas favorecem o processo de prensagem. Na Cerâmica Montemar Indústria e Serviço de Coleta de Resíduos Ltda, local de coleta da argila, o processo utilizado para fabricação de tijolos é a extrusão. Eles trabalham com uma proporção de 2:1, sendo duas medidas da ARG-A e uma da ARG-B, procedimento este utilizado para diminuir gastos de produção.

Na tabela 13, encontram-se demonstrados os valores do limite de consistência de Alterberg, o limite de plasticidade (LP) e o limite de liquidez (LL), da argila estudada. O limite de plasticidade (LP) está relacionado à quantidade de água mínima necessária para que o estado de consistência plástico seja adquirido. Já o limite de liquidez (LL) está relacionado à quantidade de água em que o material apresenta com uma consistência de lama, ultrapassando, assim, a faixa de consistência plástica. Argilas muito plásticas com valores elevados, podem dificultar o destorramento e conseqüentemente a mostura dos componentes.

A ARG-A apresenta os dados da distribuição do tamanho de partículas em % e os limites de Atterberg (%), com limite de liquidez (LL) em torno de 67,00%, índice de plasticidade (IP) de 28,43% e plasticidade (P) de 38,57%, de modo que, de acordo com a literatura, pode ser classificada como uma argila de alta plasticidade.

Materiais que apresentam IP entre 1 e 7% são considerados fracamente plásticos, de 7% a 15%, medianamente plásticos, e acima de 15%, altamente plásticos, segundo o que é apresentado por Maestrelli *et al.* (2013). Analisando-se esses resultados, verifica-se que eles estão de acordo com a granulometria da argila, indicando a presença de materiais argilosos como a caulinita, logo, a argila A está devidamente apropriada para ser utilizada para fabricação de materiais cerâmicos, tornando-se a matéria-prima argilosa utilizada ao longo deste trabalho.

Tabela 13 – Distribuição de tamanho de partículas e limites de Atterberg (LL e PL) e índice de plasticidade PI das matérias-primas cerâmicas conforme ABNT NBR 7181/1984

Distribuição do tamanho de partícula (%)				Limites de Atterberg (%)		
Amostra	Areia (%) $x > 20\mu\text{m}$	Silte (%) $2\mu\text{m} < x \leq 20\mu\text{m}$	Argila (%) $x \leq 2\mu\text{m}$	(LL %)	(PL %)	(IP %)
Argila (ARG-A)	16,3	29,1	54,6	67,00	38,57	28,43
Argila (ARG-B)	58,37	1,31	38,67	38,20	26,67	11,53

Fonte: Elaboração própria com base nos dados de pesquisa.

4.1.5 Análise Térmica das Matérias-Primas

Nas figuras 28 e 29, são observados os resultados das análises de Análise Termogravimétrica (TGA – Thermogravimetric Analysis) e de Calorimetria Diferencial de Varredura (DSC – Differential Scanning Calorimetry), da argila e dos resíduos de serragem de Angelim rajado e Sucupira vermelha, respectivamente. A taxa de aquecimento de 20 °C/min e aquecimento até a temperatura final de 1000 °C teve como finalidade avaliar a estabilidade térmica e as diferentes decomposições, além do comportamento cinético das reações ocasionadas pela presença de calor nas matérias-primas utilizadas ao longo do trabalho.

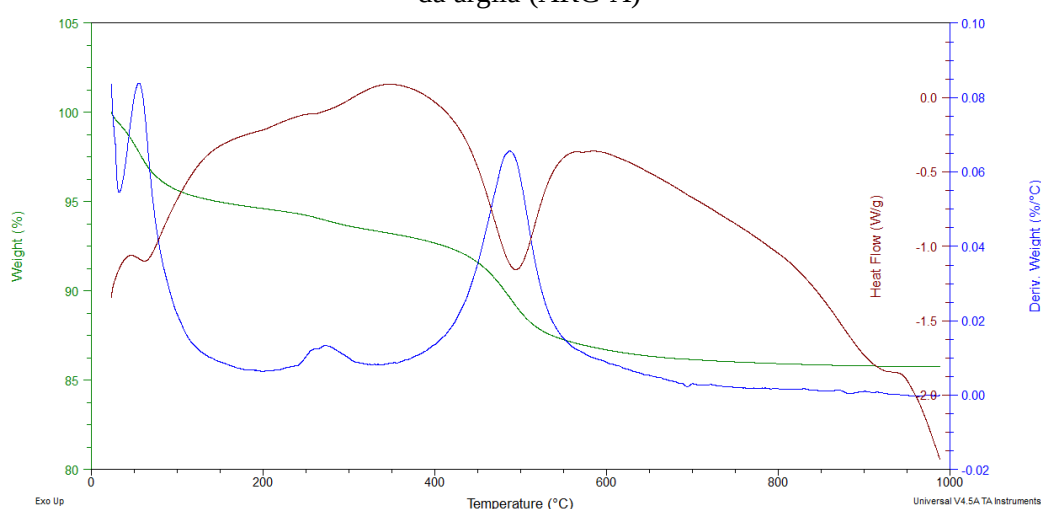
A ARG-A (figura 28) apresentou um pico exotérmico a 46 °C, que representa a evaporação de água livre existente entre as partículas. Em 495 °C, foi observado um pico endotérmico, que é explicado pela decomposição de água estrutural, ou seja, a desidroxilação dos argilominerais da caulinita em illita. Em aproximadamente 593 °C, foi verificado um pico exotérmico, que é atribuído à transição do quartzo da fase α para a fase β (GENG; SUN, 2018).

Por causa da desidratação, degradação de resíduo orgânico e desidroxilação durante o processo de aquecimento, foi possível constatar três estágios significativos para a argila com intervalos de temperatura e porcentagem de perda de massa de 5,4% (24 °C – 200 °C); 1,4%

(200 °C – 350 °C); e 7% (350 °C – 700%), respectivamente, conforme observado nas curvas de

A TGA e sua derivada DSC, entre 24 °C e 200 °C, a perda de massa é atribuída principalmente à rápida dessorção da água entre as partículas, água adsorvida e água entre as camadas na superfície da argila e no espaço entre as lamelas. Na faixa de temperatura de 200 °C – 700 °C, a perda de massa é principalmente devido à combustão de matéria orgânica e à dissipação de água estrutural (grupos estruturais OH) (STERNIK et al., 2019). Por fim, com a saída total da água a 700 °C, a cristalinidade desaparece e começa a se formar a metacaulinita, que é amorfa e metaestável. A fase de vitrificação, inicia a cerca de 900 °C com a formação do espinélio, e a nucleação de mulita, a partir de 970 °C (SAVAZZINI-REIS et al., 2017).

Figura 28 – Análise térmica (TG) e calorimetria diferencial de varredura (DSC) da argila (ARG-A)



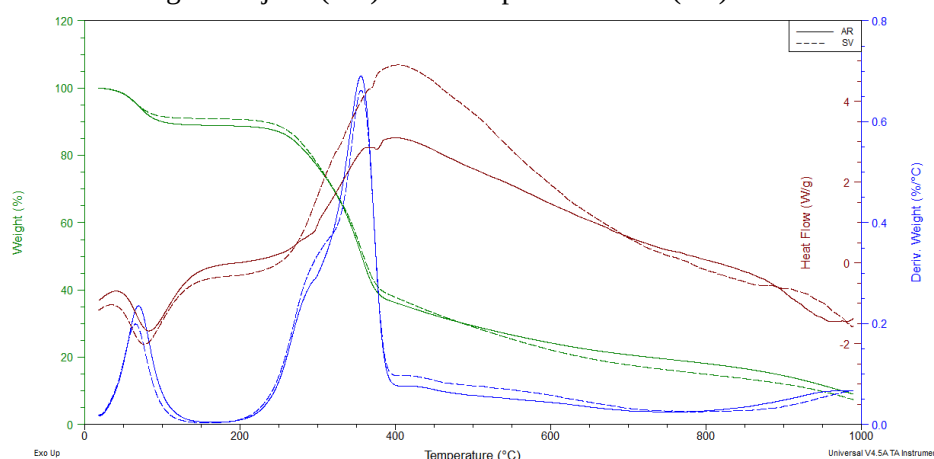
Fonte: Elaboração própria com base nos dados de pesquisa.

O *Pithecelobium racemosum* Ducke (Angelim rajado (AR)) como a *Andira parviflora* Ducke (Sucupira vermelha (SV)) apresentaram um comportamento térmico bastante semelhante (figura 29), com duas perdas de massa bem acentuadas, como também a quantidade de resíduo ao final do ensaio. As três regiões principais de perda de massa observadas foram 11,09%, 54,02% e 25,64%, em temperaturas de pico da primeira derivada de 69,34 °C e 355,67 °C, respectivamente, para as duas primeiras degradações da amostra de AR; a terceira fase de deterioração compreendeu a faixa de temperatura entre 420 °C e 990 °C. Já para a amostra de SV, as perdas de massa foram de: 9,09%, 54,12% e 29,31%, em temperaturas de pico da primeira derivada de 65,34 °C e 356,14 °C, e a terceira fase de deterioração também compreendeu a faixa de temperatura entre 420 °C e 990 °C. Essas perdas de massa estão relacionadas à perda de água e/ou compostos orgânicos voláteis de baixo ponto de ebulição no caso da primeira etapa e à degradação térmica dos componentes da biomassa, sendo a segunda

etapa atribuída à degradação da hemicelulose e a terceira, à degradação da celulose e da lignina (SANTOS, et al., 2020).

A curva de DSC do material vegetal também está apresentada na figura 29 e reforça esses pontos de decomposição, com dois picos predominantes em aproximadamente 40 °C e 400 °C, tanto na amostra de AR como na de SV. A hemicelulose possui uma estrutura de baixo grau de cristalização, o que a torna mais suscetível à degradação térmica em temperaturas mais baixas, sendo observada então uma descontinuidade da curva em aproximadamente 370 °C. E a celulose começou a sofrer a decomposição numa temperatura próxima de 400 °C, visto que necessita de mais energia para quebrar as ligações, por causa de sua formação por polímero de cadeia longa (ONG et al., 2019).

Figura 29 – Análise térmica (TG) e calorimetria diferencial de varredura (DSC) dos resíduos do Angelim rajado (AR) e da Sucupira vermelha (SV)



Fonte: Elaboração própria com base nos dados de pesquisa.

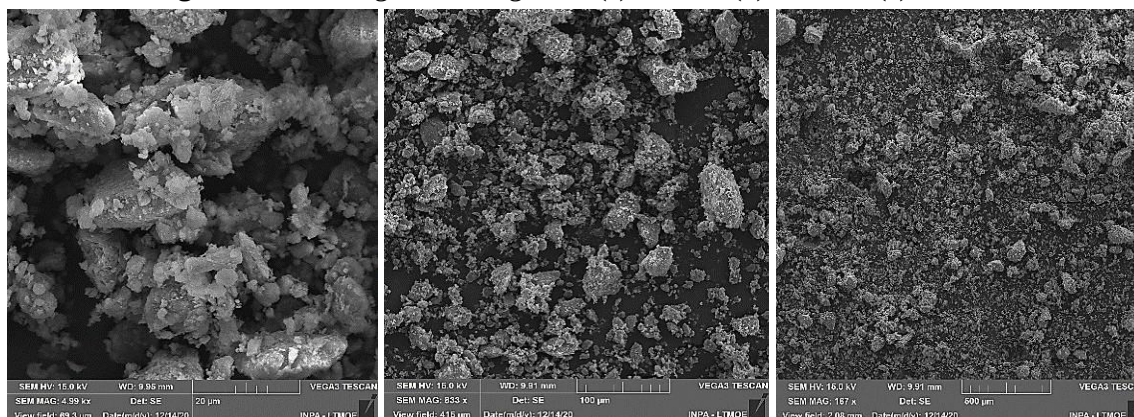
Já o último estágio, que ocorreu acima de 420 °C, além da continuidade da perda da celulose, também corresponde à perda de massa de lignina, por apresentar uma estrutura mais rígida e estável e, por fim, a carbonização (MUKHOPADHYAY et al., 2021). Destaca-se que a amostra de SV apresentou maior poder calorífico que a amostra de AR, 4188 J/g e 2551 J/g, respectivamente, para a faixa de temperatura entre 200 °C e 800 °C. Provavelmente, a Sucupira vermelha deve apresentar um percentual maior de celulose em relação ao Angelim rajado.

4.1.6 Análise Morfológica das Matérias-Primas

A morfologia das partículas da argila por meio da microscopia eletrônica de varredura pode ser observada na figura 30 (a, b e c). Na análise, observa-se a presença de pequenas partículas finas e aglomeradas com forma pseudo-hexagonal, associadas provavelmente à caulinita, argilomineral presente nas argilas (SOUZA SANTOS, 1992). Esse resultado

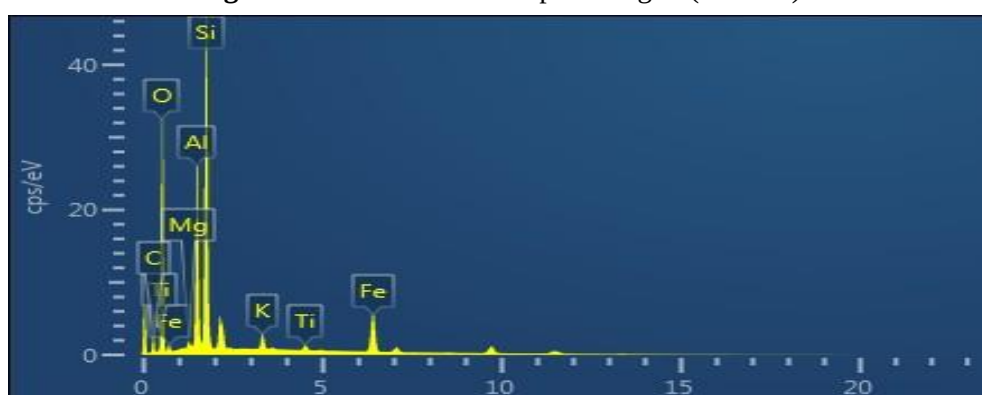
corroborar o resultado da espectrometria de energia dispersiva (EDS) pontual (figura 31), em que se identificou a presença do Si e do Al, considerando-se que estes elementos fazem parte da composição desse argilomineral, também identificados na análise química da argila.

Figura 30 – Micrografia da argila A: (a) ≈ 5 Kx; (b) ≈ 833 x; (c) ≈ 160 x



Fonte: Arquivo da pesquisadora.

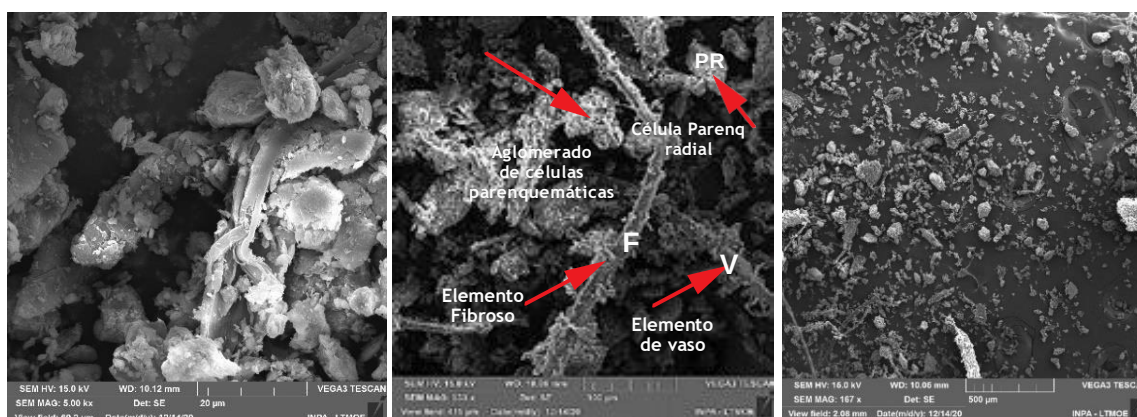
Figura 31 – EDS da matéria-prima argila (ARG-A)



Fonte: Arquivo da pesquisadora.

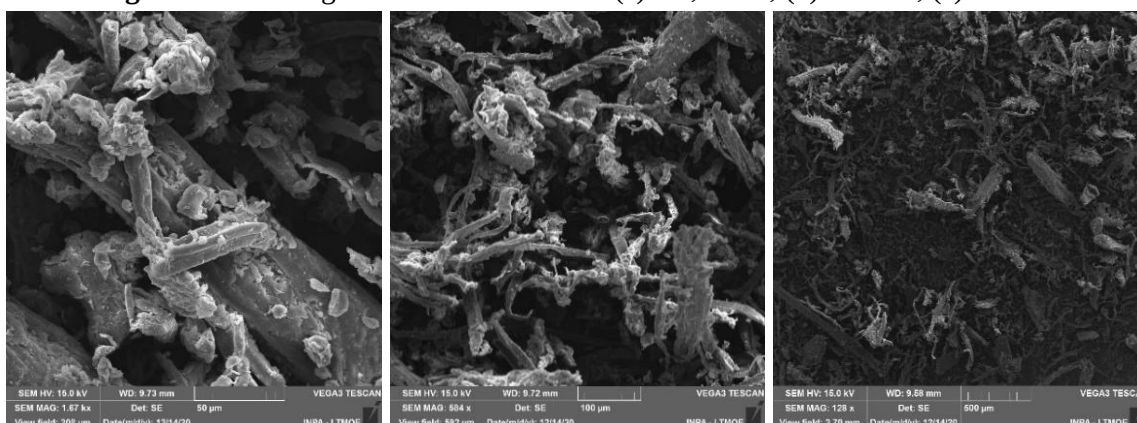
Com relação aos resíduos, anatomicamente, conforme demonstrado nas figuras 32 e 33, as madeiras AR e SV caracterizam-se por apresentar morfologicamente elementos celulares similares, contudo, o resíduo de AR apresenta-se mais particulado. As partículas de AR estão relacionadas à disposição dos elementos celulares, notadamente, as fibras libriformes e elementos vasculares. Durante o processo para produção de resíduo, esses elementos sofrem menos ação de corte, o que contribui para um resíduo com mais resquícios de elementos fibrosos (figura 32).

Figura 32 – Micrografia do resíduo de AR: (a) ≈ 5 Kx; (b) ≈ 833 x; (c) ≈ 160 x



Fonte: Arquivo da pesquisadora.

Figura 33 – Micrografia do resíduo de SV: (a) $\approx 1,67$ Kx; (b) ≈ 584 x; (c) ≈ 128 x



Fonte: Arquivo da pesquisadora.

Já no resíduo SV (figura 33), as partículas se dispõem paralelamente em relação ao eixo longitudinal do tronco (grã direita); observam-se ainda uma estrutura fibrosa com elemento fibroso, células de parênquima radial e axial, assim como elemento vascular (vasos).

4.2 CARACTERIZAÇÃO DA ARGILA (ARG-A) E DAS MASSAS CERÂMICAS INCORPORADAS COM OS RESÍDUOS DE PÓ DE SERRAGEM DE MADEIRA APÓS A SECAGEM

4.2.1 Avaliação das propriedades tecnológicas das massas cerâmicas após a secagem

Os valores das propriedades tecnológicas dos corpos de prova cerâmicos secos na temperatura de 110 °C, com os respectivos desvios padrão, foram apresentados na tabela 14. Para uma melhor compreensão dos efeitos que a incorporação dos resíduos de madeiras tropicais AR e SV causaram nos corpos de prova conformados, foram elaborados gráficos de retração linear (RL) e massa específica aparente (MEA) de cada formulação após a secagem,

para comparação de seu comportamento com os dados do solo (ARG-A), conforme demonstrada nas figuras 34 e 35.

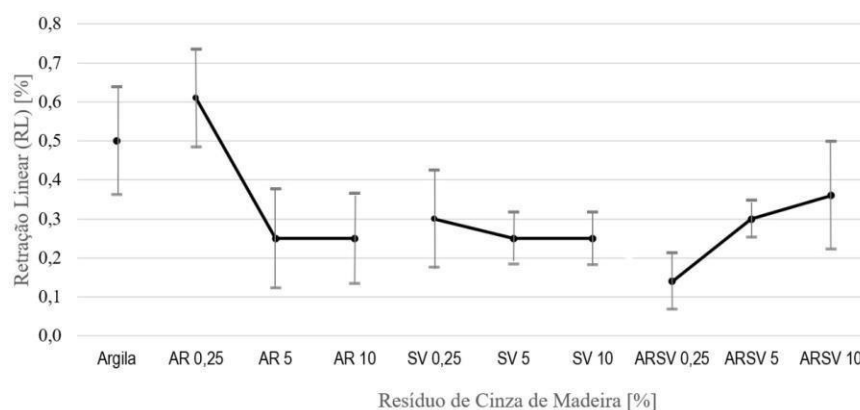
Tabela 14 – Propriedades físicas de retração linear e massa específica aparente da argila (ARG-A) e das formulações de massa dos corpos de prova secos na temperatura de 110 °C

Composições	Temperatura de queima (°C)	Retração Linear (RL) (%)	Densidade Aparente (DA) (g/cm ³)
Argila (ARG-A)	110	0,50 ± 0,138	1,93 ± 0,216
AR2,5	110	0,61 ± 0,125	1,97 ± 0,195
AR5	110	0,25 ± 0,127	1,80 ± 0,198
AR10	110	0,25 ± 0,116	1,64 ± 0,181
SV2,5	110	0,30 ± 0,125	1,77 ± 0,195
SV5	110	0,25 ± 0,067	1,84 ± 0,105
SV10	110	0,25 ± 0,067	1,90 ± 0,105
ARSV2,5	110	0,14 ± 0,072	1,82 ± 0,113
ARSV5	110	0,030 ± 0,047	2,14 ± 0,073
ARSV10	110	0,36 ± 0,138	2,05 ± 0,216

Fonte: Elaboração própria com base nos dados de pesquisa.

