



**XVII SICTI**  
Seminário de Iniciação Científica,  
Tecnológica e Inovação  
**X SIMIT**  
Simpósio de Inovação Tecnológica

**CIÊNCIA e  
COOPERAÇÃO  
na AMAZÔNIA**  
**16 a 19 de  
Setembro**  
IFPA Campus Bragança

## COMPORTAMENTO MICROESTRUTURAL E TERMODINÂMICO DO METACALIM E MULITA OBTIDA DE REJEITOS DE CAULIM PARA PRODUÇÃO INDUSTRIAL. MÉTODO DE RIETVELD

RAMON SOUSA DOS SANTOS<sup>1</sup>, DIOGO MONTEIRO PORFÍRIO<sup>2</sup>, MARISON FRANCO  
ROCHA LIMA<sup>2</sup>, NILTON CESAR QUEIROZ<sup>3</sup>, OSCAR JESUS CHOQUE FERNANDEZ<sup>3</sup>.

<sup>1</sup>Acadêmico do curso de Engenharia de Materiais, Bolsista PIBIC, IFPA. Campus Belém. ramonsousa1301@gmail.com

<sup>2</sup>Acadêmico do curso de Engenharia de Materiais, IFPA. Campus Belém.

<sup>3</sup> Docente do curso de Engenharia de Materiais, IFPA. Campus Belém.

Área de conhecimento/Subárea: Área 03 - Engenharias | Subáreas: Engenharia de Materiais e Metalúrgica

ODS vinculados(s): ODS12 - Consumo e produção responsáveis - Assegurar padrões de produção e de consumo sustentáveis.

**Resumo:** O presente estudo tem como cerne, avaliar o potencial de valorização tecnológica de rejeitos de caulim da região do Rio Capim (PA) por meio da síntese de metacaulim e mulita, visando aplicações em materiais cimentícios e cerâmicos. As amostras foram submetidas à caracterização físico-química, incluindo determinação de densidade real e composição elementar por fluorescência de raios-X (FRX), bem como análises termogravimétricas e calorimetria exploratória diferencial (TG/DSC). A análise mineralógica foi realizada por difração de raios-X (DRX) com refinamento Rietveld e Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV). Os resultados revelaram predominância de caulinita (>90%). As análises térmicas indicaram a formação de metacaulim entre 450°C e 700°C e o início da cristalização de mulita por volta de 820°C. Esses dados evidenciam que o resíduo apresenta propriedades adequadas para reutilização em outras cadeias produtivas da indústria, contribuindo com estratégias de economia circular e redução da disposição inadequada de subprodutos da indústria mineral.

### INTRODUÇÃO

A caulinita é amplamente empregada na produção de cerâmicas, nanocompósitos e cimentos, devido à sua resistência térmica e inércia química (RAHAYU et al., 2024). Contudo, impurezas como quartzo e feldspato exigem beneficiamento rigoroso, incluindo centrifugação e separação magnética. Tais processos geram grandes volumes de rejeitos, especialmente em regiões como o Pará (FAPESPA, 2023). Isso acarreta impactos ambientais e econômicos relevantes. Diante disso, cresce o interesse por métodos mais sustentáveis de purificação do caulim.



A demanda por materiais sustentáveis tem estimulado o uso de derivados do caulim, como metacaulim e mulita obtidos de rejeitos industriais (HADDAJI et al., 2021). O metacaulim melhora a durabilidade do concreto por suas propriedades pozolânicas, enquanto a mulita é valorizada em refratários por sua estabilidade térmica (AHMAD et al., 2024). Técnicas como FRX e DRX (com método de Rietveld) e TG/DSC permitem a quantificação de fases cristalinas. Essas análises otimizam processos industriais. Assim, alia-se sustentabilidade ao desempenho técnico.

Este trabalho avalia métodos sustentáveis para valorizar resíduos de caulim, metacaulim e mulita, focando no impacto dos parâmetros de processamento. Utilizando técnicas analíticas avançadas, busca-se otimizar as propriedades dos produtos. A proposta visa soluções ambientalmente responsáveis e contribui também para aplicações industriais economicamente viáveis.

