

BENEFICIAMENTO E CARACTERIZAÇÃO MINERAÓGICA DAS BENTONITAS DA FORMAÇÃO TREMEMBÉ - BACIA DE TAUBATÉ-SP

BENEFICIATION AND MINERALOGICAL CHARACTERIZATION OF BENTONITES FROM THE TREMEMBÉ FORMATION –TAUBATÉ BASIN-SP

Maria Luiza Alves de Mattos Reis

Aluno de Graduação de Geologia

4º período, Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Período PIBIC: setembro de 2024 a agosto de 2025

reis.marialuizaa@gmail.com

Luiz Carlos Bertolino

Orientador, geólogo, D.Sc.

lbertolino@cetem.gov.br

Raquel Barbosa Xavier Nicolau

Coorientador, geóloga, M.Sc.

raquelbxnic@gmail.com

RESUMO

O trabalho apresenta os resultados do beneficiamento e caracterização mineralógica de seis amostras de bentonita da Formação Tremembé, situada na Bacia de Taubaté (SP), com o objetivo de investigar a origem dos argilominerais e contribuir para a reconstrução paleoambiental da região. As amostras foram coletadas sistematicamente em intervalos de 60 cm ao longo de um afloramento de folhelhos laminados, com cerca de 3,3 metros de altura, localizado em corte de estrada no município de Tremembé. A seção basal é rica em ostracodes e coprólitos, indicando um ambiente deposicional favorável à preservação de fósseis. O beneficiamento envolveu etapas de secagem, moagem, peneiramento, purificação e ativação das amostras, visando aprimorar a qualidade do material. As análises foram conduzidas no Laboratório de Argilas Aplicadas (LAA), no CETEM, e incluíram Difratometria de Raios X (DRX), Fluorescência de Raios X (FRX), Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV). Esses métodos permitiram identificar a presença de minerais do grupo da esmectita e outros argilominerais, além de caracterizar a composição química e a morfologia das partículas. Os resultados evidenciam variações mineralógicas ao longo do perfil amostrado, sugerindo a coexistência de fases autigênicas e detriticas. A caracterização detalhada dessas argilas fornece subsídios para interpretações paleoambientais e auxilia na avaliação do potencial tecnológico do depósito. Por fim, pretende-se comparar esses materiais com bentonitas de outras regiões brasileiras, como a Paraíba, ampliando o entendimento sobre a diversidade e aplicabilidade dos depósitos argilosos no país.

Palavras chave: Bacia de Taubaté; beneficiamento; caracterização mineralógica; paleoambiente deposicional.

ABSTRACT

The study presents the results of the beneficiation and mineralogical characterization of six bentonite samples from the Tremembé Formation in the Taubaté Basin (São Paulo), aimed at investigating the origin of the clay minerals and contributing to the region's paleoenvironmental reconstruction. Samples were systematically collected at 60 cm intervals along a 3.3 m high laminated shale outcrop at a road cut in the municipality of Tremembé. The basal section is rich in ostracods and coprolites, indicating a depositional environment favorable to fossil preservation. Beneficiation steps included drying, grinding, sieving, purification, and chemical activation to enhance material quality. Analyses were performed at the Applied Clays Laboratory (LAA/CETEM) using X-ray diffraction (XRD), X-ray fluorescence (XRF), and

scanning electron microscopy (SEM). These methods identified smectite-group minerals and other clay phases and characterized particle morphology and chemical composition. Results reveal mineralogical variations along the profile, suggesting coexistence of authigenic and detrital phases. This detailed characterization supports paleoenvironmental interpretations and helps assess the deposit's technological potential. Finally, these materials will be compared to bentonites from other Brazilian regions, such as Paraíba, to broaden understanding of the diversity and applications of clay deposits in the country.

Keywords: Taubaté Basin; beneficiation; mineralogical characterization; depositional paleoenvironment.