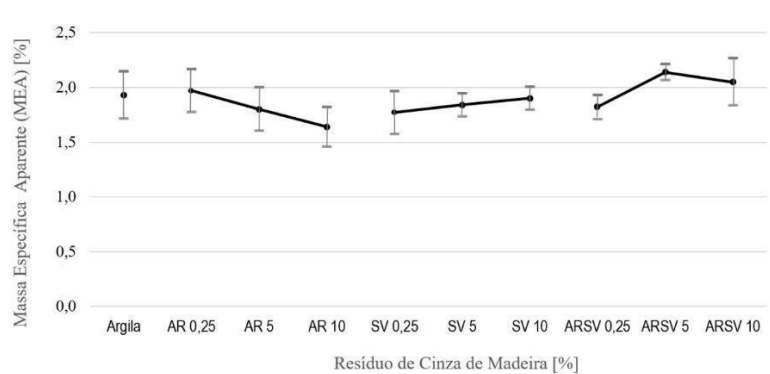
Observa-se na figura 34 que houve uma variação na retração linear de secagem para as formulações elaboradas. Os resíduos AR e SV, gradativamente após serem incorporados à massa cerâmica, reduziram a retração linear de secagem em todas as formulações, com exceção do AR 2,5%, possivelmente esse resultado se deu face a algum erro de compactação durante a manipulação da massa, para formação do corpo de prova. Já as formulações compostas com os dois resíduos (ARSV), quando comparada com a retração do solo (ARG-A), verificou-se que houve um comportamento reverso, observa-se um aumento da retração linear gradativo a incorporação do resíduo, mas estes não ultrapassam os valores de referência da argila (ARG-A). Observou-se também que as formulações com o SV, mesmo com o aumento do percentual de peso de resíduo, mantiveram-se estáveis e obtiveram resultados melhores do que a retração do solo (ARG-A).

Figura 34 – Retração linear (RLs) de secagem da argila (ARG-A) e formulações de massa com resíduos de AR e SV, secas a 110° C



Fonte: Elaboração própria com base nos dados de pesquisa.

Figura 35 – Massa específica aparente (MEAs), seca a 110 °C, da argila (ARG-A) e formulações de massa com resíduos de AR e SV



Fonte: Elaboração própria com base nos dados de pesquisa.

Observa-se também que a adição dos percentuais de peso (2,5%, 5% e 10%) do resíduo SV aumentou a densidade dos corpos de prova, aproximando-se do valor da ARG-A padrão, conforme observado na figura 35. Esses resultados podem ser justificados pela quantidade dos materiais fundentes encontrados na composição química desse resíduo (SV), considerando-se que eles aumentam a densificação da massa cerâmica por meio da elevação da temperatura, proporcionando uma maior resistência com relação as outras formulações estudadas, além de ser responsável por diminuir a absorção de água.

4.3 CARACTERIZAÇÃO DA ARGILA (ARG-A) E DAS MASSAS CERÂMICAS INCORPORADAS COM OS RESÍDUOS DE PÓ DE SERRAGEM DE MADEIRA APÓS A QUEIMA

4.3.1 Análise Mineralógica das Massas Cerâmicas após a Queima

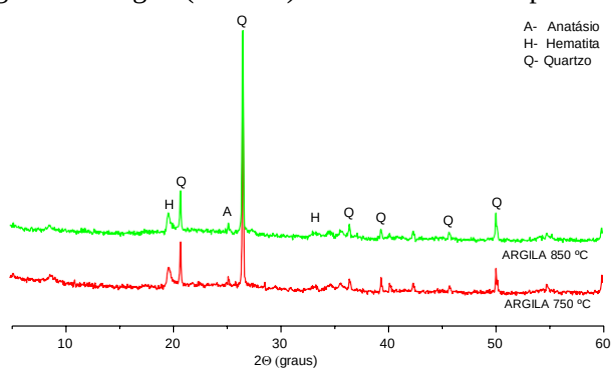
As propriedades do material cerâmico dependem da microestrutura sinterizada. No caso específico de revestimentos cerâmicos porosos, a análise microestrutural para um melhor

entendimento do comportamento das propriedades estudadas em função da adição de resíduo de serragem e da temperatura de sinterização.

Nas figuras 36, 37, 38 e 39, apresentam-se os difratogramas de raio-x obtidos para a amostra da ARG-A e as nove (9) formulações AR + SOLO, SV + SOLO e ARSV + SOLO sinterizadas a 750 °C e 850 °C. É possível observar que as formulações apresentam um padrão similar ao difratograma da ARG-A, não havendo presença de picos de caulinita nas amostras, pois os picos característicos deste argilomineral geralmente ocorrem nos ângulos 2θ de 12° a 25° e 35° a 40° C. (BARATA; ANGÉLICA, 2012).

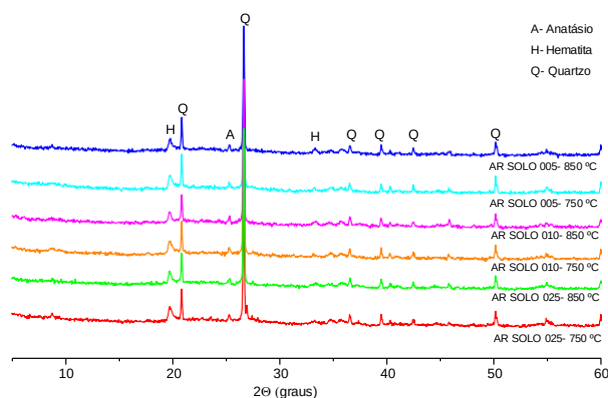
O desaparecimento destes nas amostras sinterizadas indica a quebra de ligações entre as camadas estruturais da caulinita. A mudança de fase da caulinita ocorre durante o processo de sinterização por meio de desidroxilação, que corresponde à evaporação da água quimicamente ligada com as hidroxilas presentes em sua estrutura, que geralmente ocorre por volta de 400 °C a 650 °C (BARBOSA, 2019). Tendo em vista as temperaturas de 750 °C e 850 °C utilizadas, verifica-se que esse processo foi efetivo para a transformação do mineral. Além disso, nas amostras sinterizadas, foram observados picos de quartzo, que indicam sua preservação, uma vez que sua mudança de fase para este mineral ocorre geralmente acima de 1000 °C. As amostras analisadas também apresentaram picos correspondentes à hematita e anatásio, que condizem com sua composição química, em que é verificada a presença de óxidos de ferro e titânio.

Figura 36 – Difratograma da argila (ARG-A) sinterizada nas temperaturas de 750 °C e 850 °C



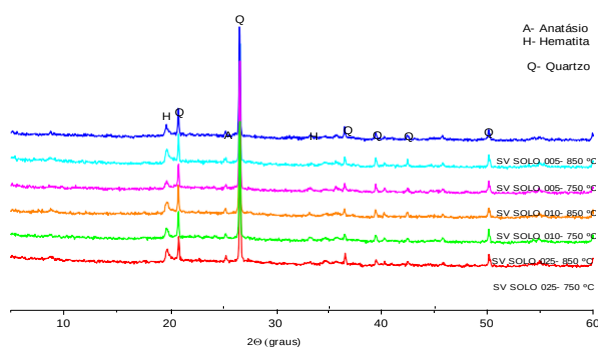
Fonte: Elaboração própria com base nos dados de pesquisa.

Figura 37 – Difratograma de raios-x da amostra AR + SOLO em proporções de resíduos de 2,5%, 5% e 10% sinterizada nas temperaturas de 750 °C e 850 °C



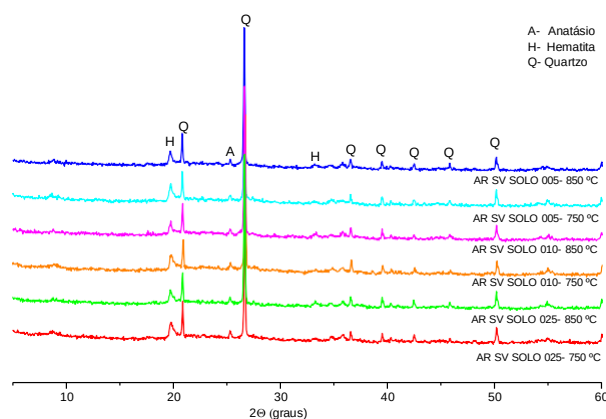
Fonte: Elaboração própria com base nos dados de pesquisa.

Figura 38 – Difração de raios-x da amostra SV + SOLO nas proporções de 2,5%, 5% e 10% sinterizada nas temperaturas de 750 °C e 850 °C



Fonte: Elaboração própria com base nos dados de pesquisa.

Figura 39 – Difratoograma de raios-x da amostra ARSV + SOLO nas proporções de 2,5%, 5% e 10% sinterizada nas temperaturas de 750 °C e 850 °C



Fonte: Elaboração própria com base nos dados de pesquisa.

As análises de DRX indicaram que a caulinita mal cristalizada é o argilomineral dominante, mas existe uma homogeneidade nas amostras quanto à presença de montmorilonita, quartzo, mica, illita e anatásio. Pode-se observar nas figuras 36, 37, 38 e 39 que os gráficos são praticamente idênticos, ou seja, a incorporação dos resíduos de pó de serragem das espécies *Pithecelobium racemosum* Ducke (angelim rajado) e *Andira parviflora* Ducke (sucupira

vermelha, como agentes porogênicos, não modificou as reações responsáveis pela formação das fases após a etapa de queima. Pode-se analisar também que não houve reações que levaram à formação de fases cristalinas, devido aos baixos índices de temperatura utilizados (750 °C e 850 °C), estando identificada a fase amorfa.

4.3.2 Análise Química da Argila (ARG-A) e das Massas Cerâmicas após a Queima

O resultado das análises químicas quantitativas realizadas pelo método de espectrometria de fluorescência de raio-x está apresentado em % de óxidos na tabela 14. A composição química das amostras reflete uma típica argila sedimentar para cerâmica vermelha, com predominância de SiO_2 , Al_2O_3 e Fe_2O_3 , característica dos aluminossilicatos encontrados nas matérias-primas.

As amostras de argila pura (ARG-A) e das composições de massa (AR 2,5%, AR 5%, SV 2,5%, SV 5%, SV 10%, ARSV 2,5%, ARSV 5% e ARSV 10%) apresentaram teores de sílica e alumina semelhantes. Esse resultado é justificado pelo elevado teor de caulinita presente em sua estrutura. Essa semelhança é devido à característica da estrutura do filossilicato dioctaédrico do tipo 1:1, formado por tetraedros de sílica (SiO_4) e folhas octaédricas de alumínio (Al_2O_3) (CARTAXO et al., 2016). Contudo, quantidades mais elevadas de óxido de silício foram percebidas nas massas cerâmicas AR 2,5%, AR 5% e AR 10%, podendo estas estarem associadas ao elevado percentual de quartzo presente em suas estruturas, comprovado pela composição química (tabela 12) e pelos difratogramas de raios-x (figura 37), observando-se uma intensidade mais elevada e perceptível do pico do mineral de quartzo em detrimento dos picos característicos da caulinita nessas respectivas amostras.

Segundo o que Medeiros *et al.* (2017) apresentam, a sílica pode ser proveniente da camada tetraédrica do argilomineral caulinita e dos minerais acessórios como mica, feldspato e quartzo em sua forma natural mais pura, o que também explica a presença de sílica das argilas caulínicas.

Já o teor de Fe_2O_3 existente caracteriza uma massa argilosa que queima tipicamente na cor avermelhada. As formulações de massa que obtiveram os maiores teores de ferro em suas formulações foram aquelas que utilizaram os resíduos de SV (41,95%), em face aos elevados teores de ferro encontrado nesses resíduos. Maiores teores de óxidos alcalinos foram observados nas amostras que contêm resíduos de AR e SV em comparação à argila pura (ARG-A). As contribuições alcalinas são constituídas, em sua maioria, pela presença do óxido de sódio (Na_2O) e óxido de potássio (K_2O). A presença desses óxidos pode favorecer a formação de fase vítrea durante a queima, proporcionando bom preenchimento, além de formar pontos eutéticos

com temperaturas de fusão mais baixas que podem acelerar o processo de sinterização (LIVRAMENTO et al., 2017). Apesar de serem observadas nas composições AR 5%, AR 10%, SV 5% e SV 10% maiores teores de óxidos alcalinos (Na_2O) e de K_2O , em relação às demais formulações, esses não foram suficientes para favorecer a formação de fase vítrea durante a queima, devido às baixas temperaturas utilizadas (750 °C e 850 °C).

Tabela 15 – Composição química das formulações de massa cerâmica e argila (ARG-A) sinterizada a 750 °C (em % em peso de óxidos)

Elementos	Argila A	AR2,5	AR5	AR10	SV2,5	SV5	SV10	ARSV2,5	ARSV5	ARSV10
Na_2O	0,06	0,09	0,30	0,45	0,16	0,16	0,28	0,06	0,139	0,09
MgO	0,67	0,68	0,73	0,69	0,51	0,76	0,73	0,83	0,79	0,77
Al_2O_3	29,71	28,80	29,41	29,54	28,95	29,48	29,01	29,49	29,45	29,54
SiO_2	54,24	52,83	53,06	52,79	53,87	52,73	51,82	54,15	51,86	51,51
K_2O	0,08	0,08	1,98	1,99	0,08	1,91	1,95	0,09	1,31	1,95
CaO	0,06	0,08	0,09	0,08	0,08	0,07	0,09	0,07	0,47	0,08
TiO_2	1,47	1,70	1,44	1,40	1,32	1,25	1,35	1,37	1,27	1,28
Fe_2O_3	11,51	13,18	12,96	13,13	12,34	13,80	14,70	11,47	14,12	14,51

Fonte: Elaboração própria com base nos dados de pesquisa.

Tabela 16 – Composição química das formulações de massa cerâmica e argila (ARG-A) sinterizada a 850 °C (em % em peso de óxidos)

Elementos	Argila A (CM)	AR2,5 (CM2)	AR 5 (CM3)	AR 10 (CM4)	SV 2,5 (CM5)	SV 5 (CM6)	SV 10 (CM7)	ARSV 2,5 (CM8)	ARSV 5 (CM9)	ARSV 10 (CM10)
Na_2O	0,09	0,18	0,45	0,90	0,16	0,37	0,72	0,18	0,26	0,17
MgO	0,67	0,63	0,51	0,31	0,51	0,4	0,36	0,83	1,31	1,21
Al_2O_3	29,71	28,18	23,59	19,94	28,95	26,67	22,87	29,49	28,83	27,73
SiO_2	54,24	59,55	60,03	60,54	53,87	54,76	53,91	54,15	53,88	53,43
K_2O	1,93	2,35	3,61	5,71	2,22	3,09	3,54	2,27	2,39	2,99
CaO	0,07	0,14	0,35	0,7	0,08	0,11	0,16	0,09	0,1	0,15
TiO_2	1,47	1,61	2,03	2,73	1,32	0,87	0,12	1,37	1,07	0,57
Fe_2O_3	11,51	7,24	7,57	7,92	12,34	12,83	17,98	11,47	11,35	11,15

Fonte: Elaboração própria com base nos dados de pesquisa.

A partir da análise química, é possível observar que os resíduos de pó da Sucupira vermelha (SV), devido aos elevados teores de óxidos fundentes, metais alcalinos, alcalinos terrosos e ferro, quando inseridos nas massas cerâmicas, poderão otimizar as propriedades tecnológicas das massas para a fabricação de material cerâmico, proporcionando um melhor desempenho, quando avaliada a potencialidade de seu uso na fabricação de produtos cerâmicos porosos.

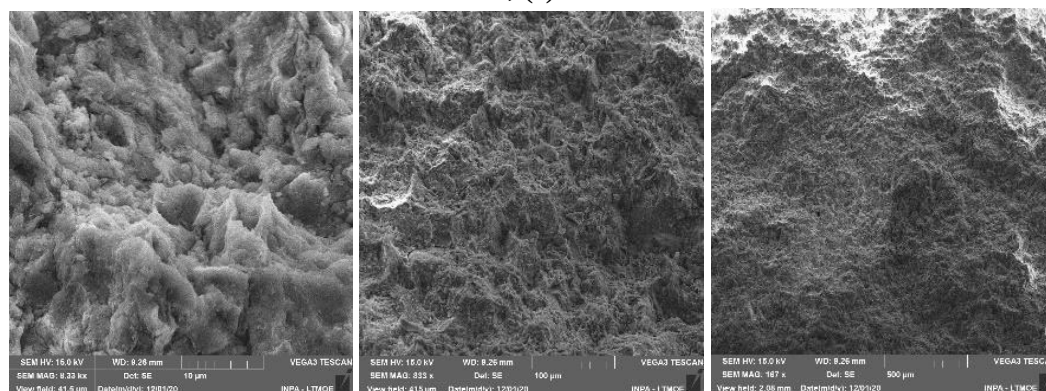
4.3.3 Análise Morfológica das Massas Cerâmicas

A análise microestrutural dos corpos de prova cerâmicos estudados contribui para uma maior compreensão do comportamento de suas propriedades após a adição dos resíduos de pó de serragem de madeiras folhosas.

Nas figuras 40 e 41, mostram-se as micrografias obtidas por microscopia eletrônica de varredura da superfície de fratura da argila pura (ARG-A), ou seja, sem adição de resíduos, queimadas a 750 °C e 850 °C. Observa-se que a argila sinterizada na temperatura de 850 °C apresentou regiões mais densificadas. Na figura 40 (a, b e c), percebe-se que ela possui um aspecto mais rugoso característico de uma sinterização pouco eficiente (CIPRIANO; FERRAZ, 2019).

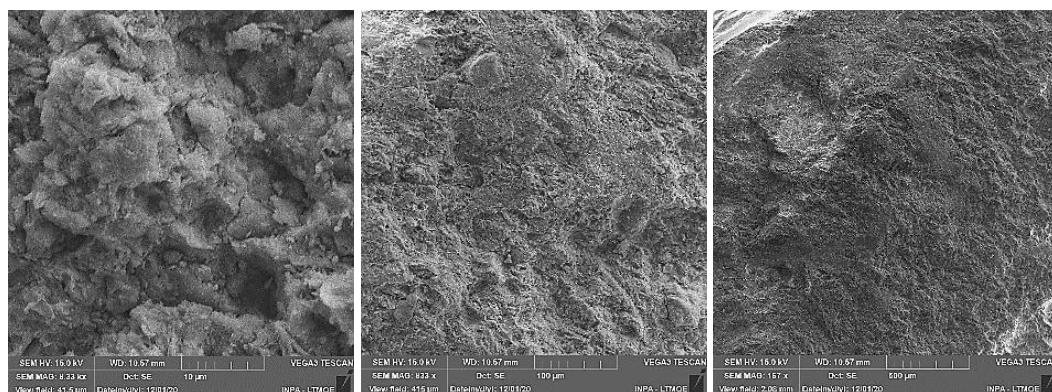
Na figura 40 (a), observa-se que a estrutura da superfície ampliada revela placas de metacaulinita amorfa, que são ligadas durante o processo de sinterização (PINHEIRO; HOLANDA, 2010). Quando à temperatura é elevada até 850 °C (figura 41), verifica-se que não ocorrem grandes modificações na estrutura da cerâmica, porque, nessa temperatura, um grande volume de poros abertos ainda está presente. Quanto à EDS, observada na figura 42, foram identificados os seguintes elementos presentes na amostra: Mg, Al, Si, K, C, O, Ti, Fe. Esses resultados corroboram as análises químicas da matéria-prima, argila pura (ARG-A), apresentadas na tabela 11.

