



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

---

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO Nº 585**

**PETROLOGIA MAGNÉTICA E QUÍMICA MINERAL DOS  
GRANITOIDES MESOARQUEANOS DE OURILÂNDIA DO  
NORTE (PA) - PROVÍNCIA CARAJÁS**

**Dissertação apresentada por:**

**ALINE COSTA DO NASCIMENTO**

**Orientador: Prof. Dr. Davis Carvalho de Oliveira (UFPA)**

---

**BELÉM - PARÁ  
2020**

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)

---

N244p Nascimento, Aline Costa do  
Petrologia magnética e química mineral dos granitoides mesoarqueanos  
de Ourilândia do Norte (PA) - Província Carajás /Aline Costa do  
Nascimento. — 2020.  
xvi, 113 f.: il. color.

Orientador: Prof. Dr. Davis Carvalho de Oliveira  
Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Geologia e  
Geoquímica, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará,  
Belém, 2020.

1. Petrologia Magnética. 2. Química Mineral. 3. Granitoides. 4.  
Mesoarqueano. 5. Província Carajás. I. Título.

---

CDD 552



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

**PETROLOGIA MAGNÉTICA E QUÍMICA MINERAL DOS  
GRANITOIDES MESOARQUEANOS DE OURILÂNDIA DO  
NORTE (PA) – PROVÍNCIA CARAJÁS**

**DISSERTAÇÃO APRESENTADA POR  
ALINE COSTA DO NASCIMENTO**

**Como requisito parcial à obtenção de Grau de Mestre em Ciências na Área de  
GEOQUÍMICA E PETROLOGIA, Linha de Pesquisa PETROLOGIA E EVOLUÇÃO  
CRUSTAL**

**Data de Aprovação: 29 / 06 / 2020**

Banca Examinadora:



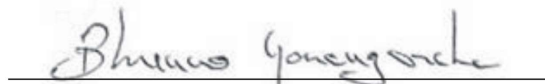
---

Prof. Dr. Davis Carvalho de Oliveira  
(Orientador - UFPA)



---

Prof. Dr. Frederico Vilalva  
(Membro - UFRN)



---

Dr. Bhrenno Marangoanha  
(Membro - PPGG / UFPA)

*Dedico a minha mãe, Araci Costa, pelo incentivo e investimentos no meu estudo.*

## AGRADECIMENTOS

A autora desta dissertação expressa seus sinceros agradecimentos a todas as pessoas e entidades que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho e em particular:

- Ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico) pela concessão da bolsa de mestrado – (A.C. Nascimento; Proc.130983/2018-7);
- Ao Programa de Pós-Graduação de Geologia e Geoquímica da Universidade Federal do Pará (UFPA) pelo fornecimento de infraestrutura;
- Ao laboratório de Microanálises do Instituto de Geociências (UFPA) pela disponibilização dos equipamentos de MEV (Microscópio Eletrônico de Varredura) e Microsonda, e em particular ao apoio técnico do Professor Dr. Cláudio Lamarão (responsável pelo laboratório), Ms. Gisele Marques e a técnica de laboratório Ana Paula;
- Ao meu orientador Dr. Davis Carvalho de Oliveira, pela oportunidade de realizar este estudo, incentivo e compartilhamento de conhecimento;
- Aos membros do Grupo de Pesquisa Petrologia de Granitoides (GPPG) do Instituto de Geociências da UFPA, pelo suporte técnico-científico durante as diversas fases deste trabalho, em especial aos Geólogos Luciano Ribeiro, Rodrigo Fabiano, Bhrenno Marangoanha e Fernando Fernandes. Agradeço ao Luciano pela revisão deste trabalho, incentivo e amizade;
- Aos funcionários e professores do Instituto de Geociências da UFPA, em especial ao Professor Dr. Roberto Dall’Agnol, pelos ensinamentos na temática Petrologia Magnética, e pelo profissional humilde e correto, qualidades consideradas raras no IG, o que me torna ainda mais honrada por conhecê-lo;
- Aos bibliotecários do IG e à Lúcia Imbiriba pela ajuda na correção das normas de editoração, e à Cleida da secretaria do PPGG;
- Ao Professor Dr. Frederico Vilalva, pelas sugestões para enriquecer as discussões dos artigos que integram esta dissertação;
- À minha família, em especial à minha mãe (Araci Costa), aos meus irmãos (Edilson e Eliane *in memoriam*), ao meu padrasto (Pedro Catureba), aos meus tios (Elmira, Edna, Elza, Mariinha, Oci) e aos meus amigos de infância (Paula, Demimoore, Renata, Rafael, Raquel) pelo incentivo e apoio;
- Aos colegas que fiz durante a realização deste trabalho, em especial à Amanda Suanny, Renata Veras, Lucas Condurú, Luan Sousa, Caio Mesquita, Ingrid Viana, pelos ensinamentos, compartilhamento de idéias e momentos de descontração.

