

# **CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA E TECNOLÓGICA DE HALLOYSITA DA REGIÃO DE CONCEIÇÃO DO MUQUI (ES)**

## **MINERALOGICAL AND TECHNOLOGICAL CHARACTERIZATION OF HALLOYSITE FROM THE CONCEIÇÃO DO MUQUI REGION (ES)**

**Diogo Rodrigues de Souza Nogueira**

Aluno de Graduação de Geologia da UERJ, 10º período  
Período PIBIC ou PIBITE/CETEM: agosto de 2024 a agosto de 2025  
diogordsn.13@gmail.com

**Luiz Carlos Bertolino**

Orientador, Geólogo, D.sc.  
lcbertolino@cetem.gov.br

**Aurélio Fagundes da Silva**

Coorientador, Geólogo, D.Sc.  
aureliofagundes@hotmail.com

### **RESUMO**

O termo caulim refere-se ao filossilicato do grupo da caulinita, que inclui a própria caulinita, além da halloysita, dickita e nacrita. A halloysita é considerada um polítipo da caulinita, distinguindo-se por conter uma molécula adicional de água em sua estrutura e, principalmente, por apresentar uma morfologia tubular. Essa forma confere ao mineral uma maior área superficial de contato, o que possibilita aplicações industriais mais especializadas. Devido à sua morfologia, a halloysita tem sido estudada para uso em nanotecnologia, especialmente como carreador de princípios ativos nos setores farmacêutico, saúde, ambientais e de fertilizantes. Este estudo tem como objetivo a caracterização mineralógica voltada à identificação da halloysita. Para isso, foram coletadas amostras de caulim provenientes de pegmatitos localizados no município de Conceição do Muqui (ES). Para este trabalho, foi selecionada uma amostra com a presença de halloysita, a fim de caracterizá-la mineralogicamente, tecnologicamente e industrialmente. No Centro de Tecnologia Mineral (CETEM), ela foi submetida à caracterização por meio de difração de raios X (DRX) da sua amostra bruta e fração argila (0,02 mm). Imagens por microscopia eletrônica de varredura (MEV) foram obtidas com o objetivo de distinguir visualmente a caulinita da halloysita. Além disso, realizaram-se análises químicas para determinar a composição em óxidos das amostras. As medições de densidade e do índice de alvura contribuíram para complementar a caracterização mineralógica. Os padrões obtidos por DRX indicaram a presença do argilomineral em estudo, além de caulinita e quartzo. As imagens obtidas por MEV revelaram tanto a caulinita quanto a halloysita com estrutura tubular. As análises químicas por fluorescência de raios X mostraram maior concentração de óxidos de silício e ferro. Com base nesses resultados, conclui-se que o estado do Espírito Santo apresenta potencial para a ocorrência de depósitos de halloysita.

### **ABSTRACT**

The term kaolin refers to the phyllosilicate of the kaolinite group, which includes kaolinite itself, as well as halloysite, dickite, and nacrite. Halloysite is considered a polytype of kaolinite, distinguished by its presence of an additional water molecule in its structure and, most importantly, its tubular morphology. This shape gives the mineral a larger surface area, enabling more specialized industrial applications. Due to its morphology, halloysite has been scientifically investigated for use in nanotechnology, particularly as a carrier for active

ingredients in the pharmaceutical, healthcare, environmental, and fertilizer sectors. This study aims to characterize halloysite mineralogically, without identifying it. To this end, kaolin samples were collected from pegmatites located in the municipality of Conceição do Muqui, Espírito Santo. A sample containing halloysite was selected for mineralogy, technological, and industrial characterization. At the Mineral Technology Center (CETEM), the raw sample and clay fraction (0.02 mm) were characterized using X-ray diffraction (XRD). Scanning electron microscopy (SEM) images were obtained to visually distinguish kaolinite from halloysite. Chemical analyses were also performed to determine the oxide composition of the samples. Density and brightness indexes were developed to complement the mineralogical characterization. The XRD patterns indicated the presence of the clay mineral under study, as well as kaolinite and quartz. The SEM images revealed both kaolinite and halloysite with tubular structures. Chemical analyses using X-ray fluorescence demonstrated a higher concentration of silicon and iron oxides. Based on these results, it is concluded that the state of Espírito Santo has potential for halloysite deposits.

## **1. INTRODUÇÃO**

O caulim é uma rocha formada pela alteração hidrotermal ou intempérica de pegmatitos ricos em feldspatos, onde esses sofrem hidrólise, liberando sílica e íons solúveis, e se transformam em minerais argilosos, gerando uma rocha rica em silicatos hidratados de alumínio, sendo a halloysita um de seus principais componentes (MURRAY, 2007). Este mineral se destaca por sua morfologia tubular e maior teor de água em relação à caulinita, o que o torna promissor em diversas aplicações industriais, especialmente em nanotecnologia (PASBAKHS et al., 2013; CHURCHMAN et al., 2016; SOUZA SANTOS et al., 2009; WILSON, I. & KEELING, 2016.). No Brasil, suas ocorrências estão concentradas nas regiões Sul e Sudeste, mas ainda são pouco estudadas e muitas vezes dispersas na literatura (SALGADO CAMPOS, 2020; TOLENTINO J., 2019). Este trabalho visa caracterizar mineralógica e tecnologicamente uma amostra de caulim proveniente de Conceição do Muqui (ES), com foco na identificação e no aproveitamento da halloysita presente. Estudar ocorrências desse mineral em caulins e sua gênese, auxilia na análise da potencialidade de ocorrência de depósitos economicamente viáveis no Brasil, bem como, aumenta o estudo científico aplicado à nanotecnologia no país.

