



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

---

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO Nº 553**

**ALTERAÇÕES HIDROTERMAIS ASSOCIADAS ÀS  
ROCHAS MÁFICO-CARBONATÍTIAS DO DEPÓSITO DE  
FOSFATO SERRA DA CAPIVARA, REGIÃO DE VILA  
MANDI (PA), EXTREMO SUL DO CRÁTON AMAZÔNICO**

**Dissertação apresentada por:**

**DANILO AMARAL STRAUSS VIEIRA**

**Orientador: Prof. Dr. Carlos Marcello Dias Fernandes (UFPA)**

---

**BELÉM  
2019**

**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)**

---

V657a Vieira, Danilo Amaral Strauss  
Alterações hidrotermais associadas às rochas máfico-carbonatíticas do depósito de fosfato Serra da Capivara, região de Vila Mandi (PA), extremo sul do Cráton Amazônico / Danilo Amaral Strauss Vieira. — 2019.  
xv, 62 f. : il. color.

Orientador(a): Prof. Dr. Carlos Marcello Dias Fernandes  
Coorientador(a): Me. Bruno Lagler  
Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2019.

1. Metalogenia - Pará. 2. Elementos Terras Raras. 3. Fosfato. I. Título.

CDD 553.1098115

---



**Universidade Federal do Pará**

**Instituto de Geociências**

**Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica**

**ALTERAÇÕES HIDROTERMAIS ASSOCIADAS ÀS  
ROCHAS MÁFICO-CARBONATÍTIAS DO DEPÓSITO DE  
FOSFATO SERRA DA CAPIVARA, REGIÃO DE VILA  
MANDI (PA), EXTREMO SUL DO CRÁTON AMAZÔNICO**

**DISSERTAÇÃO APRESENTADA POR:**

**DANILO AMARAL STRAUSS VIEIRA**

**Como requisito parcial à obtenção do Grau de Mestre em Ciências na Área de  
GEOLOGIA**

**Data de Aprovação: 14 / 07 / 2019**

**Banca Examinadora:**

Prof. Carlos Marcello D. Fernandes  
Orientador – UFPA

Prof.ª Carolina Penteado Natividade Moreto  
Membro – UNICAMP

Prof. Raimundo Neto N. Villas  
Membro - UFPA

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por tudo que tem proporcionado na minha vida;

À minha família por todo o apoio e amor oferecido;

A minha namorada Camila Lima por ser uma pessoa tão especial que sempre esteve ao meu lado;

Ao meu orientador Professor Carlos Marcello Dias Fernandes pela amizade, por todos os ensinamentos, o apoio, a paciência, por ter acreditado em mim para realizar este trabalho e por todas as “geladas” que pagou durante as viagens de campo;

À Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências e ao Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica pela vaga de mestrado e toda a infraestrutura disponibilizada.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa de mestrado.

À empresa MbAC *Fertilizer Corporation* e ao seu Geólogo MsC. Bruno Lagler por todo o apoio logístico durante os trabalhos de campo, por ceder dados importantes para a pesquisa e pelos ensinamentos;

Ao SIPAM/SIVAM pela concessão das imagens de radar R99B da área de estudo;

Aos seguintes projetos de pesquisa pelo apoio financeiro: 1) “Geologia e potencial metalogenético do vulcano–plutonismo paleoproterozoico da região de Santana do Araguaia (PA), SE do Cráton Amazônico” (Processo CNPq 483349/2012-7); 2) “Petrogênese e Metalogênese da LIP (*Large Igneous Province*) Uatumã, Cráton Amazônico” (Processo CNPq 550342/2011-7); e 3) INCT Geociências da Amazônia (Processo MCT/CNPq/FAPESPA 573733/2008-2);

À Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM) e seus geólogos Marcelo Vasquez e Luciano Castro pelo apoio e análises no Laboratório de MEV da CPRM-Belém;

Ao Laboratório de microanálises da UFPA, com o apoio da Geóloga da Vale Ana Paula, da Geóloga MSc. Gisele e do responsável Prof. Dr. Cláudio Nery Lamarão;

A todos os meus companheiros de Pós-Graduação;

A meus fiéis amigos de geologia do “TOP TEAM”, Jonathan Silva, Maciel Martins, Fernando Andrade, Pablo Dimitri e Vitor Moura;

A meus amigos, que apesar das “tretas políticas”, continuo com um carinho e amizade grande, Gustavo Lima, Victor Matheus, Danilo Cruz, Paulo Isaac, Rosinaldo Silveira e Alyson Nogueira.