“Ser estudante é não perder a esperança e ânimo  
quando tudo parece ser tão irrecompensável  
É vencer o cansaço depois de um dia de rotina  
É vencer obstáculos sem medo de errar  
É repousar no desejo de que a vida para ser edificada  
Precisa ser enfrentada dia a dia  
É ter sabedoria para trilhar um caminho ético e digno  
Apesar de nem sempre ter exemplos éticos de professores  
É construir suas próprias opiniões e saber transmiti-las com êxito  
Ser estudante é muito mais que aceitar o conhecimento imposto  
É refletir e ter senso crítico sobre a vida”.

Essa mensagem ainda é válida e foi escrita pela autora durante a graduação em Geologia para retratar as dificuldades enfrentadas e os momentos de retrocesso na educação brasileira.

Aline Costa do Nascimento

## RESUMO

A área de Ourilândia do Norte está situada na porção centro-oeste da Província Carajás, no limite entre os domínios Rio Maria (DRM) e Carajás (DC), onde afloram três principais grupos de granitoides mesoarqueanos (2,92-2,88 Ga), assim distinguidos: (i) leucogranitos e granodiorito alto-Ti associado – compreendem monzogranitos equi- a heterogranular e granodiorito porfirítico enriquecido em titanita. Ambos apresentam biotita como principal fase máfica, ausência de anfibólio, além de xenólitos do embasamento TTG; (ii) sanukitoides – constituídos por granodioritos (equigranular, heterogranular e porfirítico), com tonalito, quartzo monzodiorito e quartzo diorito subordinados. Caracterizam-se pela presença de hornblenda como mineral varietal e inúmeros enclaves máficos; e (iii) trondhjemitos - representado como um granitoide porfirítico com finos enclaves máficos. A partir do estudo de suscetibilidade magnética (SM) estes granitoides foram divididos em três populações magnéticas: (i) baixos valores de SM (A; SM varia de  $0,05 \times 10^{-3}$  a  $0,57 \times 10^{-3}$  SI) – caracteriza-se pela escassez de fases opacas, onde há predominância de sanukitoides e trondhjemitos; (ii) valores intermediários de SM (B; SM entre  $0,59 \times 10^{-3}$  a  $2,35 \times 10^{-3}$  SI) – o conteúdo modal de ilmenita prevalece sobre o de magnetita, e há variáveis proporções de sanukitoides e leucogranitos; e (iii) altos valores de SM (C; SM  $2,35 \times 10^{-3}$  a  $17,0 \times 10^{-3}$  SI) – é constituída essencialmente por magnetita, e a ilmenita ocorre subordinada como os tipos texturais em treliça e composta; e os leucogranitos e granodiorito alto-Ti predominam sob os sanukitoides. Os anfibólios foram classificados como magnésio-hornblenda, razão  $Mg/(Mg+Fe^{+2}) \geq 0,70$ , com subordinada ocorrência de ferropargasita e actinolita-hornblenda. No trondhjemitos, o anfibólio ocorre como mineral acessório, e é classificado como magnésio-hornblenda e tschermakita. A biotita apresenta razão  $Fe^{+2}/(Mg + Fe^{+2}) < 0,6$  nos leucogranitos e granodiorito alto-Ti, e  $\leq 0,4$  nos sanukitoides e trondhjemitos. O plagioclásio foi classificado como oligoclásio, com menor ocorrência de albita, sem significativa variação composicional entre fenocristais e matriz; comumente é encontrado com alteração para sericita. Epidoto e titanita ocorrem sob a forma de quatro tipos texturais, porém foram analisados dois principais tipos texturais, o primeiro associado aos minerais ferromagnesianos e atribuído a origem magmática e o segundo ocorre nos planos de clivagem de biotita, de origem tardi-magmática. Em termos do conteúdo de pistacita no epidoto  $\{Ps = [Fe^{+3}/(Fe^{+3} + Al)] * 100\}$ , valores entre Ps 25 a 36 %, 26 a 36 %, e 22 a 30 %, foram estimados para os leucogranitos, sanukitoides e trondhjemitos, respectivamente, além de  $TiO_2 \leq 0,137$  %. Tais valores indicam origem magmática. Estimativas de temperatura baseadas na saturação de zircão ( $T_{Zr}$ ) e apatita ( $T_{Ap}$ )

