



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA E GEOQUÍMICA**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO Nº 604

**CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA COM
ESPECTROSCOPIA DE REFLECTÂNCIA POR
INFRAVERMELHO (SWIR): EXEMPLO DO COMPLEXO
MÁFICO-CARBONATÍTICO SANTANA, SUL DO CRÁTON
AMAZÔNICO**

Dissertação apresentada por:

JHOSEPH RICARDO COSTA E COSTA

Orientador: Prof. Carlos Marcello Dias Fernandes (UFPA)

**BELÉM - PARÁ
2021**

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)**

C837c Costa, Jhoseph Ricardo Costa e.
Caracterização mineralógica com espectroscopia de reflectância por infravermelho (*SWIR*): Exemplo do Complexo máfico-carbonatítico Santana, sul do Cráton Amazônico / Jhoseph Ricardo Costa e Costa. — 2021.
xiv, 66 f. : il. color.

Orientador(a): Prof. Dr. Carlos Marcello Dias Fernandes
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará,
Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Belém, 2021.

1. Alcalino. 2. Mineralogia. 3. Hidrotermalismo. 4. *Fieldspec*
5. Cráton Amazônico. I. Título.



Universidade Federal do Pará
Instituto de Geociências
Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica

**CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA COM
ESPECTROSCOPIA DE REFLECTÂNCIA POR
INFRAVERMELHO (SWIR): EXEMPLO DO COMPLEXO
MÁFICO-CARBONATÍTICO SANTANA, SUL DO CRÁTON
AMAZÔNICO**


DISSERTAÇÃO APRESENTADA POR:

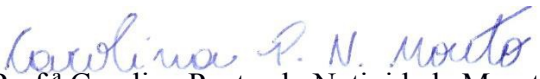
JHOSEPH RICARDO COSTA E COSTA

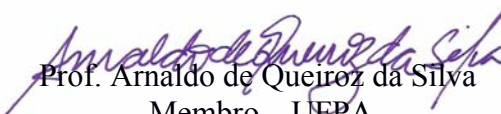
**Como requisito parcial à obtenção do Grau de Mestre em Ciências na Área de
GEOQUÍMICA e Linha de pesquisa EVOLUÇÃO CRUSTAL E METALOGÊNESE**

Data de Aprovação: 21 / 09 / 2021

Banca Examinadora:


Prof. Carlos Marcello Dias Fernandes
Orientador – UFPA


Prof.^a Carolina Penteadó Natividade Moreto
Membro – UNICAMP


Prof. Arnaldo de Queiroz da Silva
Membro – UFPA

Dedico esse trabalho a minha avó, mãe e tia,
alicerces da minha existência e caráter.
E minha namorada, Élide Oliveira, que
me acompanhou em toda essa dura jornada e nunca
largou minha mão, minha eterna companheira.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente, a minha mãe e avó, Karla Simone e Rita Soares, mulheres de fibra, que me educaram e doaram-se para que eu sempre pudesse usufruir do melhor ensino, minha vitória é de vocês.

A minha namorada, Élide Oliveira, companheira de vida e profissão, pelo apoio incondicional, compreensão, parceria e carinho fundamentais em todo este processo de elaboração da dissertação, você é importante demais.

Ao meu padrasto, Pedro Kleber; minha tia, Carmem Solange; meus irmãos, Thiago Santos e Taynah Santos, meu primo Caylon Solon, pelo apoio em cada dificuldade, e por acreditarem no meu potencial.

Ao Prof. Carlos Marcello Dias Fernandes, pela paciência, pelos inúmeros ensinamentos e amizade durante a execução deste trabalho.

À CAPES pela concessão de Bolsa de Mestrado na cota do Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica (PPGG) da UFPA, valorizando a ciência nesses tempos sombrios que vivemos. Código de financiamento 001.

Ao Prof. Dr. Pedro Walfir Martins e Souza Filho, por disponibilizar o espaço físico e o aparelho *ASD FieldSpec 4 Hi-Res* localizados no ITVale (Belém-PA).

À empresa *MbAC Fertilizer Corp.* e seus geólogos por fornecerem as amostras coletadas e informações relevantes para a produção deste texto.

Ao Msc. Danilo Strauss, por auxiliar no processo de aquisição de dados anteriores e fazer com que seu trabalho fosse refinado.

Aos meus amigos de vida: Ádria Kanome, Victor Coutinho, Murilo Henrique, Maria Beatriz, Argel Sodré, Artur Sarmiento, Lígia Monteiro, Douglas Monteiro, Lucas Matos, Thiago Ferreira, Tony Pantoja, Rodrigo Nogueira, Marcus Amaral, Gabriel Santos, Celino Bastos e Carlos Eduardo, pelos momentos de descontração e alegria vividos nesse período.

Aos demais professores e funcionários do Instituto de Geociências, pelos ensinamentos e apoio durante a execução desta monografia.

Agradeço a todos que direta ou indiretamente ajudaram a concluir esta etapa da minha vida.

“Coisa de preto é a bruxaria contida num conto de Machado de Assis. Um samba escrito pela caneta de Mauro Diniz. Coisa de preto é a poesia de Cartola. Os dedos a bailar sobre o violão de Paulinho da Viola. Ah, só podia ser preto!”

