

# **CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA E DESENVOLVIMENTO DE METODOLOGIA PARA IDENTIFICAÇÃO DE DEPÓSITOS DE HALLOYSITA NO ESTADO DO RIO DE JANEIRO**

## **MINEOLOGICAL CHARACTERIZATION AND METHODOLOGY DEVELOPMENT FOR HALLOYSITE DEPOSIT IDENTIFICATION IN THE STATE OF RIO DE JANEIRO**

**Beatriz Vieira Coelho**

Aluna de Graduação da Geofísica 9º período - UFF  
Período como PIBIC: setembro de 2023 a agosto de 2024  
becoelho@id.uff.br

**Luiz Carlos Bertolino**

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

**Victor Matheus Joaquim Salgado Campos**

Coorientador, Geólogo, D.Sc.  
vsalgado@id.uff.br

### **RESUMO**

A halloysita é um mineral do grupo dos argilominerais e politipo da caulinita, que é encontrada em uma rocha de granulometria fina denominada caulim. Algumas das principais aplicações da halloysita incluem a indústria de papel, farmacêutica e nanotecnológica. O objetivo do estudo é caracterizar de forma mineralógica e química o caulim encontrado em um pegmatito no município de Paraíba do Sul, localizado no Rio de Janeiro. Além da tentativa de desenvolvimento de um novo método para a prospecção geofísica de depósitos do mineral utilizando aerogamaespectrometria. Com base nisso, foram extraídas amostras de caulim de um pegmatito localizado no município de Paraíba do Sul (RJ), em que foram realizadas análises de difratometria de raios X, espectrometria de fluorescência de raios X e microscopia eletrônica de varredura. Outra amostra de caulim da região de Cantagalo foi analisada em equipamento de HPGe para aquisição de dados gamaespectrométricos, já que nela foi encontrada uma elevada quantidade de halloysita. O estudo traz contribuições importantes para a caracterização e identificação de novos depósitos de halloysita no estado do Rio de Janeiro, impulsionando o desenvolvimento da atividade mineradora na região.

**Palavras-chave:** halloysita; pegmatitos; aerogamaespectrometria; Rio de Janeiro.

### **ABSTRACT**

Halloysite is a mineral from the group of clay minerals and a polymorph of kaolinite, found in a fine-grained rock called kaolin. Some of the main applications of halloysite include the paper, pharmaceutical, and nanotechnology industries. The objective of the study is to mineralogically and chemically characterize the kaolin found in a pegmatite in the municipality of Paraíba do Sul, located in Rio de Janeiro. In addition, there is an attempt to develop a new method for geophysical prospecting of mineral deposits using aerogamma spectrometry. Based on this, kaolin samples were extracted from a pegmatite located in Paraíba do Sul (RJ), where X-ray diffraction analysis, X-ray fluorescence spectroscopy, and scanning electron microscopy were performed. Another sample of kaolin from the Cantagalo region was analyzed using HPGe equipment for gamma spectrometric data acquisition, as it contained a high quantity of halloysite. The study provides important contributions to the characterization and identification of new halloysite deposits in the state of Rio de Janeiro, boosting the development of mining activities in the region.

**Keywords:** halloysite; pegmatites; aerogamaspectrometry; Rio de Janeiro.

## 1. INTRODUÇÃO

A halloysita é um mineral do grupo dos argilominerais que possui uma composição de Al, Si, O e H. Dentro da esfera da mineralogia, esse argilomineral se distingue da caulinita não apenas pelo seu teor de água na composição, apresentando uma molécula adicional de água, mas também por sua morfologia única, caracterizada por uma estrutura prismática ou tubular. Essa particularidade aumenta a área de superfície de contato do mineral, levando-o a ser utilizado em indústrias de maior sofisticação (JOUSSEIN et al., 2005). As partículas de halloysita exibem quatro tipos de formas: esferoidais, placóides, prismáticas e tubulares, sendo esta última a mais predominante. A aplicação deste mineral está diretamente ligada à sua forma tubular, que facilita seu uso na produção de papel, na indústria farmacêutica como transportador de princípios ativos, e na agricultura para melhorar a retenção de potássio no solo (CHURCHMAN et al., 2016). Nesse viés, os nanotubos de halloysita são conhecidos por sua segurança tanto para o meio ambiente quanto para os seres humanos, viabilizando seu uso na nanotecnologia de maneira ecologicamente sustentável (KAMBLE et al., 2012).