em rocha total variam de  $T_{Zr}$  841-990 °C e  $T_{Ap}$  884-979 °C (leucogranitos e granodiorito alto-Ti),  $T_{Zr}$  826-972 °C e  $T_{Ap}$  864-886 °C (sanukitoides) e  $T_{Zr}$  853-977 °C e  $T_{Ap}$  909 °C (trondhjemitos), interpretadas como próximo ao *liquidus*. Geotermômetros e barômetros baseados no conteúdo de alumínio no anfibólio indicam temperaturas entre 738-811 °C (sanukitoides) e 779-892 °C (trondhjemitos), com pressão entre 100 a 280 MPa, representando condições de crosta superior. Entretanto, os valores abaixo de 800 °C denotam que recristalização dinâmica pode ter ocorrido a temperaturas próximas a do *solidus*, conforme a natureza sintectônica destas rochas. Admite-se que as temperaturas e pressões mais baixas estimadas correspondam a condições de abertura do sistema magmático relacionado à deformação. Apesar dos leucogranitos e granodiorito alto-Ti apresentarem relativo enriquecimento de #Fe (rocha total), os mesmos são rochas de afinidade cálcico-alcalina, superpondo-se aos granitos Cordilheiranos com  $SiO_2 > 70\%$ , de baixo HFSE (*high field strength elements*), magnetita primária, e elevada SM. Isto é indicativo de que as mesmas foram formadas em condições oxidantes (provavelmente no domínio do tampão  $\Delta_{NNO}+2,8$ ). Os sanukitoides apresentam  $FeOt/(FeOt + MgO)$  em rocha total, anfibólio e biotita inferior a 0,7, e moderada a baixa SM, com formação atribuída a condições menos oxidantes (no domínio do tampão  $\Delta_{NNO}+1,0$ ). Admite-se que estas rochas se formaram em tais condições, porém para as variedades de sanukitoides equigranulares e o trondhjemitos estimam-se condições próximo a do tampão  $\Delta_{FMQ}+0,5$ ). A baixa SM e baixo conteúdo de magnetita reportada para os sanukitoides equigranulares e trondhjemitos também pode ser atribuída à formação precoce do epidoto e processos tardi-magmáticos responsável pela desestabilização de magnetita. Conclui-se que o magma precursor dos sanukitoides era hidratado ( $H_2O > 4-7\%$ ), enquanto  $H_2O < 4-7\%$  foi admitido para os magmas formadores dos leucogranitos e granodiorito alto-Ti; e trondhjemitos, como indicado pela ausência ou escassez de anfibólio e minerais hidratados na paragênese. Tais resultados são comparados aqueles estimados para rochas cálcico-alcalinas da Suíte Rio Maria na Província Carajás e membros oxidados de outros terrenos Arqueanos a Paleoproterozoicos do Cinturão Báltico, orógeno Sarmatiano (Europa Ocidental), granitos tipo-*Closepet* e granodioritos alto-Mg do plúton Matok (Cinturão Limpopo – África do Sul).

Palavras-chave: Granitoides. Petrologia Magnética. Química Mineral. Arqueano. Província Carajás.