Figura 40 – Morfologia de superfície de fratura da argila A pura sinterizada a 750 °C: (a) ≈ 8 Kx; (b) ≈ 833 x; (c) ≈ 160 x



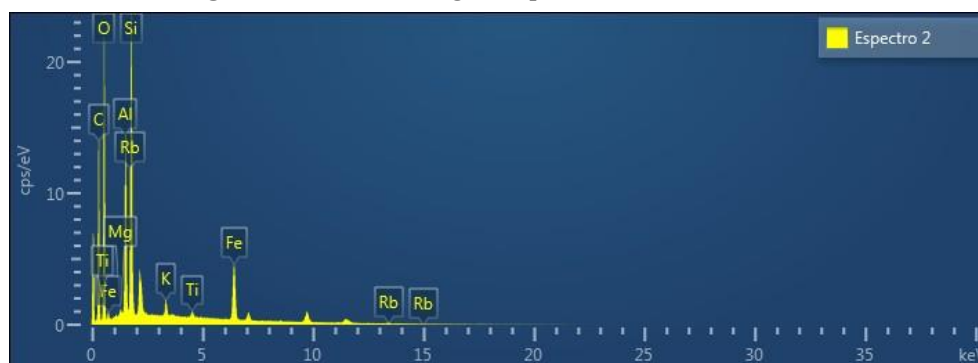
Fonte: Arquivo da pesquisadora.

Figura 41 – Morfologia de superfície de fratura da argila A pura sinterizada a 850 °C: (a) ≈ 8 Kx; (b) ≈ 833 x; (c) ≈ 160 x



Fonte: Arquivo da pesquisadora.

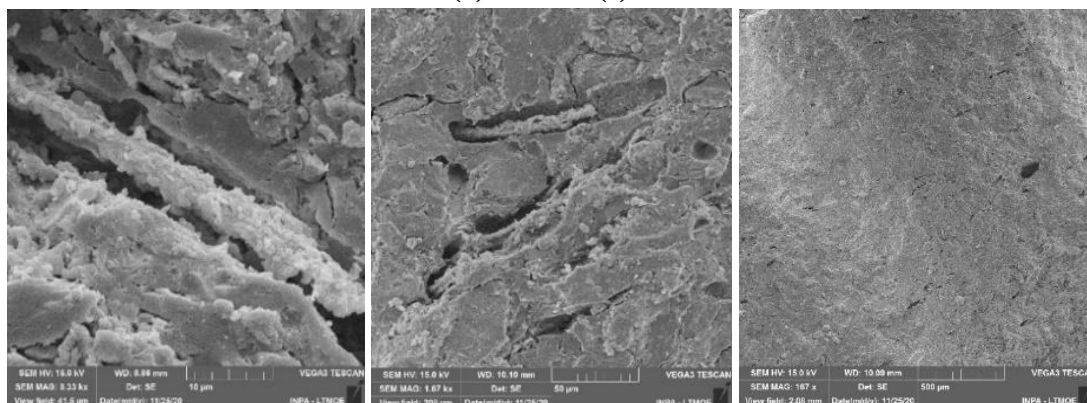
Figura 42 – EDS da argila A pura sinterizada a 850 °C



Fonte: Elaboração própria com base nos dados de pesquisa.

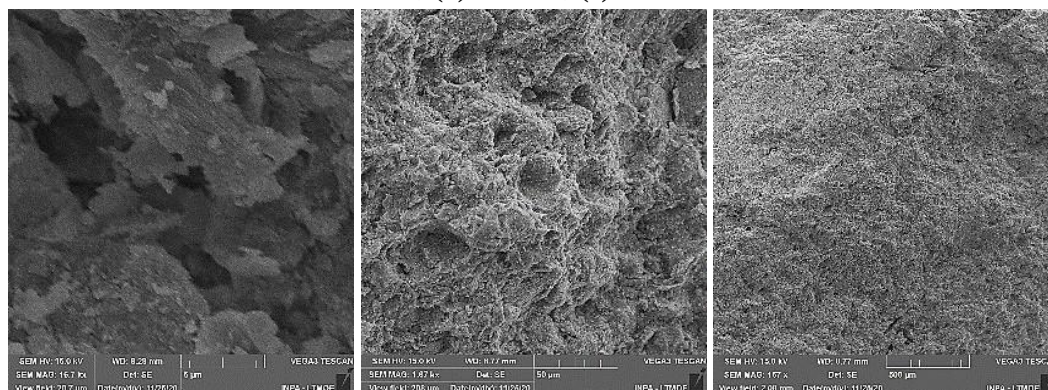
Nas figuras 43 a 48, são analisadas as micrografias obtidas por microscopia eletrônica de varredura (MEV) da superfície de fratura dos corpos de prova com o resíduo AR, SV e ARSV com 2,5% de peso de resíduo e 97,5% de argila, queimadas a 750 °C e 850 °C. Inicialmente, nas figuras 43 e 44, observa-se uma morfologia lamelar, típica de uma estrutura formada por fibras lignocelulósicas. Analisando-se as micrografias dos corpos de prova, formuladas com resíduos de AR, contendo 2,5% de massa e sinterizadas a 750 °C e 850 °C, observa-se uma maior uniformidade dos tamanhos dos poros e geometria esférica, quando comparadas à micrografia da argila (ARG-A) nas figuras 38 e 39. Essa análise é corroborada pelo resultado dos ensaios de resistência à flexão, em que as formulações com resíduo AR 2,5% apresentaram resultados superiores ao da argila (ARG-A), conforme demonstrado na tabela 17. Esses resultados comprovam a influência dos valores elevados dos metais alcalinos identificados na composição química desse resíduo (AR). Esses valores influenciaram as propriedades tecnológicas das formulações que contêm esse resíduo. Também foi observada, nessas micrografias, a presença de defeitos na microestrutura, que pôde ser atribuída às falhas de empacotamento das partículas, como também foi observado o aumento da geometria dos poros (CIPRIANO; FERRAZ, 2019).

Figura 43 – Morfologia de superfície de fratura da formulação (AR 2,5%) sinterizada a 750 °C: (a) $\approx$ 8 Kx; (b) $\approx$ 833 x; (c) $\approx$ 160 x



Fonte: Arquivo da pesquisadora.

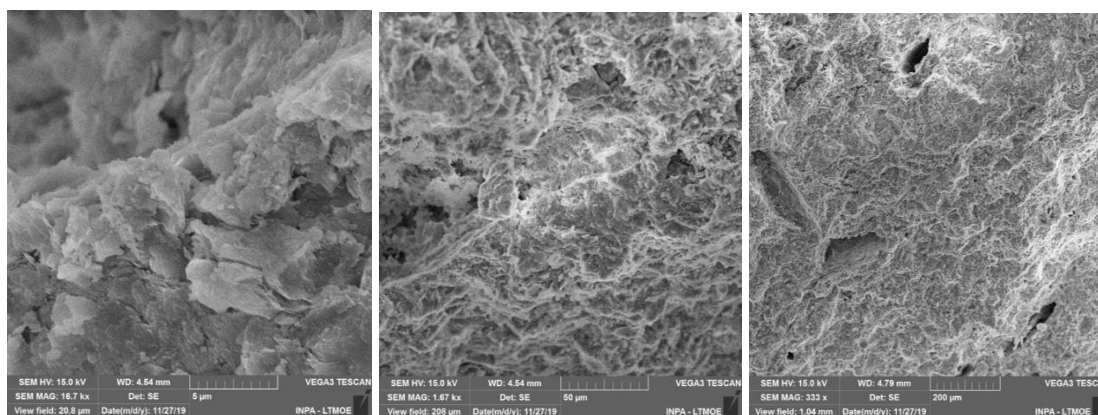
Figura 44 – Morfologia de superfície de fratura da formulação (AR 2,5%) sinterizada a 850 °C: (a) $\approx$ 8 Kx; (b) $\approx$ 833 x; (c) $\approx$ 160 x



Fonte: Arquivo da pesquisadora.

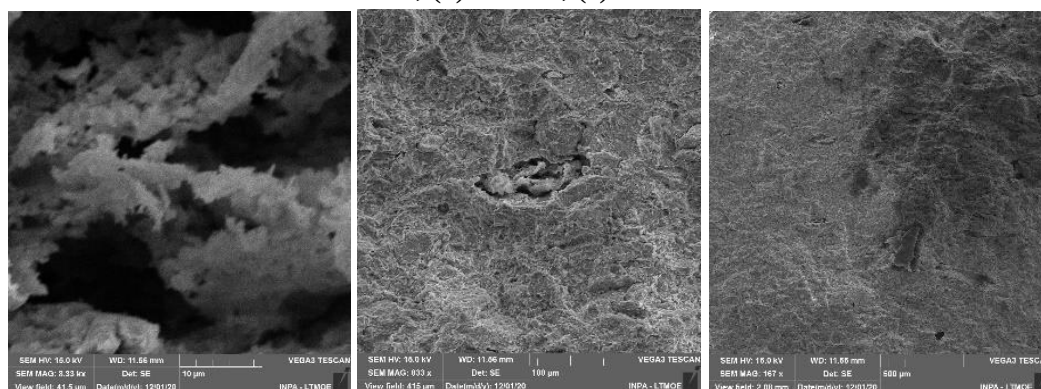
Já os corpos de prova com resíduo de SV (figuras 45 e 46), quando comparados com a argila (ARG-A) e os corpos de prova com o resíduo do Angelim rajado nas mesmas condições de temperatura, apresentaram uma superfície menos rugosa, principalmente aquelas sinterizadas na temperatura de 850 °C. Esse comportamento se justifica pelos teores mais elevados dos óxidos fundentes, encontrados na análise química desse resíduo. A textura rugosa em temperaturas de queima inferiores a 1000 °C foi reportada na literatura como um comportamento esperado, por não ter ocorrido uma consolidação eficiente da microestrutura (CIPRIANO; FERRAZ, 2019).

Figura 45 – Morfologia de superfície de fratura da formulação (SV 2,5%) sinterizada a 750 °C: (a) $\approx$ 8 Kx; (b) $\approx$ 833 x; (c) $\approx$ 160 x



Fonte: Arquivo da pesquisadora.

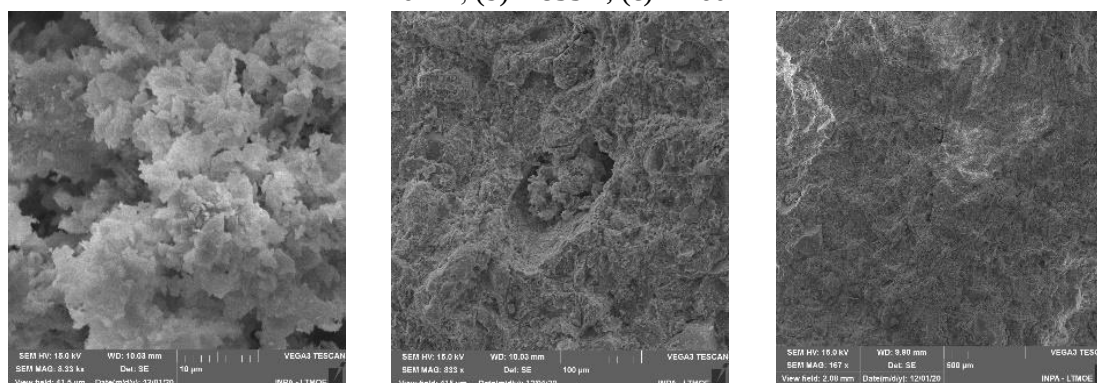
Figura 46 – Morfologia de superfície de fratura da formulação (SV 2,5%) sinterizada a 850 °C: (a) $\approx$ 8 Kx; (b) $\approx$ 833 x; (c) $\approx$ 160 x



Fonte: Arquivo da pesquisadora.

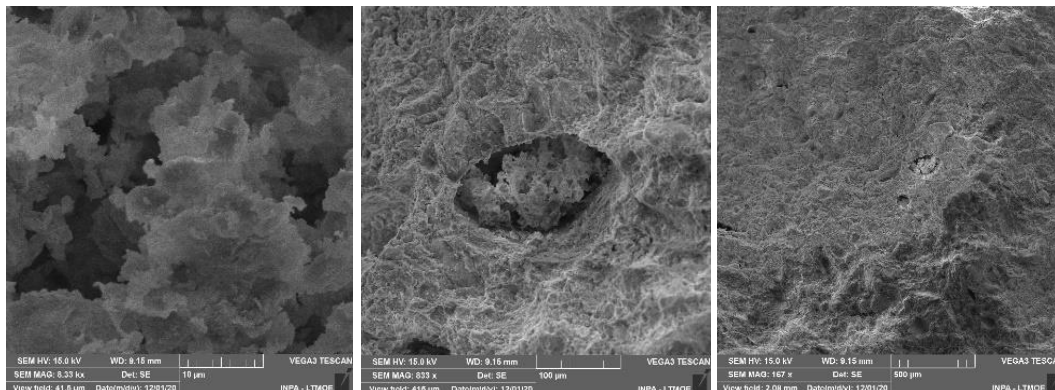
Já nas figuras 47 e 48, apresenta-se a morfologia das partículas pontual das formulações de massa com 2,5% dos resíduos ARSV, obtida por microscopia eletrônica de varredura (MEV). Observa-se uma morfologia irregular com elevada porosidade quando comparada aos dados da figura 45, contendo ARG-A, e nas formulações com o resíduo do Angelim rajado nas mesmas condições de temperatura (850 °C). Essa formulação não apresenta valores significativos para justificar sua utilização.

Figura 47 – Morfologia de superfície de fratura da formulação (ARSV 2,5%) sinterizada a 750 °C (a) $\approx$ 8 Kx; (b) $\approx$ 833 x; (c) $\approx$ 160 x



Fonte: Arquivo da pesquisadora.

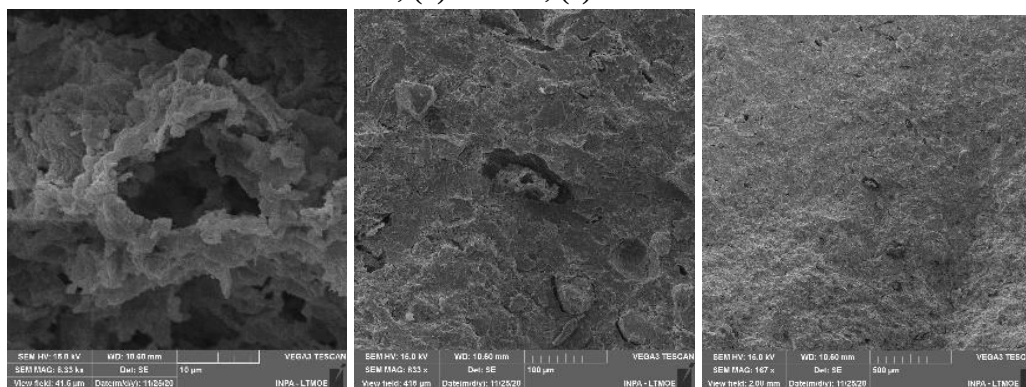
Figura 48 – Morfologia de superfície de fratura da formulação (ARSV 2,5%) sinterizada a 850 °C: (a) ≈ 8 Kx; (b) ≈ 833 x; (c) ≈ 160 x



Fonte: Arquivo da pesquisadora.

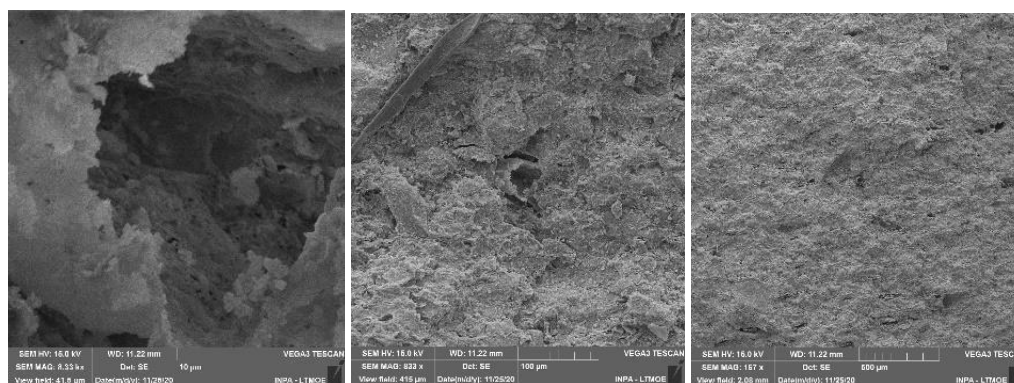
Nas figuras de 49 e 54, são analisadas as micrografias obtidas por microscopia eletrônica de varredura (MEV) da superfície de fratura dos corpos de prova com o resíduo de AR, SV e ARSV com 5% de peso de resíduo e 95% de argila, queimados nas temperaturas de 750 °C e 850 °C. Observa-se que, à medida que se aumenta a porcentagem do resíduo, os corpos de prova tendem a ficar cada vez mais porosos. Em contrapartida, observou-se, com o aumento da temperatura (850 °C), que a superfície de fratura obteve uma estrutura mais densificada; pode-se justificar essa característica pelo início da formação da fase líquida, que ocorre quando os corpos de prova são submetidos a temperaturas superiores a 850 °C. (figura 50).

Figura 49 – Morfologia de superfície de fratura da formulação (AR 5%) sinterizada a 750 °C: (a) ≈ 8 Kx; (b) ≈ 833 x; (c) ≈ 160 x



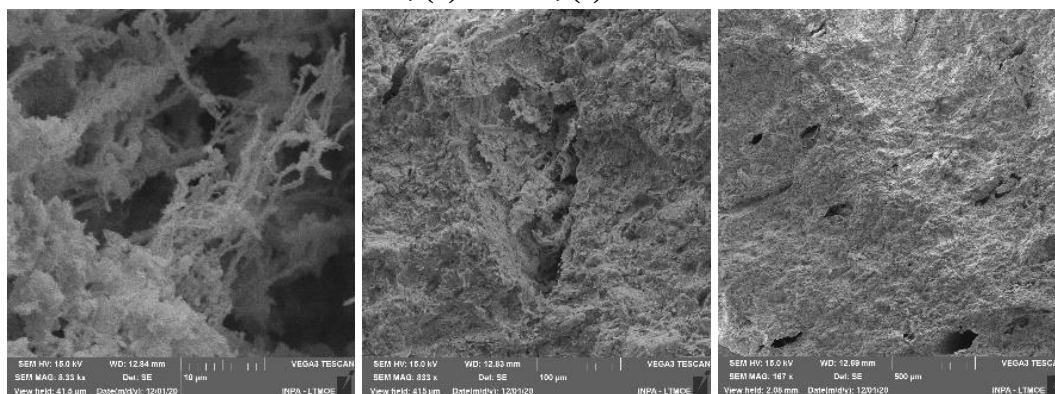
Fonte: Arquivo da pesquisadora.

Figura 50 – Morfologia de superfície de fratura da formulação (AR 5%) sinterizada a 850 °C: (a) ≈ 8 Kx; (b) ≈ 833 x; (c) ≈ 160 x



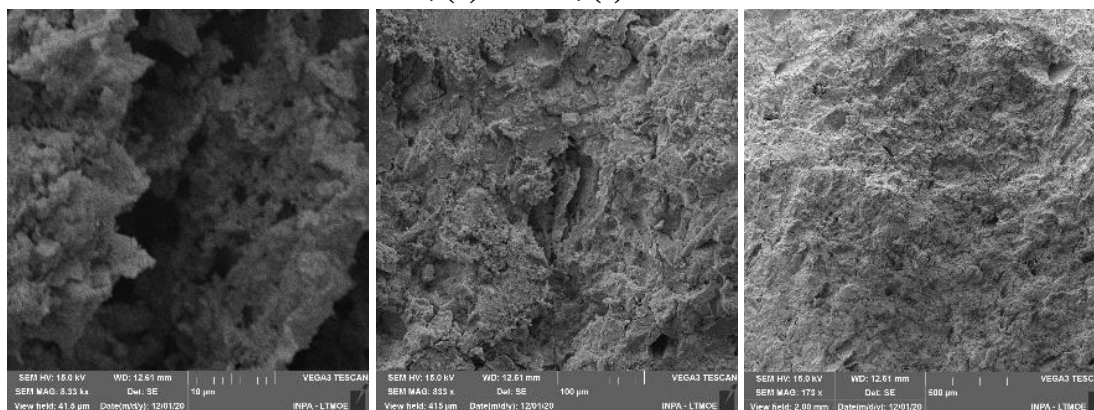
Fonte: Arquivo da pesquisadora.