## RESUMO

Próximo ao limite dos estados do Pará e Mato Grosso, contexto do Cráton Amazônico, distante aproximadamente 90 km a oeste do distrito de Vila Mandi, município de Santana do Araguaia (PA), ocorre o inédito vulcano-plutonismo denominado Complexo máfico-carbonatítico Santana. É formado por um membro inferior máfico-ultramáfico com litofácies plutono-vulcânica e outra vulcanoclástica; bem como por um membro superior carbonatítico com litofácies plutônica, efusiva e outra vulcanoclástico originadas em ambiente de caldeira vulcânica com amplas zonas de alterações hidrotermais e estruturas circulares geneticamente relacionadas. Esse conjunto foi parcialmente afetado pelo severo intemperismo Amazônico, produzindo supergenicamente o depósito de fosfato Serra da Capivara. Apesar de especulativo, o Complexo máfico-carbonatítico Santana é do Paleoproterozoico, já que invade as sequências vulcano-plutônicas paleoproterozoicas formações Cinco Estrelas e Vila Mandi (1980–1880 Ma) e é capeado por rochas sedimentares também da mesma Era. O membro inferior máfico-ultramáfico contém litofácies com piroxenito e subordinados ijolito e apatitito que afloram em amplos lajedos. No geral o piroxenito possui granulação média com augita (~ 90% vol.), ceilonita ( $MgAl_2O_4$ ), magnesio-riebeckita e olivina substituída por argilominerais (saponita). O ijolito é formado por fenocristais de clinopiroxênio e nefelina imersos em matriz fina com nefelina, calcita e magnetita intersticiais. Blocos de apatitito são compostos de apatita de granulação média (~ 98% vol.) e calcita. As rochas vulcânicas dessa litofácies são blocos isolados métricos de basalto alcalino e apatitito fino. Esse basalto apresenta granulação fina com mineralogia essencial composta por plagioclásio e augita. Além disso, ocorre uma intensa cimentação de calcita na forma de esférulos com calcita e quartzo, além de intersticiais pirita, óxidos de ferro, apatita, barita, rutilo, celestina e monazita. Essa textura mostra uma relação de imiscibilidade entre o magma silicático e o carbonatítico. Vulcanismo autoclástico a explosivo é materializado por litofácies com depósitos mal selecionados de brecha polimítica maciça, lapilli-tufo, tufo de cristais e tufo de cinzas. As rochas autoclásticas revelam textura vulcanoclástica formada por clastos angulosos originados da autofragmentação da litofácies plutono-vulcânica máfica-ultramáfica. Depósitos epiclásticos vulcanogênicos cobrem todas as litofácies anteriores. O membro superior carbonatítico contém litofácies com calcita-carbonatito grosso (sövito) amarelo-avermelhado com calcita (85–90%) subédrica a euédrica e variações para calcita magnesiânica ferrífera e dolomita, além de acessórios como magnetita, hematita, feldspato potássico e pirita. Esse litotipo é seccionado por veios de carbonatito fino intensamente hidrotermalizado. Ocorre raro apatitito grosso que representa o protominério do