1. INTRODUÇÃO

A Bacia de Taubaté, situada na região sudeste do Brasil, faz parte do conjunto de bacias interiores cenozoicas e destaca-se por seus sedimentos ricos em registros paleontológicos e geoquímicos. Dentre suas unidades estratigráficas, a Formação Tremembé é notável por apresentar rochas microclásticas, como argilitos, siltitos e folhelhos, com grande diversidade fossilífera, incluindo microfósseis, icnofósseis, vertebrados, invertebrados e restos vegetais (NICOLAU et al., 2024). Esses folhelhos também possuem elevado conteúdo orgânico, sendo considerados potenciais geradores de hidrocarbonetos. Além do interesse paleontológico, a Formação Tremembé abriga níveis bentoníticos que têm despertado atenção tanto pelo seu uso industrial quanto pelo seu valor como indicadores paleoambientais (MEUNIER et al., 2016; COELHO et al., 2007). A composição mineralógica e química das bentonitas está diretamente relacionada às condições deposicionais e diagenéticas de formação, o que as torna ferramentas valiosas para reconstruções paleoambientais (BRINDLEY & BROWN, 1980). Nesse contexto, este estudo se insere na interface entre a geologia econômica e a paleoecologia, buscando contribuir para a compreensão da origem, evolução e potencial tecnológico das bentonitas da Formação Tremembé.

2. OBJETIVO

O objetivo deste estudo é caracterizar e diferenciar os argilominerais presentes nas bentonitas da Formação Tremembé, por meio de análises mineralógicas e químicas, a fim de compreender sua origem e avaliar seu potencial como indicador paleoambiental e usos industriais.

3. METODOLOGIA

As amostras utilizadas foram coletadas de forma sistemática em afloramentos da Formação Tremembé, localizados em um corte de estrada na área da antiga mineradora desativada Nossa Senhora da Guia, no município de Tremembé (SP). As amostras passaram inicialmente por um processo de beneficiamento no Laboratório de Argilas Aplicadas (LAA/CETEM), que incluiu as seguintes etapas: secagem em estufa a 60 °C, moagem em almofariz, peneiramento a seco para separação granulométrica ($<2\mu\text{m}$), purificação por sedimentação (método da pipeta) e ativação química com solução de Na_2CO_3 . Esse beneficiamento visou a obtenção da fração argilosa e o aprimoramento das propriedades físico-químicas dos materiais analisados. Para a caracterização mineralógica e química, foram empregadas as seguintes técnicas: Difratometria de Raios X (DRX), Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e Fluorescência de Raios X (FRX). A identificação dos argilominerais foi realizada por DRX, com preparação de lâminas orientadas submetidas a três condições: estado natural, tratamento com etilenoglicol e calcinação a 500 °C, conforme protocolo padrão para análise de argilas. A MEV foi utilizada para observar a morfologia e microestrutura das partículas, enquanto a FRX permitiu a quantificação dos óxidos presentes nas amostras.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A primeira etapa da caracterização das amostras consistiu na análise granulométrica, com o objetivo de separar as frações em diferentes classes de tamanho. Todas as amostras apresentam um pico principal de distribuição entre 1 e 2 μm , com mais de 70 % das partículas na fração $< 2 \mu\text{m}$. Há ainda uma curva em azul, amostra 5, entre 10 e 20 μm , indicando aporte limitado de grãos mais grossos.

