



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
FACULDADE DE GEOLOGIA

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**PETROLOGIA MAGNÉTICA DA ASSOCIAÇÃO
GABRONORITO-CHARNOQUITO-GRANITO DE
OURILÂNDIA DO NORTE (PA), PROVÍNCIA CARAJÁS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado por:

SILVIO SANCHES NETO

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

BELÉM - PA
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)

S211p Sanches Neto, Silvio
Petrologia magnética da associação gabronorito-
charnoquitogranito de Ourilândia do Norte (PA), Província
Carajás / Silvio Sanches Neto. — 2019.

xi, 44 f. : il. color.

Orientador(a): Prof. Dr. Davis Carvalho Oliveira
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Faculdade de
Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará,
Belém, 2019.

1. Petrologia magnética, química mineral, charnoquito e
província carajás. I. Título.

CDD 552.0098115



Universidade Federal do Pará

**Instituto de Geociências
Faculdade de Geologia**

**PETROLOGIA MAGNÉTICA DA ASSOCIAÇÃO
GABRONORITO-CHARNOQUITO-GRANITO DE
OURILÂNDIA DO NORTE (PA), PROVÍNCIA CARAJÁS**

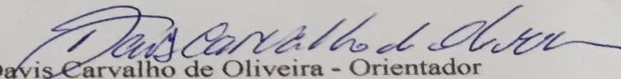
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO APRESENTADO POR:

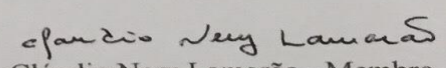
SILVIO SANCHES NETO

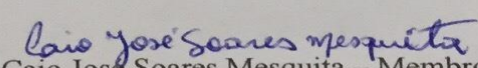
Como requisito à obtenção do Grau de Bacharel em Geologia

Data de Aprovação: 18/12/2019

Banca Examinadora:


Davis Carvalho de Oliveira - Orientador
Doutor em Geologia e Geoquímica
Universidade Federal do Pará


Cláudio Nery Lamarão - Membro
Doutor em Geologia e Geoquímica
Universidade Federal do Pará


Caio José Soares Mesquita - Membro
Mestre em Geologia e Geoquímica
Universidade Federal do Pará

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal do Pará e Instituto de Geociências, por toda sua infraestrutura e apoio de todos os seus integrantes: professores, técnicos e setor administrativo.

Meus sinceros agradecimentos aos familiares que contribuíram para a realização deste trabalho. Em especial, aos meus pais, Silvia (*in memoriam*) e Joel, que sempre estiveram ao meu lado e me apoiaram em todas as minhas decisões. À minha esposa Ana Carolina, meu filho Solano e meu irmão Paulo que sempre me inspiraram e me ajudaram a crescer como pessoa.

Ao meu professor e orientador Dr. Davis Carvalho de Oliveira, pela oportunidade de realizar esse trabalho e integrar o Grupo de Pesquisa e Petrologia de Granitoides (GPPG), além das orientações passadas durante as discussões referente ao PIBIC e TCC.

Aos membros do Grupo de Pesquisa e Petrologia de Granitoides (GPPG), em especial ao Luciano Ribeiro e Williamy Felix, por terem me auxiliado no desenvolvimento deste estudo, além de ter contribuído com dados que integram os resultados e discussões obtidos neste trabalho.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico CNPQ pela concessão de bolsa de iniciação científica (PIBIC) e pelo incentivo a área de pesquisa.

Ao Laboratório de Microanálises que foi de extrema importância na obtenção de dados a partir do microscópio eletrônico de varredura (MEV). Ao professor Dr. Cláudio Lamarão e as técnica e geóloga, Ana Paula e Gisele, pela disponibilidade e ajuda na obtenção destes dados.

Aos meus colegas de turma que durante cinco anos compartilharam comigo muitos momentos (alegria e tensão) durante esta jornada. Em especial a amigos mais próximos como Artur, Marcos Paulo, Thays e João. Por fim, agradecer aos amigos pessoais que me motivaram durante a realização deste trabalho, em especial o Kayo.

RESUMO

Este trabalho investiga as condições de formação (T , fO_2 e xH_2O) da associação gabronorito-charnoquito-granito da região de Ourilândia do Norte, a partir da assinatura magnética combinada ao estudo da natureza e aspectos texturais dos minerais opacos. Estas rochas são intrusivas em leucogranitos e sanukitoides mesoarqueanos ($\sim 2,88$ Ga) e foram subdivididas em quatro grupos petrográficos: (i) gabronorito; (ii) ortopiroxênio granodiorito; (iii) clinopiroxênio monzogranito; e (iv) anfibólio monzogranito. Seus plútons são alongados na direção NE-SW e E-W, onde o principal apresenta ~ 12 Km de extensão e 2-3 Km de largura. De modo geral, mostram textura magmática bem preservada. No entanto, podem exibir feições de deformação, como trama planar formada pela orientação preferencial de feldspatos e agregados máficos, com direção NE-SW ou E-W e caimento subvertical ($70-80^\circ$). Os dados de susceptibilidade magnética (SM) permitiram diferenciar estas rochas em duas populações magnéticas (A e B). A população A é formada pelo gabronorito e granitoides com piroxênio. Apresentam os maiores valores de SM ($3,16 \times 10^{-3} - 2,21 \times 10^{-2}$ SIv) com conteúdo modal de minerais opacos variando de 0,2 a 1,7% e importante presença de magnetita e ilmenita, enquanto a fácies hornblenda monzogranito define a população B, caracterizada pelos menores valores de SM ($2,31 \times 10^{-4} - 3,09 \times 10^{-4}$), mostra menores conteúdos de minerais opacos ($< 0,3\%$) e é caracterizada pela presença de goethita zonada. Os minerais opacos encontrados em ambas as populações são representados por magnetita, ilmenita, hematita, goethita, pirita e calcopirita. A sequência de formação destes indica um aumento progressivo das condições de fO_2 e xH_2O , partindo do estágio magmático ao pós-magmático, o que é coerente com elevadas condições de fO_2 , entre os tampões FMQ e HM, acima do tampão NNO, para a formação dos granitoides de ambas as populações magnéticas. A relação destes tampões com os conteúdos médios de SiO_2 permitiram estimar um intervalo de temperatura entre $820^\circ C$ e $690^\circ C$ atuantes durante a cristalização destas rochas. A interpretação de condições relativamente altas para a fO_2 durante a cristalização dos granitoides de ambas as populações é reafirmada pelos baixos valores da razão $Fe/(Fe+Mg)$ em biotita e anfibólio, que indicam afinidade com a série magnetita, sob condições intermediária a alta de fO_2 .

Palavras-chave: Petrologia Magnética. Química Mineral. Charnoquito. Província Carajás.

ABSTRACT

This work investigates the formation conditions (T , fO_2 e xH_2O) of the gabronorite-charnockite-granite association of the Ourilândia do Norte region, based on the magnetic susceptibility combined with the study of the nature and textural aspects of opaque minerals. These rocks are intrusive to Mesoarchean leucogranites and sanukitoids (~ 2.88 Ga) and were subdivided into four petrographic groups: (i) gabronorite; (ii) orthopyroxene granodiorite; (iii) clinopyroxene monzogranite; and (iv) monzogranite amphibole. Its plutons are elongated in the NE-SW and E-W direction, where the main one is ~ 12 km long and 2-3 km wide. Overall, they show well preserved magmatic texture. However, they may exhibit deformation features such as planar weave formed by the preferred orientation of feldspars and mafic aggregates, with NE-SW or E-W direction and subvertical dip ($70-80^\circ$). Magnetic susceptibility (SM) data allowed to differentiate these rocks into two magnetic populations (A and B). Population A is formed by gabronorite and pyroxene granitoids. They have the highest SM values (3.16×10^{-3} - 2.21×10^{-2} SIv) with modal content of opaque minerals ranging from 0.2 to 1.7% and important presence of magnetite and ilmenite, while hornblende monzogranite facies defines population B, characterized by lower SM values (2.31×10^{-4} – 3.09×10^{-4}), it shows lower opaque mineral content ($<0.3\%$) and is characterized by the presence of zoned goethite. Opaque minerals found in both populations are represented by magnetite, ilmenite, martite, goethite, pyrite and chalcopyrite. The sequence of formation of opaque minerals indicates a progressive increase in the conditions of fO_2 and xH_2O , starting from the magmatic to the postmagmatic stage. This is consistent with high fO_2 conditions between the FMQ and HM buffers above the NNO buffer. The relationship of these buffers with the average SiO_2 contents allowed to estimate a temperature range between 820° and 690° C during the crystallization of these rocks. The interpretation of relatively high conditions for fO_2 during the crystallization of these rocks is reaffirmed by the low Fe / (Fe + Mg) ratio values in biotite and amphibole, which indicate affinity with the magnetite series under intermediate to high conditions of fO_2 .

Key words: Magnetic Petrology. Mineral chemistry. Charnoquito. Carajas Province.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Mapa de localização da região de Ourilândia do Norte, localizada no sudeste do Pará	2
Figura 2 - (a) Localização do Cráton Amazônico na Plataforma Sul Americana; (b) Localização da Província Carajás no Cráton Amazônico; (c) Compartimentação tectônica da Província Carajás, com a localização da área de estudos; e (d) mapa geológico regional da Província Carajás com a localização da área de estudos.	3
Figura 3 - Aspectos texturais da associação gabronorito charnoquito-granito da região de Ourilândia do Norte.	9
Figura 4 - Mapa geológico da área de Ourilândia do Norte com destaque para as rochas estudadas.	10
Figura 5 - Diagrama Q-A-P e Q-(A+P)-M' mostrando a classificação da associação gabronorito charnoquito-granito de Ourilândia do Norte. Diagramas PLG-PX-HBL e PLG-OPX-CPX para classificação de rochas gabroicas.	11
Figura 6 - Aspectos mineralógicos e microestruturais da variedade gabronorito.	12
Figura 7 - Aspectos mineralógicos e microestruturais do ortopiroxênio granodiorito.	13
Figura 8 - Aspectos mineralógicos e microestruturais do clinopiroxênio monzogranito.	14
Figura 9 - Aspectos mineralógicos e microestruturais do hornblenda monzogranito..	15
Figura 10 - Classificação dos silicatos da associação gabronorito-charnoquito-granito de Ourilândia do Norte..	17
Figura 11 - Histograma e polígono de frequência mostrando comportamento bimodal para os valores de suscetibilidade magnética (SM) da associação gabronorito-charnoquito-granito de Ourilândia do Norte.....	20
Figura 12 - Diagrama de probabilidade mostrando os valores de suscetibilidade magnética (SM) da associação gabronorito-charnoquito-granito de Ourilândia do Norte.....	20
Figura 13 - Diagramas binários relacionando os valores de suscetibilidade magnética (SM) com conteúdos modais de: a) Minerais Opacos; b) Piroxênios; c) Anfibólio; e d) Biotita.	23
Figura 14 - Diagramas binários relacionando os valores de suscetibilidade magnética (SM) e as concentrações de: a) Fe ₂ O ₃ ; b) TiO ₂ ; c) MgO; e d) SiO ₂	24
Figura 15 - Aspectos texturais dos minerais opacos presentes na população magnética A.....	26
Figura 16 - Aspectos texturais dos minerais opacos presentes na população magnética B.	26
Figura 18 - Sequência de cristalização das fases opacas para a associação gabronorito-charnoquito-granito de Ourilândia do Norte..	29

Figura 19 - Diagramas de classificação para série magnetita-ilmenita: (a) diagrama Al total versus $\text{Fe}/(\text{Fe}+\text{Mg})$ para biotita, com discriminação das séries magnetita e ilmenita. e (b) diagrama binário comparando $\text{Fe} / (\text{Fe} + \text{Mg})$ para anfibólio. 32

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Composição modal da associação gabronorito-charnoquito-granito de Ourilândia do Norte	11
Tabela 2 - Dados de susceptibilidade magnética (SM) da associação gabronorito-charnoquito-granito de Ourilândia do Norte.....	19
Tabela 3 - Composição modal (média) da associação gabronorito-charnoquito-granito de Ourilândia do Norte.	22
Tabela 4 - Composições químicas médias em % de óxidos das variedades que representam a associação gabronorito-charnoquito-granito de Ourilândia do Norte.....	24

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	iv
RESUMO	v
LISTA DE ILUSTRAÇÕES	vii
LISTA DE TABELAS	ix
SUMÁRIO	x
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 APRESENTAÇÃO	1
1.2 CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL	2
1.2.1 Compartimentação tectônica	2
1.2.2 Domínio Rio Maria.....	3
1.2.3 Domínio Sapucaia.....	4
1.2.4 Domínio Canaã dos Carajás	4
1.3 JUSTIFICATIVA.....	5
1.4 OBJETIVO	6
1.5 MATERIAIS E MÉTODOS.....	7
1.5.1 Pesquisa bibliográfica	7
1.5.2 Petrografia	7
1.5.3 Susceptibilidade Magnética	7
1.5.4 Estudo Mineralógico	8
2 ASSOCIAÇÃO GABRONORITO-CHARNOQUITO-GRANITO DE OURILÂNDIA	9
2.1 ASPECTOS GERAIS	9
2.2 PETROGRAFIA	10
2.2.1 Composição modal e classificação	10
2.2.2 Aspectos texturais e deformacionais	11
2.3 COMPOSIÇÃO E CLASSIFICAÇÃO QUÍMICA DOS SILICATOS	16
2.3.1 Piroxênio	16
2.3.2 Anfibólio	16
2.3.3 Biotita.....	17
2.3.4 Plagioclásio	18
3 PETROLOGIA MAGNÉTICA	19
3.1 SUCEPTIBILIDADE MAGNÉTICA.....	19
3.1.1 Relação entre SM e as variedades petrográficas	19
3.1.2 Relação entre SM e conteúdo modal.....	21

3.1.3 Relação entre SM e composição química.....	23
3.2 MINERAIS ÓXIDO DE FE-TI	25
4 DISCUSSÕES	28
4.1 SEQUÊNCIA DE FORMAÇÃO DE MINERAIS ÓXIDO DE FE-TI	28
4.2 CONDIÇÕES DE CRISTALIZAÇÃO	30
5 CONCLUSÕES.....	33
REFERÊNCIAS	34
APÊNDICE A.....	42
APÊNDICE B.....	43
APÊNDICE C.....	44
APÊNDICE D.....	45

1 INTRODUÇÃO

1.1 APRESENTAÇÃO

A Província Carajás (PC), localizada na porção sudeste do Cráton Amazônico é subdivida em Domínio Rio Maria de idade mesoarqueana, a sul, e Domínio Carajás de idade meso- a neoarqueana, a norte (Santos 2003, Vasquez *et al.* 2008). Esta província é marcada por apresentar um enorme potencial metalogenético, com destaque para mineralizações de cobre, ferro, níquel, ouro, manganês e estanho, o que impulsionou um grande avanço no seu conhecimento geológico (Araújo & Maia 1991, Costa *et al.* 1995, Dall'Agnol *et al.* 2006, DOCEGEO 1988). A região de Ourilândia do Norte está situada na porção centro-oeste da PC, no limite entre os domínios Rio Maria e Carajás (Fig. 2). Nos últimos anos, trabalhos envolvendo mapeamento geológico de semi-detálhe, petrografia, geoquímica e geocronologia permitiram um importante avanço no conhecimento da natureza e aspectos estruturais deste segmento de crosta (Felix 2019, Santos *et al.* 2013, Santos & Oliveira 2016, Silva *et al.* 2018, 2019), levando a individualização de unidades granitoides arqueanas, anteriormente inseridas no contexto do Complexo Xingu, Granodiorito Rio Maria e suítes Plaqué e Cateté (Vasquez *et al.* 2008).