Figura 51 – Morfologia de superfície de fratura da formulação (SV 5%) sinterizada a 750 °C: (a) ≈ 8 Kx; (b) ≈ 833 x; (c) ≈ 160 x



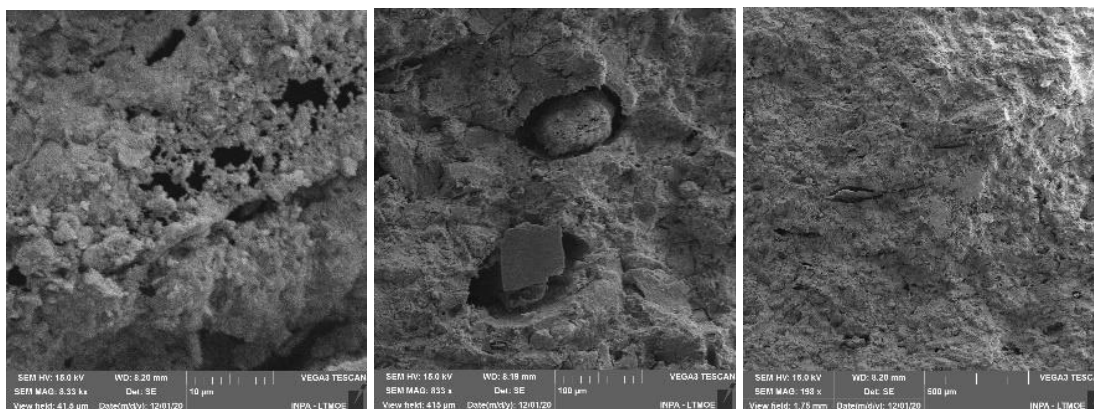
Fonte: Arquivo da pesquisadora.

Figura 52 – Morfologia de superfície de fratura da formulação (SV 5%) sinterizada a 850 °C: (a) ≈ 8 Kx; (b) ≈ 833 x; (c) ≈ 160 x



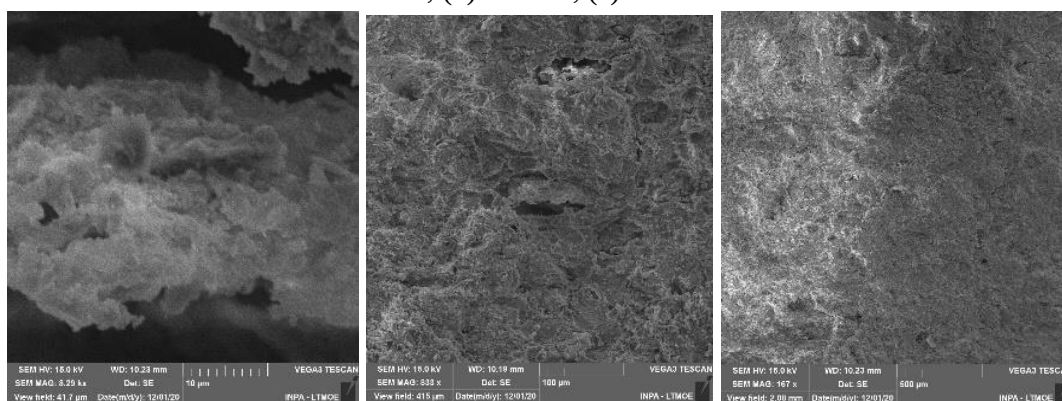
Fonte: Arquivo da pesquisadora.

Figura 53 – Morfologia de superfície de fratura da formulação (ARSV 5%) sinterizada a 750 °C: (a) ≈ 8 Kx; (b) ≈ 833 x; (c) ≈ 160 x



Fonte: Arquivo da pesquisadora.

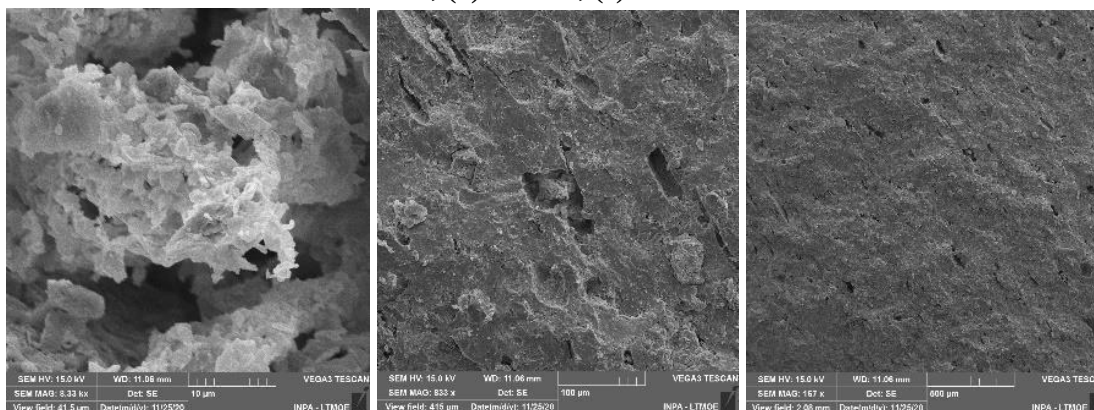
Figura 54 – Morfologia de superfície de fratura da formulação (ARSV 5%) sinterizada a 850 °C: (a) $\approx$ 8 Kx; (b) $\approx$ 833 x; (c) $\approx$ 160 x



Fonte: Arquivo da pesquisadora.

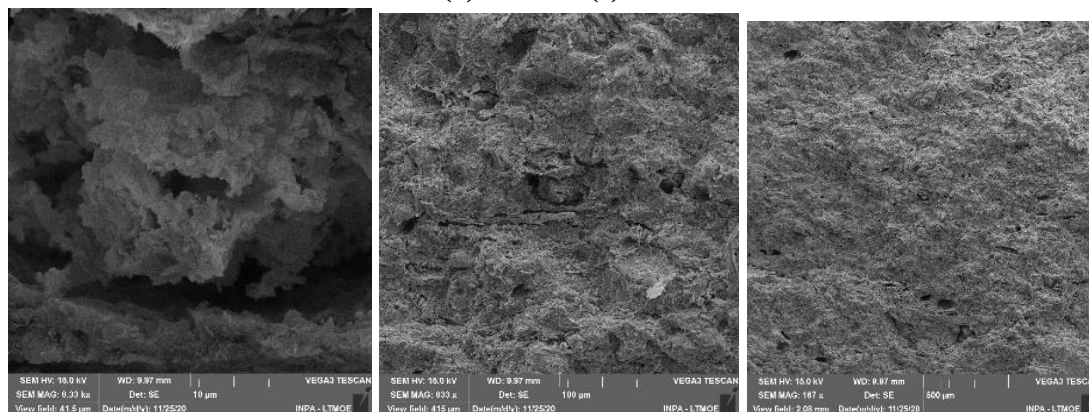
As figuras de 55 a 60 apresentam as micrografias obtidas por microscopia eletrônica de varredura (MEV) da superfície de fratura dos corpos de prova com o resíduo de AR, SV e ARSV com 10% de peso de resíduo e 90% de argila, queimados nas temperaturas de 750 °C e 850 °C.

Figura 55 – Morfologia de superfície de fratura da formulação (AR 10%) sinterizada a 750 °C: (a) $\approx$ 8 Kx; (b) $\approx$ 833 x; (c) $\approx$ 160 x



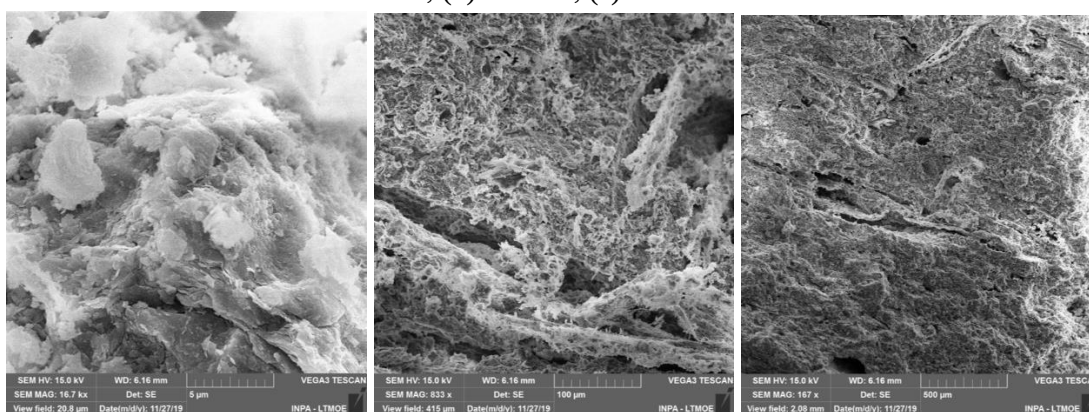
Fonte: Arquivo da pesquisadora.

Figura 56 – Morfologia de superfície de fratura da formulação (AR 10%) sinterizada a 850 °C: (a) ≈ 8 Kx; (b) ≈ 833 x; (c) ≈ 160 x



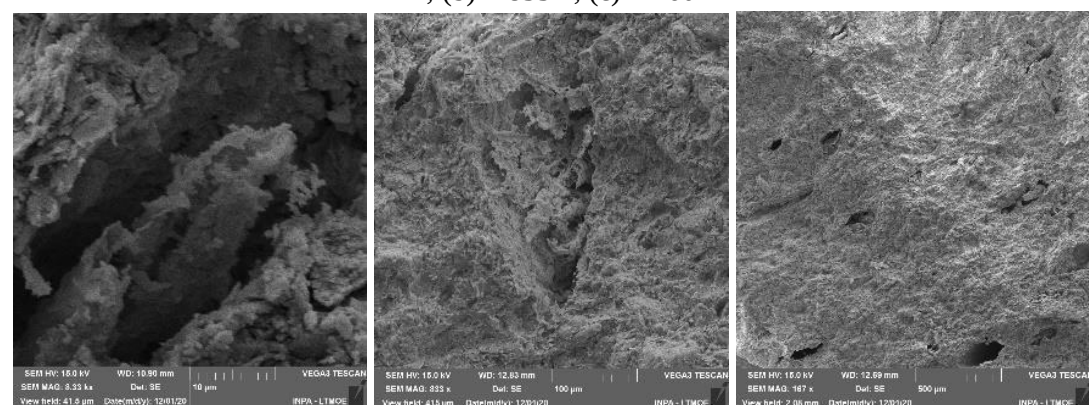
Fonte: Arquivo da pesquisadora.

Figura 57 – Morfologia de superfície de fratura da formulação (SV 10%) sinterizada a 750 °C: (a) ≈ 8 Kx; (b) ≈ 833 x; (c) ≈ 160 x



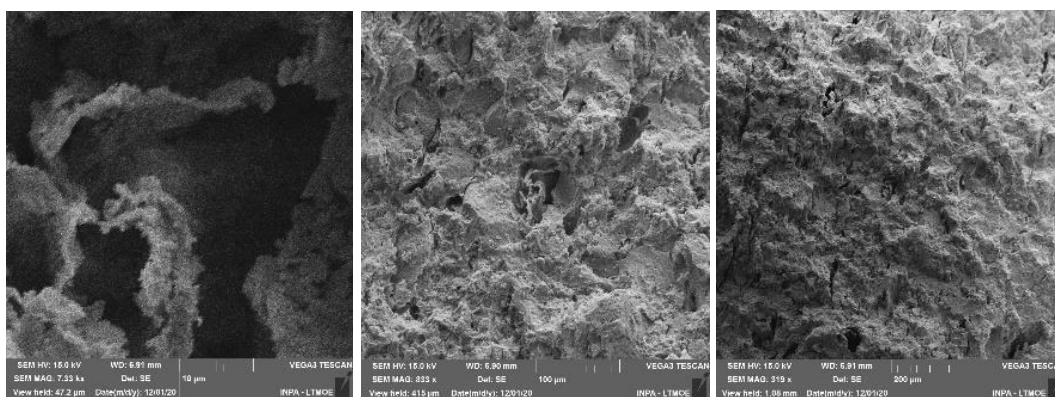
Fonte: Arquivo da pesquisadora.

Figura 58 – Morfologia de superfície de fratura da formulação (SV 10%) sinterizada a 850 °C: (a) ≈ 8 Kx; (b) ≈ 833 x; (c) ≈ 160 x



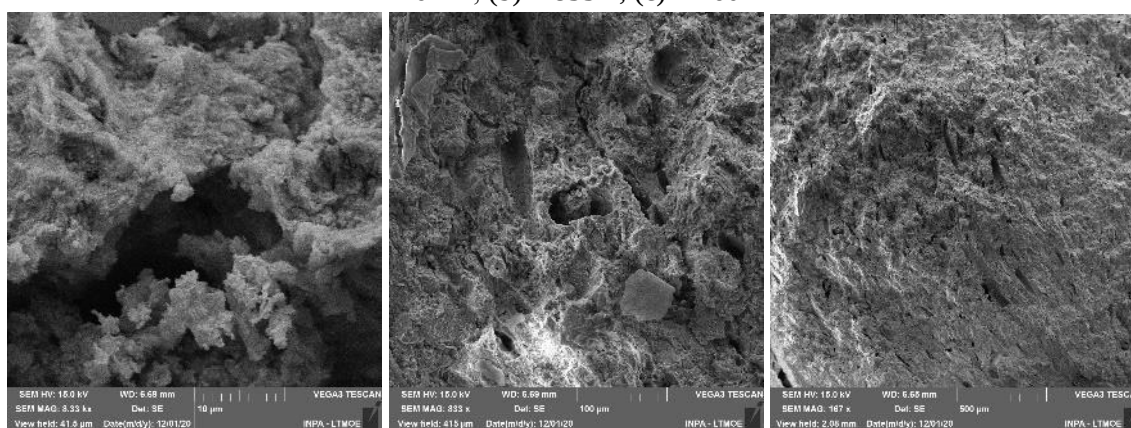
Fonte: Arquivo da pesquisadora.

Figura 59 – Morfologia de superfície de fratura da formulação (ARSV 10%) sinterizada a 750 °C: (a) ≈ 8 Kx; (b) ≈ 833 x; (c) ≈ 160 x



Fonte: Arquivo da pesquisadora.

Figura 60 – Morfologia de superfície de fratura da formulação (ARSV 10%) sinterizada a 850 °C: (a) ≈ 8 Kx; (b) ≈ 833 x; (c) ≈ 160 x



Fonte: Arquivo da pesquisadora.

Nas temperaturas de 750 °C (Fig. 55, 57 e 59) e 850 °C (Fig. 56, 58 e 60), com 10% de resíduo de pó, os corpos de prova apresentam superfícies bastante rugosas, heterogêneas e altamente porosas. Isso ocorre possivelmente devido à presença do pó de serragem, que é responsável por aumentar ainda mais a porosidade da peça e o aumento do carbonato de potássio, que nessa temperatura pode iniciar a liberar gases da sua combustão, provocando poros abertos na peça de revestimento cerâmico, corroborando os resultados da análise química das formulações.

4.4 EFEITOS DOS RESÍDUOS DE PÓ DE SERRAGEM DAS MADEIRAS (AR E SV) NAS PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS DOS REVESTIMENTOS CERÂMICOS APÓS A QUEIMA

4.4.1 Avaliação das Propriedades Tecnológicas após a Queima

Com o objetivo de identificar a qualidade dos corpos de prova cerâmicos para a fabricação de revestimento poroso classe BIII, neste trabalho, foram determinadas as seguintes propriedades tecnológicas: retração linear, absorção de água, massa específica aparente, porosidade aparente e tensão de ruptura à flexão.

Na tabela 17, observam-se os resultados das propriedades física e mecânica dos corpos de prova: retração linear (RL), resistência à flexão (RF), absorção de água (AA), porosidade aparente (PA) e densidade aparente (DA). O módulo de ruptura à flexão em três pontos foi determinado para a massa padrão argila (ARG-AJ) e as 9 composições, sob o tratamento térmico nas temperaturas de 750 °C e 850 °C. Os resultados foram obtidos a partir das médias aritméticas dos seis corpos de prova que não diferem mais do que 5% dessa média.

Tabela 17 – Propriedades físicas e mecânicas de corpos de prova sinterizados nas temperaturas de 750 °C e 850 °C

Composições	Temperatura de queima (°C)	Retração linear (RL) (%)	Absorção de água (AA) (%)	Ruptura de flexão (RF) (MPa)	Porosidade aparente (PA) (%)	Densidade aparente (DA) (g/cm ³)
Argila	750	0,40 ± 0,06*	18,57 ± 0,01	5,33 ± 1,20	33,70 ± 0,01	1,76 ± 0,01
	850	0,52 ± 0,12	11,71 ± 0,01	8,53 ± 0,51	32,48 ± 0,01	1,67 ± 0,01
AR2,5	750	0,61 ± 0,12	18,02 ± 1,24	4,23 ± 0,38	38,93 ± 0,01	1,67 ± 0,01
	850	2,06 ± 0,13	16,33 ± 1,20	13,07 ± 1,06	33,38 ± 0,01	1,60 ± 0,01
AR5	750	0,56 ± 0,09	20,31 ± 0,84	5,78 ± 0,29	35,82 ± 0,01	1,64 ± 0,01
	850	2,13 ± 0,20	19,09 ± 0,66	13,27 ± 1,54	34,63 ± 0,01	1,58 ± 0,01
AR10	750	0,70 ± 0,09	19,94 ± 0,56	5,33 ± 0,47	44,15 ± 0,01	1,57 ± 0,03
	850	2,11 ± 0,26	19,06 ± 1,32	14,49 ± 1,98	40,61 ± 0,01	1,53 ± 0,01
SV2,5	750	0,93 ± 0,09	21,67 ± 0,38	8,23 ± 1,24	31,47 ± 0,01	1,72 ± 0,01
	850	2,19 ± 0,15	19,69 ± 1,06	14,28 ± 1,20	30,43 ± 0,01	1,61 ± 0,01
SV5	750	0,95 ± 0,12	21,67 ± 0,29	5,76 ± 0,84	33,06 ± 0,01	1,67 ± 0,01
	850	2,34 ± 0,16	19,69 ± 0,46	15,63 ± 0,66	32,84 ± 0,01	1,59 ± 0,02
SV10	750	1,23 ± 0,14	19,43 ± 0,01	8,88 ± 0,56	41,99 ± 0,01	1,52 ± 0,01
	850	2,49 ± 0,15	18,16 ± 1,98	16,01 ± 1,32	40,32 ± 0,01	1,50 ± 0,01
ARSV2,5	750	0,88 ± 0,10	19,39 ± 0,94	4,12 ± 0,93	31,72 ± 0,01	1,76 ± 0,01
	850	2,20 ± 0,08	18,38 ± 0,36	12,3 ± 0,36	30,81 ± 0,01	1,64 ± 0,01

ARSV5	750	0,86 ± 0,16	23,25 ± 0,33	6,59 ± 0,33	36,45 ± 0,01	1,62 ± 0,01
	850	2,29 ± 0,20	18,34 ± 1,27	13,57 ± 1,27	35,79 ± 0,01	1,60 ± 0,01
ARSV10	750	0,95 ± 0,23	22,79 ± 1,98	6,85 ± 1,97	41,25 ± 0,01	1,51 ± 0,01
	850	2,40 ± 0,12	18,07 ± 1,60	14,89 ± 1,60	40,11 ± 0,01	1,48 ± 0,01

Fonte: Elaboração própria com base nos dados de pesquisa.

Nota: *desvio padrão.

Ainda na tabela 17, observa-se que os maiores valores de retração linear de queima dos corpos de prova cerâmicos ocorrem na temperatura de 850 °C, comprovando a relação entre retração e temperatura de queima. O aumento da retração linear em todas as composições também se deu pelo aumento do teor do resíduo e a relação deste com o aumento da temperatura. O maior valor da retração linear foi de 2,40% na composição ARSV 10%, na temperatura de 850 °C. Esse resultado está muito superior ao que é prescrito na norma ABNT NBR 13818/1997, onde o valor ideal de referência é de 1,5% e valores aceitáveis, de 1,6% até 3,0%, para retração linear em revestimentos porosos. Já as composições que mais se aproximam dos valores de referência são as formulações de massa AR 2,5%, AR 5%, AR 10%, SV 2,5%, ARSV 2,5%, sinterizadas na temperatura de 850°C. Esses valores corroboram a análise estatística generalizada.

Observa-se também que os valores de AA reduziram com o aumento de temperatura em todas as composições. Houve um crescimento na porosidade aparente quando se aumentou a quantidade de resíduo, porém, com o aumento da temperatura, essa foi diminuindo gradativamente, possivelmente pela coalescência dos poros, conforme observado nas composições SV 2,5% e SV 5%, ambas formuladas com o resíduo da Sucupira vermelha (*Andira parviflora* Ducke). Quanto à densidade aparente, observa-se que, em relação à argila padrão (ARG-A), o valor foi de 1,67 g/cm³. Já os valores das demais composições foram diminuindo com o aumento dos resíduos, conforme observado nos resultados de todas as composições sinterizadas na temperatura de 850 °C. Resultados semelhantes foram observados em estudos de composição de argilas e resíduo de MDF, para a fabricação de blocos porosos estruturais (ALMEIDA et al., 2020), nos quais se verificou que o aumento da biomassa na massa cerâmica fez diminuir a densidade devido ao aumento da porosidade.