## 2. OBJETIVO

O objetivo central da pesquisa é caracterizar mineralogicamente e quimicamente um potencial depósito de halloysita no município de Paraíba do Sul (RJ). Além disso, procura-se estabelecer uma nova metodologia para a prospecção geofísica do mineral através do uso combinado de gamaespectrometria laboratorial e aerogamaespectrometria.

## 3. METODOLOGIA

Um trabalho de campo foi feito em uma antiga lavra de caulim localizada no município de Paraíba do Sul, onde foram coletadas amostras nomeadas de PS-2A, PS-2B, PS-2C e PS-2D.

No Laboratório de Argilas Aplicadas do Centro de Tecnologia Mineral (CETEM), as amostras foram pesadas e levadas à estufa para secagem. Após esses processos, foi utilizado o britador de mandíbula para reduzir o tamanho das partículas, tornando-as menores que 2  $\mu\text{m}$ . Cada amostra foi inicialmente misturada usando pilhas cônicas e longitudinais a fim de homogeneizá-las, sendo divididas em porções de 500g. Uma parte foi separada para análise mineralógica completa (fração bruta). Em seguida, passaram por uma classificação granulométrica úmida para partículas de tamanho inferior a 20  $\mu\text{m}$ , dispersas em água, e foram submetidas à separação magnética usando o equipamento Boxmag Rapid (14.000 Gauss). Isso resultou em duas frações: magnética, que não foi considerada para o estudo, e não magnética, seca a 60°C e usada na análise subsequente. Uma parte da fração não magnética abaixo de 20  $\mu\text{m}$  foi concentrada usando o método de suspensão, baseado na Lei de Stokes. Neste método, amostras entre 4,8 e 5g foram agitadas em provetas com água destilada, gerando turbulência com um bastão de vidro. Após algumas horas, o material mais fino suspenso foi recolhido por sufoação, transferido para placas de Petri de teflon e seco em estufa por 24 horas, resultando em uma fração menor que 2 micras. As amostras foram caracterizadas mineralogicamente usando difratometria de raios X (DRX), microscopia eletrônica de varredura com análise por espectroscopia de energia dispersiva (MEV-EDS), e fluorescência de raios X (FRX) no Centro de Tecnologia Mineral e no Laboratório de Sedimentologia da Universidade Federal Fluminense (UFF). Por fim, foi utilizada a Escala de cores de Munsell, para serem identificadas as cores apresentadas por cada amostra.

Neste trabalho, também foram utilizadas três amostras de caulim de um pegmatito já caracterizado mineralógica e quimicamente (SALGADO-CAMPOS et al., 2022) nomeado Exposição, no município de Cantagalo, sendo esse portador de elevados teores de halloysita pura, para a tentativa de desenvolvimento de um novo método de prospecção geofísica para potenciais depósitos de halloysita em pegmatitos. Essas amostras foram analisadas em equipamento *High Purity Germanium* (HPGe), um tipo de detector de radiação gama que capta a radiação natural do material nele inserido. O HPGe possui uma estrutura de refrigeração por

nitrogênio líquido, o que resulta numa melhor captação de raios gama, e seus radioelementos possuem janelas de energia bem características por seus fotopicos, indicando o elemento detentor do range de atividade por energia da amostra.