depósito. Litofácies vulcânica efusiva revela calcita-carbonatito fino (alviquito) rico em calcita (80–85% vol.) com texturas variando de porfírica equigranular fina, além de hematita, magnetita, feldspato potássico e pirita. Litofácies mal selecionada de vulcanismo explosivo carbonatítico contém tufo de cristais, lapilli-tufo e brecha polimítica maciça formados por clastos angulosos provenientes das encaixantes e do próprio complexo. *Stocks* e diques sieníticos invadem o conjunto. A principal alteração magmática hidrotermal do complexo é representada por rochas carbonatíticas hidrotermalizadas de colorações avermelhadas, vermelho amarronzado e amarelado. A paragênese mineral encontrada foi barita + fluorapatita + dolomita ± quartzo ± rutilo ± calcopirita ± pirita ± monazita ± magnetita ± hematita. Essa alteração ocorre de três maneiras distintas; 1) nas zonas mais profundas, onde os minerais encontrados foram barita, fluorapatita e dolomita em alterações pervasivas a fissurais associadas a carbonatitos finos profundos. 2) No sövito, de estilo intersticial fraco com mineralogia semelhante às alterações profundas. 3) no alviquito com alterações intersticiais intensas e formação de quartzo hidrotermal associado a barita, fluorapatita, dolomita, monazita, celestina e rutilo. A assembleia mineral das alterações mais profundas aponta para fluidos inicialmente ricos em sulfato, magnésio, fósforo e CO<sub>2</sub> com origem na transição entre as fases tardi-magmática a hidrotermal. Ao passar para fases mais superficiais do vulcanismo, houve assimilação de SiO<sub>2</sub> das rochas encaixantes evidenciados pela formação de quartzo intersticial no alviquito. O ambiente interpretado de caldeira vulcânica ocorre na interceptação de falhas regionais NE–SW e NW–SE com até 40 km de extensão e que serviram como conduto profundo do magma precursor do complexo. A raiz do sistema é representada por rochas máfico-ultramáficas e carbonatitos plutônicos. A fase pré-caldeira envolveu intensa degaseificação e atividades hidrotermais em função da evolução magmática, bem como ascensão por falhas listricas e colocação em superfície de grande volume de lavas carbonatíticas (alviquitos) que construíram o extinto edifício vulcânico. O colapso dessa estrutura e o abatimento topográfico coincidiu com vulcanismo explosivo e formação dos litotipos vulcanoclásticos, representando a cobertura intra-caldeira. Os sienitos tardios podem representar a fase pós-caldeira e selagem das estruturas. A paragênese hidrotermal identificada no Complexo máfico-carbonatítico Santana mostra importante potencial metalogenético para elementos terras raras e fosfato e representa um guia prospectivo em terrenos proterozoicos do Cráton Amazônico, a exemplo de outras áreas do planeta.

**Palavras-chave:** Metalogenia - Pará. Elementos Terras Raras. Fosfato.

## ABSTRACT

Near the border of the states of Pará and Mato Grosso, in the Amazonian Craton, about 90 km west of the Vila Mandi district, Santana do Araguaia (PA) city, there is an unprecedented volcano–plutonism named Santana mafic-carbonatitic Complex. It is formed by a lower mafic-ultramafic member with plutono–volcanic and other volcanoclastic lithofacies; besides an upper carbonatitic member with plutonic, effusive, and volcanoclastic lithofacies originated in a volcanic caldera environment with large areas of hydrothermal alterations and genetically related circular structures. The severe Amazon weathering partially affected this cluster, producing the Serra da Capivara Phosphate deposit supergenically. Although speculative, the Santana mafic-carbonatitic Complex is Paleoproterozoic in age, because it invades the Paleoproterozoic volcano-plutonic sequences Cinco Estrelas and Vila Mandi formations (1980–1880 Ma) and it is capped by sedimentary rocks from the same Era. The lower mafic-ultramafic member has lithofacies with slabs of pyroxenite, and minor isolated metric blocks of ijolite and apatitite. They are medium-grained ceylonite-bearing ( $\text{MgAl}_2\text{O}_4$ ) pyroxenites with augite (~ 90% vol.), magnesio-riebeckite, and olivine crystals replaced by clay minerals (saponite). The ijolite is composed of clinopyroxene and nepheline phenocrysts immersed in a fine-grained groundmass with nepheline, calcite, and interstitial magnetite. Apatitite blocks are composed of medium-grained apatite grains (~ 98% vol.) and calcite. The volcanic rocks of this lithofacies comprise isolated metric blocks of alkali basalt and rare associated outcrops of fine-grained apatitite. This basalt rock presents plagioclase-rich groundmass and acicular augite phenocrysts as essential mineralogy. Aphyric samples have primary spherules filled with calcite and quartz, besides interstitial pyrite, iron oxides, apatite, barite, rutile, celestine, and monazite. This textural feature suggests silicate and carbonatitic melts immiscibility process. An explosive to autoclastic mafic volcanoclastic lithofacies encompasses poor sorting deposits of massive polymictic breccia, lapilli-tuff, crystal-rich tuff, and ash tuff. The autoclastic rocks reveal volcanoclastic texture comprising centimetric angular clasts sourced from autofragmentation of the mafic-plutonic plutono–volcanic lithofacies. Epiclastic sedimentary volcanogenic deposits usually cover all previous lithofacies. The upper carbonatitic member reveals coarse-grained carbonatite (sövite) lithofacies comprising reddish-yellow sövite (calcite carbonatite) composed of subhedral to euhedral calcite (85–90% vol.), with variations to magnesium-ferriferous calcite and dolomite. Primary accessories are magnetite, hematite, potassic feldspar, and pyrite. These lithotypes show hydrothermalized medium- to fine-grained carbonatite veins. Rare coarse-grained apatitite bodies occur associated with this lithofacies,