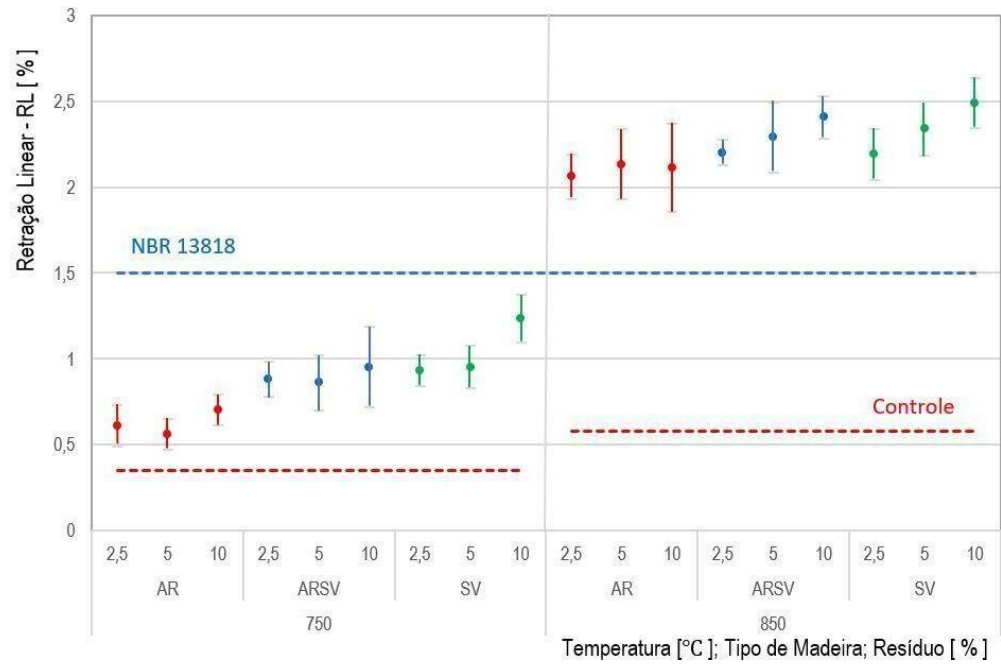
A adição de resíduo do pó de serragem do Angelim rajado sugere maior estabilidade dimensional aos corpos de prova, em consequência do baixo teor de ferro do resíduo. Além disso, os altos teores de sílica (SiO₂) encontrados no resíduo de AR minimizam os efeitos da retração.

Com relação aos percentuais de resíduos incorporados nas composições, percebeu-se que os corpos de prova SV 2,5% e ARSV 2,5% apresentaram maior densidade ($1,72 \pm 0,01$ e $1,76 \pm 0,01$, respectivamente), e que esses valores se aproximam dos limites recomendados para produtos de cerâmica vermelha. Os valores de módulo de ruptura aumentaram com o acréscimo da temperatura e são diretamente proporcionais à densidade aparente das peças e inversamente proporcionais à absorção de água. Deste modo, verifica-se uma redução do comportamento mecânico com o acréscimo do teor de resíduo incorporado à massa cerâmica.

Nos corpos de prova sinterizados na temperatura de 850 °C, observa-se que os valores de resistência a flexão, encontrados nas composições SV 2,5%, SV 5%, SV 10%, ARSV 2,5% e ARSV 5% estão bem superiores aos valores encontrados na argila padrão (ARG-A), sinterizados na temperatura 850 °C. Esse resultado demonstra que composições de massa, formuladas com resíduos de pó de serragem de SV em sua composição, apresentaram melhores resultados mecânicos, devido aos valores elevados dos elementos fundentes nesse resíduo responsáveis pela densificação das peças cerâmicas, após a queima em temperaturas superiores a 800 °C, considerando-se o valor mínimo de carga de 15 MPa, para placas com espessura inferior ou igual a 7,5 mm e absorção de água com valores entre 10% e 20%. Entretanto, as formulações de massa dos corpos cerâmicos SV 5% e SV 10% possuem potencial para a fabricação de revestimentos cerâmicos de parede classe BIII, por atenderem aos parâmetros de absorção de água e resistência à compressão determinada pela ABNT NBR 15270/2017. E com relação aos demais resultados das formulações, os resíduos de AR e de SV podem ser utilizados como substitutos parciais da argila, pois os resultados das incorporações de peso (2,5%, 5% e 10%) qualificaram a argila para a fabricação de materiais cerâmicos, sem adição de outros aditivos químicos, tendo em vista o reaproveitamento desses resíduos naturais como uma alternativa ecológica para fabricação de novos materiais cerâmicos para diversos usos.

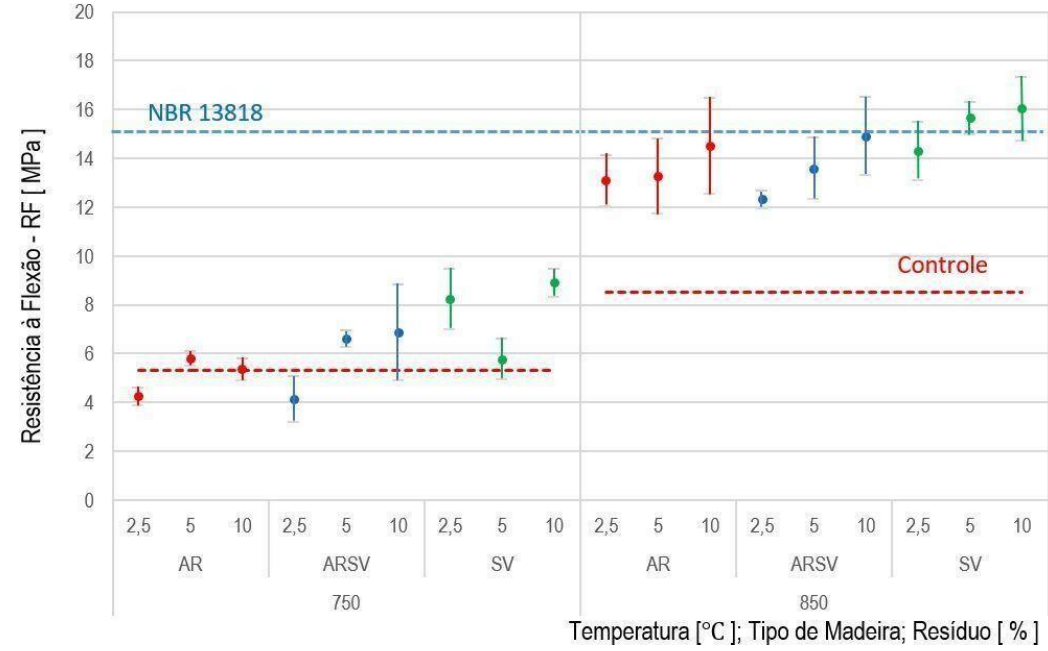
Para entendimento dos resultados, os dados e as informações foram trabalhados por meio de métodos de análise descritiva e geração de cálculo das frequências e medidas de posição (médias e desvio padrão), conforme observados nas figuras 61, 62 e 63.

Figura 61 – Média dos valores de RL por temperatura, resíduo e madeira

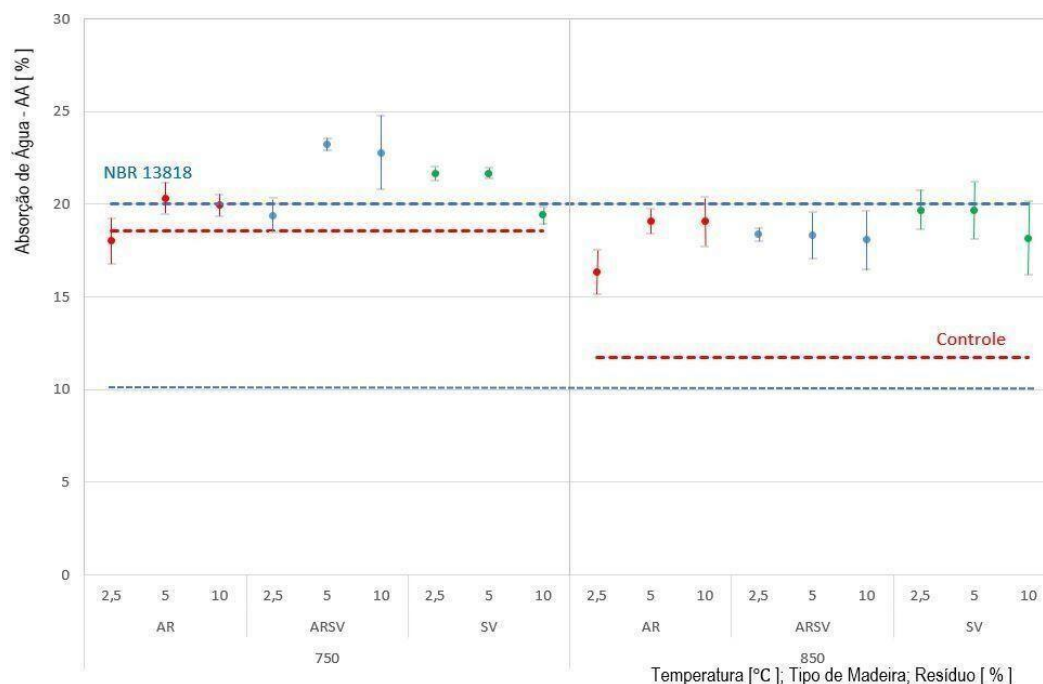


Fonte: Elaboração própria com base nos dados de pesquisa.

Figura 62 – Média dos valores de RF por temperatura, resíduo e madeira



Fonte: Elaboração própria com base nos dados de pesquisa.

Figura 63 – Média dos valores de AA por temperatura, resíduo e madeira

Fonte: Elaboração com base nos dados de pesquisa.

A estimativa de RL e RF foi obtida por meio de um modelo linear generalizado (DUNN, 2018). Utilizou-se, para a análise, o programa *Statistical Package for Social Sciences* (SPSS) 16.0 e R versão 3.6.1. Para todas as análises, foi fixado um nível de significância igual a 0.05 e um coeficiente de confiança de 95%, conforme observado nas tabelas 18 e 19.

Tabela 18 – Resultados do modelo linear generalizado utilizado para estimar a RL

Variables	Coefficients	Standard error	P-value
(Intercept)	1,13	0,07	<0,001*
Temperature (850)	1,78	0,10	<0,001*
Residue (2,5)	-0,25	0,10	0,0127 *
Residue (5)	-0,07	0,10	0,46
Wood (ARSV)	0,04	0,10	0,72
Wood (SV)	0,02	0,10	0,81
Temperature (850): Residue (2,5)	-1,41	0,14	<0,001*
Temperature (850): Residue (5)	-1,16	0,14	<0,001*
Temperature (850): Wood (ARSV)	-0,96	0,14	<0,001*
Temperature (850): Wood (SV)	-1,10	0,14	<0,001*
Residue (2,5): Wood (ARSV)	0,20	0,14	0,17
Residue (5): Wood (ARSV)	0,08	0,14	0,56
Residue (2,5): Wood (SV)	0,05	0,14	0,73
Residue (5): Wood (SV)	0,05	0,14	0,71
Temperature (850): Residue (2,5): Wood (ARSV)	1,29	0,20	<0,001*
Temperature (850): Residue (5): Wood (ARSV)	0,93	0,20	<0,001*

Temperature (850): Residue (2,5): Wood (SV)	1,35	0,20	<0,001*
Temperature (850): Residue (5): Wood (SV)	1,01	0,20	<0,001*

Fonte: Elaboração com base nos dados de pesquisa.

Nota: *Statistically significant at 5% of the Generalized Linear Model for LS.

Tabela 19 – Resultados do modelo linear generalizado utilizado para estimar a RF

Variables	Coefficients	Standard error	P-value
(Intercept)	4,38	0,46	<0,001*
Temperature (850)	1,71	0,65	0,009869*
Residue (2,5)	-1,10	0,65	0,09
Residue (5)	-1,33	0,65	0,042824*
Wood (ARSV)	-0,34	0,65	0,60
Wood (SV)	-0,52	0,65	0,42
Temperature (850): Residue (2,5)	8,11	0,92	<0,001*
Temperature (850): Residue (5)	0,56	0,92	0,54
Temperature (850): Wood (ARSV)	-0,22	0,92	0,81
Temperature (850): Wood (SV)	-0,02	0,92	0,98
Residue (2,5): Wood (ARSV)	0,13	0,92	0,88
Residue (5): Wood (ARSV)	1,76	0,92	0,06
Residue (2,5): Wood (SV)	2,27	0,92	0,014945*
Residue (5): Wood (SV)	1,04	0,92	0,26
Temperature (850): Residue (2,5): Wood (ARSV)	-5,01	1,29	0,000204*
Temperature (850): Residue (5): Wood (ARSV)	-0,20	1,29	0,88
Temperature (850): Residue (2,5): Wood (SV)	-6,62	1,29	<0,001*
Temperature (850): Residue (5): Wood (SV)	0,44000	1,2947	0,734763

Fonte: Elaboração com base nos dados de pesquisa.

Nota: *Statistically significant at 5% of the Generalized Linear Model for FRS

Para o modelo linear generalizado, as formulações que apresentaram significância estatística em relação à resistência à flexão (RF), sinterizadas na temperatura de 850 °C, foram as seguintes composições: SV e ARSV para os percentuais de resíduos 2,5% e 5%. Contudo, considerando-se os parâmetros da ABNT NBR 13818/1997 para a fabricação de cerâmica porosa, que especifica o valor da RL em torno de 2,5% como aceitável, AA entre 10 e 20% e o valor de RF superior a 15 MPa, para corpos de prova com espessura inferior a 7,5 cm, e analisando-se as variáveis supracitadas a partir da estatística descritiva, as melhores formulações foram as composições com resíduo SV com 5% e 10% queimadas na temperatura de 850 °C.

5 . CONCLUSÃO

Na presente tese de doutorado, estudou-se a viabilidade de utilizar os resíduos de madeiras tropicais em estado natural como substitutos parciais da argila e a influência da sua incorporação na formulação, propriedades e microestrutura de corpos cerâmicos para emprego em revestimento cerâmico para uso em parede classe BIII. Os resultados experimentais obtidos neste trabalho permitem as conclusões apresentadas a seguir.

O solo utilizado neste trabalho, do ponto de vista granulométrico, foi classificado como silte argiloso, devido aos elevados teores de silte e argila (83,70%) e baixos teores de areia (16,3%). Para essa análise, foi considerado ainda o elevado número de partículas $\leq 2\mu\text{m}$ e índice de plasticidade = 28,43%. Do ponto de vista químico, o solo (ARG-A) é constituído de sílica (SiO_2), alumínio (Al_2O_3) e óxido de ferro (Fe_2O_3). Do ponto de vista mineralógico, o solo (ARG-A) apresenta as seguintes fases minerais: caulinita ($\text{Al}_2\text{SiO}_5(\text{OH})_4$), quartzo (SiO_2) e illita ($(\text{Kh}_3\text{O})\text{Al}_2\text{Si}_3\text{AlO}_{10}(\text{OH})_2$).

Quanto à análise química dos resíduos de madeira tropical, observa-se que eles são constituídos principalmente pelos mesmos elementos químicos do solo (ARG-A), possuindo altos teores de sílica (SiO_2), de 33,72%, alumínio (Al_2O_3), de 26,36%, e óxido de ferro (Fe_2O_3), de 15,76%, para o resíduo de AR, e teores de sílica (SiO_2), de 13,50%, alumínio (Al_2O_3), de 9,90%, e óxido de ferro (Fe_2O_3), de 41,95%, para o resíduo de SV. Com essa análise, comprova-se que o resíduo de AR possui os maiores índices de álcalis, e o resíduo de SV, maiores índices de óxidos fundentes, estes são responsáveis pela densificação das peças cerâmicas quando submetidas a elevadas temperaturas. Do ponto de vista mineralógico, os resíduos de AR e de SV são geralmente constituídos por lignina. Neste estudo, eles foram analisados misturados ao solo nas proporções já relatadas. Por serem materiais orgânicos e amorfos, houve uma predominância das fases minerais caulinita e quartzo, devido à presença do solo nessas formulações.

As formulações da massa cerâmica que incorporaram 5% e 10% de peso de resíduo da madeira da espécie SV, queimadas a 850 °C, por conterem maiores teores de óxidos fundentes em relação ao resíduo da madeira da espécie AR, apresentaram as melhores propriedades tecnológicas (RL, RF e AA), observando-se um acréscimo na média da RF de 97% em relação à argila pura (ARG-A), atendendo, assim, aos parâmetros da ABNT NBR 13818/1997, para a fabricação de revestimento cerâmico poroso de parede classe BIII.

Os corpos de prova incorporados com 5% e 10% de resíduo de SV, queimados na temperatura de 850 °C, alcançaram valores mínimos necessários para a retração linear,

resistência à flexão e absorção de água de acordo com os parâmetros estabelecidos pela norma ABNT NBR 13.818/1997, para a fabricação de revestimento poroso classe BIII.

Com relação ao melhor resíduo para ser utilizado na formulação de massas cerâmicas para a fabricação de placas de revestimento cerâmico poroso classe BIII, para uso em parede, os resultados das propriedades tecnológicas do resíduo de SV foram os melhores, de modo que, na formulação de SV, com 5% de resíduo e 95% de solo (ARG-A), sinterizada na temperatura de 850 °C, obteve-se resistência à flexão de 15,63%, absorção de água de 19,69%, e um aumento da retração linear em 2,34%. Ainda sobre a incorporação do resíduo de SV na massa cerâmica, observou-se que, apesar do aumento da porosidade dos corpos de prova, na temperatura de 850 °C, esta não afetou a resistência à flexão (15,63 Mpa), que se manteve dentro dos parâmetros da norma para corpos de prova com espessura inferior a 7,5 mm, que tem de ser superior a 15Mpa. Elevados teores de óxidos fundentes encontrados no resíduo SV ajudaram a diminuir a densidade por meio da densificação das peças, quando queimadas na temperatura de 850 °C.

Esses novos recursos abundantes podem ampliar a gama de aplicações em revestimentos cerâmicos porosos, contribuindo para a produção de materiais de construção sustentável na região Amazônica. Conclui-se que este estudo, indicou a viabilidade técnica de desenvolver produtos inovadores, incorporando-se resíduos naturais de serragem de madeira SV e AR em massas para a fabricação de revestimentos cerâmicos porosos, em que os resíduos de madeiras tropicais contribuíram para reduzir o volume de argila, além da utilização do resíduo SV na formulação de massas cerâmicas para fabricação de placas de revestimento de parede, proporcionando vantagens técnicas, econômicas e ambientais para a produção de novos produtos locais.

Ressalta-se, ainda, a relevância social que o estudo tende a conferir pelo possível impacto da implementação desse procedimento sustentável não só no mercado, mas também na vida das pessoas.

5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Produzir placas de revestimento de parede, incorporadas com 5% e 10% de resíduo da Sucupira vermelha (SV), em escala piloto, submetendo-os ao processo de cura e aos ensaios tecnológicos.

Realizar novos experimentos na faixa de temperatura de 900 °C a 1.000 °C, para elaborar curva de gresificação e otimizar as composições, a fim de diminuir os valores de absorção de água e retração linear dos corpos de prova.

Elaborar novos corpos de prova de acordo com os parâmetros, visando-se atender as normas de conforto térmico e acústico para as novas placas de revestimento que serão formuladas, verificando-se a possibilidade de desenvolver um produto com características isolantes.

Realizar um estudo de comparação de custo de fabricação com placas cerâmicas convencionais *versus* placas cerâmicas incorporadas com 10% de resíduo de madeira tropical da espécie *Andira paviflora* Ducke, conhecida popularmente como Sucupira vermelha (SV).

REFERÊNCIAS

ABJAGHOU, H. et al. Incorporation of Wooden Furniture Wastes in Fired Clay Bricks for Improved Thermal Insulation: A Feasibility Study. *Waste and biomass valorization*, [S.l.], v. 11, n. 12, p. 6943-6951, Jan. 2020. DOI <https://doi.org/10.1007/s12649-020-00933-6>.

ALMEIDA, Antônio Thiago Soares de et al. Caracterização de quatro espécies florestais comercializadas nas serrarias de Itacoatiara – AM. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*, Curitiba, v. 3, n. 3, p. 918-925, jul./set. 2020. Disponível em: <https://brazilianjournals.com/ojs/index.php/BJAER/article/view/12672>. Acesso em: 10 jun. 2022.

ALMEIDA, E. P. et al. Preparação de blocos porosos utilizando resíduos de MDF na formulação de massas cerâmicas estruturais. *Revista Matéria*, [S.l.], v. 25, n. 1, 2020. DOI <https://doi.org/10.1590/S1517-707620200001.0918>.

ALVES, Lucas Máximo. Materiais Cerâmicos: uma abordagem moderna. Ponta Grossa/Curitiba – PR: Universidade Estadual de Ponta Grossa, 2013. Disponível em: <http://www.portalsaberlivre.com.br/manager/uploads/apostilas/1439726074.pdf>. Acesso em: 25 maio 2019.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM C373-18. Standard Test Methods for Determination of Water Absorption and Associated Properties by Vacuum Method for Pressed Ceramic Tiles and Glass Tiles and Boil Method for Extruded Ceramic Tiles and Non-tile Fired Ceramic Whiteware Products. ASTM International, West Conshohocken, PA, USA, 2018.