Nesse contexto, por meio do programa InterSpec, foram interpretados os resultados dos espectros, indicando a quantidade de radiação dos elementos Potássio, Tório e Urânio emitida pela amostra. A partir disso, foi usado o mapa ternário do Rio de Janeiro com os dados quantitativos adquiridos durante o projeto, identificando os elementos K, Th e U. Os dados desse mapa foram obtidos por meio de levantamentos aéreos, disponibilizados pelo projeto 1117 do Serviço Geológico do Brasil (CPRM). Assim, foi possível avaliar regiões no estado, com enfoque na Área Cantagalo-São Fidelis da Província Pegmatítica do Rio de Janeiro, que apresentam valores semelhantes aos adquiridos em laboratório ao pegmatito Exposição, ou seja, potenciais regiões que possam hospedar depósitos de halloysita.

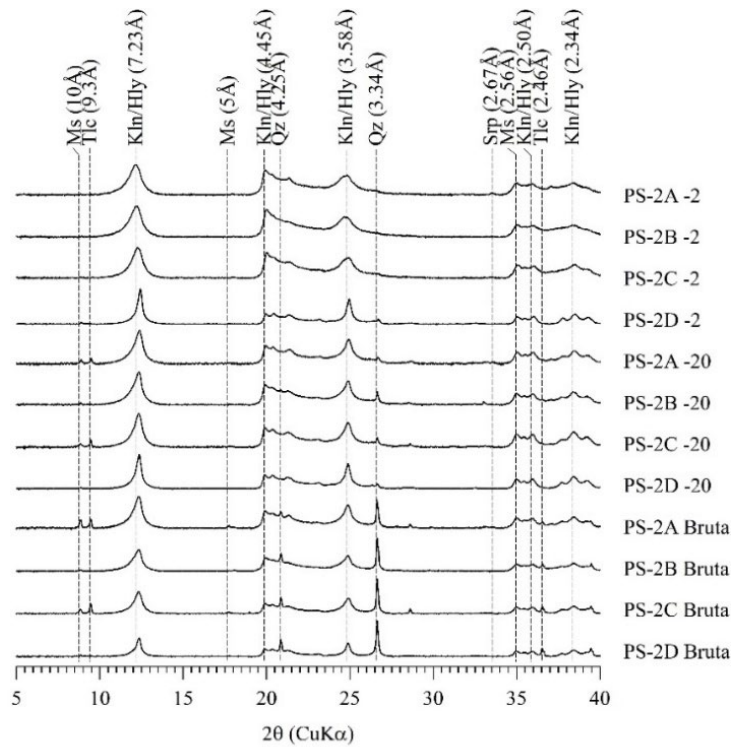
#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas amostras do pegmatito de Paraíba do Sul, os resultados da análise por difração de raios-X (DRX) indicaram, nas porções brutas e nas frações menores que 20  $\mu\text{m}$  de cada amostra, a presença de quartzo, cujo pico principal aparece em 3,34Å, com um segundo pico em 4,25Å. A caulinita e/ou halloysita também foram identificadas, com picos principais em 7,23Å em todas as amostras e nos três tipos de frações analisadas, com maior concentração nas frações menores que 2 micras. Além disso, foi detectada a presença de talco nas amostras PS-2A e PS-2C, tanto nas frações brutas quanto nas menores que 20 micras, com seu pico em 2,46Å. A Escala de cores de Munsell foi utilizada para identificar os códigos de cores das amostras PS-2A, PS-2B, PS-2C e PS-2D, que se apresentaram como, respectivamente, 10R 7/4, 5R 8/2, 5Y 8/4 e 5RP 8/2.