(Lázaro Ramos)

RESUMO

No limite dos estados do Pará e Mato Grosso, contexto do Cráton Amazônico, município de Santana do Araguaia (PA), ocorre um vulcano-plutonismo denominado Complexo máfico-carbonatítico Santana. Esse conjunto hospeda o depósito de fosfato Serra da Capivara. É formado por um membro inferior máfico-ultramáfico com litofácies plutono-vulcânica com piroxenito, ijolito, apatitito e basalto alcalino. Litofácies autoclástica contém depósitos mal selecionados de brecha polimítica maciça, lapilli-tufo, tufo de cristais e tufo de cinzas. Rocha epiclásticas vulcanogênicas cobrem essas litofácies. O membro superior carbonatítico contém litofácies plutônica com calcita-carbonatito grosso (sövito). Esse litotipo é seccionado por veios de carbonatito com alterações carbonática e apatítica pervasivas. Ocorre associado a teste membro subordinado apatitito grosso que representa o protominério do depósito. Litofácies vulcânica efusiva revela calcita-carbonatito fino (alviquito) com texturas variando de porfirítica, equigranular a afanítica. Completa este membro uma litofácies mal selecionada de tufo de cristais, lapilli-tufo e brecha polimítica maciça. *Stocks* e diques sieníticos invadem o conjunto. O complexo é interpretado como uma caldeira vulcânica na qual ocorrem amplas zonas de alterações hidrotermais representadas por rochas carbonatíticas de colorações avermelhada, vermelho amarronzado e amarelado, com paragênese barita + fluorapatita + calcita + dolomita ± quartzo ± rutilo ± calcopirita ± pirita ± monazita ± magnetita ± hematita. A aplicação de espectroscopia por infravermelho de ondas curtas (*SWIR*) revelou as características químicas e sua importância na cristalinidade de grande parte desses minerais hidrotermais, tais como radicais (OH^- e CO_3), molécula de H_2O e ligações cátion-OH como Al-OH, Mg-OH e Fe-OH. As principais fases minerais identificadas foram dolomita, calcita, serpentina, clorita, muscovita com baixo, médio e alto alumínio, montmorillonita (Ca e Na), illita, nontronita ($\text{Na}_{0.3}\text{Fe}_2((\text{Si},\text{Al})_4\text{O}_{10})(\text{OH})_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) e epidoto. Os dados mostraram um controle por temperatura, composição do fluido e relação fluido/rocha durante a evolução do Complexo máfico-carbonatítico Santana. Essa técnica exploratória de baixo custo, que pode ser aplicada em amostras de mão ou furos de sondagem em larga escala, é promissora na caracterização de centros vulcano-plutônicos em regiões submetidas a condições de intemperismo severo, além de auxiliar a elaboração de modelos para a prospecção de depósitos minerais de Elementos Terras Raras (ex. Nd, La) associados a complexos alcalino-carbonatíticos. Esta ferramenta pode ainda ser combinada com algoritmos de inteligência artificial para resultados mais robustos e rápidos.

Palavras-chave: alcalino; mineralogia; hidrotermalismo; *fieldspec*; Cráton Amazônico

ABSTRACT

On the border of the Pará and Mato Grosso states, in the Amazonian Craton, municipality of Santana do Araguaia (PA), there is a volcano-plutonism named Santana mafic-carbonatitic complex. This set houses the Serra da Capivara phosphate deposit. A lower mafic-ultramafic member reveals plutono-volcanic lithofacies with pyroxenite, ijolite, apatitite, and alkaline basalt. Autoclastic lithofacies contains poorly selected deposits of massive polymictic breccia, lapilli-tuff, crystal tuff, and ash tuff. Volcanogenic epiclastics rocks cover these lithofacies. The upper carbonatite member contains plutonic lithofacies with coarse calcite-carbonatite (sövite). Fine carbonatite veins with pervasive carbonatic and apatitic alterations crosscut this lithotype. Minor thick apatitite occurs associated to this member and represents the protore of the deposit. Effusive volcanic lithofacies reveals fine calcite-carbonatite (alvikite) with porphyritic, equigranular, or aphanitic textures. A poorly sorted lithofacies of crystals tuff, lapilli-tuff, and massive polymictic breccia completes this member. Stocks and syenitic dykes invade these lithofacies. Detailed mapping suggests that the complex is a volcanic caldera in which large zones of hydrothermal alterations occur with reddish, brownish red, and yellowish carbonatitic rocks. Petrographic observations reveal paragenesis of barite + fluorapatite + calcite + dolomite ± quartz ± rutile ± chalcopyrite ± pyrite ± monazite ± magnetite ± hematite. The application of short wave infrared spectroscopy (SWIR) revealed the chemical characteristics and their importance in the crystallinity of most of these hydrothermal minerals, such as radicals (OH^- and CO_3), H_2O molecule, and cation-OH bonds such as Al-OH, Mg-OH, and Fe-OH. The main mineral phases identified were dolomite, calcite, serpentine, chlorite, muscovite with low, medium, and high aluminum, montmorillonite (Ca and Na), illite, nontronite ($\text{Na}_{0.3}\text{Fe}_2((\text{Si},\text{Al})_4\text{O}_{10})(\text{OH})_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$), and epidote. The data suggest a control by temperature, fluids composition, and fluid/rock ratio during the evolution of the Santana mafic-carbonatitic complex. This low-cost exploratory technique, which is applied in hand-held samples or drill holes on a large scale, is promising in characterization of volcano-plutonic centers in regions subjected to severe weathering conditions, as well as helping to develop models for prospecting mineral deposits of Rare Earth Elements (e.g. Nd, La) associated with alkaline-carbonatitic complexes. We can even combine this tool with artificial intelligence algorithms for more robust and faster results.

Keywords: alkaline; mineralogy; hydrothermalism; *fieldspec*; Amazonian Craton