AMORÓS, J. L. A. A Operação de Prensagem: considerações técnicas e sua aplicação industrial. Parte I: o preenchimento das cavidades do molde. *Cerâmica Industrial*, v. 5, n. 5, p. 23-28, 2000.

ANDRADE A.L.S, SOUSA A.A.P, OLIVEIRA D.F, MEDEIROS A.C, MARACAJA P.B. 2015. Mineração de caulim no município de Equador-RN Brasil: andragogia e percepção ambiental. *Revista Brasileira de Gestão Ambiental* 9(1):27-48.

ARAÚJO, Isabella Oliveira, SOUZA, A. G. de, SANTOS, I.M.G.dos, NASCIMENTO, M. R.do. Caracterização química de caulins de Junco do Seridó PB. *Cerâmica Industrial*, v. 17, n. 2, p. 36-38, 2012.

ARAÚJO, J. F. *A influência da adição de caulim, quartzo e feldspato potássico na formulação de massas cerâmicas para telhas: Modelo Estatístico*. 2008. 87 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Materiais; Projetos Mecânicos; Termociências) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2008. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/handle/123456789/15568>. Acesso em: 10 maio 2022.

ARAÚJO, M. A. A Moderna Construção Sustentável. Artigo extraído do site do IDHEA – Instituto para o Desenvolvimento da Habitação Ecológica. 2010. Disponível em: <http://www.idhea.com.br/pdf/moderna.pdf>. Acesso em: 15 de junho de 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE - ABIMCI. Estudo Setorial da ABIMCI 2016. Ano base 2015/ABIMCI.- Curitiba, 2016. 127p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CERÂMICA. ABCERAM, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CERÂMICA. ABCERAM. Disponível em: <https://abceram.org.br/definicao-e-classificacao/>. Acesso em: 10 maio 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CERÂMICA. ABCERAM. Disponível em: <https://abceram.org.br/fluxograma/>. Acesso em: 10 maio 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT MB305: argila, argamassas, concreto e cimento refratário: determinação da retração linear após secagem. Rio de Janeiro: ABNT, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 13754. Revestimento de paredes internas com placas cerâmicas e com utilização de argamassa colante: procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 13818. Placas cerâmicas para revestimento: Classificação. Rio de Janeiro, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 13818: *placas cerâmicas para revestimento*: especificação e métodos de ensaios. Rio de Janeiro: ABNT, abr. 1997. 78 p.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 15270-2. Componentes cerâmicos: blocos e tijolos para alvenaria: Parte 2: métodos de ensaios. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 6458. Grãos de pedregulhos retidos na peneira de abertura 4,8 mm: determinação de massa específica aparente e de absorção de água. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 6459: *solo*: determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro: ABNT, 1984a. 3 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 6480: cerâmica: determinação da massa e da absorção de água. Rio de Janeiro: ABNT, 1985.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 6508: *grãos de solos que passam na peneira de 4,8 mm*: Determinação da massa específica. Rio de Janeiro: ABNT, 1984b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 7180: *solo*: determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro: ABNT, 1984c. 1 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 7181: *solo*: análise granulométrica. Rio de Janeiro: ABNT, 1984d. 13 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR ISO 10545-1: *placas cerâmicas*: parte 1: amostragem e critérios para aceitação. Rio de Janeiro: ABNT, set. 2017.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE CERÂMICA PARA REVESTIMENTOS, LOUÇAS SANITÁRIAS E CONGÊNERES. São Paulo: ANFACER, 2016.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE CERÂMICA PARA REVESTIMENTOS, LOUÇAS SANITÁRIAS E CONGÊNERES. São Paulo: ANFACER, 2018. Disponível em: <http://www.anfacer.org.br/Conteudo/Brasil/>. Acesso em: 10 maio 2019.

AZEVEDO, P. R. M. Modelos de Regressão Linear. Editora da UFRN, 2001, 191p.

BARATA, M. S.; ANGÉLICA, R. S. Caracterização dos resíduos cauliniticos das Industriass de mineração de caulim da Amazonia como materia prima para produção de pozolanas de alta reatividade. *Cerâmica*, [S.l.], v. 58, n. 345, p. 36-42, mar. 2012. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/s0366-69132012000100007>.

BARBA, A., et al. *Materias primas para la fabricación de soportes de baldosas cerámicas*. 2. ed. Castellón – España: Instituto de Tecnologia Cerámica – ITC, 2002. 292 p.

BARBOSA, E. P. Estudo da produção e caracterização de metacaulinita para utilização como material cimentício suplementar. 2019. 101 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2019.

BARRETO, I. A. R.; COSTA, M. L. Sintering of red ceramics from yellow Amazonian latosols incorporated with illitic and gibsitic clay. *Applied Clay Science*, [S.l.], v. 152, p. 124-130, 2018.

BELTRÁN, V. et al. Materias Primas Empleadas em la Fabricación de Baldosas de Pasta Blanca en España. *Tecnica Cerámica*, v. 196, p. 578-585, 1996.

BENLOCH, A. E. Fabricación de revestimiento cerámico por monococción (I). *Tecnica Cerámica*, Catellón, n. 208, p. 740-754, 1993.

BIFF, Sergio; SILVA, Manoel Ribeiro da. Uso do resíduo sólido proveniente do processo de beneficiamento de areia na indústria de revestimentos cerâmicos e sua influência nas propriedades físicas dos produtos cerâmicos. *Revista Matéria*, Rio de Janeiro, v. 21, n. 4, p. 853-865, 2016. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rmat/a/dfCP5z5bzhxSmfKK6vHKMHG/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 10 jun. 2022.

BITTENCOURT, Eduardo L.; B. JÚNIOR, José Celso; SILVESTRE, Mário D. M. Metodologia experimental para desenvolvimento de uma formulação de revestimento poroso (classificação BIII) em processo de monoporosa através da programação linear. *Cerâmica Industrial*, v. 6, n. 4, 35-40, 2001. Disponível em: <https://www.ceramicaindustrial.org.br/article/5876570e7f8c9d6e028b4651>. Acesso em: 10 jun. 2022.

BORIES, Cécile et al. Fired clay bricks using agricultural biomass wastes: study and characterization. *Constr. Build. Mater.*, [S.l.], v. 91, p. 158-163, 2015. Disponível em: <https://oatao.univ-toulouse.fr/25439/>. Acesso em: 10 jun. 2022.

BOSCHI, A. O. et al. Panorama e Perspectiva da Indústria Cerâmica no Brasil. *Cerâmica Industrial*, p. 11-15, 2010.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. *Diário Oficial da União*: seção 1, Brasília, DF, p. 3, 3 ago. 2010.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Mudanças Climáticas Qualidade Ambiental. Secretaria de biodiversidade e florestas. *PROJETO PNUD BRA 00/20*. Aproveitamento de resíduos e subprodutos florestais, alternativas tecnológicas e propostas de políticas ao uso de resíduos florestais para fins energéticos.

BRASILEIRO, L. L.; MATOS, J. M. E. Revisão bibliográfica: reutilização de resíduos da construção e demolição na indústria da construção civil 2. (Literature review: reuse of construction and demolition waste in the construction industry). *Cerâmica*, v. 61, n. 358, p. 178-189, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0366-69132015613581860>. Acesso em: 10 jun. 2022.

BRAZ, R. L. et al. (2014). Resíduos da colheita florestal e do processamento da madeira na Amazônia – uma análise da cadeia produtiva. *Journal of Biotechnology and Biodiversity*, v. 5, n. 2, p. 168-181, maio 2014. DOI: <https://doi.org/10.20873/jbb.uft.cemaf.v5n2.braz>.

BRAZILIAN JOURNAL OF ANIMAL AND ENVIRONMENTAL RESEARCH BRAZ. *J. Anim. Environ. Res.*, Curitiba, v. 3, n. 3, p. 918-925, jul.-set. 2020. DOI: 10.34188/bjaerv3n3-012.

CABETE, N. P. F.; CABETE, M. da S.; DACOL, S. Manejo florestal sustentável: o caso da Mil Madeiras Preciosas. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO (ENEGERP), 29., 6-9 out. 2009, Salvador – BA. *Anais [...]*. Rio de Janeiro: ABEPRO, 2009. Tema: A Engenharia de Produção e o Desenvolvimento Sustentável: Integrando Tecnologia e Gestão.

CABRAL JUNIOR, Marsis et al. RMIs: argilas para cerâmica vermelha. In: LUZ, Adão Benvindo da; LINS, Fernando Antonio Freitas. *Rochas & minerais industriais: usos e especificações*. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2005. Parte II. Cap. 28. p. 583-606. Disponível em: <http://mineralis.cetem.gov.br/handle/cetem/1085>. Acesso em: 10 jun. 2022.

CALDAS, Thais Cristina da Costa. Reciclagem de resíduo de vidro plano em cerâmica vermelha. Orientação de Carlos Maurício Fontes Vieira. 2012. xiv, 89 f., il. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência de Materiais) – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Centro de Ciência e Tecnologia, Laboratório de Materiais Avançados, Campos dos Goytacazes – RJ, 2012. Disponível em: <https://uenf.br/posgraduacao/engenharia-de-materiais/wp-content/uploads/sites/2/2013/07/Dissertação-Reciclagem-de-Res%C3%ADduo-de-Vidro-Plano-em-Cer%C3%A2mica-Vermelha.pdf> ou: <https://uenf.br/posgraduacao/engenharia-de-materiais/teses-e-dissertacoes/dissertacoes/>. Acesso em: 10 jun. 2022.

- CALLISTER JR., W. D. *Ciência e engenharia de materiais: uma introdução*. 5. ed. Salt Lake City, Utah, Janeiro, 1999.
- CALLISTER JR., W. D. *Ciência e engenharia de materiais: uma introdução*. 5. ed. Rio de Janeiro: Ed. LTC, 2002.
- CALLISTER JR., W. D. *Materials Science and Engineering: an introduction*. 3. ed. New York, NY: John Wiley & Sons, 1994.
- CALLISTER, JR. W. D. (2007) *Materials Science and Engineering: an introduction*, 7th ed. University of Utah: John Wiley & Sons, Inc., 975p.
- CARREIRO, M. E. A.; SANTOS, R. C.; SILVA, V. J.; LIRA, H. L.; NEVES, G. A.; MENEZES, R. R., SANTANNA, L. N. L. Residue of quartzite - alternative raw material for use in structural ceramics. *Revista Cerâmica*. v. 62. p 170-178.2016. DOI: <https://doi.org/10.1590/0366-69132016623642030>. Acesso em: 10 jun. 2022.
- CARVALHO, C. H. SEVERO JUNIOR, J. B. MACEDO, M. C. S. S. GRIZA, S. DE ANDRADE, C. E. C. DOS SANTOS, A. A. BARRETO, L. S. Application of statistical techniques to evaluate the reliability of ultrasonic and rebound hammer measurements of compressive strength in the concrete of bridges. *SCIENTIFIC RESEARCH AND ESSAYS*. Vol.9(6), pp. 136 - 144 , March 2014. <https://doi.org/10.5897/SRE2013.5780>
- CARVALHO, S. A. *Brasilian Journal of Animal and Environmental Reseach*, Curitiba, v. 3, n. 3, p. 918-925, jul.-/set. 2020. INSS 2595-573X.
- CARVALHO, S. A. *Resíduos de espécies madeiras de manejo florestal para produção de móveis*. Dissertação. Pós-Graduação em Ciências Florestais e Ambientais. Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2018.
- CASTRO R. J. S., SOARES R. A. L., NASCIMENTO, R. M., BISON, E. C.. Estudo do Efeito do Feldspato e Resíduo de Caulim na Produção de Revestimento Cerâmico. *Cerâmica Industrial*, 20 (1) Janeiro/Fevereiro, 2015, <http://dx.doi.org/10.4322/cerind.2014.095>
- CAVALCANTE, Ronaldo Fonseca. *Estudo do potencial de utilização do resíduo da extração de esmeraldas na fabricação de cerâmica de revestimento*. Orientação de Rubens Maribondo do Nascimento. 2010. 103 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal – RN, 2010. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/handle/123456789/15603>. Acesso em: 10 jun. 2022.
- CERQUEIRA, P. H. A. de et al. Análise dos Resíduos Madeiros Gerados Pelas Serrarias do Município de Eunápolis-BA. *Revista Floresta e Ambiente*, out.-dez., 2012.
- CHARAI, M. et al. Thermal Performance and Characterization of a Sawdust-Clay Composite Material. *Procedia Manufacturing*, [S.l.], v. 46, p. 690-697, 2020. Disponível em: <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>. Acesso em: 10 jun. 2022.
- CHAUKURA, N. et al. Development and evaluation of a low-cost ceramic filter for the removal of methyl orange, hexavalent chromium, and *Escherichia coli* from water. *Mater. Chem. Phys.*, v. 249, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2020.122965>. Acesso em: 10 jun. 2022.
- CHIARI, L. et al. Expansão por Umidade Parte I: o fenômeno. *Cerâmica Industrial*, v. 1, n. 1, p. 6-13, 1996.

CIPRIANO P.B. , FERRAZ A.V., Caracterização e aproveitamento dos resíduos de argila e argilito provenientes da extração de gipsita no município de Araripina-Brasil como matérias-primas para cerâmica vermelha, *Cerâmica* 65, 376 (2019).
<https://doi.org/10.1590/0366-69132019653762652>

COMPÓSITO. [Verbete]. *Wikipédia*, [S.l.], c2021. Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Compósito>. Acesso em: 17 fev. 2021.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução CONAMA nº 406, de 8 de fevereiro de 2009. Estabelece parâmetros técnicos a serem adotados na elaboração, apresentação, avaliação técnica e execução de Plano de Manejo Florestal Sustentável - PMFS com fins madeireiros, para florestas nativas e suas formas de sucessão no bioma Amazônia. Brasília: CONAMA/MMA, 2009.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução CONAMA Nº 484, de 29 de Março de 2018. Dispõe sobre procedimentos para inspeção de indústrias consumidoras ou transformadoras de produtos e subprodutos florestais madeireiros de origem nativa, bem como os respectivos padrões de coeficientes de rendimento volumétricos de madeira serrada. Data da legislação: 22/03/2018 - Publicação DOU nº 61, de 29/03/2018, Página 252 - Altera a Resolução Nº 474/2016.

CORDEIRO, G. C.; TOLEDO, F. R. D.; FAIRBAIR, E. M. R. Caracterização de cinza do bagaço de cana-de-açúcar para emprego como pozolana em material cimentícios. *Química Nova*, [S.l.], v. 32, n. 1, p. 82-86, 2009.

CORDEIRO, I. M. C. C.; BARROS, P. L. C. de; COIMBRA, L. de A. Aproveitamento dos resíduos lenhosos: uma alternativa sustentável para projetos de manejo florestal. In: FÓRUM INTERNACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS, 9., 2018, Porto Alegre – RS.

CULAU, F. I. et al. Sustentabilidade: uma proposta de possibilidades estéticas e funcionais entre as linguagens do design e da cerâmica. *Disciplinarum Scientia*, Santa Maria, v. 13, n. 2, p. 125-140, 2012. Série: Ciências Naturais e Tecnológicas. Recebido em: 24.10.2013. ISSN 2176-462X.

D. STERNIK, A. GŁADYSZ-PŁASKA, E. GRABIAS, M. MAJDAN, W. KNAUER, Study of effect of phosphate and uranium ions on the thermal properties of surfactant-modified natural red clay using TG–FTIR–MS techniques, *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry* **136**, (2019) 425–439. <https://doi.org/10.1007/s10973-018-7616-x>

DAMASIO, Kevin. Queimadas e desmatamento estão transformando Amazônia em fonte de carbono, diz estudo. *National Geographic*, Editorial Brasil, 15 jul. 2021. Seção Meio Ambiente. Disponível em: <https://www.nationalgeographicbrasil.com/meio-ambiente/2021/07/queimadas-e-desmatamento-estao-transformando-amazonia-em-fonte-de-carbono-diz-estudo>. Acesso em: 18 set. 2021.

DENARI, G. B.CAVALLEIRO, E. T. G. Principios e aplicações de análises térmicas, São Carlos: IQSC, 2012, 40 p.

DIAS, D. K. 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*. 2016. 166 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2016.

DUNN, Peter K.; SMYTH, Gordon K. *Generalized linear models with examples in R*. New York, NY: Springer, 2018.

DUTRA, L. F. et al. Microstructural characterization of porous clay-based ceramic composites. *Materials*, [S.l.], v. 12, n. 6, Mar. 2019. DOI: 10.3390/ma12060946.

DUTRA, R. P. S.; PONTES, L. R. de A. Obtenção e análise de cerâmicas porosas com a incorporação de produtos orgânicos ao corpo cerâmico. *Revista Cerâmica*, ABCERAM, São Paulo, v. 48, n. 308, out.-dez. 2002. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ce/a/rcwVgJh4FkyxYYc54WmWCxP/?lang=pt>. Acesso em: 5 jun. 2020.

DUTRA, Reinaldo I. J. P.; NASCIMENTO, Suziane M. do; NUMAZAWA, Sueo. Resíduos de indústria madeireira: caracterização, consequências sobre o meio ambiente e opções de uso. *Revista Científica Eletrônica de Engenharia Florestal*, Garça – SP, v. 2, n. 5, jan. 2005. Disponível em: http://faef.revista.inf.br/imagens_arquivos/arquivos_destaque/7kc54tJmvnT43dW_2013-4-25-14-47-28.pdf ou: <http://faef.revista.inf.br/site/e/engenharia-florestal-5-edicao-12005.html#tab171>. Acesso em: 10 jun. 2022.

E.P. ALMEIDA, T.G. APOLÔNIO, H.C. FERREIRA, G.A. NEVES, L.N.L. SANTANA, R.R. MENEZES, Preparação de blocos porosos utilizando resíduos de MDF na formulação de massas cerâmicas estruturais, *Revista Matéria* **25**, 1 (2020). doi: 10.1590/S1517-707620200001.0918

EDSTROM, S. The ‘closed’ chemical pulp mill: myth or reality? *Papermaker*, [S.l.], p. 24-27, Sept. 1994.

ESCARDINO, A. Single-fired ceramic wall tile manufacture. *Tile & Brick International*, [S.l.], v. 9, n. 1, p. 14-19, 1993.

FARAWAY, Julian J. *Linear models with R*. CRC press, 2014.

FARIA, K. C. P. de. *Formulação e caracterização de revestimento poroso utilizando resíduo de vidro plano e resíduo de cinzas de bagaço de cana-de-açúcar*. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia) – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy, Campos dos Goytacazes – RJ, 2015.

FEITOSA, Bruno da Costa. Aproveitamento dos resíduos de madeira no Pará. *Revista da Madeira*, [S.l.], n. 114, 2008. Disponível em: http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=1274&subject=Res%EDduos&title=Aproveitamento%20dos%20res%EDduos%20de%20madeira%20no%20Par%E1. Acesso em: 10 jun. 2022.

FENGEL, D.; WEGENER, G. *Wood: chemistry, ultrastructure, reactions*. Berlim: Walter de Gruyter, 1984.

FERNANDES, N.C.L; VALLE, M. L. A; CALDERON, C. M. A. Características Físicas e Anatômicas de *Cedrela odorata* L. e *Cedrelinga cateniformis* Ducke. *Floresta e Ambiente*, v. 25, n. 1, 2018.

FERREIRA, L.C. *Potencial da utilização de resíduos industriais na formulação de massa de cerâmica vermelha para a fabricação granulométrica*: NBR 7181-84. Rio de Janeiro – RJ, 2012.

FERREIRA, Robson Soares. Et al. **Impactos socioambientais causados pelo descarte incorreto de resíduos sólidos urbanos**. Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento. Ano 04, Ed. 09, Vol. 03, pp. 51-72. Setembro de 2019. ISSN: 2448-0959, Link de acesso: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-ambiental/descarte-incorreto>

FLORENTINO, Gelson Dias et al. Dynamics of Space and Time of the Production Chain of the Ceramic Industry Production Center of Iranduba, Amazonas, Brazil. *Sustainability*, v. 11, 2019, v. 11, n. 20, p. 1-14, 2019. DOI: <https://doi.org/10.3390/su11205576>.

FONSECA, A. SUSANA, B. C. Materiais compósitos de matriz polimérica reforçada com fibras usados na engenharia civil. Características e aplicações, ITMC 35, LNEC. Lisboa, 2005.

FONTES, P. J. P. *Auto-suficiência energética em serraria de pinus e aproveitamento de resíduos*. 1994. 104 f. Curitiba, 1994.

FRANCO, Ana Lúcia Costa. Revestimento cerâmico de fachada: composição, patologias e técnicas de aplicação. Orientação de Antônio Neves de C. Júnior. 2008. 80 p. Monografia (Especialização em Construção Civil) – Universidade Federal de Minas Gerais, 2008.