## **2. OBJETIVO**

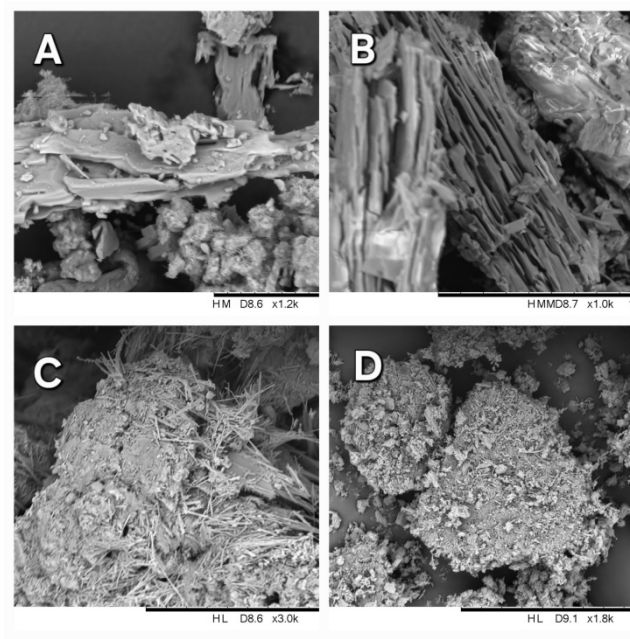
Este trabalho tem como objetivo estudar e analisar a amostra, coletada na região de Conceição do Muqui, Espírito Santo. Para isso, foram realizados ensaios de caracterização mineralógica e tecnológica no Centro de Tecnologia Mineral (CETEM), com o propósito de avaliar seu potencial para aplicações industriais. O foco da pesquisa está no aproveitamento do principal mineral de interesse presente na amostra, a halloysita, e na exploração de suas aplicações industriais.

## **3. METODOLOGIA**

No CETEM, a amostra foi submetida a várias etapas de beneficiamento, como secagem em estufa a 60 °C, cominuição com rolo cilíndrico e classificação granulométrica úmida em peneiras de diferentes malhas (100 mesh a 635 mesh), com foco em concentrar sua fração <0,02 mm para posteriores análises e aplicações tecnológicas. A caracterização mineralógica foi realizada por Difractometria de Raios X (DRX), no método do pó, utilizando o equipamento Bruker D8 para identificação das fases cristalinas. A composição química foi determinada por Fluorescência de Raios X (FRX), com preparo em pastilhas prensadas com ácido bórico e análise no equipamento PANalytical Axios Max. A morfologia dos minerais foi observada por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), em amostras recobertas por paládio e analisadas no microscópio Hitachi TM3030plus. Foi também aplicado o método de Rietveld para quantificação mineralógica detalhada.

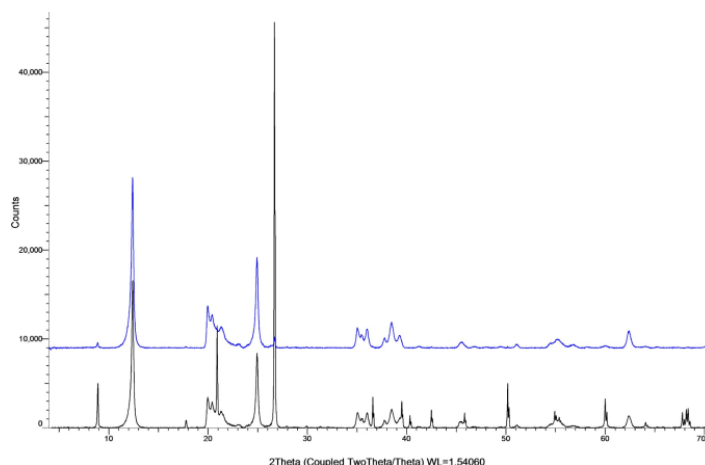
#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As imagens obtidas por MEV mostraram morfologias distintas (Figura 1), com halloysita em formas tubulares (cilíndricas e prismáticas) e caulinita com hábito lamelar, confirmando visualmente a presença dos argilominerais.



**Figura 1:** São observados grãos de feldspatos com halloysita tubular e caulinita .  
Em a) o foco está no feldspato, em B) a caulinita, em C e D) ocorrências de halloysita tabular nos grãos de feldspato

Os difratogramas de DRX indicaram que, após o peneiramento, houve enriquecimento em frações argilosas, com redução significativa de quartzo e mica da amostra bruta para a <0,02 mm (Figura 2), o que melhora a qualidade do material para uso industrial.