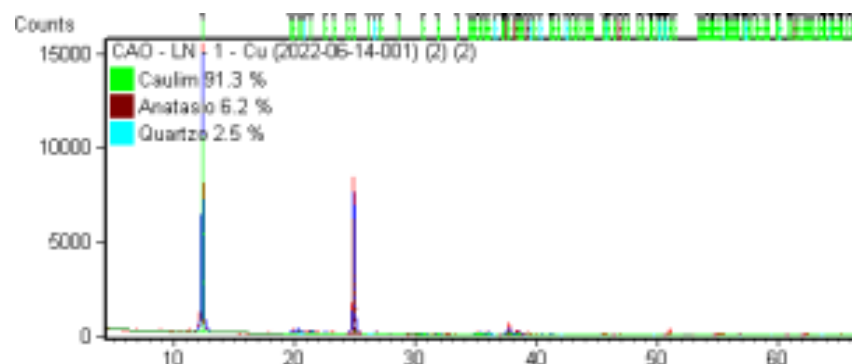
## MATERIAIS E MÉTODOS

Amostras de resíduo de caulim foram coletadas da Imerys/Barcarena e caracterizadas fisicamente (granulometria e densidade-Le Chatelier), quimicamente por FRX, mineralogicamente por MEV e DRX com refinamento Rietveld e termicamente por TG/DSC. A densidade foi medida por Le Chatelier. As fases cristalinas foram quantificadas e refinada pelo método de Rietveld com base nos parâmetros estatísticos do refinamento.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

O material apresentou distribuição granulométrica fina e densidade real de 2,4 g/cm<sup>3</sup>. A composição química indicou teores elevados de SiO<sub>2</sub> (46,7%) e Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (36,0%), com baixa presença de impurezas. O DRX revelou predominância de caulinita (>90%) seguida de anatásio e quartzo (Figura 1).

Figura 1 – Padrão de DRX com a quantificação das fases pelo método de Rietveld.



Fonte: Os autores (2025)



**XVII SICTI**  
Seminário de Iniciação Científica,  
Tecnológica e Inovação  
**X SIMIT**  
Simpósio de Inovação Tecnológica

**CIÊNCIA e  
COOPERAÇÃO  
na AMAZÔNIA**  
**16 a 19 de  
Setembro**  
IFPA Campus Bragança

A caulinita, observado ao MEV, forma agregados lamelares micrométricos. A organização dessas partículas influencia diretamente as propriedades reológicas, mecânicas e térmicas do material. As análises térmicas mostraram a desidroxilação da caulinita e formação de metacaulim entre 430 °C e 700 °C, com pico endotérmico em 549 °C. A formação de mulita pode ocorrer acima de 820°C, validando o potencial do resíduo para aplicações em cerâmicas refratárias e cimentos de baixo carbono. Os ajustes Rietveld com índices R do perfil (13,60) e R ponderado (18,50) confirmam a acurácia na identificação das fases, porém há discrepâncias em algumas regiões do difratograma, relacionado à heterogeneidade e às microdeformações estruturais do material.

## CONCLUSÃO

O resíduo de caulim estudado possui propriedades adequadas para a produção de metacaulim e mulita. O resíduo está constituído majoritariamente por caulinita com 90% e teores de SiO<sub>2</sub> (46,7%) e Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (36,0%) e microestruturas de agregados lamelares. A abordagem adotada demonstrou eficácia na caracterização e avaliação termodinâmica do sistema Al-Si-O, com formação de neofases indicando forte potencial para aproveitamento industrial e contribuição à sustentabilidade por meio da valorização de resíduos minerais.

## AGRADECIMENTOS

Agradecimentos ao Laboratório (LAMIGA UFPA), ao ISI-SENAI pelo apoio nas das análises TG/DSC. O primeiro autor agradece ao CNPq pela concessão das bolsas IC.

## REFERÊNCIAS

RAHAYU, R. et al. Separation of Kaolinite from Clay Minerals and Its Catalytic Activity in Transesterification Reactions. **Hydrogen: Journal Kependidikan Kimia**. v. 12, n. 1, p. 16, 2024.

HADDAJI, Y. et al. Eco-friendly Geopolymer Composite Based on Non-heat-treated Phosphate Sludge Reinforced With Polypropylene Fibers. **Silicon**, v. 13, n. 7, p. 2389–2400, 2021.

AHMAD, W. et al. Socio-economic benefits and policy implications of generating sustainable energy from municipal solid waste in Pakistan. **Energy and Climate Change**, v. 5, p. 100124, 2024.

FAPESPA. **Boletim da Mineração**. Fundação de Amparo a Estudo e Pesquisas. 2023. Disponível em : <https://www.fapespa.pa.gov.br/wp-content/uploads/2025/06/Boletim-da-Mineracao-2023-versao-06.03.2023-PUBLICACAO.pdf> (Acesso em 25 de junho de 2025)