Recentemente, Felix (2019) definiu a natureza da associação gabronorito-charnoquito-granito desta região e a individualizou em quatro variedades petrográficas: (i) gabronorito; (ii) ortopiroxênio granodiorito, (iii) clinopiroxênio monzogranito e (iv) anfibólio monzogranito. Ocorrem como cinco plútons alongados segundo o *trend* NE-SW e E-W, intrusivos em leucogranitos e sanukitoides de idade mesoarqueana. Apesar do avanço no conhecimento geológico destas rochas, não se tinha informação sobre a assinatura magnética das mesmas. Portanto, este trabalho visa definir a susceptibilidade magnética (SM) e estudar a natureza e os principais aspectos texturais dos minerais opacos presentes na associação gabronorito-charnoquito-granito. Adicionalmente, neste estudo foram obtidos dados semiquantitativos de química mineral nos principais silicatos, o que permitiu aprimorar a caracterização petrográfica destas rochas.

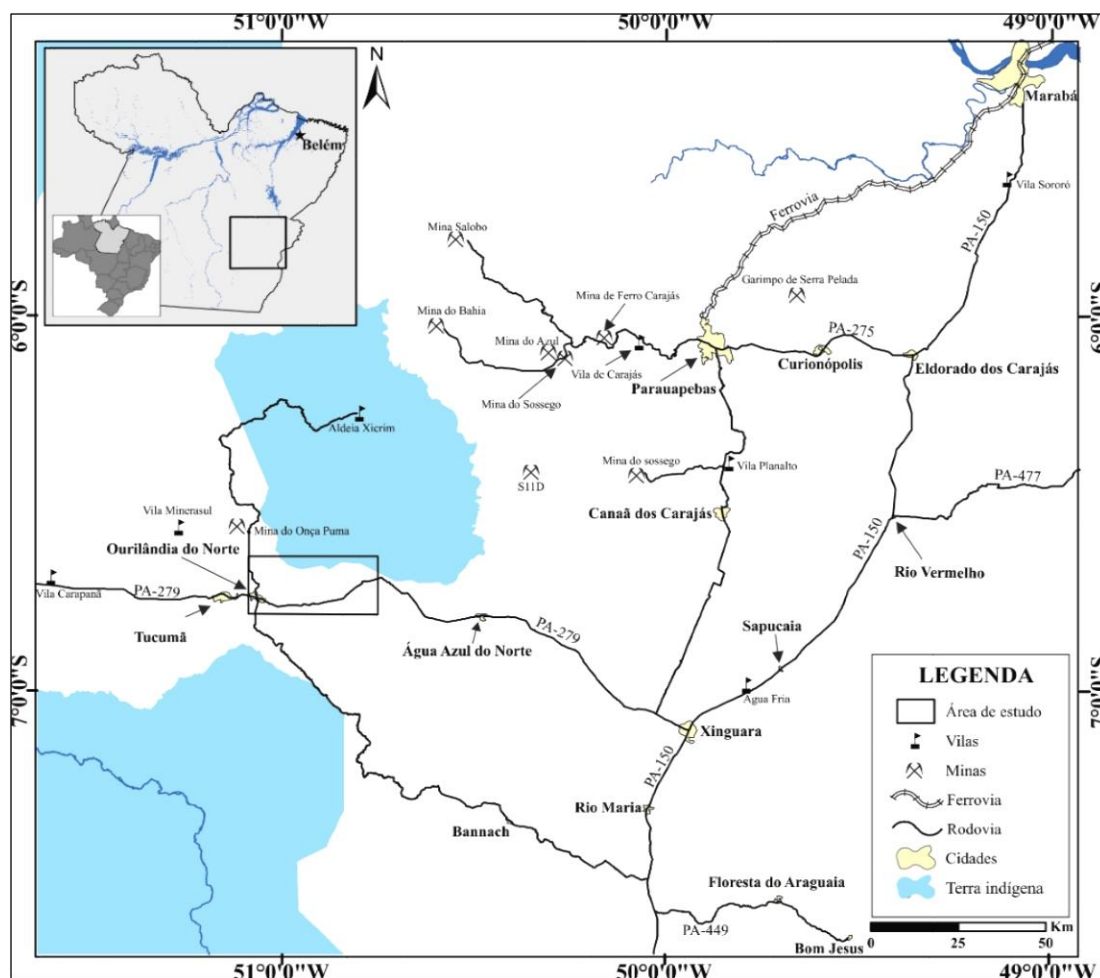


Figura 1 - Mapa de localização da região de Ourilândia do Norte, sudeste do Pará (Silva 2018). A região pode ser acessada pela PA-150, a partir de Belém, passando pelos municípios de Marabá e Xinguara e seguindo pela PA-279 até Ourilândia do Norte, situado entre os municípios de Água Azul do Norte e Tucumã.

1.2 CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL

1.2.1 Compartimentação tectônica

O Cráton Amazônico é subdividido em províncias geocronológicas e representa uma das principais unidades tectônicas da Plataforma Sul-Americana (Almeida *et al.* 1981). Este é constituído pelos escudos das Guianas (norte) e Brasil Central (sul), separados pelas bacias do Amazonas e Solimões (Vasquez *et al.* 2008). Representa uma placa litosférica continental, composta por várias províncias crustais, de idades arqueana a mesoproterozoica, estabilizada tectonicamente em ~1,0 Ga, de modo que se comportou como uma placa estável no Neoproterozóico, durante o desenvolvimento das faixas orogênicas marginais (cinturões Paraguai-Araguaia-Tocantins), formadas durante o Ciclo Brasileiro (Brito Neves & Cordani 1991, Schobbenhaus & Brito Neves 2003). A partir da década de 70 vários modelos de compartimentação tectônica foram propostos para o cráton (e.g. Amaral 1974, Cordani *et al.* 1979, Santos *et al.* 2000, Tassinari 1996, Tassinari *et al.* 2000), dos quais merecem destaque os trabalhos de Santos (2003) e Tassinari & Macambira (2004), que apresentam algumas

discordâncias, especialmente em relação aos limites de províncias, mas admitem uma evolução análoga para o Cráton Amazônico, envolvendo sucessivos episódios de acreção crustal durante o Paleo- e o Mesoproterozóico, entorno de um núcleo mais antigo, estabilizado no final do Arqueano.

A Província Carajás (Fig.2) representa o maior e melhor preservado núcleo arqueano do Cráton Amazônico (Santos, 2003). Inicialmente foi subdividida em Terreno Granito-*Greenstone* de Rio Maria (TGGRM), a sul, e Bloco Carajás (BC), a norte (Souza *et al.* 1996, Vasquez *et al.* 2008). O TGGRM constituído por rochas mais antigas com características ígneas bem preservadas, enquanto o BC representaria o embasamento mesoarqueano, afetado por eventos tectonotermiais de idade neoarqueana, compreendido por sequência vulcanossedimentar e intrusões granitoides sintectônicas. Posteriormente, Dall'Agnol *et al.* (2013) propuseram uma nova divisão tectono-estratigráfica para a PC. Esta compreenderia três domínios tectônicos (Domínio Rio Maria, Domínios Canaã dos Carajás e Domínio Sapucaia), além da Bacia Carajás inserida a norte do domínio Canaã dos Carajás.

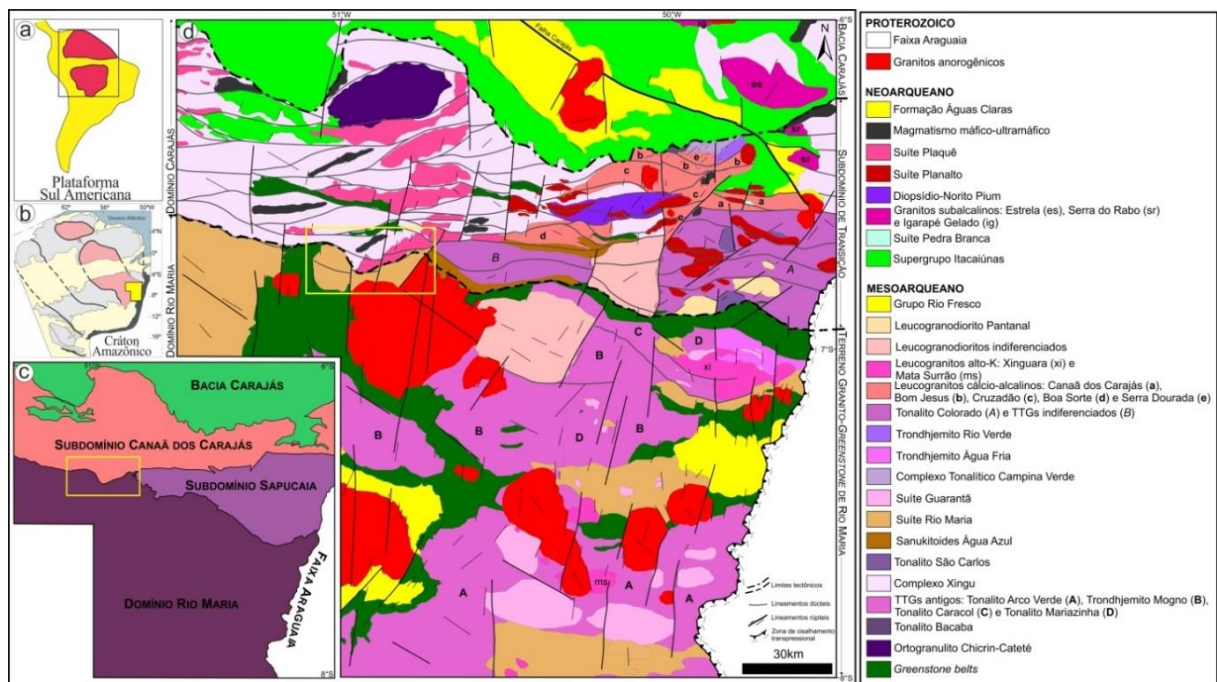


Figura 2 - (a) Localização do Cráton Amazônico na Plataforma Sul Americana; (b) Localização da Província Carajás no Cráton Amazônico (Tassinari & Macambira 2004); (c) Compartimentação tectônica da Província Carajás (Dall'Agnol *et al.* 2013), com a localização da área de estudos; e (d) mapa geológico regional da Província Carajás com a localização da área de estudos.

1.2.2 Domínio Rio Maria

O Domínio Rio Maria (DRM) está situado na porção sul da PC e é formado por rochas de idade mesoarqueana (3,0 a 2,86 Ga), representadas por sequências *greenstone belts* e diversas unidades granitoides (Dall'Agnol *et al.* 2006). Os *greenstone belts* são compostos

pelos grupos Gradaús, Babaçu, Serra do Inajá, Lagoa Seca, Tucumã e Sapucaia, além das Formações Morada da Prata e Quixadá. Essas rochas são representadas por sequências vulcano-sedimentares afetadas por metamorfismo de fácies xisto verde a anfibolito (Souza *et al.* 2001).

Os granitoides do DRM são compreendidos por: (i) séries TTG representado pelo Tonalito Arco Verde, Trondhjemitó Mogno e Tonalito Mariazinha (2,96 e 2,93 Ga) (Almeida *et al.* 2011, Macambira & Lafon 1995); (ii) Suíte Rio Maria representado por granitoides alto-Mg (sanukitoides) de idade 2,87 Ga (Macambira & Lancelot 1996, Oliveira M. A. *et al.* 2009, Santos & Oliveira 2016) e leucogranitos (Silva *et al.* 2019); (iii) leucogranodioritos-granitos de alto Ba-Sr da Suíte Guarantã com idade de 2,86 (Almeida *et al.* 2013); e (iv) leucogranitos potássicos de afinidade cálcioalcalina com idade de 2,87 Ga, representados pelo Granito Mata Surrão e afins (Almeida *et al.* 2013, Dall'Agnol *et al.* 2006, Lafon *et al.* 1994, Leite *et al.* 2004,).

1.2.3 Domínio Sapucaia

O Domínio Sapucaia é composto por rochas semelhantes às pertencentes ao DRM, submetidas a maiores condições de deformação (Dall'Agnol *et al.* 2013). Em sua porção central ocorrem o Tonalito São Carlos (~ 2,93 Ga; Silva *et al.* 2014) e o Trondhjemitó Colorado de idade ~2,87 Ga (Silva *et al.* 2010, 2014), com características similares as suítes TTG e rochas leucogranodioríticas de afinidade cálcio-alcalina enriquecidas em Ba e Sr, representadas pelo Leucogranodiorito Pantanal com idade 2,87 Ga (Teixeira *et al.* 2013). Por outro lado, na região de Água Azul do Norte, afloram granitoides sanukitoides, individualizados como granodiorito Água Azul por Gabriel & Oliveira (2014) de idade 2,88 Ga e Água Limpa (~2,87 Ga). Estas rochas mostram assinatura geoquímica predominantemente metaluminosa, o que as distingue dos granitoides da série TTG e dos leucogranodioritos do Domínio Rio Maria (Gabriel & Oliveira *et al.* 2014, Sousa *et al.* 2010;). Por fim, ocorrem os granitoides subalcalinos das suítes Vila Jussara e Planalto de idade ~ 2,74 Ga (Cunha *et al.* 2016, Dall'Agnol *et al.* 2017, Galarza *et al.* 2017, Marangoanha *et al.* 2019, Oliveira *et al.* 2014, Oliveira *et al.* 2018, Silva *et al.* 2010, Sousa L. A. M (2019)

1.2.4 Domínio Canaã dos Carajás

O Domínio Canaã dos Carajás (DCC) é caracterizado pela presença de granitoides com idade meso- a neoarqueana entre (3,0-2,70 Ga) relacionado a Suítes TTG, Ortogranulito Chicrim-Cateté (3,0 Ga), rochas do Complexo Xingu (2,97-2,86 Ga) e o Diopsídio-Norito Pium (2,74 Ga) copreendendo o embasamento da Bacia Carajás. Além de associações de enderbito e charnoquito com idade neoarqueanas e granitos anorogênicos (Dall'Agnol *et al.* 2013, Feio *et*

al. 2012, 2013, Maragoanha *et al.* 2019, Oliveira *et al.* 2018, Santos *et al.* 2013, Teixeira *et al.* 2013).