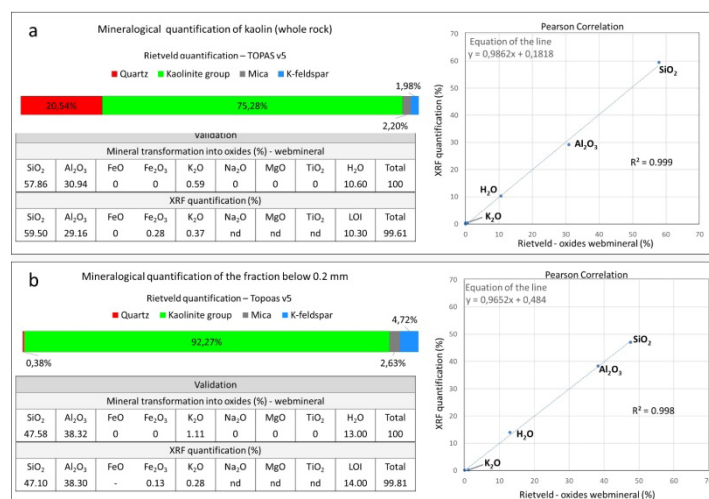
**Figura 2:** Difratoigramas de Raios X das frações bruta (preto) e menor que 635 (azul) em gráfico gerado por DRX

A análise por FRX confirmou aumento no teor de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  e redução de  $\text{SiO}_2$  e  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  na fração <635#, além de maior perda ao fogo (PPC), relacionada ao aumento do teor de argilominerais hidratados.

**Tabela 1.** Resultados das análises por FRX (% em peso)

	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	K <sub>2</sub> O	PPC	Total
Bruta	59,5	29,16	0,28	0	0,37	10,3	99,61
<0,02 mm	47,1	38,3	0,13	0	0,28	14	99,81

A diferença nos teores de SiO<sub>2</sub> (Figura 3) entre o Gráfico 1 (amostra bruta) e o Gráfico 2 (fração > 0,2 mm) está diretamente relacionada à variação na quantidade de quartzo presente. Na amostra bruta, o quartzo ainda se encontra em concentração significativa, enquanto na fração <0,2 mm observa-se uma redução considerável desse mineral, como resultado dos processos de classificação e peneiramento, os quais concentram as frações mais finas, enriquecidas em minerais do grupo da caulinita. A diminuição do teor de SiO<sub>2</sub> é acompanhada por um aumento relativo de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e H<sub>2</sub>O, evidenciando a maior presença de minerais argilosos (com menor quantidade de SiO<sub>2</sub> na fração fina, ainda que feldspato e mica permaneçam presentes, porém em menor proporção).

**Figura 3:** Resultado da análise utilizando o método de Ritveld.

## 5. CONCLUSÕES

Os resultados indicam que a amostra possui qualidade adequada para aplicações industriais que exigem alta pureza e baixa abrasividade, já que teores elevados de quartzo afetam negativamente propriedades como brancura e alvura (LUZ; LINS, CETEM, 2005). Isso reforça o potencial da halloysita do Espírito Santo para usos em cerâmica, nanotecnologia e outras aplicações especializadas, além de abrir caminho para estudos futuros.

## 6. AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar minha gratidão ao CNPq pelo apoio concedido através da bolsa de iniciação científica, que tem sido fundamental para o desenvolvimento do meu projeto. Agradeço também ao CETEM (Centro de Tecnologia Mineral) pela disponibilização dos laboratórios e dos recursos necessários para a realização das pesquisas. Não poderia deixar de mencionar a valiosa orientação do Professor Luiz Carlos Bertolino, e meu coorientador Aurélio Fagundes da Silva cujo auxílio tem sido indispensável para o sucesso deste trabalho.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CHURCHMAN, G.J., PASBAKHSH, P. & HILLIER, S. **The rise and rise of halloysite**. Clay Minerals, v.51(3): p.303-308, 2016.

LUZ, A.B.; LINS, F.A.F. **Rochas & minerais industriais: usos e especificações**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2005.

MURRAY, H.H. **Applied Clay Mineralogy**. 2007.

PASBAKHSH, P. et al. **Characterisation of properties of various halloysites**. Applied Clay Science, 2013.

SALGADO-CAMPOS, V. **Prospecção e Caracterização Mineralógica de Ocorrências de Caulim**. UFRJ, 2020.

SOUZA SANTOS, P. et al. **Caulins Haloisíticos das Regiões Sudeste e Sul do Brasil**. 2009.

TOLENTINO J. 2019. **Potencial dos depósitos de caulim halloysítico associados aos pegmatitos da região de Juiz de Fora visando o seu aproveitamento econômico**. Programa de Pós-92 Graduação em Geociências, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Tese de doutorado, 165p.

WILSON, I. & KEELING, J. **Tubular halloysite deposits**. Clay Minerals. 2016.