GALDINO, J. N. Influência do teor e granulometria da calcita e da temperatura de sinterização no desenvolvimento de massas para revestimento poroso (BIII). 2010. 202 p. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal – RN, 2010.

GARCIA, F. M.; MANFIO, D. R.; SANSÍGOLO, C. A. MAGALHÃES, P. A. D. 2012. Rendimento no desdobro de toras de Itaúba (*Mezilaurus itauba*) e Tauari (*Couratari guianensis*) segundo a classificação da qualidade da tora. *Floresta e Ambiente*. 19(4): p.468-474.

GOMES, F. P. S. Valorização do Resíduo de Cinza de Serragem de Madeira na Produção de Piso Cerâmico Vitrificado. 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência dos Materiais) – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Centro de Ciência e Tecnologia, Laboratório de Materiais Avançados, Campos dos Goytacazes – RJ, 2016.

GOMES, J. I.; SAMPAIO, S. S. Aproveitamento de resíduos de madeira em três empresas madeireiras do Estado do Pará. *Comunicado Técnico*, Belém, 2004.

GOUVEIA, N. Resíduos sólidos urbanos: impactos socioambientais e perspectiva de manejo sustentável com inclusão social. [*Solid urban waste: socio-environmental impacts and prospects for sustainable management with social inclusion*]. *Ciênc. saúde coletiva*, v. 17, n. 6, jun. 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1413-81232012000600014>. Acesso em: 10 jun. 2022.

GOYAL, P.; CHANB, A. T.; JAISWAL, N. Statistical models for the prediction of respirable suspended particulate matter in urban cities. *Atmospheric Environment*, v. 40, p. 2068-2077, 2006.

GUZMAN, Ya. Certain Principles of Formation of Porous Ceramic Structures. Properties and Applications (A Review). *Glass & Ceramics*, [S.l.], v. 60, p. 280-283, Sept. 2003. DOI <https://doi.org/10.1023/B:GLAC.0000008227.85944.64>.

H.C. ONG, W.-H. CHEN, A. FAROOQ, Y.Y. GAN, K.T. LEE, V. ASHOKKUMAR, Catalytic thermochemical conversion of biomass for biofuel production: A comprehensive review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* **113**, (2019) 109266. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109266>

HAJAM, Maryam El. et al. Evaluation of softwood and hardwood sawmill wastes impact on the common carp "Cyprinus carpio" and its aquatic environment: An oxidative stress study. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, [S.l.], v. 75, abr. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.etap.2020.103327>. Acesso em: 10 jun. 2022.

HAMMEL, E.C., IGHODARO, O.L.-R., OKOLI, O.I.: Processing and properties of advanced porous ceramics: an application based review. *Ceram. Int.* 40, 15351–15370 (2014). <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2014.06.095>

HERMIDA, Paula Marcella de. Propriedades tecnológicas de madeiras submetidas a tratamentos térmicos para estabilização dimensional. 2021. 229 f., il. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) — Universidade de Brasília, Brasília, 2021.

HIGUCHI, N.; CLEMENT, C. R. A floresta amazônica e o futuro do Brasil. *Ciência e Cultura*, São Paulo, v. 58, n. 3, p. 44-49, 2006.

HILLIG, Éverton et al. Resíduos de madeira da indústria madeireira: caracterização e aproveitamento. *ENEGEP*, 26., 9 a 11 out. 2006, Fortaleza – CE. *Anais [...]*. Rio de Janeiro: ABEPRO, 2006. Disponível em: http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP2006_TR520346_8192.pdf. Acesso em: 6 ago. 2016.

HON, D. N. S.; SHIRAISHI, N. *Wood and cellulosic chemistry*. Nova York: Marcel Dekker, 1991.

HOTZA, Dachamir. Etimologia e uso em diferentes línguas de alguns termos técnicos empregados na fabricação cerâmica tradicional. *Cerâmica Industrial*, ABCeram/UNESC, São Paulo – SP/Criciúma – SC, v. 12, n. 4, jul.-ago., 2007. Disponível em: <https://www.ceramicaindustrial.org.br/article/587657307f8c9d6e028b471c>. Acesso em: 10 jun. 2022.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Censos 2018. Inovações e impactos nos sistemas de informações estatísticas e geográficas do Brasil. Rio de Janeiro: IBGE, 2008.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Censos 2022. Inovações e impactos nos sistemas de informações estatísticas e geográficas do Brasil. Rio de Janeiro: IBGE, 2022.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. *Relatório 2019*. Brasília: IBÁ, 2019. Disponível em: <https://iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/relatorioiba2019-final.pdf>. Acesso em: 20 set. 2021.

INFOESCOLA. Disponível em: <http://www.infoescola.com/materiais/composito>. Acesso em: 17 fev. 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Produção da extração vegetal e da silvicultura*. IBGE, 2005. v. 20, 50 p.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. *Catálogo de Madeiras Brasileiras para a Construção Civil*. São Paulo: IPT, 2013.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS DA AMAZÔNIA. *Catálogo de Madeiras da Amazônia*. Características tecnológicas: Área Hidrelétrica de Balbina. Manaus – AM: INPA, 1991. 163 p.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. *ISO 13006: Ceramics tiles: definitions, classification, characteristics and marking*. Geneva: ISO, 1998.

J. GENG, Q. SUN, Effects of high temperature treatment on physical-thermal properties of clay, *Thermochimica Acta* **666**, (2018) 148–155. <https://doi.org/10.1016/j.tca.2018.06.018>

JOSÉ, Nadia Mamede; PRADO, Luís Antônio Sanchez de Almeida. Materiais híbridos orgânico-inorgânicos: preparação e algumas aplicações. *Quim. Nova*, [S.l.], v. 28, n. 281-288, mar. 2005. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/qn/a/hNMKPYpH5fPwkBP8nkYtV8L/?lang=pt>. Acesso em: 10 jun. 2022.

KARPINSK, L. A. et al. Gestão diferenciada de resíduos da construção civil, uma abordagem ambiental. Porto Alegre: Edipucrs, 2009. Disponível em: <http://www.pucrs.br/orgaos/edipucrs/>. Acesso em: 10 jun. 2022.

KOLLER, A. *Structure and Properties of Ceramics*. Londres, 1994. p. 119 -145.

LEEUWESTEIN, J. M.; MONTEIRO, R. A. *Procedimento técnico para enquadramento de corpos de água documento orientativo*. Brasília: MMA, 2000.

LENTINI, M.; VERÍSSIMO, A.; PEREIRA, D. A expansão madeireira na Amazônia. *Revista da madeira* - edição N°98, 2006.

LIMA, C. R. Viabilidade econômica da produção de briquetes a partir da serragem de *Pinus* sp. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANEJAMENTO ENERGÉTICO, 3., 1998, São Paulo. *Anais [...]*. Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Planejamento Energético – SBPE, 1998.

LIMA, E. G. Resíduos gerados em indústrias de móveis de madeira situadas no pólo moveleiro de Arapongas – Pr. 2005.

LIMA, I. B. Caracterização das argilas de várzea da região metropolitana de Manaus, para emprego como fluído estabilizante em perfuração de poços tubulares. 2015. 100 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2015.

LIMA, L. M. Q. *Lixo: tratamento e biorremediação*. 3. ed. São Paulo: HEMUS, 1995.

LIMA, R. H. C. *Preparação e Controle de Massas para APL de Cerâmica Vermelha de Russas*. Ceará – Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil, 2010.

LIVRAMENTO, M.M. NAZÁRIO, R.A. DOMINGOS, A. NONI, R. TASSI, M. CARGNIN, Reformulação de Massas para Pavimentos Cerâmicos Fabricados pelo Processo de Monoqueima, *Cerâmica Industrial* **22**, 5-6 (2017) 33-44. <http://dx.doi.org/10.4322/cerind.2017.027>

LOLLI, L., NASSETTI, G., MARINO, L.F.B. A Preparação a Seco de Massas Cerâmicas. *Cerâmica Industrial* 5, 2: 23 - 27. (2000)

LOPES, D. C. *Estudo da viabilidade de adição de resíduo de pó de fumo à Louças Sanitárias e Congêneres*. ANFACER, 2019.

LOPES, G. A.; GARCIA, J. N. Densidade básica e umidade natural da madeira de Eucalyptus saligna Smith, de Itatinga, associadas aos padrões de casca apresentados pela população. *Revista Scientia Forestalis*, n. 62, p. 13-23, 2002.

LOTA, Ana V. et al. Avaliação Comparativa de Massas Industriais Utilizadas na Fabricação de Revestimentos Cerâmicos por Via Seca. *Cerâmica Industrial*, v. 22, n. 4, jul.-ago. 2017. Disponível em: <https://ceramicaindustrial.org.br/journal/ci/article/doi/10.4322/cerind.2017.025>. Acesso em: 10 maio 2022.

MAESTRELLI, S.C. et al. Estudo de caracterização de argilas não plásticas da região de Poços de Caldas, MG. *Cerâmica*, [S.l.], v. 59, n. 350, p. 242-248, jun. 2013. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ce/a/MFSkbg8b5XcvjdWZ8BF4XLh/?lang=pt#>. Acesso em: 10 jun. 2022.

MAHMOUDI, S.; SRASRA, E.; ZARGOUNI, F. The Use of Tunisian Barremian Clay in the Traditional Ceramic Industry: Optimization of Ceramic Properties. *Applied Clay Science*, [S.l.], v. 42, n. 1-2, p. 125-129, Dec. 2008. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.clay.2007.12.008>.

MARCHESAN, Raquel. *Rendimento e qualidade de madeira serrada de três espécies tropicais*. 2012. 94 p. Dissertação (Mestre em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba/PR, 2012.

MARINO, Luís Fernando Bruno; BOSCHI, Anselmo Ortega. A Expansão Térmica de Materiais Cerâmicos. Parte III: Efeitos da Adição de Calcita. *Cerâmica Industrial*, v. 3, n. 4-6, p. 18-23, 1998. Disponível em: <https://www.ceramicaindustrial.org.br/article/587657017f8c9d6e028b4604>. Acesso em: 10 jun. 2022.

MARTINS, M. *Eficiência das serrarias em Manaus e Itacoatiara: utilização da norma para comercialização*. 2008. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais e Ambientais) – Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2008.

MASSAD, F. *Mecânica dos solos experimentl*. Faíçal Massad – Sao Paulo – Oficina de Textos, 2016. ISBN 978-85-7975-200-1

MCCUISTION J.; WILSON, I. Ball Clays. In: KOGEL, Jessica Elzea (Ed.). *Industrial Minerals and Rocks*. 7. ed. 2006. p. 343-356.

MCDUGALL, F. R.; WHITE, P. R.; FRANKEM, Hindle P. *Integrated solid waste management: a life cycle inventory*. 2. ed. Wiley-Blackwell, 2001.

M-CIENTEC 1/C-015. Argilas: amostragem preliminar para ensaios cerâmicos. 1995. 3 p.

M-CIENTEC. C-028. Materiais cerâmicos: determinação da perda ao fogo. Porto Alegre - RS. 1995.

MEDEIROS, A. C.de.; MARACAJA, P. B. Mineração de caulim no município de Equador-RN Brasil: andragogia e percepção ambiental. *Revista Brasileira De Gestão Ambiental*, Pombal, v. 9, n. 1, p. 27-47, jan./DEZ. 2015

MEDEIROS, E. N. M. de. Uso da técnica de planejamento experimental para otimização de massa cerâmica com a incorporação de resíduos de cinza de casca de arroz, cinza de lenha e lodo de ETA. 2010. 166 f. Tese (Doutorado em Estruturas e Construção Civil) – Universidade de Brasília, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Brasília, DF, 2010.

MEDEIROS, Graciela M. *Geoterapia: teorias e mecanismos de ação: um manual teórico-prático*. Tubarão: Ed. UNISUL, 2014.

MEDEIROS, R. R. et al. Influência do uso de resíduo de quartzito na expansão por umidade de massas de revestimentos cerâmicos planos. *Cerâmica*, v. 63, 134-142, 2017.

MENDONÇA, M. et al. Avaliação das propriedades tecnológicas de amostras queimadas a partir de um rejeito argiloso em função da temperatura. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, 55., 29 maio a 1 jun. 11, 2011, Porto de Galinhas – PE. *Conferência*. São Paulo: ABCERAM, 2011.

MENEZES, R. R. et al. Caracterização de argilas plásticas do tipo “ball clay” do litoral paraibano. *Cerâmica*, [S.l.], v. 49, p. 120-127, 2003.

MENEZES, Romualdo R.; NEVES, Gelmires de A.; FERREIRA, Heber C. O estado da arte sobre o uso de resíduos como matérias-primas cerâmicas alternativas. [*State of the art about the use of wastes as alternative to ceramic raw materials*]. *Rev. bras. eng. agríc. ambient.*, Campina Grande, v. 6, n. 2, p. 303-313, 2002. Seção Gestão e Controle Ambiental. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662002000200020>. Acesso em: 10 jun. 2022.

MILAK, P. et al. Valorization of rice husk ash in ceramic bricks (Valorização de cinza de casca de arroz em tijolos). *Cerâmica*, [S.l.], v. 63, p. 490-493, 2017.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. A mineração brasileira - Produto 27 Quartzito. Projeto de assistência técnica ao setor de energia, 32. MME, 2009.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. Projeto Argila: Regularização e levantamento ambiental do setor oleiro nos municípios de Iranduba e Manacapuru. Relatório Final. DNPM/MME, Manaus. 2000.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Brasil é referência ambiental. Disponível em: <http://www.pucrs.br/orgaos/edipucrs/>. Acesso em: 10 jun. 2022.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. c2022. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/informma/item/9391-brasil-%C3%A9-refer%C3%Aancia-ambiental>. Acesso em: 20 maio 2022.

- MODESTO, C. et. al. Obtenção e Caracterização de Materiais Cerâmicos a partir de Resíduos Sólidos Industriais. *Cerâmica Industrial*, v. 8, n. 4, jul.-ago. 2003.
- MONTEIRO, K. F. G. et al. Uso de resíduos de madeira como alternativa de melhorar as condições ambientais em sistema de reflorestamento. *Acta Amazonica*, Manaus, v. 40, n. 3, set. 2010. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0044-59672010000300001&lng=en&nrmiso. Acesso em: 10 maio 2019.
- MORESCHI, J. C. *Propriedades da madeira*. Setor de Ciências Agrárias. Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal. Universidade Federal do Paraná. 4. ed. 2014. MORESCHI, J.C. Propriedades da madeira. Setor de Ciências agrárias UFPR, Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal. (2012). 4ª edição, Link: <http://www.madeira.ufpr.br/disciplinasmoreschi/POPRIEDADESDAMADEIRA.pdf> Acesso em: 15/10/2021.
- MORI, F. A.; COVEZZI, M. M.; MORI, C. L. S. O. Utilização da Serragem de Eucalyptus Spp. para a produção de tijolo maciço cerâmico. *Floresta*, Curitiba – PR, v. 41, n. 3, p. 641-654, jul.-set. 2011. DOI <http://dx.doi.org/10.5380/rf.v41i3.24057>.
- MOTTA, J. F. M. et al. Argila Plástica para Cerâmica Branca. *Rochas e Minerais Industriais*, CETEM, n. 2, 2008.
- MOTTA, J. F. M.; TANNO, L. C.; CABRAL JUNIOR, M. Argilas plásticas para cerâmica branca no estado de São Paulo: potencialidades geológicas. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 23, p. 159-173, 1993.
- MOURA, Luiz Antonio Abdalla. *Qualidade e gestão ambiental: sustentabilidade e implantação da ISO 14.001*. 5. ed. São Paulo: Juarez de Oliveira, 2008.
- MUKHOPADHYAY, S., MUHURI, V.B. S., SINGARAJU, R.N., SAINI AND J., NAYAK, T.K. Development and characterization of a large area silicon pad array for an electromagnetic calorimeter. *Journal of Instrumentation*, Volume 16, September 2021. <https://doi.org/10.1088/1748-0221/16/09/P09026>
- NAHUZ, M. A. R. Resíduos da indústria moveleira. In: SEMINÁRIO DE PRODUTOS SÓLIDOS DE MADEIRA DE EUCALIPTO, 3., 2005, São Paulo.
- NIGHOJKAR, A. K. et al. Establishing correlations among pore structure, surface roughness, compressive strength, and fracture toughness of ceramic water filters local to Rajasthan, India. *Desalination and Water Treatment*, v. 157, p. 332-341, 2019. DOI: 10.5004/dwt.2019.23693.
- NOVAIS, R. M.; SEABRA, M. P.; LABRINCHA, J. A. Wood waste incorporation for lightweight porcelain stoneware tiles with tailored thermal conductivity. *Journal of Cleaner Production*, [S.l.], v. 90, p. 66-72, 2015.
- OKADA, K. et al. Porous ceramics mimicking nature: preparation and properties of microstructures with unidirectionally oriented pores. *Science and Technology of Advanced Materials*, [S.l.], v. 12, n. 6, Oct. 2011. DOI <https://doi.org/10.1088/1468-6996/12/6/064701>.
- OLIVEIRA, A. P. N. de et al. Obtenção e caracterização de materiais cerâmicos a partir de resíduos sólidos industriais. *Cerâmica Industrial*, v. 8, n. 4, p. 14-18, 2003.

OLIVEIRA, Antonio Pedro Novaes de. Tecnologia de Fabricação de Revestimentos Cerâmicos. *Cerâmica Industrial*, ABCeram/UNESC, São Paulo – SP/Criciúma – SC, v. 5, n. 6, p. 37-47, nov.-dez. 2000. Disponível em: <https://www.ceramicaindustrial.org.br/article/587657097f8c9d6e028b4638>. Acesso em: 10 jun. 2022.

OLIVEIRA, Antonio Pedro Novaes de; HOTZA, Dachamir. *Tecnologia de fabricação de revestimentos cerâmicos*. 2. ed. rev. Florianópolis: Ed. da UFSC, 2015. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/187929?show=full>. Acesso em: 10 jun. 2022.

OLIVEIRA, H.J., LABRINCHA, J.A. (2002) Esmaltes e Engobes para Monoporosa. *Cerâmica Industrial* 7, 2: 25-29.

OLIVEIRA, José Tarcísio da Silva; SILVA, José de Castro. Variação radial da retratibilidade e densidade básica da madeira de *Eucalyptus saligna* Sm. *Revista Árvore*, Viçosa-MG, v. 27, n. 3, 381-385, 2003. Disponível em: <http://www.bibliotecaflorestal.ufv.br/handle/123456789/12452>. Acesso em: 10 jun. 2022.

OLIVEIRA, M. C. Guia técnico ambiental da indústria de cerâmicas brancas e de revestimentos. CETESB. São Paulo. (2006)

OWOYEMI, Jacob Mayowa; ZAKARIYA, Habeeb Olawale; ELEGBEDE, Isa Olalekan. Sustainable wood waste management in Nigeria. *Environmental & Socio-Economic Studies*, [S.l.], v. 4, n. 3, p. 1-9, 2016. Disponível em: https://econpapers.repec.org/article/vrsenviro/v_3a4_3ay_3a2016_3ai_3a3_3ap_3a1-9_3an_3a1.htm. Acesso em: 10 jun. 2022.

PARANHOS, R. J. S. *Aproveitamento de resíduos de cinza da cana de açúcar em massas cerâmicas*. 2010. 98 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Departamento de Tecnologia, Natal, 2010.

PASCHOAL, J. A. A. *Estudos de parâmetros de qualidade para a cerâmica estrutural vermelha*. 188 p. Tese (Doutorado). 2004.

PATTNAIK, S. Influence of sawdust on the properties of the ceramic shell used in investment casting process. *Int J Adv Manuf Technol.*, [S.l.], v. 93, p. 691-707, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00170-017-0559-8>. Acesso em: 10 jun. 2022.

PAULA, G. P. Formulação e caracterização de compósitos com fibras vegetais e matriz termoplástica. Dissertação de mestrado em Engenharia e Ciência dos Materiais do Centro de Ciência e Tecnologia da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goyatazes – RJ, 2011.

PERALTA-SÁNCHEZ, M. G. et al. Viabilidade do uso de argilas cauliníticas do Quadrilátero Ferrífero para a indústria cerâmica. *Cerâmica*, [S.l.], v. 57, n. 343, set. 2011. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0366-69132011000300002>.

PEREZ, E.J.A., TERRADAS, R., MANENT, M.R., SEIJAS, M., MARTINEZ, S., (1996). Inertization of industrial wastes in ceramic materials. *Industrial Ceramics*, V. 16, Nº 1, p. 7-

PICANÇO, H. M. *Incorporação de resíduo cerâmico a um solo argiloso superficial de Manaus visando seu emprego em pavimentos*. 2012. 59 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de

Recursos da Amazônia) – Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2012.