Os granitoides de idade mesoarqueana do DCC inseridos no contexto de TTG são representados pelo Tonalito Bacaba de 3,0 Ga (Moreto *et al.* 2011), Complexo Tonalítico Campina Verde de idade (2,87-2,85 Ga), e Trondhjemitó Rio Verde com idade entre 2,92-2,86 Ga (Feio *et al.* 2013). Os granitos cálcico-alcalino são representados pelos plútons Serra Dourada de 2,86 e 2,83 Ga (Feio *et al.* 2013, Moreto *et al.* 2011), Granito Boa Sorte de 2,85-2,89 Ga (Rodrigues *et al.* 2014), Granito Cruzadão (2,84 Ga) e Bom Jesus de idade 2,83 Ga (Feio *et al.* 2013). Além desses ocorrem o Granito Canaã dos Carajás de idade 2,95 Ga (Feio *et al.* 2013).

De acordo com Vasquez *et al.* (2008) o Ortogranulito Chicrim-Cateté, situado a sul da Bacia Carajás, é representado por rochas máficas e félsicas com assinatura cálcico-alcalinas, cuja idade de cristalização é de 3,0 Ga e metamorfismo de 2,86 (Pidgeon *et al.* 2000). As intrusões da Suíte Cateté é representada pelo Complexo Serra da Onça, Complexo Luanga e Complexo acamadado Lago Grande de idades neoarqueana ~2,76 Ga (Lafon *et al.* 2000, Machado *et al.* 1991, Macambira & Vale 1997, Teixeira *et al.* 2015). O Diopídio-Norito Pium representa magmatismo máfico neoarqueano do Domínio Canaã dos Carajás com idade de 2,74 Ga (Santos *et al.* 2013).

O magmatismo neoarqueano deste domínio é caracterizado pela ocorrência de granitoides tipo-A subalcalino que foram colocados em zonas de cisalhamento. Representado pelo Complexo Estrela (2,76 Ga) (Barros *et al.* 2001, 2009), Granito Serra do Rabo de idade 2,74 Ga (Barros *et al.* 2009), Granito Igarapé Gelado com 2,73 Ga (Barros *et al.* 2009) e Suíte Planalto datado de 2,75-2,71 Ga (Feio *et al.* 2012). Além da Presença de Granitoides com piroxênio, tonalitos e granodioritos de idade 2,75 Ga (Feio *et al.* 2012, Gabriel *et al.* 2010, Santos *et al.* 2013). A Suíte Pedra Branca é compreendida por granitoides sódicos de assinatura toleítica e idade de 2,75 Ga (Feio *et al.* 2013). A Suíte Plaquê (2,73 Ga) é composta por muscovita-biotita leucogranitos com assinatura metaluminosa a peraluminosa (Araújo *et al.* 1988, Avelar *et al.* 1999).

1.3 JUSTIFICATIVA

Nos últimos anos, o Grupo de Pesquisa Petrologia de Granitoides da UFPA tem realizado trabalhos de mapeamento geológico em escala de semi-detalhe (~1:50.000) na região de Ourilândia do Norte. Tais estudos em combinação com petrografia, geoquímica e geocronologia permitiram um significativo avanço no conhecimento das associações

magmáticas e aspectos estruturais das rochas que ali afloram (Santos *et al.* 2013, Santos & Oliveira 2016, Silva *et al.* 2018, 2019, Silva & Oliveira 2019). Estes mostraram que a região é formada essencialmente por leucogranitos e sanukitoides de idade mesoarqueana (2,88 Ga; Silva *et al.* 2019). Adicionalmente, foi identificada a ocorrência de granitoides com piroxênio e gabros associados, intrusivos nas rochas mesoarqueanas Santos (2015).

Recentemente, Felix (2019) definiu a natureza e discutiu as principais implicações petrológicas e tectônicas destas rochas, com base em dados de campo, petrografia, geoquímica e química mineral. Apesar deste avanço, a assinatura magnética e os aspectos texturais dos minerais opacos presentes nestas rochas não eram conhecidos. Portanto, este Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) visa elucidar os seguintes problemas:

- Ausência de dados de susceptibilidade magnética (SM) e comparação dos mesmos com resultados de composição modal e geoquímica obtida para estas rochas;
- Inexistência de informações sobre a composição química e classificação dos óxidos de Fe-Ti (magnetita e ilmenita), o que permitirá discutir a evolução de formação destes minerais; e
- Falta de estudo integrando os dados de susceptibilidade magnética (SM), óxidos de Fe-Ti e química mineral em silicatos, para finalmente refletir sobre as condições de cristalização destas rochas, em especial a fugacidade de oxigênio.

1.4 OBJETIVO

O objetivo geral deste TCC visa estimar as condições de formação da associação gabronorito-charnoquito-granito da região de Ourilândia do Norte, com base em dados de SM, petrografia dos minerais óxido de Fe-Ti e química mineral (semi-quantitativa) dos minerais opacos, piroxênio, anfibólio, biotita e plagioclásio, o que permitirá estimar e discutir os principais parâmetros de cristalização (T , fO_2 e xH_2O) destas rochas. Para tanto, foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos:

- Reavaliar a mineralogia primária e secundária, assim como as principais feições deformacionais presentes nestas rochas;
- Determinar o comportamento magnético das destas rochas combinando a susceptibilidade magnética com a caracterização dos minerais óxido de Fe-Ti;
- Integrar e interpretar os dados de susceptibilidade magnética (SM), petrografia e química mineral das variedades estudadas para discutir as condições de cristalização

destas rochas, além de comparar estes dados com aqueles quantitativos gerados no trabalho de Felix (2019).

1.5 MATERIAIS E MÉTODOS

1.5.1 Pesquisa bibliográfica

Consistiu no levantamento contínuo de artigos, trabalhos de conclusão de curso, livros, atlas, dissertações e teses desenvolvidas na Província Carajás, com ênfase para a região de Ourilândia do Norte. Adicionalmente, foram pesquisados trabalhos associados a temática estudada nesta pesquisa, incluindo susceptibilidade magnética, minerais óxido de Fe e Ti e estudos mineralógicos, assim como suas aplicações para rochas plutônicas.

1.5.2 Petrografia

O estudo petrográfico partiu de uma análise mesoscópica de 19 amostras dos granitoides com piroxênio e rochas máficas associadas. As lâminas foram confeccionadas, em secção aproximadamente perpendiculares a trama das mesmas, quando possível, e foram produzidas no Laboratório de Laminação do Instituto de Geociências - IG da UFPA. O estudo sob o microscópio petrográfico permitiu o reconhecimento da mineralogia essencial, varietal e acessória presente nestas rochas, de acordo com os autores (Deer *et al.* 1992, Kerr 1959), além de diversas microestruturas magmáticas e deformacionais (Blenkinshop 2000, Vernon 2004). A classificação petrográfica foi realizada com base em dados de análise modal pontual, na qual contaram-se 2.000 pontos e levando em consideração as recomendações da *International Union of Geological Sciences* – IUGS (Le Maitre 2002, Streckeisen 1976).

1.5.3 Susceptibilidade Magnética

A análise de SM foi realizada no Laboratório de Petrologia Magnética do IG-UFPA por meio de um susceptíbilímetro portátil (SM-30) fabricado pela ZH *instruments*, cujas medidas podem ser feitas até a ordem de 10^{-7} de SI. Foram selecionadas 15 amostras representativas das rochas estudadas para a realização das medidas de SM. Cinco medidas em superfície plana foram obtidas em cada amostra e foi considerado a média aritmética destas medidas. O tratamento estatístico dos dados foi realizado com o auxílio do Excel® 2016, Minitab 18 e CorelDraw® versão X9, o que permitiu gerar e tratar os diagramas de probabilidade e o histograma de frequência das variedades estudadas.

1.5.4 Estudo Mineralógico

O estudo mineralógico das rochas desta associação foi realizado por meio de análises pontuais semi-quantitativas no Laboratório de Microanálises do Instituto de Geociências da UFPA, a partir de um espectrômetro de energia dispersiva (*Energy Dispersive Spectroscopy* – EDS) acoplado a um microscópio eletrônico de varredura (modelo LEO-1430). Para obtenção das imagens de elétrons retroespalhados foram usados: corrente do feixe de elétrons = 90 μA , voltagem de aceleração constante = 20 kV, distância de trabalho = 15 mm e tempo de contagem para aquisição dos elementos = 30 s. As análises foram realizadas em minerais óxido de Fe-Ti e silicatos (piroxênio, anfibólio, biotita e plagioclásio). Os dados químicos permitiram classificar os minerais analisados, assim como auxiliar no estudo de fugacidade e oxigênio e análise da temperatura atuantes durante a cristalização destas rochas.

2 ASSOCIAÇÃO GABRONORITO-CHARNOQUITO-GRANITO DE OURILÂNDIA

2.1 ASPECTOS GERAIS

A associação gabronorito-charnoquito-granito da região de Ourilândia do Norte corta os leucogranitos e sanukitoides mesoarqueanos (2,88 Ga; Silva *et al.* 2019) e foi subdividida em quatro grupos petrográficos (Felix 2019) (Fig. 3): (i) gabronorito (ii) ortopiroxênio granodiorito; (iii) clinopiroxênio monzogranito; (iv) anfibólio monzogranito. Os plútons que compõem estas rochas são alongados na direção NE-SW e E-W, onde o principal apresenta ~12 Km de extensão e 2-3 Km de largura (Fig. 4). Este é formado por clinopiroxênio monzogranito e ortopiroxênio granodiorito, enquanto a variedade anfibólio monzogranito forma três *stocks* lenticulares, com comprimento de ~3 Km e o gabronorito ocorre espacialmente associado ao ortopiroxênio granodiorito no plúton principal (Fig. 4). Os principais aspectos texturais de cada variedade são representados na Fig. 3. De modo geral, estas rochas mostram coloração cinza escura e texturas magmática bem preservada. No entanto, podem apresentar trama planar definida pela orientação preferencial de feldspatos e minerais máficos, com direção NE-SW ou E-W e caimento subvertical (70-80°).

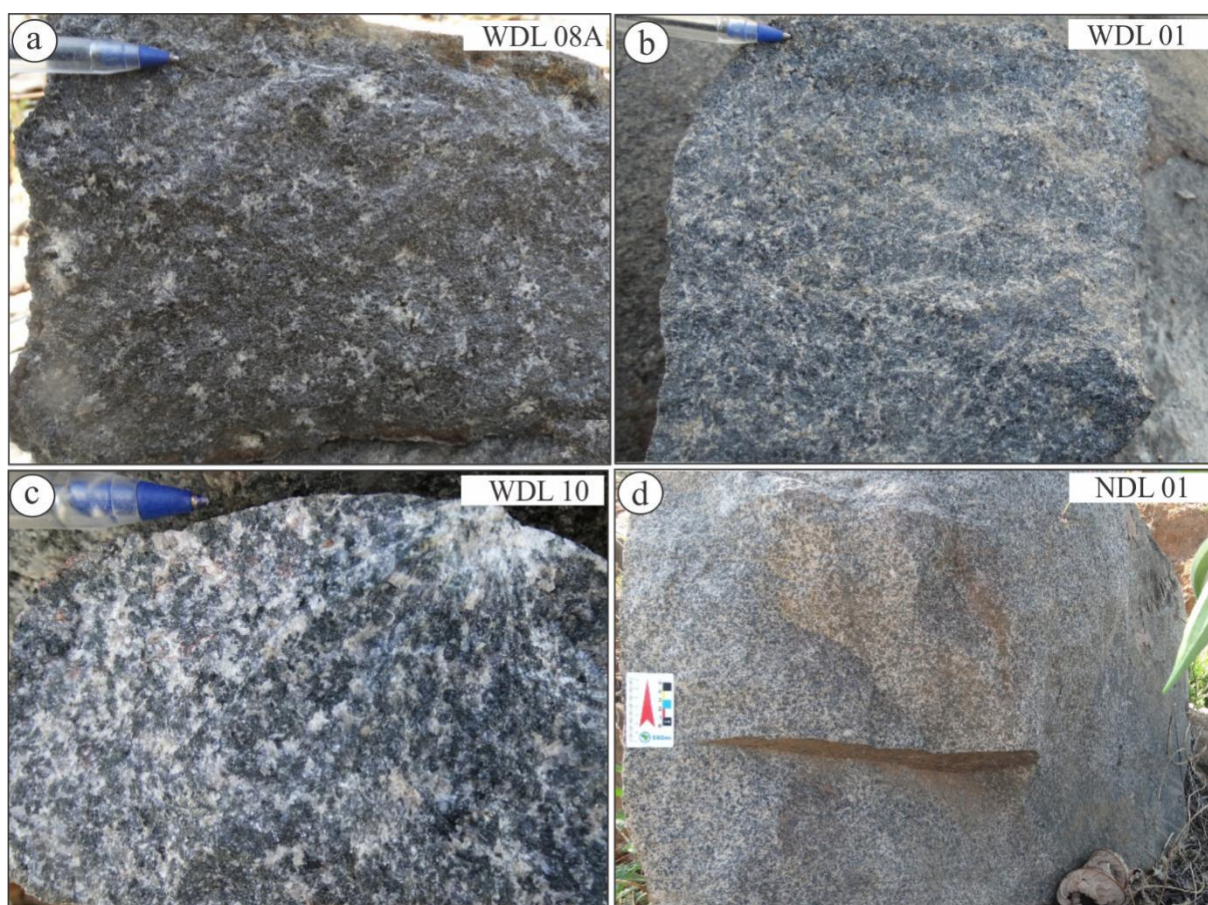


Figura 3 - Aspectos texturais da associação gabronorito charnoquito-granito da região de Ourilândia do Norte. (a) gabronorito; (b) ortopiroxênio granodiorito; (c) clinopiroxênio monzogranito; e (d) hornblenda monzogranito.