## ABSTRACT

The Ourilândia do Norte area is located in the midwestern portion of the Carajás province, whose tectonic segment is comprised between the Rio Maria (RMD) and Carajás domains (CD), where outcrop three main Mesoarchean (2.92-2.88 Ga) granitoids: (i) leucogranite and associated high-Ti granodiorite – are constituted by equi- to heterogranular monzogranites and associated granodiorite with high titanite contents. Both of them have biotite as an essential mafic phase, lack amphibole and host TTG basement; (ii) sanukitoids – are represented by granodiorites (equigranular, heterogranular and porphyritic), with subordinate tonalite, quartz monzodiorite and quartz diorites occurrences. These rocks are characterized by the presence of hornblende as an essential mineral and associated mafic enclaves; and (iii) trondhjemite – represented by porphyritic granitoids with fine-grained mafic enclaves. Based on magnetic susceptibility (MS) studies these granitoids were distinguished into three magnetic populations: (i) lowest magnetic values (A; MS ranging from  $0.05 \times 10^{-3}$  to  $0.57 \times 10^{-3}$  SI) – characterized by rare opaques phases, predominant sanukitoids and trondhjemite; (ii) moderate magnetic values (B; MS  $0.59 \times 10^{-3}$  to  $2.35 \times 10^{-3}$  SI) – the modal ilmenite contents prevails over magnetite, with variable proportions of sanukitoids and leucogranites; and (iii) high magnetic values (C; MS  $2.35 \times 10^{-3}$  to  $17.0 \times 10^{-3}$  SI) – characterized by the highest magnetite contents, with subordinate ilmenite occurrence as *trellis* and composite textural types. The leucogranites and associated high-Ti granodiorite predominate over porphyritic sanukitoid. Amphiboles classify as magnesio-hornblende, characterized by  $Mg/(Mg+Fe^{+2})$  ratio  $\geq 0.70$ , and minor occurrence of ferropargasite e actinolite-hornblende. For the trondhjemite, amphibole occurs as an accessory mineral and corresponds to magnesio-hornblende and tschermakite. Biotite crystals have  $Fe^{+2}/(Mg + Fe^{+2})$  ratio down 0.6 in leucogranites and associated high-Ti granodiorite, and lower values ( $\leq 0.4$ ) in sanukitoids and trondhjemite. Plagioclase crystals are predominantly oligoclase, without significant compositional variations between phenocrysts and matrix, and are frequently replaced by sericite. Although there are four distinct textural types of epidote and titanite, were investigated two main textural types: the former has magmatic origin and the latter indicate late-magmatic origin. In terms of the pistacite molecule contents in epidote  $\{Ps = [Fe^{+3}/(Fe^{+3} + Al)] * 100\}$ , Ps values of 25 to 36 %, 26 to 36 % and 22 to 30 % were estimated for the leucogranites, sanukitoids and trondhjemite, respectively, along with  $TiO_2$  contents  $\leq 0.137$ , suggesting magmatic origin. Temperature estimative based on zircon ( $T_{Zr}$ ) and apatite saturations ( $T_{Ap}$ ) are in the range  $T_{Zr}$  841-990 °C and  $T_{Ap}$  884-979 °C (leucogranite and associated high-Ti granodiorite),  $T_{Zr}$  826-972 °C and  $T_{Ap}$  864-886 °C (sanukitoids) and,

finally,  $T_{Zr}$  853-977 °C and  $T_{Ap}$  909 °C (trondhjemite), which all of them are interpreted as close to *liquidus*, with pressure estimates in general between 100 and 280 MPa, akin to upper crust conditions. Geothermometers and barometers based on aluminium contents in amphibole indicate temperature around 738-811 °C (sanukitoids) and 779-892 °C (trondhjemite). The lower temperatures (< 800 °C) is assumed as resulted of opening magmatic system related to deformation, and denote that dynamic recrystallization may have occurred at temperatures close to *solidus*, indicative of a syntectonic nature. Although the leucogranites and associated high-Ti granodiorite present relative enrichment of #Fe in whole-rock, are calc-alkaline affinity granitoids, overlapping the Cordilleran granites with  $SiO_2 > 70\%$ , low HFSE (*high field strength elements*) abundances, magmatic magnetite and high MS, pointing to oxidized crystallization conditions (probably at  $\Delta_{NNO}+2.8$ ). Sanukitoids varieties have  $FeOt/(FeOt + MgO) < 0.7$  in whole-rock, amphibole and biotite, low MS, indicating less oxidized crystallization conditions ( $\Delta_{NNO}+1.0$ ); however, the equigranular varieties and trondhjemite probably are formed in conditions relatively close to the  $\Delta_{FMQ}+0.5$ . The lower MS and lower magnetite contents reported for the sanukitoids and trondhjemite can also be attributed to the earlier epidote formation and to the late magmatic processes, which are responsible by the magnetite instability. It is concluded that the precursor magma of the sanukitoids are hydrated ( $H_2O > 4-7\%$ ), whereas lower water contents in *melt* ( $H_2O < 4-7\%$ ) are suggested for the leucogranites and associated high-Ti granodiorite; and trondhjemite, as indicated by their amphibole absence and accessory amphibole contents, respectively, along with low contents of hydrated mineralogy. These results are compared to those estimated for calc-alkaline rocks of the Rio Maria suite from the Carajás province and oxidized members from other Archean to Paleoproterozoic terrains such as Baltic Belt, Sarmatian orogen (Western Europe), Closepet-type granites and high-Mg granodiorites of the Matok pluton (Limpopo Belt – South Africa).

Keywords: Granitoids. Magnetic Petrology. Mineral Chemistry. Archean. Carajás province.