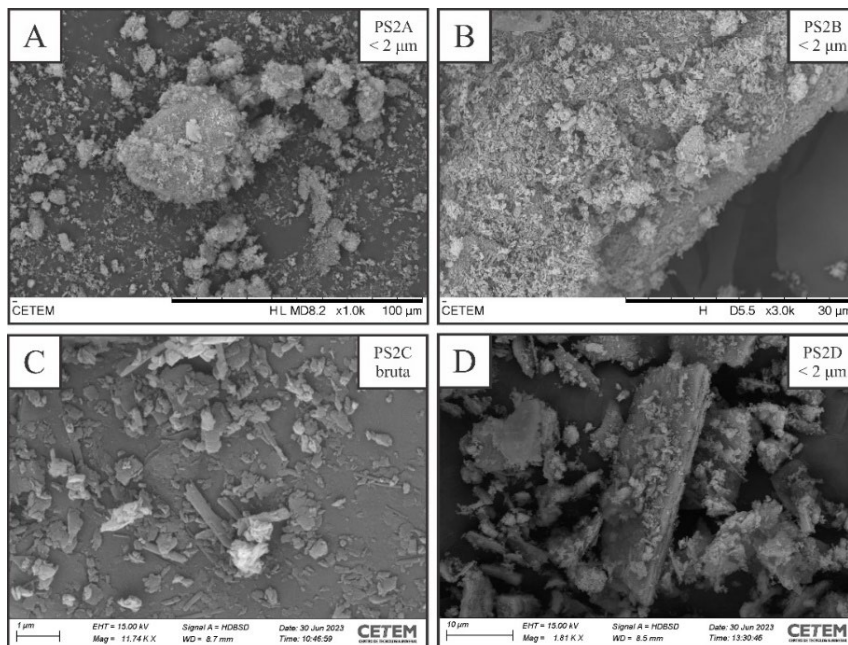
Análises utilizando MEV foram realizadas para identificar a presença de halloysita e para descrever a textura desse mineral. Os resultados indicaram que as amostras examinadas contêm caulinita e halloysita. A halloysita foi observada com uma morfologia tubular, enquanto o talco foi encontrado nas amostras com uma estrutura lamelar.

As análises de FRX foram conduzidas nas amostras para avaliar a composição química do material. Foi identificada a presença de  $\text{SiO}_2$  e  $\text{Al}_2\text{O}_3$  em todas as frações, além de uma quantidade significativa de MgO, o que leva, de fato, à possibilidade da presença de talco.

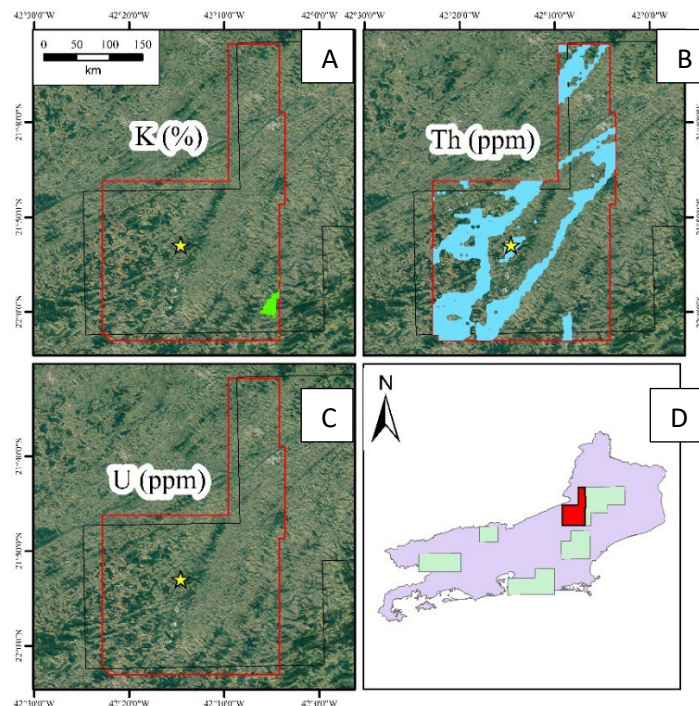
Nas amostras do pegmatito de Cantagalo, os resultados gerados pelo HPGe, revelaram as quantidades de energia liberada pelos elementos K (%), Th (ppm) e U (ppm). A quantidade mínima e máxima da radiação gama emitida por cada porção, foram importantes para determinar a faixa de energia resultante de cada elemento e concentrar as regiões que apresentam emissão de gama entre esses valores. A quantidade mínima e máxima de energia liberada pelo K, Th e U foram, respectivamente, 2.34 e 4.07; 6.07 e 10.55; 8.01 e 19.75. Com isso, tais valores foram filtrados do mapa aerogamaespectrométrico do Rio de Janeiro (Projeto 1117 da CPRM). Foi observado que o pegmatito Exposição, presente na região do Cantagalo, está dentro da região filtrada em nos mapas aerogamaespectrométrico de Th, enquanto não houve sobreposição nos mapas de K e U.