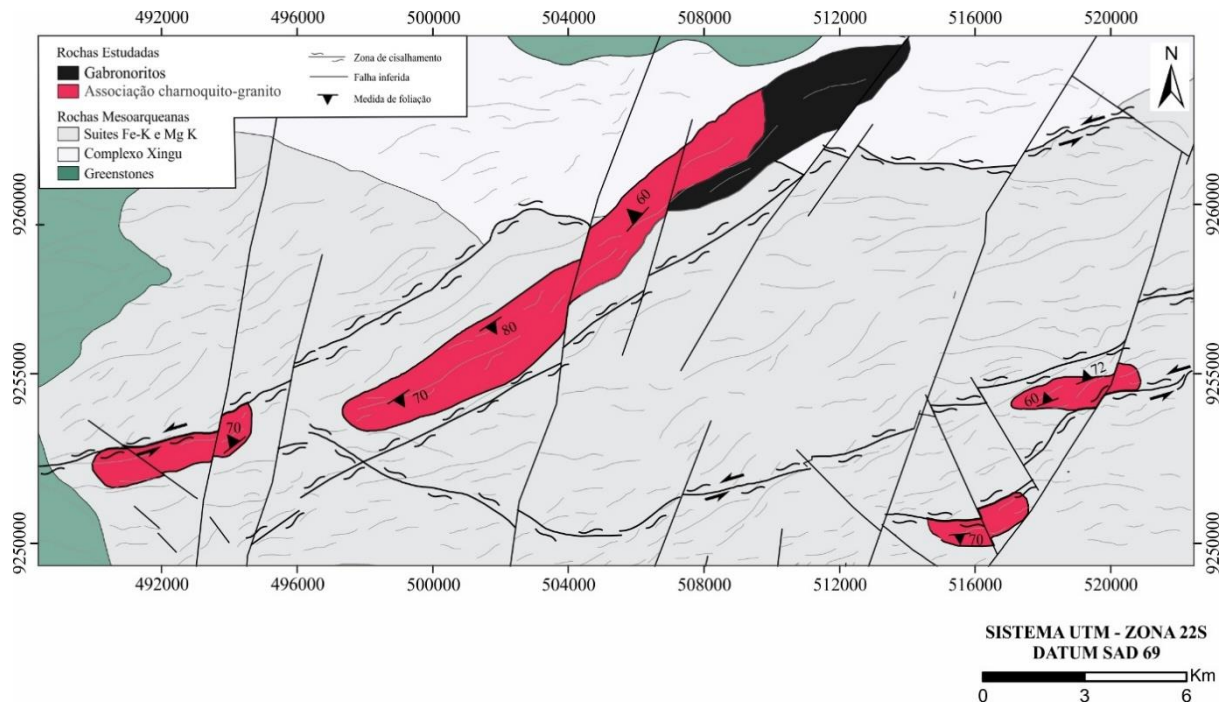


Figura 4 - Mapa geológico da área de Ourilândia do Norte mostrando as rochas estudadas (em preto e vermelho) Felix (2019).

2.2 PETROGRAFIA

2.2.1 Composição modal e classificação

O estudo petrográfico meso- e microscópico combinado com análise modal quantitativa (pontual) permitiu diferenciar quatro variedades petrográficas: (i) gabronorito; (ii) ortopiroxênio granodiorito; (iii) clinopiroxênio monzogranito; e (iv) hornblenda monzogranito. A classificação dessas rochas foi realizada a partir da plotagem de suas composições modais nos diagramas Q-A-P e Q-(A+P)-M (Fig. 5), de modo que as análises do gabronorito foram plotadas em diagramas específicos, de acordo com a *International Union of Geological Sciences* – IUGS (Le Maitre 2002, Streckeisen 1976). Em estudo recente, desenvolvido nas mesmas amostras, Felix (2019) adotaram a terminologia associação charnoquito-granito para os granitoides estudados e indicaram que o gabronorito corresponde ao membro máfico da associação.

Os dados de análise modal das dezenove amostras representativas das diferentes variedades petrográficas são apresentados na Tab. 1 e os materiais e procedimentos analíticos utilizados na obtenção dos mesmos são descritos na seção 1.5.2. De modo geral, estas rochas são leucocráticas ($20 < M' < 33$) e os principais minerais máficos são piroxênio, anfibólio e biotita. Os minerais acessórios primários são allanita, epidoto, zircão, apatita, magnetita e ilmenita. A titanita ocorre nos monzogranitos e a olivina é exclusiva do gabronorito (Tab 1).

Tabela 1 - Composição modal da associação gabronorito-charnoquito-granito de Ourilândia do Norte

Associação Gabronorito-Charnoquito-Granito de Orilândia do Norte																				
VARIEDADES		Gabronorito				Opx Granodiorito				Cpx Monzogranito						Hbl Monzogranito				
AMOSTRA	WDL	WDL	WDL	WDL	WDL	WDL	WDL	WDL	WDL	NDP	NDP	NDP	NDP	NDP	WDL	NDP	NDP	NDP	NDP	NLD
MINERAL (%)	6	7	08A	08B	01A	01B	9	2	59A	59B	77A	72	77B	10	123	27	83	119	1	
Quartzo	2,10	4,65	11,15	9,10	17,20	15,75	19,70	20,90	28,85	29,20	25,70	30,10	23,85	20,90	30,00	30,60	33,80	28,20	28,45	
Alcali-feldspato	-	2,30	1,50	6,40	6,10	10,45	5,80	12,30	16,65	17,50	19,90	10,80	19,45	22,45	14,60	20,30	18,10	14,90	27,25	
Plagioclásio	66,55	65,05	54,50	55,95	47,95	51,70	48,80	46,40	32,55	28,20	29,00	30,90	28,75	31,35	25,60	20,80	21,00	25,10	22,35	
Biotita	1,00	0,95	1,25	1,15	1,25	1,85	1,55	1,45	1,20	2,60	2,90	4,00	2,55	3,30	1,00	6,40	2,40	3,41	1,05	
Anfibólio	7,55	4,05	6,90	2,30	6,45	9,45	10,15	9,50	4,65	3,20	2,60	3,30	7,55	3,30	26,50	20,70	16,20	26,90	18,95	
Ortopiroxênio	3,95	10,85	7,40	5,75	9,15	3,90	3,40	3,40	-	-	-	-	-	0,65	-	-	-	-	-	
Clinopiroxênio	12,90	11,00	16,55	17,20	10,35	5,35	9,20	4,80	14,65	18,30	19,00	20,70	16,10	16,70	0,50	1,20	6,10	-	-	
Olivina	5,75	0,50	Tr	1,35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Titanita	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,10	Tr	0,50	0,80	1,20	
Alanita	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Tr	-	-	-	0,10	0,10	-	-	-	-	
Minerais opacos	0,20	0,65	0,75	0,80	1,45	1,40	1,45	1,15	1,45	1,00	0,90	0,20	1,75	1,00	-	-	0,30	-	0,30	
Epidoto	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,20	0,60	-	1,60	0,60	0,35	
Apatita	Tr	Tr	Tr	-	Tr	0,15	Tr	0,10	-	-	-	Tr	-	0,10	Tr	-	-	-	0,10	
Maficos	31,35	28,00	32,85	28,55	28,65	21,95	25,75	20,30	21,95	25,10	25,40	28,20	27,95	25,05	28,00	28,30	25,00	30,31	20,30	
Pl/A	-	28,28	36,33	8,74	7,86	4,95	8,41	3,77	1,95	1,60	1,50	2,90	1,48	1,40	1,80	1,00	1,20	1,70	0,82	
Anf+Biotita	8,55	5,00	8,15	3,45	7,70	11,30	11,70	10,95	5,85	5,80	5,50	7,30	10,10	6,60	27,50	27,10	18,60	30,30	20,00	
Px/Anf	1,71	2,72	2,40	7,48	1,60	0,57	0,91	0,51	3,15	5,72	7,31	6,27	2,13	5,06	0,02	0,06	0,38	-	-	
Rec 100%																				
Quartzo	3,34	6,46	16,60	12,74	24,14	20,22	26,51	26,26	36,96	39,00	34,40	42,00	33,10	27,98	42,80	42,60	53,20	41,40	36,45	
Alcali-feldspato	0,00	3,18	2,23	8,96	8,55	13,41	7,81	15,45	21,33	23,40	26,70	15,00	27,00	30,06	20,80	28,40	21,40	21,90	34,91	
Plagioclásio	96,66	90,36	81,16	78,31	67,31	66,37	65,68	58,29	41,70	37,60	38,90	43,00	39,90	41,96	36,40	29,00	25,40	36,70	28,64	

Abrev: opx (ortopiroxênio); cpx (clinopiroxênio); hbl (homblenda).

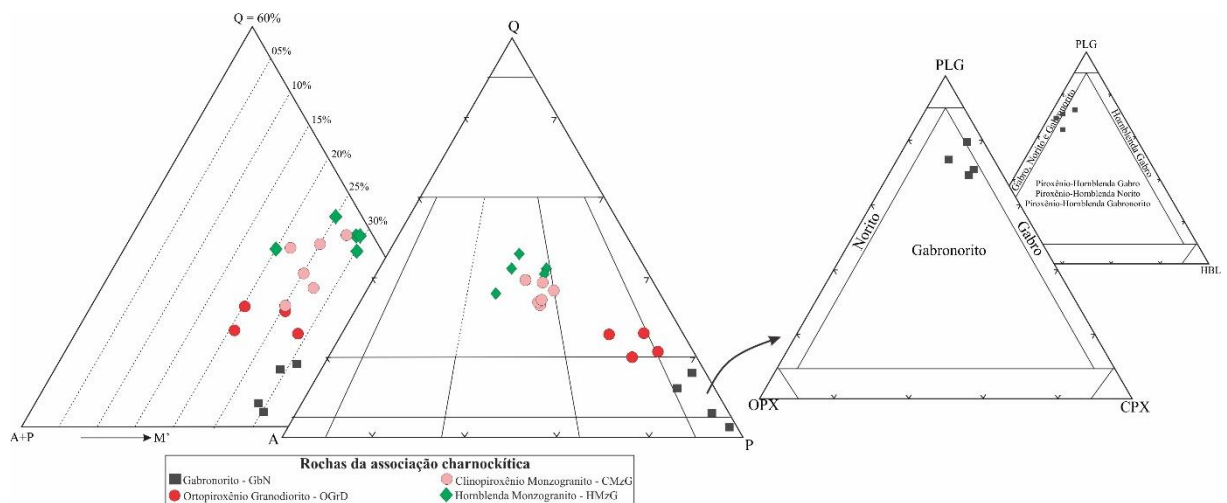


Figura 5 - Diagrama Q-A-P e Q-(A+P)-M' mostrando a classificação da associação gabronorito charnoquito-granito de Ourilândia do Norte, de acordo com as recomendações da IUGS (Streckeisen 1976; Le Maitre 2002). Diagramas PLG-PX-HBL e PLG-OPX-CPX para classificação de rochas gabroicas onde são plotadas as rochas máficas associadas aos charnoquitos, classificadas como gabronorito.

2.2.2 Aspectos texturais e deformacionais

O estudo microscópico permitiu identificar a mineralogia e as principais feições microestruturais da associação gabronorito-charnoquito-granito de Ourilândia do Norte. De modo geral, o gabronorito é caracterizado por textura subofítica, definida por ripas de feldspatos, com minerais ferromagnesianos intersticiais (Fig. 6). As variedades ortopiroxênio granodiorito e o clinopiroxênio monzogranito apresentam textura geral equigranular

hipidiomórfica (Fig. 7 e 8), enquanto o hornblenda monzogranito exibe textura inequigranular hipidiomórfica (Fig. 9). Apesar do aspecto ígneo bem preservado, ocorrem feições de deformação, como a presença de extinção ondulante, geminação de deformação e microestruturas de recristalização em cristais de quartzo, feldspatos e biotita, assim como a ocorrência de microfraturas inter- e intragranulares. Estas rochas apresentam algumas similaridades petrográficas, o que possibilitou sintetizar suas principais microestruturas.

Plagioclásio – apresenta forma predominantemente idiomórfica, com contatos retos ou irregulares com microclínio, piroxênio e biotita nos granitoides, além de olivina no gabronorito. Podem mostrar maclamento do tipo albita, periclina e *carlsbad*. Ocorre geminação de deformação, microfraturas intragranulares, que podem estar preenchidas por minerais residuais da matriz, zoneamento do tipo normal, além de microestruturas de alteração para sericita (Fig. 9a). Na variedade hornblenda monzogranito ocorrem como fenocristais sericitizados e também está presente na matriz.

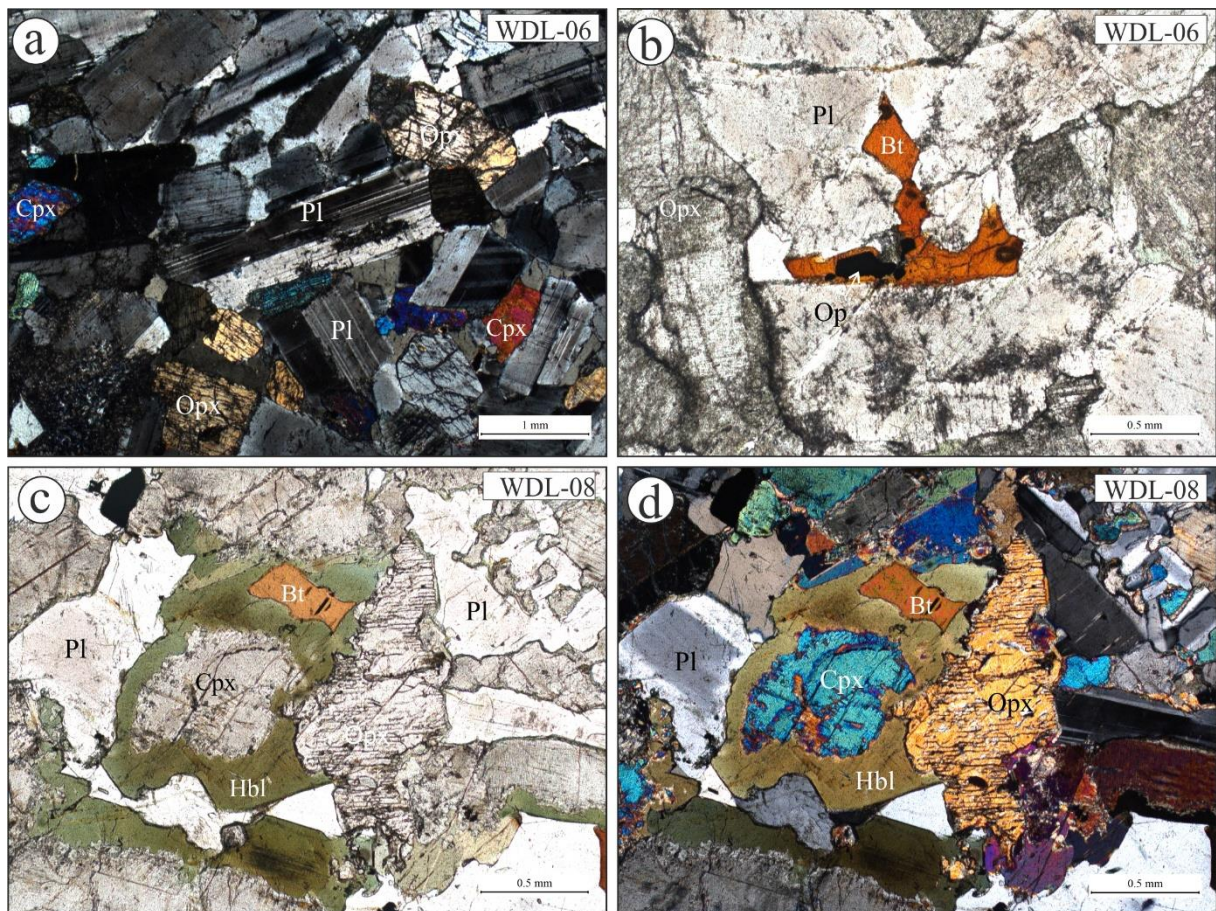


Figura 6 - Aspectos mineralógicos e microestruturais da variedade gabronorito: (a) textura geral subofítica definida por ripas de plagioclásio em arranjos triangulares e fases ferromagnesianas intersticiais; (b) textura geral em luz natural mostrando inclusões de opacos em biotitas; (c) em luz natural e (d) em luz polarizada textura em corona formada por núcleo de clinopiroxênio e coroa de hornblenda.