PINHEIRO, B. C. A.; HOLANDA, J. N. F. Efeito da temperatura de queima em algumas propriedades mecânicas de cerâmica vermelha. *Cerâmica*, [S.l.], v. 56, n. 339, p. 237-243, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0366-69132010000300005>. Acesso em: 10 jun. 2022.

PINHEIRO, M. L. et al. *Estudo da viabilidade de incorporação de resíduo grits em blocos prensados de encaixe de solo-cimento*: caracterização física de misturas solo-grits. Vitória – ES: ELECS, 2011.

PINTO, M. F.; SOUSA, S. J. G.; HOLANDA, J. N. F. (2005). Efeito do ciclo de queima sobre as propriedades tecnológicas de uma massa cerâmica vermelha para revestimento poroso. *Cerâmica*, v. 51, n. 319, p. 225-229, set. 2005. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ce/a/KyWL3kYL4WwZQPMrBY4VNmR/?lang=pt>. Acesso em: 10 jun. 2022.

QUEIROZ, L. F. T., MONTEIRO, S. N., VIEIRA, C. M. F. VIEIRA. Efeito da utilização de areia no processamento e nas propriedades de cerâmica vermelha (Effect of the use of sand in the processing and properties of red ceramics). *Cerâmica* 56 (2010) 279-284

RAMOS, Wilson Fernandes et al. Análise da Indústria Madeireira na Amazônia: Gestão, uso e armazenamento de resíduos. [Analysis of the Wood Industry in Amazonia: management, use and storage of waste]. *Revista Brasileira de Ciências Ambientais*, Rio de Janeiro, n. 43, p. 1-16, mar. 2017. DOI: 10.5327/Z2176-947820170057. Disponível em: http://www.rbciamb.com.br/index.php/Publicacoes_RBciAMB/article/view/114/82. acesso em: 10 jun. 2022.

REAL, Inés Ferrer. *Contribución metodológica en técnicas para diseñar para fabricación*. 2007. 205 p. Tesis Doctoral. Departamento de Ingeniería Mecánica de la Construcción Industrial. Proyectos de Innovación Tecnológica en la Ingeniería de Producto y Proceso; Universitat de Girona, Girona, 2007. ISBN 978-84-690-7715-3.

REED, James S. *Principles of ceramics processing*. 2. ed. New York: Wiley, 1995.

REIS, Pamella Caroline Marques dos Reis et al. Agrupamento de espécies madeireiras da Amazonia com base em propriedades físicas e mecânicas. *Ciencia Florestal*, Santa Maria – RS, v. 29, n. 1, p. 336-346, jan.-mar. 2019. DOI: <https://doi.org/10.5902/1980509828114>. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/cienciaflorestal/article/view/28114/pdf>. Acesso em: 10 jun. 2022.

REVISTA DA MADEIRA (REMADE). Madeiras brasileiras e exóticas: sucupira verme lha. Disponível em: <[http://www.remade.com.br/br/madeira_especies.php?num=209&title=Madeiras 20brasileiras%20e%20ex%F3ticas&especie= Muirapiranga](http://www.remade.com.br/br/madeira_especies.php?num=209&title=Madeiras%20brasileiras%20e%20ex%F3ticas&especie=Muirapiranga)>, Acesso em: 04/06/2021

REVISTA DA MADEIRA. Bioenergia: Energia Limpa e Abundante. Curitiba: REMADE; Lettech Editora e Gráfica Ltda, 2005.

REVISTA DA MADEIRA. Bioenergia: Energia Limpa e Abundante. Curitiba: REMADE; Lettech Editora e Gráfica Ltda, 2016.

REVISTA DO SETOR MADEIREIRO. *Resíduo de Madeira parte 2. A sobra que vale ouro*. Curitiba, Ed. Jota Comunicação, 2003.

RIBEIRO, M.J.P.M., ABRANTES, J.C.C. (2001) Moagem em Moinho de Bolas: estudo de Algumas Variáveis e otimização Energética do Processo. *Cerâmica Industrial* 6, 2: 7 – 11.

RIBEIRO, Simone Valéria. *Reutilização de resíduo de cinza de madeira na produção de tijolo solo-cimento: formulação, propriedades e microestrutura*. Tese (Doutorado em Engenharia e Ciência dos Materiais) – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Centro de Ciência e Tecnologia, Laboratório de Materiais Avançados, Campos dos Goytacazes – RJ, 2017.

RIUL, Marília; RIBEIRO, Edson Leite. Diagnóstico e diretrizes para a gestão de resíduos no APL de móveis de João Pessoa-PB. *UNOPAR Científica Ciências Exatas e Tecnológicas*, Londrina, v. 11, n. 1, p. 15-24, nov. 2012. Disponível em: <https://seer.pgskroton.com/exatas/article/view/466>. Acesso em: 10 jun. 2022.

ROCHA, C. D. Estudo do Processamento da Alumina Visando Aplicação em Geometria Hemisférica. 2011. 107 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Metalúrgica e de Materiais) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Rio de Janeiro – RJ, 2011.

ROCHA, M. P. Técnicas e planejamento em serrarias. ed. rev. ampl. Curitiba: Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná, 2002. 121 p.

RODRIGUES, Lara Pessin. *Preparação e caracterização de piso cerâmico vitrificado incorporado com resíduo de estação de tratamento de água*. 2016. Tese (Doutorado em Engenharia e Ciência dos Materiais) – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro, 2016.

RODRIGUES, V. de O. et al. Caracterização das matérias primas empregadas na fabricação de produtos do pólo cerâmico de Iranduba-AM. *Cerâmica Industrial*, ABCeram/UNESC, São Paulo – SP/Criciúma – SC, v. 20, n. 1, p. 37-40, jan.-fev. 2015. Disponível em: <https://www.ceramicaindustrial.org.br/article/5876575a7f8c9d6e028b4819>. Acesso em: 10 jun. 2022.

ROMEIRO, A. R. Desenvolvimento sustentável: uma perspectiva econômico-ecológica. Dossiê Sustentabilidade. *Estud. Av.*, v. 26, n. 74, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-40142012000100006>.

SANCHEZ, E. et al. Aspectos a serem melhorados nas características e homogeneidades de argilas vermelhas empregadas na fabricação de placas cerâmicas. *Cerâmica Industrial*, v. 1, n. 3, p. 13-22, jul.-ago. 1996. Disponível em: <https://www.ceramicaindustrial.org.br/article/587656f97f8c9d6e028b45d7>. Acesso em: 10 jun. 2022.

SANCHEZ, E.; MONFORT, E. *Tecnologia de fabricação de revestimentos cerâmicos*. Rio Claro – SP: Associação Paulista das Cerâmicas de Revestimento – ASPACER, 2003. [Apostila do Curso].

SANTINI, P.; SANTOS, P. S. Efeito da matéria orgânica em algumas propriedades de argilas plásticas para cerâmica branca. *Cerâmica*, [S.L.], v. 14, n. 53, p. 57-65, 1962.

SANTOS, C. P. et al. Caracterização de argilas calcárias utilizadas na produção de revestimentos cerâmicos no Estado de Sergipe – Brasil. *Cerâmica*, [S.L.], v. 62, n. 362, abr.-jun. 2016. DOI: <https://doi.org/10.1590/0366-69132016623621983>.

SANTOS, F. dos. Influência do resíduo de cinza de serragem de madeira nas propriedades técnicas de cerâmica vermelha. 2016. 60 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência dos Materiais) – Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos de Goyatazes – RJ, 2016.

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

SANTOS, R. C. dos et al. Interação entre características de argilas e parâmetros de processamento sobre propriedades tecnológicas de corpos cerâmicos. *Cerâmica*, [S.l.], v. 63, p. 361-368, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/0366-69132017633672126>.

SANTOS, S. N. C. Análise estrutural e de superfície de madeiras submetidas a tratamento térmico e degradadas pelo fungo *Pycnoporus sanguineus*. 2015. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento, Caracterização e Aplicação de Materiais) – Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 2015. DOI: 10.11606/D.18.2015.tde-22092015-105627. Acesso em: 2021-03-22.

SANTOS, Vanuza O et al. Pyrolysis of acai seed biomass: Kinetics and thermodynamic parameters using thermogravimetric analysis. *Bioresource Technology Reports*, [S.l.], v. 12, Dec. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2020.100553>.

SAVAZZINI, A. R., SAGRILLO, V. P. D., OLIVEIRA, J. do N. de, TEIXEIRA, P.G., - DIAZ, F. R. V. Characterization and Evaluation of Ceramic Properties with Spherical and Prismatic Samples of Clay Used in Red Ceramics, *Materials Research* **20**, 2 (2017) 543-548. <http://dx.doi.org/10.1590/1980-5373-mr-2016-0915>

SEGURA, A. Monococción porosa. *Cerâmica*, [S.l.], v. 61, n. 270, 1995.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. Geologia e Recursos Minerais do Estado do Amazonas. Sistemas de Informações Geográficas (SIG). Escala 1.100.000. Manaus: CPRM, 2006. 125 p.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. Organização de R. J. G. D'Antona et al. Projeto materiais de construção na área Manacapuru – Iranduba – Manaus – Careiro: domínio Baixo Solimões / Manaus. Informe de Recursos Minerais, Rochas e Minerais Industriais. Manaus: CPRM, 2007.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. Organização de Silvio Roberto Lopes Riker et al. Geologia e recursos minerais da região metropolitana de Manaus, Estado do Amazonas, escala de integração 1:500.000. Manaus: CPRM, 2016. 238 p.

SFB; IMAZON. **A atividade madeireira na Amazônia brasileira: produção, receita e mercados**. Belém, PA: Serviço Florestal Brasileiro (SFB); Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia (Imazon), 2010.

SHEPPARD, L. M. Porous Ceramics: Processing and Applications. *Ceramic Transactions*, [S.l.], Ed. Kozo Ishizaki et al., v. 31, 1993.

SILVA, A. C. L.; SALES JÚNIOR, J. C. C; DA FROTA, C. A. Módulo de resiliência de solo típico do Amazonas misturado com resíduo cerâmico. *Revista Ciência e Tecnologia*, [S.l.], v. 19, n. 35, dez. 2016. Disponível em: <http://www.revista.unisal.br/sj/index.php/123/article/view/536>. Acesso em: 22 mar. 2021.

SILVA, A. L. da et al. Technological characterization of new clay deposits in the south region of Amapá aiming applications in the ceramic industry. *Matéria*, Rio de Janeiro, v. 22, n. 1, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1517-707620170001.0129>.

SILVA, Gildemberg Pereira de Barros et al. O uso de resíduos sólidos como forma alternativa para aplicação na indústria cerâmica com foco na redução dos impactos ambientais. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO – ENEGEPE, 35., 13 a 16 de outubro de 2015, Fortaleza – CE. *Anais [...]*. Rio de Janeiro: ABEPRO, 2015. Tema: Perspectivas Globais para a Engenharia de Produção. Disponível em: https://abepro.org.br/biblioteca/TN_STP_214_269_27868.pdf. Acesso em: 22 maio 2019.

SILVA, Jose Lazaro Pinheiro. Aproveitamento de resíduos da indústria madeireira para geração de energia elétrica. O caso da empresa B.K. Energia de Itacoatiara Ltda no Estado do Amazonas. 2011. Dissertação. Curitiba, 2011.

SILVA, Othon José de Castro. Critérios para seleção de ecoprodutos: uma visão crítica acerca do emprego de materiais de construção sustentáveis no Brasil: o caso da madeira plástica. 2012. Orientação de Luís Otávio Cocito de Araújo e Elaine Garrido Vazquez. 2012. 116 f., il. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012. Disponível em: <http://mac.arq.br/wp-content/uploads/2016/03/madeira-plastica.pdf>. Acesso em: 10 jun. 2022.

SIQUEIRA, F. B. Desenvolvimento de revestimento cerâmico poroso utilizando resíduo grits. 2017. Tese (Doutorado em Engenharia e Ciência dos Materiais) – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Centro de Ciência e Tecnologia, Laboratório de Materiais Avançados, Campos dos Goytacazes – RJ, 2017.

SJÖSTRÖM, S. *Wood chemistry: fundamentals and applications*. Londres: Academic Press, 1993.

SOARES, R. A. L. et al. Influência do Teor de Calcário no Comportamento Físico, Mecânico e Microestrutural de Cerâmicas Estruturais. *Cerâmica Industrial*, v. 15, n. 2, 2010.

SOARES, R. A. L.; CASTRO, R. G. S.; NASCIMENTO, R.M. Comparação do desempenho da adição de carbonatos calcítico e dolomítico em massa cerâmica de revestimento queimada em forno industrial. *Cerâmica industrial*, vol. 20, n. 5-6, p. 16-24, set./dez. 2016.

SOLER, V. C. et al. Effect of quartz particle size on the mechanical behaviour of porcelain tile subjected to different cooling rates. *Journal of the European Ceramic Society*, [S.l.], 2009.

SOUSA, S. J. G. (2008) Desenvolvimento de massas cerâmicas processadas por via seca com matéria-prima do Norte Fluminense visando aplicação em revestimento poroso. Tese (doutorado em Engenharia e Ciências dos Materiais) Universidade Estadual Norte Fluminense – UENF, Campos dos Goytacazes – RJ, 118p.

SOUSA, S. J. G., HOLANDA, J. N. F. DE . Formulação de Massas de Revestimento Cerâmico Poroso (BIII) com Matérias-Primas do Norte Fluminense. *Cerâmica Industrial*, 11 (4) Julho/Agosto, 2006

SOUSA, Sidnei Jose Gomes; HOLANDA, José Nilson França de. Formulação de massas de revestimento cerâmico poroso (BIII) com matérias-primas do norte fluminense. *Cerâmica Industrial*, v. 11, n. 4, 2006. Disponível em:

<https://www.ceramicaindustrial.org.br/article/5876572b7f8c9d6e028b4701>. Acesso em: 5 maio 2022.

SOUZA SANTOS, P. *Ciência e Tecnologia de Argilas*. São Paulo: Ed. Edgard Blücher Ltda., 1992. v. I, II, III.

SOUZA, Antonio José de. *Estudo da substituição de fundente natural por resíduo de rocha ornamental em massa cerâmica para piso vitrificado*. Orientação de José Nilson França de Holanda. 2008. x, 71 f, il. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência dos Materiais) – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes – RJ, 2008.

SOUZA, Jucilene Aparecida et al. Resíduos da Construção Civil: estudo comparativo de duas empresas de Rondonópolis-MT. *Revista Estudos e Pesquisas em Administração*, Rondonópolis, v. 3, n. 2, p. 53-67, 2019. DOI: 10.30781/repad.v3i2.8549. Disponível em: <https://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/repad/article/view/8549>. Acesso em: 5 maio 2022.

SOUZA, R. P. A. Obtenção de filtro cerâmico a partir da diatomita e casca de arroz carbonizada visando tratamento de efluente têxtil. 2011. 108 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação de Ciências e Engenharia de Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal – RN, 2011.

SOUZA, T. I.; CARDOSO, A. V. Utilização de Resíduos Sólidos da Indústria de Celulose Kraft na Fabricação de Cimento: Caracterização Físico-Química. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA E CIÊNCIA DOS MATERIAIS – CBECiMat, 18., 2008, Porto de Galinhas, PE. *Anais [...]*. 2008.

STEIN, I. et al. *O uso de resíduos para fabricação de blocos cerâmicos*. Universidade Regional de UNIJUÍ, 2018.

TABACHNICK, B., FIDELL, L. S. *Using multivariate statistics* 3^{ed}. New York: Harper Collins, 880p., 1996.

TAGUCHI, S. P.; SANTOS, J. C.; GOMES, T. M.; CUNHA, N. A. Avaliação das propriedades tecnológicas de cerâmica vermelha incorporada com resíduo de rocha ornamental proveniente do tear de fio diamantado. *Cerâmica*, v.60, p. 291-296, 2014.

TEIXEIRA-NETO, Érico; TEIXEIRA-NETO, Ângela Albuquerque. Modificação química de argilas: desafios científicos e tecnológicos para obtenção de novos produtos com maior valor agregado. *Quím. Nova*, São Paulo, v. 32, n. 3, p. 809-817, 2009. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/qn/a/7WpBPFJpxBzGJsSqRRDzmBK/?lang=pt>. Acesso em: 10 jun. 2022.

TRAUTENMÜLLER, J.W., BALBINOT, R., BORELLA, J., TREVISAN, R. BALESTRIN, D., VENDRUSCOLO, R., SABADINI, A.M. (2014). “Variação longitudinal da massa específica básica da madeira de *Cordia americana* e *Alchornea triplinervia*”. In: *Ciência Rural*, v.44, n.5, 817- 821.

TUOTO, M. Levantamento sobre a geração de resíduos provenientes da atividade madeireira e proposição de diretrizes para políticas, normas e condutas técnicas para promover o seu uso adequado. Projeto PNUD BRA 00/20 - Apoio às Políticas Públicas na Área de Gestão e Controle Ambiental. Curitiba: PNUD, 2009.

- U. Klock, A.S. de Andrade, Química da madeira. rev. Curitiba: Universidade Federal do Paraná. 4a. ed. 85 p, (2013)..
- VALÉRIO, Álvaro Felipe et al. Quantificação de resíduos e rendimento no desdobro de *Araucaria ngustifolia* (bertol.) O. Kuntze. *Revista Floresta*, Curitiba, v. 37, n. 3, p. 387-398, set.-dez. 2007. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/floresta/article/view/9934>. Acesso em: 10 jun. 2022.
- VASCONCELLOS, Matheus Soares; OLIVEIRA, Edenis Cesar de. Gerenciamento de Resíduos Sólidos Madeireiros: Estudo em Empresas Madeireiras no Município de Buri – SP. *Brazilian Journal of Development*, Curitiba, v. 6, n. 10, p. 78118-78146, out. 2020. Disponível em: <https://brazilianjournals.com/ojs/index.php/BRJD/article/view/18227>. Acesso em: 10 jun. 2022.
- VELASCO, P. M. et al. Development of sustainable fired clay bricks by adding kindling from vine shoots: Study of thermal and mechanical properties. *Applied Clay Science*, [S.l.], v. 107, p. 156-164, Apr. 2015. DOI <https://doi.org/10.1016/j.clay.2015.01.017>.
- VERDUCH, A. G. Características de las Arcillas Empleadas en la Fabricación de ladrillos. *Tecnica Cerámica*, [S.l.], v. 232, p. 214-228, 1995.
- VERÍSSIMO, A. et al. Áreas para a produção florestal manejada: detalhamento do macrozoneamento ecológico econômico do estado do Pará, 2006 (Relatório para o governo do estado do Pará). Belém: [s. n.] , 2006.
- VERÍSSIMO, Adalberto et al. Zoning of timber extraction in the Brazilian Amazon: a test case using Pará State. *Conservation Biology*, v. 12, n. 1, p. 1-10, 1998.
- VERÍSSIMO, Adalberto; PEREIRA, Denys. Produção na Amazônia Florestal: características, desafios e oportunidades. *Parcerias Estratégicas*, Brasília-DF, v. 19, n. 38, p. 13-44, jan.-jun. 2014.
- VIDAL, E. et al. Vine management for reduced-impacts logging in Easter Amazon. *Forest Ecology and Management*, [S.l.], v. 98, p.105-114, 1997.
- VIEIRA, C. M. F.; MONTEIRO, S. N. Incorporation of solid wastes in red ceramics – an updated review. Laboratório de Materiais Avançados – LAMAV, Centro de Ciência e Tecnologia. Tese (Doutorado em Engenharia e Ciência dos Materiais) – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Centro de Ciência e Tecnologia, Laboratório de Materiais Avançados, Campos dos Goytacazes – RJ, 2017.
- WOLFF, E. (2008) O uso do lodo de estação de tratamento de água e resíduos da indústria de celulose (dregs, grits e lama de cal) na produção de cerâmica vermelha. Tese (Doutorado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Belo Horizonte – MG, Escola de Engenharia da – UFMG, 188 p.
- YOUMOUÉ, M. et al. Design of ceramic filters using Clay/Sawdust composites: Effect of pore network on the hydraulic permeability, *Ceram. Int.*, v. 43, p. 4496-4507, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ceramint.2016.12.101>.
- ZAGO, V. C. P.; BARROS, R. T. de V. Gestão dos resíduos sólidos orgânicos urbanos no Brasil: do ordenamento jurídico à realidade. Revisão da Literatura. *Eng. Sanit. Ambient.*, v. 24, n.

2, mar.-abr. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1413-41522019181376>. Acesso em: 10 jun. 2022.

ZAUBERAS, Rodrigo Tognotti; RIELLA, Humberto Gracher. Defeitos de queima causados pelo quartzo em monoporosas. *Cerâmica Industrial*, ABCeram/UNESC, São Paulo – SP/Criciúma – SC, v. 6, n. 2, p. 40-45, mar.-abr. 2001. Disponível em: <https://www.ceramicaindustrial.org.br/article/5876570b7f8c9d6e028b4644>. Acesso em: 10 jun. 2022.