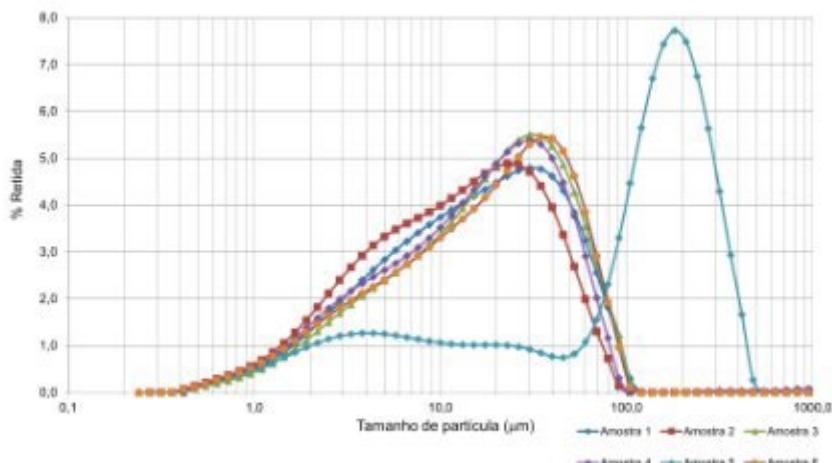


Figura 1: Curvas de distribuição granulométrica das amostras analisadas, obtida através do Malvern.

A análise por Fluorescência de Raios X (FRX) revelou a composição química elementar das amostras, com destaque para os óxidos majoritários, com o predomínio de SiO_2 e Al_2O_3 , compatíveis com filosilicatos, especialmente esmectita e illita. A presença de Fe_2O_3 e K_2O , em proporções moderadas, já os teores residuais de CaO e MgO sugerem traços de carbonatos. As variações na razão $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ entre as camadas podem refletir mudanças nas condições deposicionais.

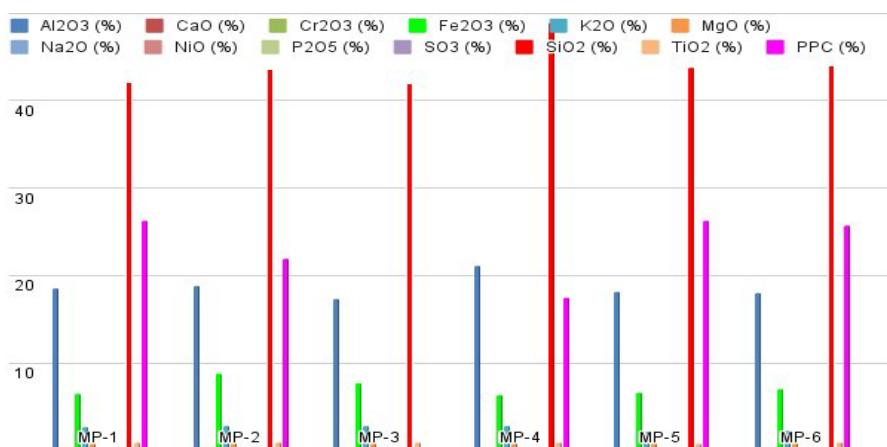


Figura 2: Resultado da análise química, Fluorescência de Raios X (FRX).

As imagens obtidas por MEV permitiram observar a morfologia superficial das partículas argilosas.