Microclina – é predominantemente hipidiomórfica, com contatos retos a irregulares com quartzo, plagioclásio, piroxênios e biotita. Apresenta intercrescimento granofírico, pertítico, maclamento do tipo xadrez, inclusões de hornblenda e minerais opacos. Além disso, ocorre parcialmente alterada para sericita e mostra microfraturas intragranulares. No gabronorito ocorre na forma intersticial.

Quartzo – é encontrado em quatro tipos microestruturais: (i) tipo Qtz₁ – é primário, hipidiomórfico e geralmente ocorre em microestruturas núcleo-manto; (ii) tipo Qtz₂ - é representado por agregados de cristais de quartzo recrystalizados (manto); (iii) tipo Qtz₃ – ocorre como cristais xenomórficos em associação com feldspato alcalino, formando textura granofírica; e (iv) tipo Qtz₄ que consiste em inclusões finas em anfibólio, associadas a sua desestabilização.

Piroxênio – as rochas estudadas, com exceção da variedade hornblenda monzogranito, que só possui clinopiroxênio, contém os dois tipos de piroxênio (clino- e ortopiroxênio) que coexistem, mostrando texturas de exsolução. Os cristais de ortopiroxênio são comumente

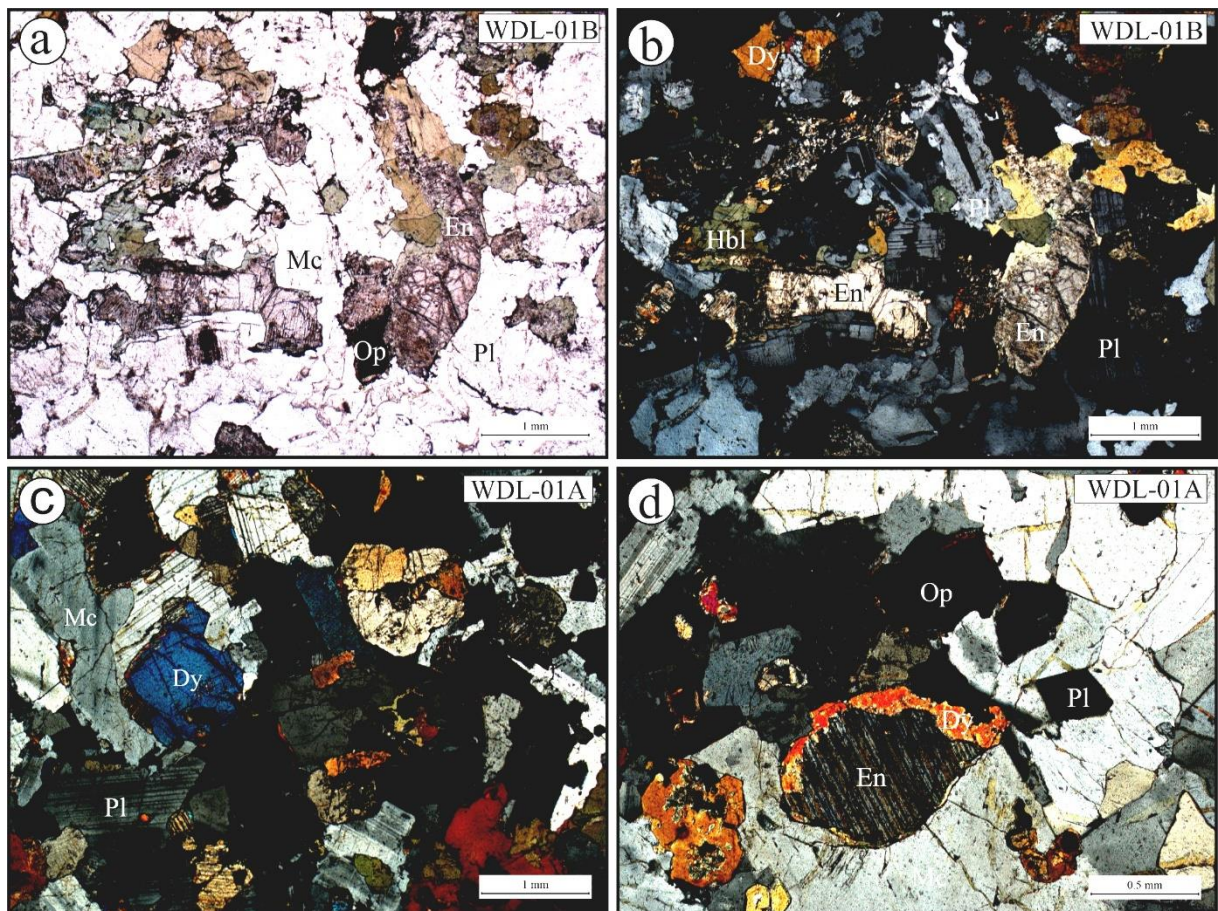


Figura 7 - Aspectos mineralógicos e microestruturais do ortopiroxênio granodiorito: (a), (b) e (c) textura geral equigranular hipidiomórfica definida por cristais de plagioclásio, microclínio e minerais ferromagnesianos; e (d) detalhe da textura corona definida pela transformação de ortopiroxênio para clinopiroxênio.

hipidiomórficos, podem hospedar lamelas de clinopiroxênio, que por sua vez, apresentam finas lamelas de ortopiroxênio. Adicionalmente, mostram textura em corona indicadas por núcleos de ortopiroxênio envoltos por clinopiroxênio (Fig. 6d e 9d), e este último por borda ou lamela de hornblenda (uralita). Além disso, ocorrem microfraturas e inclusões de epidoto, apatita e minerais opacos.

Hornblenda – ocorre como cristais hipidiomórficos, levemente pleocróicos, com coloração variando de verde pálido a marrom, mostram contatos retos com plagioclásio, microclínio e piroxênio, apresentam maclamento simples e estão comumente associados a agregados de minerais ferromagnesianos. Alguns cristais apresentam microestruturas indicando transformação para biotita (biotitização). Apresentam inclusões de minerais opacos, quando estão associados a alteração de clinopiroxênio (uralitização).

Biotita – ocorre como cristais predominantemente hipidiomórficos, mostram contatos retos com plagioclásio, piroxênios, hornblenda e olivina. Podem apresentar textura em corona com núcleos de minerais opacos (Fig. 8c) e microfraturas intragranular. Frequentemente ocorre

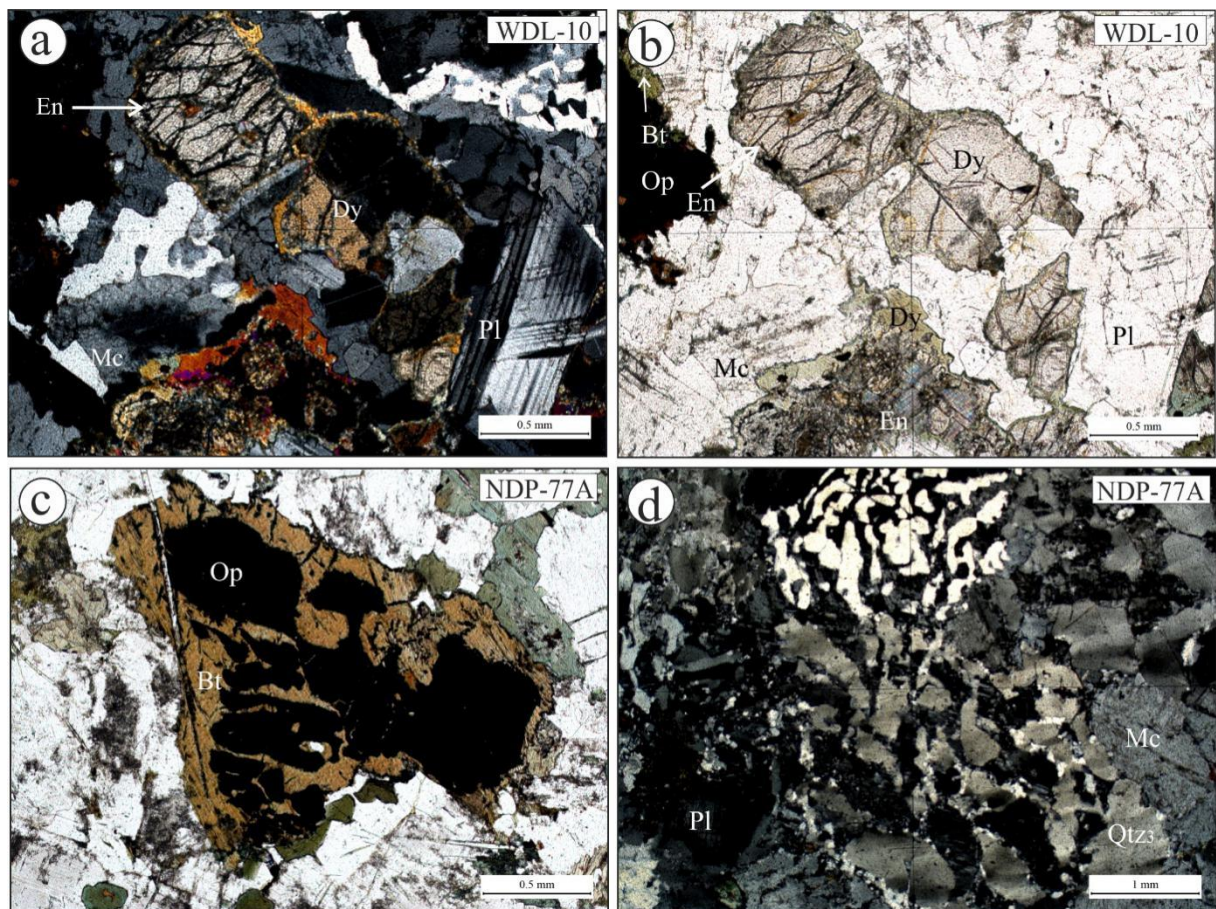


Figura 8 - Aspectos mineralógicos e microestruturais do clinopiroxênio monzogranito (a) e (b) textura geral equigranular hipidiomórfica definida por plagioclásio, microclínio e minerais ferromagnesianos. Note cristal de enstatita com borda parcialmente transformada para diopsídio; (c) textura em corona definida por núcleo de mineral opaco e coroa de biotita; e (d) textura granofítica, comum nestas rochas.

envolvida em microestrutura de transformação a partir do anfibólio (biotitização), definidas por bordas de reação. Adicionalmente, a biotita pode ser encontrada alterada para clorita (cloritização).

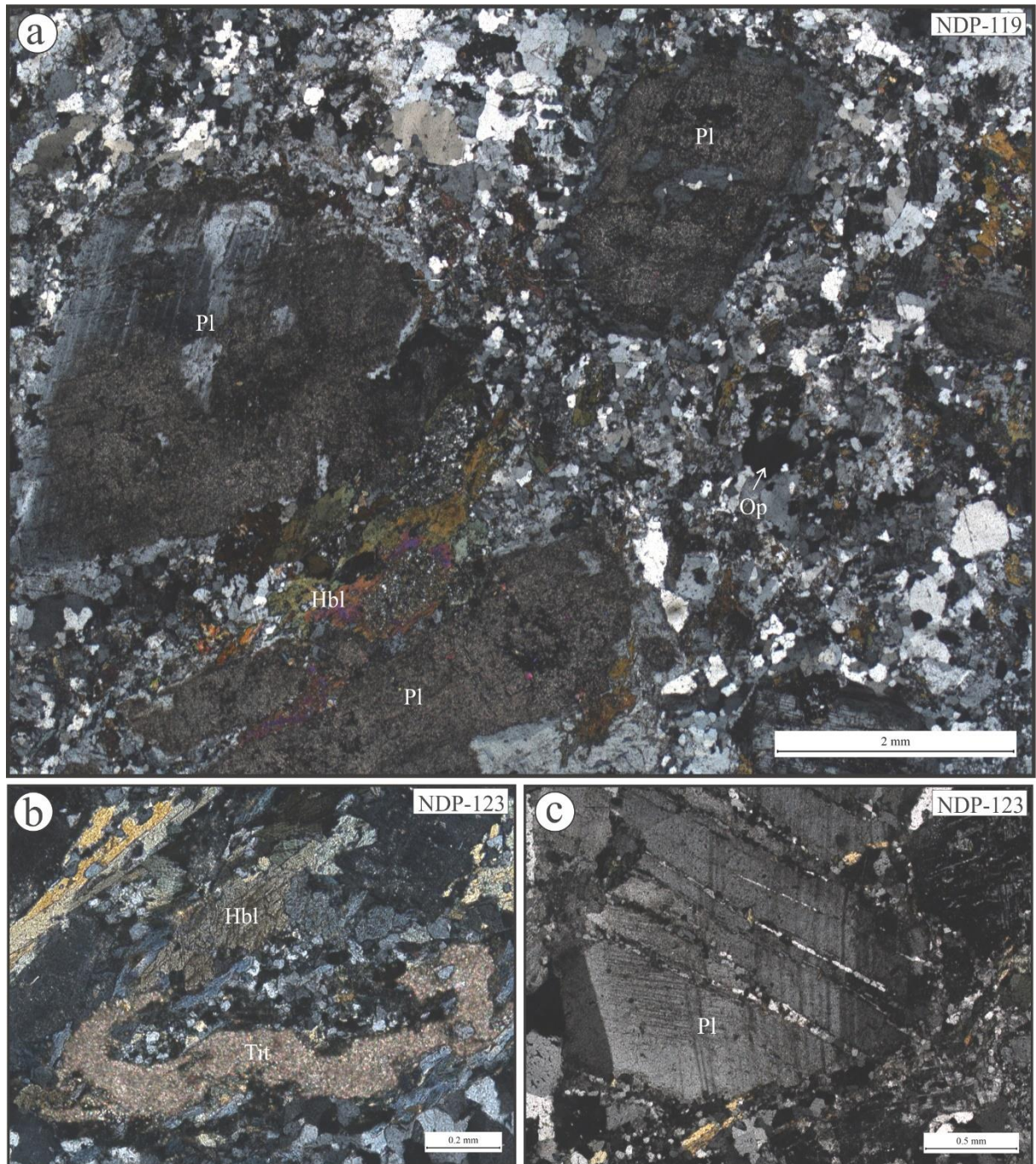


Figura 9 - Aspectos mineralógicos e microestruturais do hornblenda monzogranito: (a) textura geral inequigranular hipidiomórfica mostrando fenocristais de plagioclásio sericitizado e contornado por matriz recristalizada de composição quartzo-feldspática; (b) titanita xenomórfica associada a hornblenda; (c) evidência de microfraturas submagmáticas em fenocristal de plagioclásio preenchidas com material quartzo-feldspático da matriz, onde pode ser observado uma clara continuidade petrográfica.