which represents part of the proto-ore. An effusive carbonatite (alvikite) lithofacies reveals fine-grained calcite-rich (80–85% vol.) to porphyritic alvikite, besides hematite, magnetite, potassic feldspar, and pyrite. Fragment-rich explosive carbonatitic volcanoclastic lithofacies encompassing poor sorting and texturally variable massive crystal-rich tuff, lapilli-tuff, and massive polymictic breccia formed by angular clasts sourced from host rocks and the complex. Syenitic stocks and dikes invade these rocks. The main hydrothermal magmatic alteration of the complex is represented by hydrothermalized carbonatitic rocks of reddish, brownish, and yellowish colors. The mineral paragenesis found was barite + fluorapatite + dolomite ± quartz ± rutile ± chalcopyrite ± pyrite ± monazite ± magnetite ± hematite. This alteration occurs in three distinctive ways; 1) in the deeper zones, where the minerals found were barite, fluorine apatite, and dolomite in pervasive to fracture-controlled alteration associated with deep fine carbonatites. 2) In the sövite, of weak interstitial form with mineralogy similar to the deep alterations. 3) in the alvikite with intense interstitial changes and formation of hydrothermal quartz associated with barite, fluorapatite, dolomite, monazite, celestine, and rutile. The mineral assemblage of the deeper alterations suggests initially sulphate-rich, magnesium, phosphorus, and CO<sub>2</sub> fluids with possible transitional source between the late magmatic and the hydrothermal stages. In transition to more superficial phases of the volcanism, there was an assimilation of SiO<sub>2</sub> from the country rocks evidenced by the formation of fine interstitial quartz crystals in alvikite. The interpreted environment of volcanic caldera occurs in the interception of regional NE-SW and NW-SE faults with up to 40 km of extension and that served as deep conduit of the precursor magma of the complex. The root of the system is represented by mafic-ultramafic rocks and plutonic carbonatites. The pre-caldera phase involved intense degasification and hydrothermal activities as a function of magmatic evolution, and ascending by lithic faults and placing on the surface of large volume of carbonate lava (alvikites) that built the extinct volcanic building. The collapse of this structure and the topographic landslide coincided with explosive volcanism and formation of the volcanoclastic lithotypes, representing the intra-caldera filling. The late syenites may represent the post-caldera phase and sealing of these structures. The hydrothermal paragenesis identified in the Santana mafic-carbonatitic Complex shows important metallogenetic potential for rare earth elements and phosphate and represents a prospective guide on Proterozoic terrains of the Amazonian Craton, like other areas of the planet.

**Keywords:** Metallogenesis - Pará. Rare Earth Elements. Phosphate.