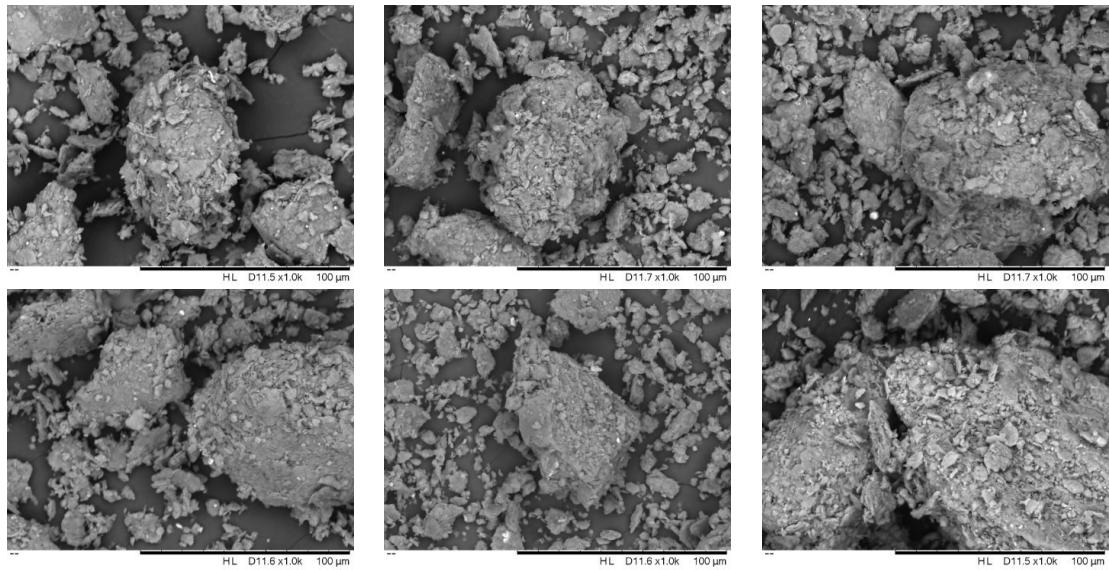


Figura 3: Imagens obtidas através d0MEV para amostras da Nossa Senhora da Guia.

As análises de Difratometria de Raios X (DRX) permitiram identificar a presença de argilominerais do grupo das esmectitas, illita e traços de caulinita, com picos principais localizados em $[10 \text{ \AA}, 14 \text{ \AA} \text{ e } 7 \text{ \AA}]$.

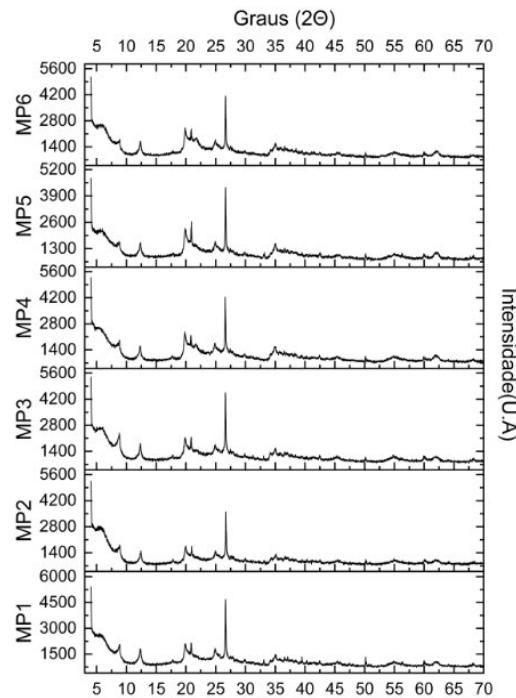


Figura 6: Difratogramas das amostras, picos característicos; montmorillonita (Mnt), illita (Ilt), caulinita (Klt) e quartzo (Qz).

As análises de DRX em lâminas orientadas permitiram uma melhor definição dos picos basais dos argilominerais, favorecendo a distinção entre as fases com estruturas semelhantes. Os testes com lâminas orientadas sob diferentes tratamentos confirmam o comportamento expansivo da esmectita (deslocamento de 14 \AA para $\sim 17 \text{ \AA}$ com etilenoglicol) e a estabilidade estrutural da illita (pico fixo em 10 \AA , mesmo após aquecimento). O colapso da esmectita e a degradação parcial da caulinita após calcinação, bem como a resistência térmica da illita.