Olivina – ocorre exclusivamente no gabronorito como cristais hipidiomórficos, com contatos retos com o plagioclásio, microclina e piroxênios. Comumente mostram textura em

corona, indicadas por núcleos de olivina envoltos por clinopiroxênio e, ocasionalmente hornblenda.

Minerais acessórios – o epidoto ocorre como cristais idiomórficos, zonados, comumente associados com biotita e hornblenda, além disso pode apresentar inclusões de allanita. Apatita e zircão ocorrem como cristais idiomórficos, como inclusões nos demais minerais. Os minerais opacos são predominantemente magnetita, Ilmenita e goethita, e geralmente ocorrem associados a agregados minerais máficos. Titanita ocorre exclusivamente na variedade hornblenda monzogranito como cristais individuais ou como coroas em torno da ilmenita. Na seção 3.2 foi preparada uma síntese das principais características dos minerais óxido de Fe-Ti e na seção 3.3 foi apresentada a sequência de formação destas fases.

2.3 COMPOSIÇÃO E CLASSIFICAÇÃO QUÍMICA DOS SILICATOS

Dados de química mineral semiquantitativos foram empregados para classificação dos principais silicatos (piroxênio, anfibólio, biotita e plagioclásio) presentes na associação gabronorito-charnoquito-granito de Ourilândia do Norte. Os dados são apresentados nas tabelas do apêndice A, B, C e D. Os procedimentos analíticos foram descritos na seção 1.5.4 e a seguir serão apresentados os resultados e a classificação dos silicatos analisados (Fig 10).

2.3.1 Piroxênio

O estudo de piroxênios foi realizado em 107 análises pontuais de sete amostras (NDP-83, 77A; WDL-01A, 01B, 06, 07, 08A) representativas de cada variedade e sua classificação foi baseada no esquema de Morimoto (1988). De acordo com esta classificação (Fig. 10a), os piroxênios (Opx+Cpx) presentes no granodiorito e gabronorito plotam nos campos enriquecidos em MgO, de modo que, as análises de ortopiroxênio são principalmente enstatita e as de clinopiroxênio variam de pigeonita a augita-ferroaugita. Por outro lado, nas variedades graníticas (clinopiroxênio monzogranito e hornblenda monzogranito), as análises se concentraram no campo augita-ferroaugita, com notável enriquecimento de FeO para o clinopiroxênio monzogranito (Apêndice A).

2.3.2 Anfibólio

As análises de anfibólio foram realizadas em 19 pontos de sete amostras (NDL-01; NDP,119, 27, 83 e 77A; e WDL-01A, 10) representativas de cada variedade, de modo que para sua classificação foi utilizado o esquema proposto pela *International Mineralogical Association* (IMA; Leake *et al.* 1997), e o cálculo de fórmula estrutural com base em 13CNK. A classificação dos anfibólios foi realizada seguindo as recomendações de Leake *et al.* (1997), atendendo a regra

$(Ca + Na)B \geq 1,00$ e $NaB < 0,50$. Estes autores subdividem os anfibólios cálcicos com base em duas regras: (1) $CaB \geq 1,50$; $(Na + K)A \geq 0,50$ e (2) $CaB \geq 1,50$; $(Na + K)A \leq 0,50$, de modo que todas as amostras analisadas estão inseridas nesta última, o que permite enquadrá-las no diagrama de hornblendas “comuns” pertencente a série Mg-hornblenda – Fe-hornblenda (Fig. 10b). Dessa forma as composições mineralógicas foram plotadas em um diagrama que relaciona $Mg/(Mg+Fe^{2+})$ e Si, mostrando que a grande maioria das amostras plotaram no campo da magnesiohornblenda e duas amostras plotam próximas ao limite do campo magnesiohornblenda – ferrohornblenda. Estas análises de anfibólio apresentam razão $Fe/(Mg+Fe^{2+})$ variando de 0,5 a 0,62 e conteúdo de Si variando entre 6,83 a 7,17 (Apêndice B).

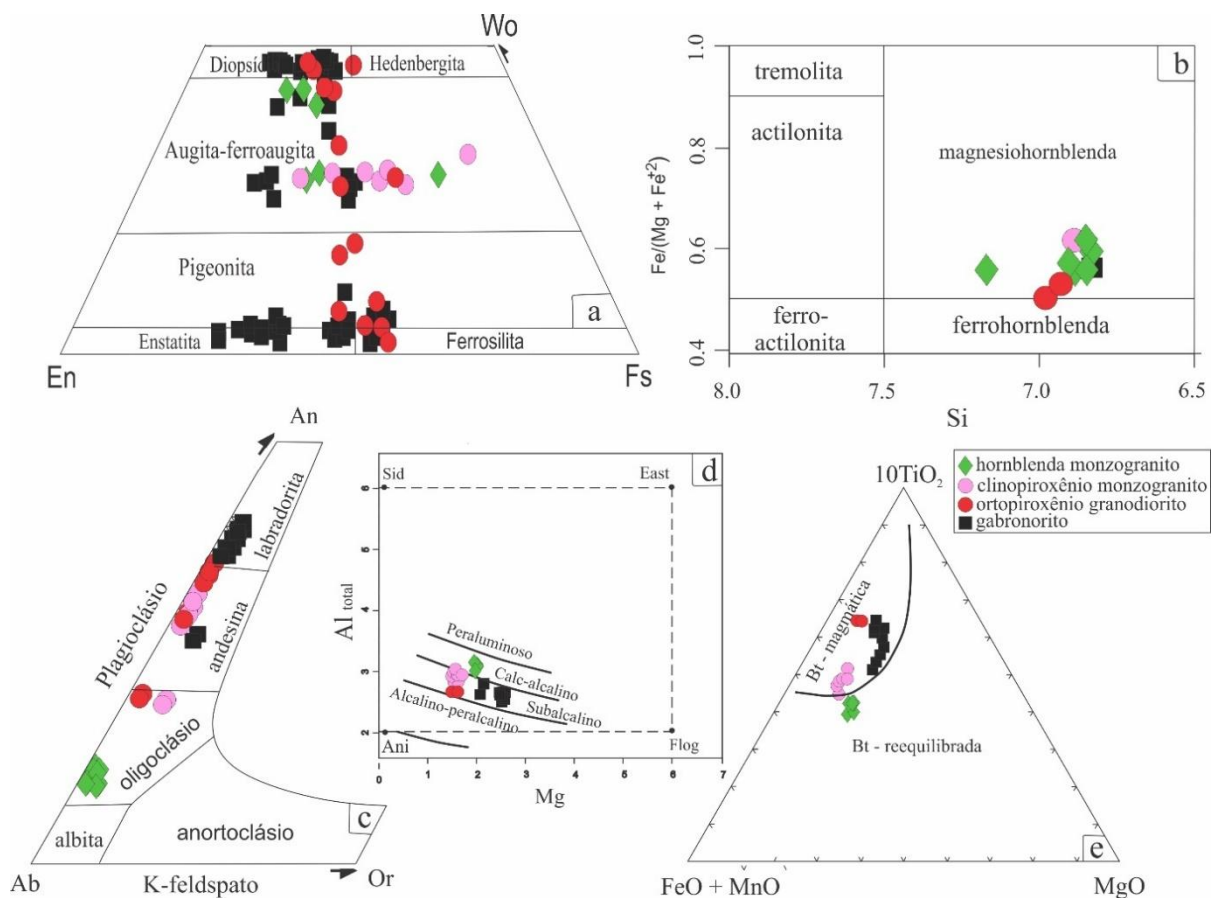


Figura 10 – Classificação dos silicatos da associação gabronorito-charnoquito-granito de Ourilândia do Norte. (a) diagrama triangular de classificação de piroxênios, com membros finais representados por enstatita, ferrossilite e wollastonita (Morimoto 1988); (b) diagrama de classificação de anfibólios (Leake *et al.* 1997); (c) diagrama triangular para classificação de plagioclásio (albita-anortita-ortoclásio); e (d) diagrama para classificação de biotita (Nachit *et al.* 1985); e (e) diagrama triangular para classificação de biotitas primárias e reequilibradas (Nachit *et al.* 2005).

2.3.3 Biotita

O estudo de biotitas foi realizado em 24 análises de amostras (NDP-83, 77A; WDL-01A, 07, 08A, 10) representativas das variedades estudadas (Apêndice C). No diagrama que relaciona Al total x Mg (Fig. 10d; Nachit *et al.* 1985), as análises de biotita do gabronorito, ortopiroxênio granodiorito

e clinopiroxênio monzogranito plotam no campo das biotitas subalcalinas, enquanto as análises de biotita da variedade hornblenda monzogranito incidem no campo das biotitas cálcico-alcalinas. Por outro lado, no diagrama ternário $(\text{FeO}_t + \text{MnO}) - (10 * \text{TiO}_2) - \text{MgO}$, com campos de Nachit (1994), as análises incidiram no campo das biotitas magmáticas primárias para as rochas das variedades gabronorito, ortopiroxênio granodiorito e clinopiroxênio monzogranito, enquanto as biotitas da variedade hornblenda monzogranito plotaram no campo das biotitas reequilibradas (Fig. 10e).

2.3.4 Plagioclásio

As análises químicas em plagioclásios realizadas em 24 pontos de seis amostras (NDL-01; NDP-77A; WDL-01A, 06, 07 e 08A) representativas das diferentes variedades estudadas mostram variações expressivas no conteúdo de An, o qual varia de An_{14-84} na variedade hornblenda monzogranito a An_{60-19} no gabronorito. O plagioclásio presente na variedade da população B é essencialmente oligoclásio, enquanto os plagioclásios que representam as demais variedades plotam no campo da labradorita e andesina (Fig. 10c), assim nota-se que um enriquecimento no membro Ab ocorre em direção a fácies hornblenda monzogranito a medida que o Ca^{2+} é substituído pelo Na^+ (Anexo D).

3 PETROLOGIA MAGNÉTICA

3.1 SUCEPTIBILIDADE MAGNÉTICA

Os dados de susceptibilidade magnética (SM) obtidos na associação gabronorito-charnoquito-granito da região de Ourilândia do Norte apresentam variação de $2,31 \times 10^{-4}$ a $2,21 \times 10^{-2}$ Slv (Tab. 2). Os valores foram plotados no histograma e polígono de frequência (Fig. 11) e mostraram caráter bimodal com as maiores concentrações em $-2,0$ e $-3,5$ log (k) e o diagrama de probabilidade (Fig. 11a) permitiu distinguir duas populações magnéticas, A e B.

3.1.1 Relação entre SM e as variedades petrográficas

A participação, em cada população magnética, das variedades litológicas que compõe a associação gabronorito-charnoquito-granito de Ourilândia do Norte é apresentada na Tab. 2 e na Fig. 11a. A população “A” é composta pelas análises da fácies ortopiroxênio granodiorito, clinopiroxênio monzogranito e gabronorito caracterizadas por maiores valores de SM, os quais variam de $3,16 \times 10^{-3}$ a $2,21 \times 10^{-2}$ (Slv) e $-2,49$ a $-1,65$ log K, enquanto a população “B” representada pela fácies hornblenda monzogranito mostra os menores valores de SM, variando de $2,31 \times 10^{-4}$ a $3,09 \times 10^{-4}$ (Slv) e log (k) $-3,63$ a $-3,50$ (Tab. 2).

Tabela 2 - Dados de susceptibilidade magnética (SM) da associação gabronorito-charnoquito-granito de Ourilândia do Norte.

Associação Gabronorito-Charnoquito-Granito de Ourilândia do Norte					
Pop	Nº	Amostra	K (Slv)	Log K	Variedades
"A"	1	NDP-123	$2,31 \times 10^{-4}$	-3,6368	Hbl Monzogranito
	2	NDP-119	$2,75 \times 10^{-4}$	-3,5604	Hbl Monzogranito
	3	NDL-01	$2,96 \times 10^{-4}$	-3,5291	Hbl Monzogranito
	4	NDP-27	$3,09 \times 10^{-4}$	-3,5095	Hbl Monzogranito
"B"	5	WDL-10	$3,16 \times 10^{-3}$	-2,4998	Cpx Monzogranito
	6	WDL-06	$4,33 \times 10^{-3}$	-2,3629	Gabronorito
	7	NDP-77A	$5,53 \times 10^{-3}$	-2,2568	Cpx Monzogranito
	8	WDL-08B	$8,21 \times 10^{-3}$	-2,0852	Gabronorito
	9	WDL-08A	$9,32 \times 10^{-3}$	-2,0304	Gabronorito
	10	WDL-07	$9,46 \times 10^{-3}$	-2,0239	Gabronorito
	11	NDP-59A	$1,28 \times 10^{-2}$	-1,8925	Cpx Monzogranito
	12	WDL-09	$1,30 \times 10^{-2}$	-1,8854	Opx Granodiorito
	13	WDL-01B	$1,52 \times 10^{-2}$	-1,8164	Opx Granodiorito
	14	WDL-01A	$1,84 \times 10^{-2}$	-1,7338	Opx Granodiorito
	15	WDL-02	$2,21 \times 10^{-2}$	-1,6548	Opx Granodiorito

Abreviações: Pop = população; K (Slv) = valor médio de SM em volume de cada amostra no Sistema Internacional.