**Figura 1:** Difratomogramas de raios X das amostras PS-2A, PS-2B, PS-2C e PS-2D subdivididas em frações menor que 2 micras, menor que 20 micras e bruta. Ms: muscovita; Tlc: talco; Kln: caulinita; Hly: halloysita; Qtz: quartzo; Srp: serpentina.



**Figura 2:** Imagens de microscopia eletrônica de varredura. A) Aglomerado de caulinita e halloysita na fração PS-2A  $< 2 \mu\text{m}$ . B) Aglomerado de caulinita e halloysita na fração PS-2B  $< 2 \mu\text{m}$ . C) Halloysita tubular na fração PS-2C bruta. D) Talco na fração PS-2D  $< 2 \mu\text{m}$ .



**Figura 3:** Mapas de aerogamaespectrometria da área Cantagalo-São Fidelis da Província Pegmatítica do Rio de Janeiro (polígono preto filtrados com base nos valores obtidos em equipamento HPGe para amostras ricas em halloysita do pegmatito Exposição. A) Regiões filtradas de K (%). B) Região filtradas de Th (ppm). C) Região filtrada de U (ppm). D) Mapa do Estado do Rio de Janeiro com áreas da Província Pegmatítica do Rio de Janeiro e área de estudo em vermelho.

## 5. CONCLUSÕES

No pegmatito de Paraíba do Sul, os dados obtidos através do DRX e MEV indicaram a presença de halloysita-7Å junto à caulinita, assim como também seu formato tubular. Já os estudos de prospecção geofísica mostraram uma possível relação entre a radiação gama emitida pelo Th e a localização delas nessa região, tornando a metodologia uma potencial ferramenta em estudos de prospecção geofísica de pegmatitos ricos em halloysita.

## 6. AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar minha gratidão aos meus orientadores Luiz Carlos Bertolino, Victor Matheus Joaquim Campos e Ernesto Adler Licursi pelos ensinamentos, orientação e apoio ao longo de toda a pesquisa. Agradeço também aos funcionários do Centro de Tecnologia Mineral pela assistência prestada sempre que necessária e ao meu colega de curso Rubens Campos pela ajuda durante o processo. Agradeço ao Instituto de Física da Universidade Federal Fluminense por disponibilizar o equipamento de HPGe para a pesquisa. Sou grato ao CNPq pela bolsa de iniciação científica.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

JOUSSEIN, E.; PETIT, S.; CHURCHMAN, J.; THENG, B.; RIGHI, D.; DELVAUX, B. Halloysite - A Review. *Clay Minerals*, vol. 40, n. 4, p. 383-426, 2005.

KAMBLE, R.; CHAG, M.; GAIKAWALD, S.; PANDA, B.K. Halloysite Nanotubes and Applications: A Review. *Journal of Advanced Scientific Research*. vol.3(2). p.25-29. 2012.

SALGADO-CAMPOS, V.M.J.; BERTOLINO, L.C.; DA SILVA, F.J.; MENDES, J.C.; NEUMANN, R. Mineralogy and chemistry of a new halloysite deposit from the Rio de Janeiro pegmatite province, South-eastern Brazil. *Clay Minerals*, 2021;56(1):1-15. doi:10.1180/clm.2021.8.