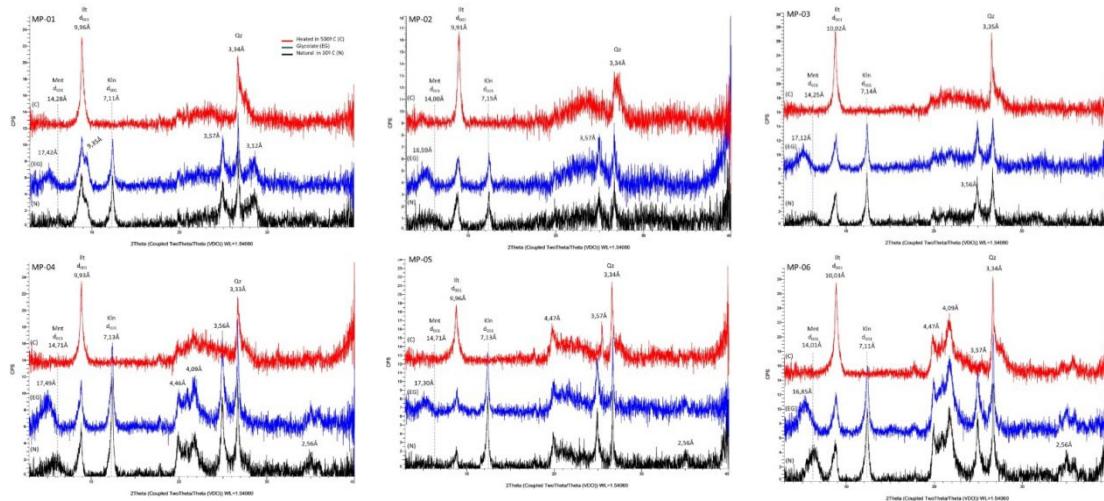


Figura 7: Difratogramas de DRX para amostra natural - tratadas com peróxido de hidrogênio (preto), solvatadas com etilenoglicol (azul) e calcinadas a 500 °C (vermelho).

5. CONCLUSÕES

Ao longo deste estudo, foi possível aprofundar o conhecimento sobre os argilominerais presentes nas bentonitas da Formação Tremembé, permitindo a partir da caracterização mineralógica a identificação de suas principais diferenças. A análise integrada por DRX em lâminas orientadas sob diferentes tratamentos, FRX, MEV e granulometria permitiu identificar a predominância de illita, acompanhada por fases subordinadas de esmectita (montmorillonita) e caulinita. A constância do pico basal em 10 Å após tratamento com etilenoglicol e calcinação a 500 °C reforça a estabilidade estrutural da illita como principal argilomineral. A composição química revelou teores elevados de SiO_2 e Al_2O_3 , além de concentrações compatíveis de Fe_2O_3 e K_2O , em conformidade com a mineralogia identificada. As imagens de MEV mostraram partículas lamelares e porosas, compatíveis com argilominerais de origem mista, tanto autigênica quanto detritica, enquanto os dados granulométricos evidenciaram variações sistemáticas ao longo do perfil estratigráfico, com frações mais finas concentradas nas camadas inferiores. A associação entre dados mineralógicos, químicos e texturais indica um ambiente deposicional relativamente estável, com atuação de processos diagenéticos que modificaram parcialmente o sedimento original. Esses resultados confirmam o potencial das bentonitas da Formação Tremembé como elementos fundamentais para reconstrução paleoambiental na Bacia de Taubaté. Estudos complementares, incluindo CTC, MEV-EDS, DTA/TG e análise isotópica, estão em andamento para aprofundar a compreensão sobre a gênese, reatividade e aplicabilidade dessas argilas em contextos geológicos e industriais.

6. AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo financiamento da bolsa de iniciação científica, ao Prof. Dr. Luiz Carlos Bertolino pela orientação, à MSc.. Raquel Nicolau pelas valiosas contribuições, à equipe do Laboratório de Argilas Aplicadas (LAA) e ao Centro de Tecnologia Mineral (CETEM) pelo suporte técnico e infraestrutura fornecidos.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRINDLEY, G.W.; BROWN, G. Crystal structures of clay minerals and their X-ray identification. London: **Mineralogical Society**, 1980.

COELHO, A.C.V.; SANTOS, P. de S.; SANTOS, H. de S. Argilas especiais: o que são, caracterização e propriedades. **Química Nova**, v. 30, n. 1, p. 146-152, 2007.

MEUNIER, A.; BORTOLUZZI, E.C.; MEXIAS, A. S. **Mundo das argilas**. Edição bilíngue. Porto Alegre: Editora UFRGS, 2016.

NICOLAU, R.B.X.; ANTONIOLI, L.; DINO, R.; PORTELA, H.A.; ENEAS, G.O. Palynological, palynofaciological and organic geochemistry analysis of Oligocene microclastic sediments from the Tremembé Formation – São Paulo State, Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 138, p. 104868, 2024.