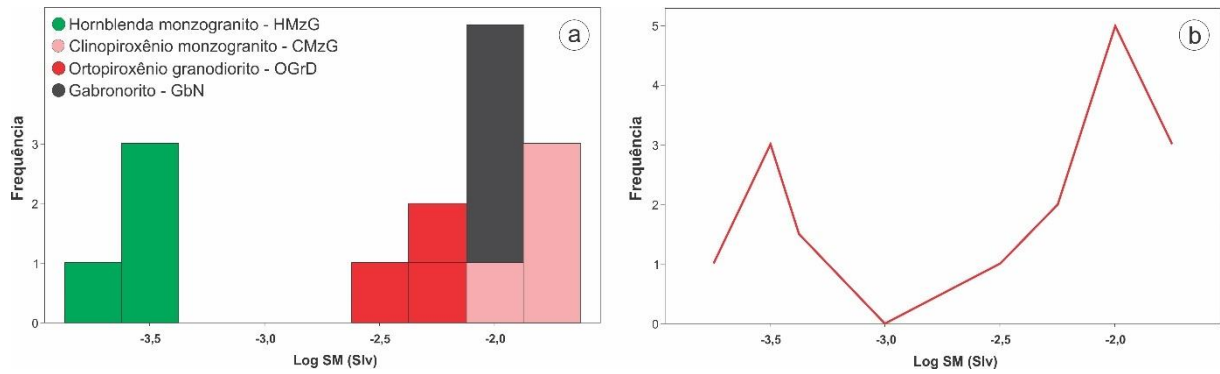


Figura 11 - Histograma e polígono de frequência mostrando comportamento bimodal para os valores de suscetibilidade magnética (SM) da associação gabronorito-charnoquito-granito de Ourilândia do Norte.

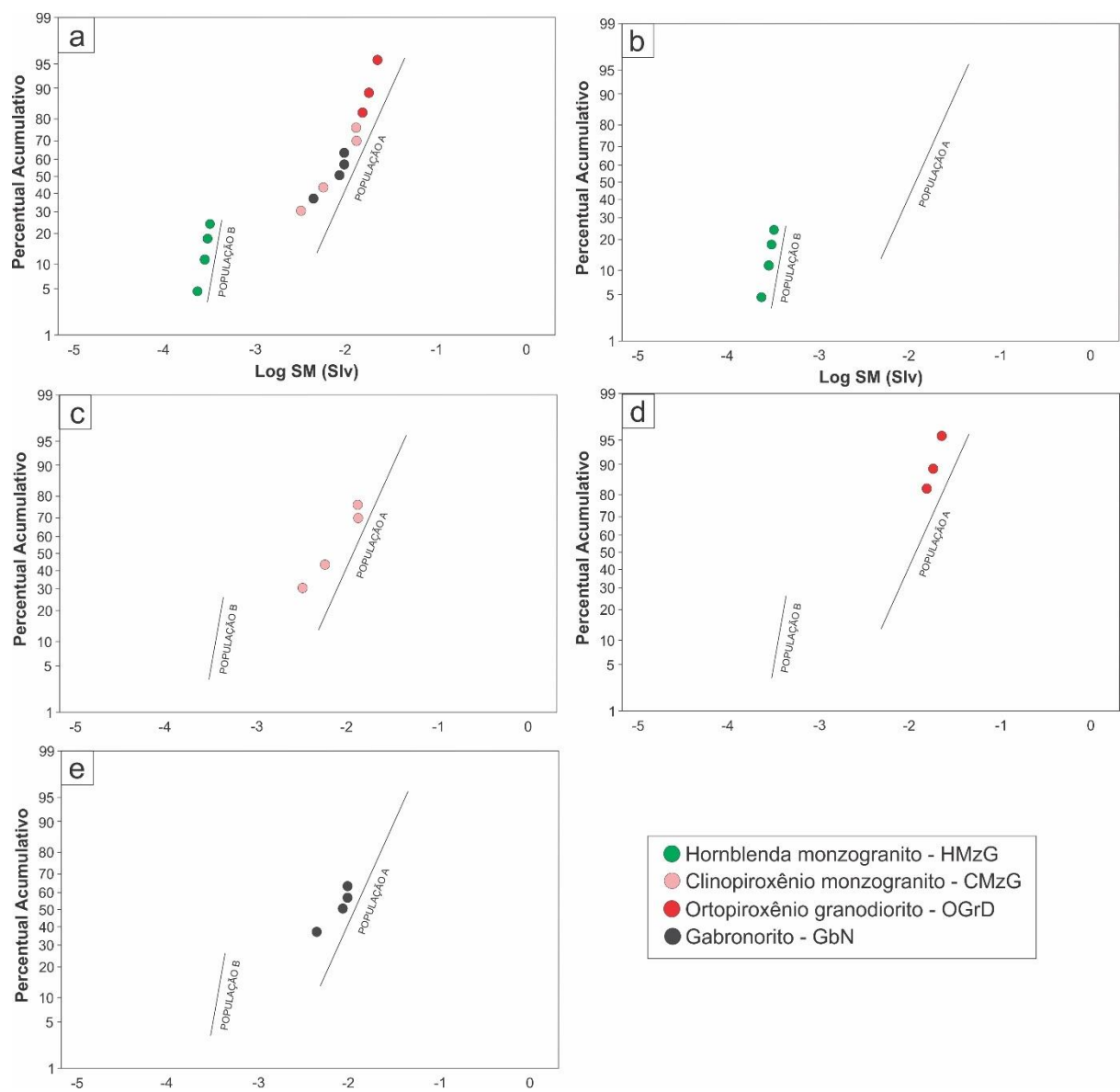


Figura 12 - diagrama de probabilidade mostrando os valores de suscetibilidade magnética (SM) da associação gabronorito-charnoquito-granito de Ourilândia do Norte: (a) gráfico mostrando de probabilidade mostrando o comportamento magnético das variedades e suas respectivas populações magnéticas; (b) gráfico de probabilidade para hornblenda monzogranito; (c) gráfico de probabilidade para clinopiroxênio monzogranito; (d) gráfico de probabilidade para ortopiroxênio granodiorito; e (e) gráfico de probabilidade para gabronoritos.

As fácies ortopiroxênio granodiorito e clinopiroxênio monzogranito integram a população A e apresentam valores de SM variando de $3,16 \times 10^{-3}$ a $1,28 \times 10^{-2}$ e $1,30 \times 10^{-2}$ a $2,21 \times 10^{-2}$ (Slv), respectivamente (Tab. 2). As rochas da fácies ortopiroxênio granodiorito representam 26,7% das amostras analisadas e exibem os maiores valores médios de SM na ordem de $1,72 \times 10^{-2}$. A variedade clinopiroxênio monzogranito representa 20% das rochas analisadas com valor médio de $6,76 \times 10^{-3}$ de SM, relativamente menor quando comparado com a variedade ortopiroxênio granodiorito. As análises de SM do gabronorito completam esta população magnética e representam ~26,7% das rochas analisadas. Seus valores magnéticos variam entre $4,33 \times 10^{-3}$ e $9,46 \times 10^{-3}$, com média de $7,83 \times 10^{-3}$, concentradas em $-2,0 \log (k)$. Esses valores são próximos aos apresentados pelo clinopiroxênio monzogranito (Fig. 11). Os altos valores de SM do ortopiroxênio granodiorito e clinopiroxênio monzogranito podem estar associados a maior concentração de minerais opacos, principalmente da magnetita.

A população B representada pela variedade hornblenda monzogranito compõe 26,6% das rochas analisadas e apresenta assinatura com os menores valores magnéticos. Estas rochas mostram valor de SM variando de $2,31 \times 10^{-4}$ a $3,09 \times 10^{-4}$ (Slv), com valor médio de $2,77 \times 10^{-4}$ e concentrações em $-3,5 \log (k)$ (Fig. 11). Seus menores valores magnéticos estão relacionados ao menor conteúdo modal de minerais óxidos de Fe-Ti, especialmente a magnetita, de modo que, a goethita é a fase mineral opaca mais expressiva nesta variedade.

3.1.2 Relação entre SM e conteúdo modal

Os conteúdos modais médios dos minerais opacos, piroxênios, anfibólios e biotitas de cada variedade são mostrados na Tab. 3 e foram comparados com os valores de SM a fim de entender as possíveis relações entre essas variáveis. O conteúdo médio de minerais opacos é menor na fácies hornblenda monzogranito ($\leq 0,3\%$), relativamente moderado no gabronorito (0,2-0,8%) e maior no ortopiroxênio granodiorito (1,1-1,4%) e clinopiroxênio monzogranito (1,0-1,7%; Tab. 1). Esses minerais são ausentes em cerca de 15% das amostras, todas pertencentes à fácies hornblenda monzogranito.

Em geral, a relação entre o conteúdo modal de minerais opacos das rochas estudadas com os valores de SM mostra correlação positiva (Fig. 13a). Contudo, algumas amostras apresentam comportamento anômalo, como por exemplo a amostra WDL-02 que apresenta o maior valor de SM ($2,21 \times 10^{-2}$) entre as analisadas, mas seu conteúdo de minerais opacos é o menor entre as demais amostras de mesma variedade (ortopiroxênio granodiorito). Esta variação pode ser explicada por possíveis erros analíticos ou baixo número de amostras para a análise estatística. Além disso, outros fatores influenciam nesta variação, tais como: (i) presença de outros

minerais opacos, além da magnetita; (ii) variação na forma e tamanho dos cristais de magnetita; e (iii) grau de recristalização que pode favorecer a neoformação de magnetita. Na população B (hornblenda monzogranito), entre as amostras analisadas, apenas duas apresentaram minerais opacos (~0,3%), além disso, foram medidos valores similares de SM para as amostras desta população (Tab. 2), levando a superposição dos seus conteúdos modais de opacos, assim como dos valores de SM.

Em geral, as rochas da população A mostram correlação negativa entre os valores de SM e os conteúdos modais de piroxênios (Fig. 13b), o que pode indicar que estes não controlam a SM das amostras em que estão presentes. Este comportamento pode ser observado no gabronorito, em que 75% de suas amostras apresentam os maiores conteúdos modais de piroxênio (21,8-23,9%), dentre as variedades estudadas, porém mostram valores de SM relativamente baixos (Fig. 13b). Por outro lado, as relações entre os valores de SM e os conteúdos modais de anfibólio (Fig. 13c) e biotita (Fig. 13d) mostram correlação positiva para as rochas da população A, no entanto duas amostras da variedade clinopiroxênio monzogranito apresentam comportamento destoante. Em contrapartida, as amostras da população B (hornblenda monzogranito) concentram os maiores conteúdos modais de anfibólio e registram os menores valores de SM, de modo que no diagrama da Fig. 13c é possível distinguir claramente as duas populações magnética.

Tabela 3 - Composição modal (média) da associação gabronorito-charnoquito-granito de Ourilândia do Norte.

Associação Gabronorito - Charnoquito - Granito de Ourilândia do Norte				
MINERAL (%)	Gabronorito	Opx Granodiorito	Cpx Monzogranito	Hbl Monzogranito
Quartzo	6,75	18,39	26,43	30,21
Alcali-feldspato	3,40	8,66	17,79	19,03
Plagioclásio	60,51	48,71	30,13	22,97
Biotita	1,09	1,53	2,76	2,85
Anfibólio	5,20	8,89	4,10	21,85
Ortopiroxênio	6,99	4,96	0,10	-
Clinopiroxênio	14,41	7,43	17,58	2,56
Olivina	2,53	-	-	-
Titanita	-	-	-	0,72
Alanita	-	-	0,01	0,02
Minerais opacos	0,60	1,36	1,05	0,07
Epidoto	-	-	0,03	0,63
Apatita	Tr	2,06	0,01	0,02
Rec 100%				
Quartzo	9,78	24,28	35,57	43,29
Alcali-feldspato	3,59	11,31	23,91	25,48
Plagioclásio	86,62	64,41	40,51	31,23

Abrev: opx (ortopiroxênio); cpx (clinopiroxênio); hbl (hornblenda).

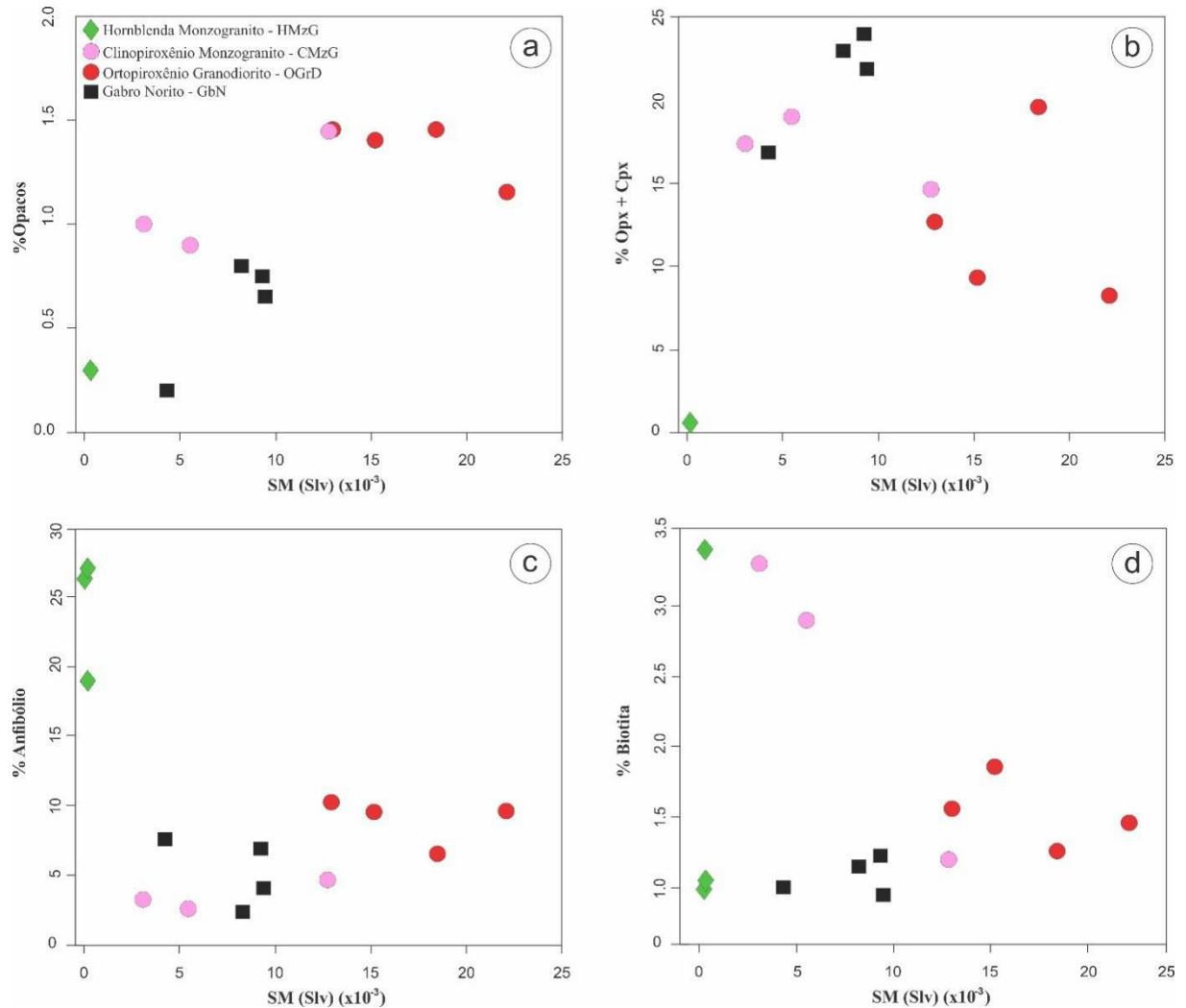


Figura 13 - Diagramas binários relacionando os valores de suscetibilidade magnética (SM) com conteúdos modais de: a) Minerais Opacos; b) Piroxênios; c) Anfíbolio; e d) Biotita.

3.1.3 Relação entre SM e composição química

As composições químicas médias dos elementos maiores da associação gabronorito-charnoquito-granito de Ourilândia do Norte são apresentadas na Tab. 4. A susceptibilidade magnética destas rochas foi relacionada com as composições dos óxidos Fe_2O_3 , TiO_2 , MgO e SiO_2 para avaliar as correlações entre estes parâmetros. Em geral, para a população A, os conteúdos dos óxidos selecionados e os valores de SM mostram correlação positiva para o Fe_2O_3 e não apresenta correlação clara para os demais óxidos (Fig. 14). As análises da população B, além de apresentar os menores valores de SM, estes são similares e definem um padrão *flat* vertical, que indica a não correlação entre os conteúdos dos óxidos e os valores de SM (Fig. 14a). No diagrama TiO_2 vs. SM (Fig. 14b) os granitoides mostram conteúdos similares deste elemento, independente dos valores de SM e o gabronorito é relativamente empobrecido em TiO_2 , indicando que os conteúdos deste não controla a SM. Os teores mais altos de TiO_2 presentes nos granitoides podem ser explicados pelos seus conteúdos relativamente mais altos

Tabela 4 - Composições químicas médias em % de óxidos das variedades que representam a associação gabronorito-charnoquito-granito de Ourilândia do Norte.

Associação Gabronorito-Charnoquito-Granito de Ourilândia do Norte				
VARIETADES	Gabronorito	Opx Granodiorito	Cpx Monzogranito	Hbl Monzogranito
% Óxido	(3)	(3)	(5)	(5)
SiO ₂	56,50	61,87	64,03	63,87
TiO ₂	0,34	0,62	0,61	0,62
Al ₂ O ₃	15,97	14,42	13,87	13,64
F ₂ O ₃ T	8,20	8,47	7,48	7,74
MnO	0,14	0,12	0,09	0,08
MgO	5,45	2,85	2,38	2,09
CaO	8,85	5,95	4,62	4,37
Na ₂ O	3,00	3,37	3,53	3,34
K ₂ O	1,00	2,00	2,42	2,85
P ₂ O ₅	0,06	0,13	0,12	0,13
Cr ₂ O ₃	0,01	0,01	0,01	0,01
PF	0,71	0,86	0,62	0,98
Total	100,23	100,67	99,78	99,72

Abrev: () número de amostras analisada PF: Perda ao Fogo

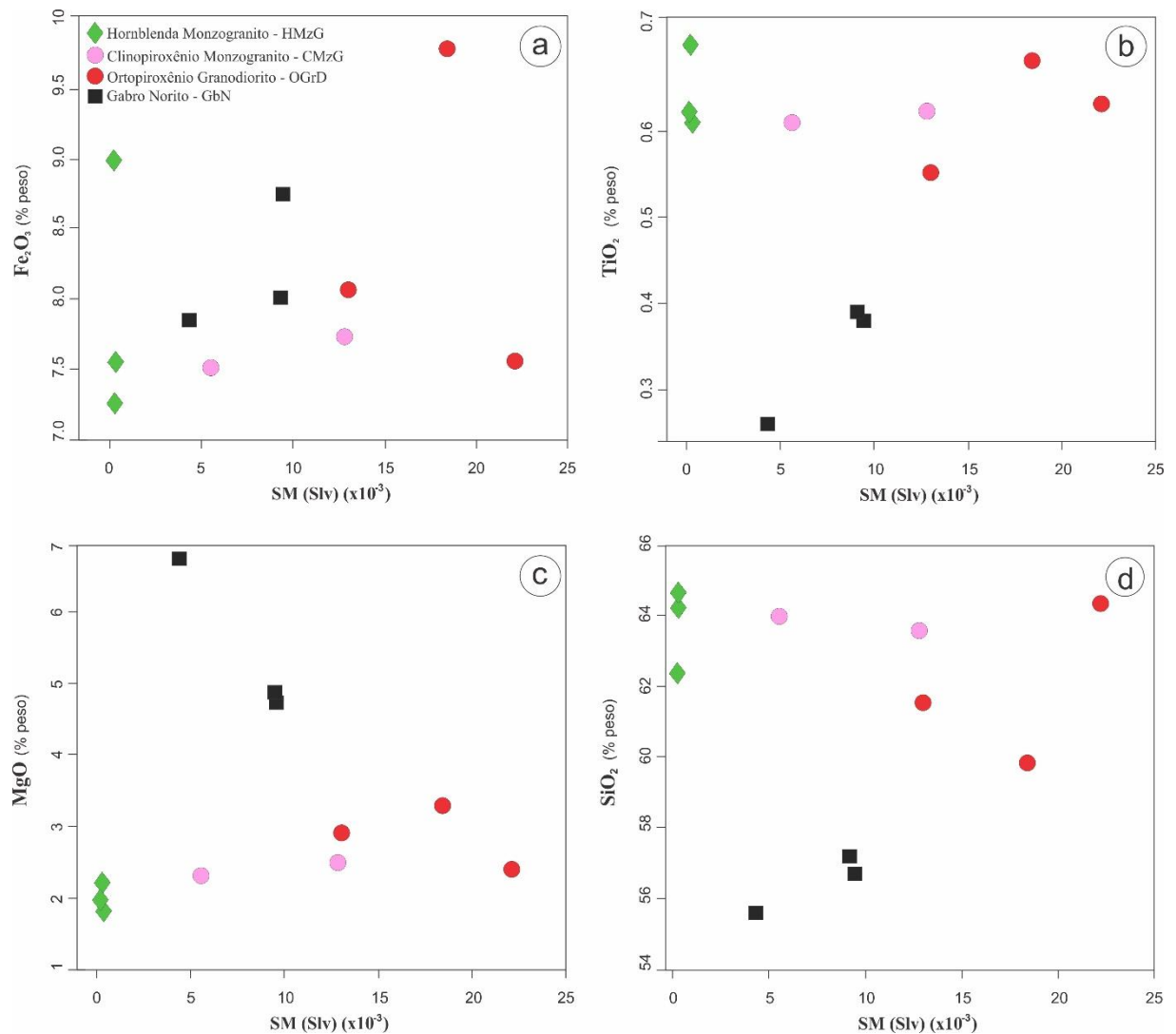


Figura 14 - Diagramas binários relacionando os valores de suscetibilidade magnética (SM) e as concentrações de: a) Fe₂O₃; b) TiO₂; c) MgO; e d) SiO₂.

de ilmenita, porém o hornblenda monzogranito têm menores conteúdos de minerais opacos(ilmenita), mas apresenta teores consideráveis de titanita. No diagrama MgO vs. SM (Fig. 14c) os granitoides mostram menores conteúdos de MgO em relação ao gabronorito, mas relativamente similares entre si, independente da variação nos valores de SM, indicando que os conteúdos de MgO não controla a SM. Os menores conteúdos de MgO nos granitoides, em relação ao gabronorito, é evidentemente explicado pelos seus menores conteúdos modais de minerais máficos. No diagrama SiO₂ vs. SM (Fig. 14d) as análises plotaram em um padrão caótico, o que indica que SiO₂ não controla os valores de SM.

3.2 MINERAIS ÓXIDO DE FE-TI

A seguir será apresentada a natureza e os aspectos texturais dos minerais opacos da associação gabronorito-charnoquito-granito de Ourilândia do Norte, de acordo com as populações magnéticas, A e B (Fig. 15 e 16). Em ambas populações esses minerais são representados pelos óxidos de magnetita, hematita (martita), ilmenita, goethita e, pelos sulfetos pirita e calcopirita.

A população magnética A ($3,16 \times 10^{-3}$ a $2,21 \times 10^{-2}$ SIv) apresenta conteúdo modal de minerais opacos variando de 0,2 a 1,7% com importante presença de magnetita e ilmenita. Por outro lado, a população magnética B ($2,31 \times 10^{-4}$ a $3,09 \times 10^{-4}$ SIv), com menor conteúdo modal de minerais opacos (<0,3%) concentra os menores valores magnéticos e é caracterizada pela presença de goethita. Além da variação na natureza e conteúdo mineral entre as populações, existe notável mudança nas feições texturais de minerais opacos entre as populações, de modo que na população A a magnetita se apresenta com diferente grau de oxidação com substituição para martita e frequentemente associada a ilmenita (Fig. 15), enquanto na população B predomina goethita com zoneamento composicional (Fig. 16), o que reflete os diferentes valores de SM destas rochas. Em algumas amostras do hornblenda monzogranito (população B) a magnetita é ausente, o que ocasiona seus baixos valores de SM.

A magnetita (Mt), na população A, ocorre como cristais hipidiomórficos, por vezes idiomórficos, comumente associados aos minerais ferromagnesianos como anfibólios, piroxênios e biotitas. Seus cristais possuem dimensões de ~1,0 mm, os quais estão parcialmente e, por vezes, intensamente martitizados (hematita). As relações de contato entre magnetita e ilmenita exibem texturas composta e sanduiche (Fig. 15b,c), além de também ocorrer frequentemente associada com pirita. Nas amostras da população B, quando a magnetita é encontrada, geralmente está presente em bordas de cristais de goethita ou associada a sulfetos e apresentam dimensões > 0,5mm.

A Ilmenita (Ilm) ocorre na forma predominantemente hipidiomórfica, associada principalmente aos silicatos ferromagnesianos e magnetita, com quem define pelo menos dois tipos texturais

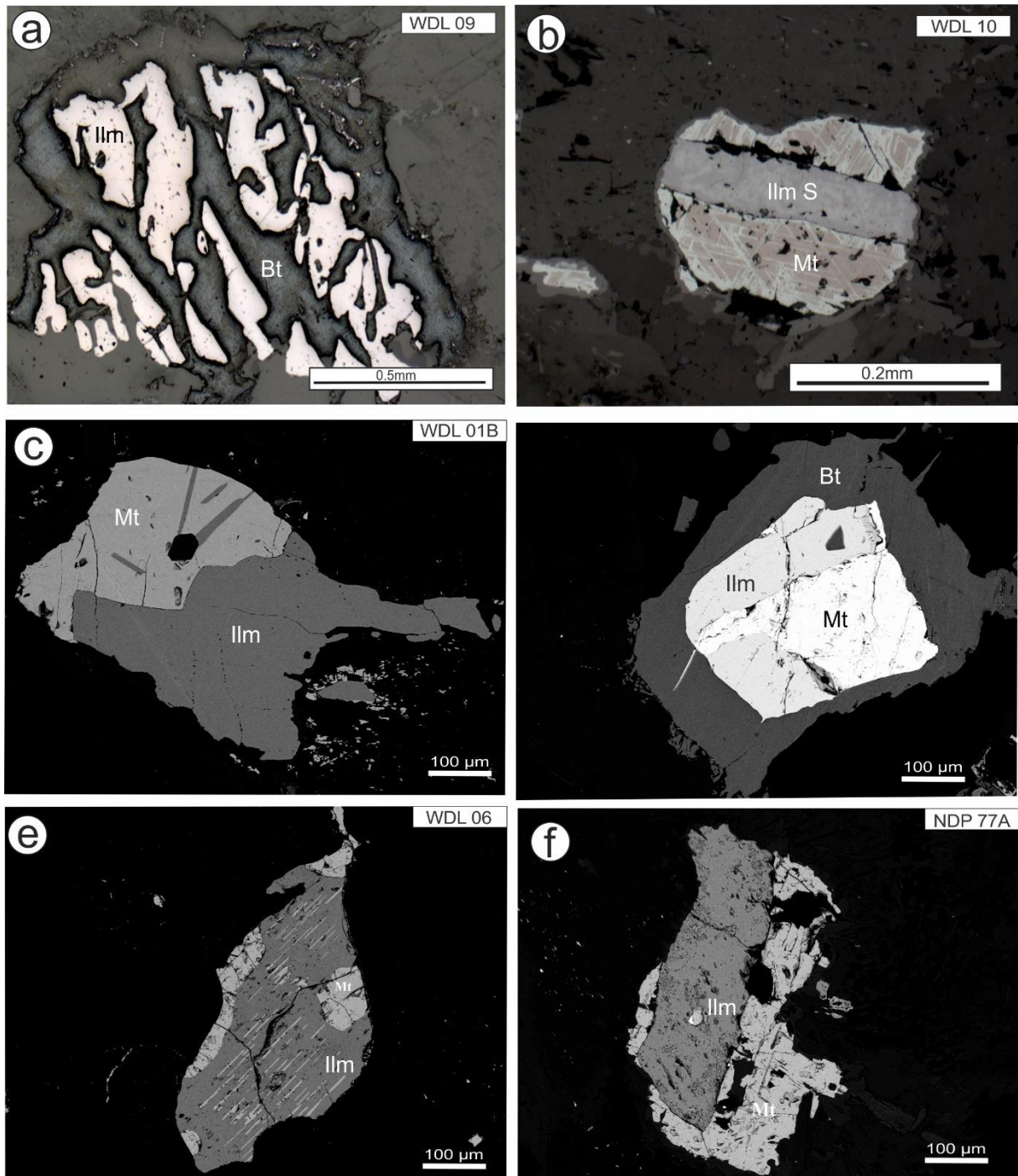


Figura 15 - Aspectos texturais dos minerais opacos presentes na população magnética A: (a) ilmenita xenomórfica com textura esqueletal e inclusa em biotitas (LR); (b) cristais idiomórficos de ilmenita sanduiche associadas a magnetita martitizada (LR); (c) cristal idiomórfico de ilmenita composta com cristais hipidiomórficos de magnetita (ER); (d) ilmenita composta com cristais hipidiomórficos de magnetita, ambas inclusas em biotita (MEV); (e) e (f) cristal de ilmenita idiomórfico com cristais hipidiomórficos de magnetita.

(composta e sanduiche), de acordo com a classificação de (Buddington & Lindsley 1964, Dall' Agnol *et al.* 1997, Figueiredo 1999): (a) ilmenita individual (Ilm I); (b) ilmenita composta (Ilm C); e (c) ilmenita sanduiche (Ilm S). A Ilm I ocorre de forma subordinada, dimensões de até 0,5 mm e geralmente associada a minerais ferromagnesianos, principalmente como inclusões em

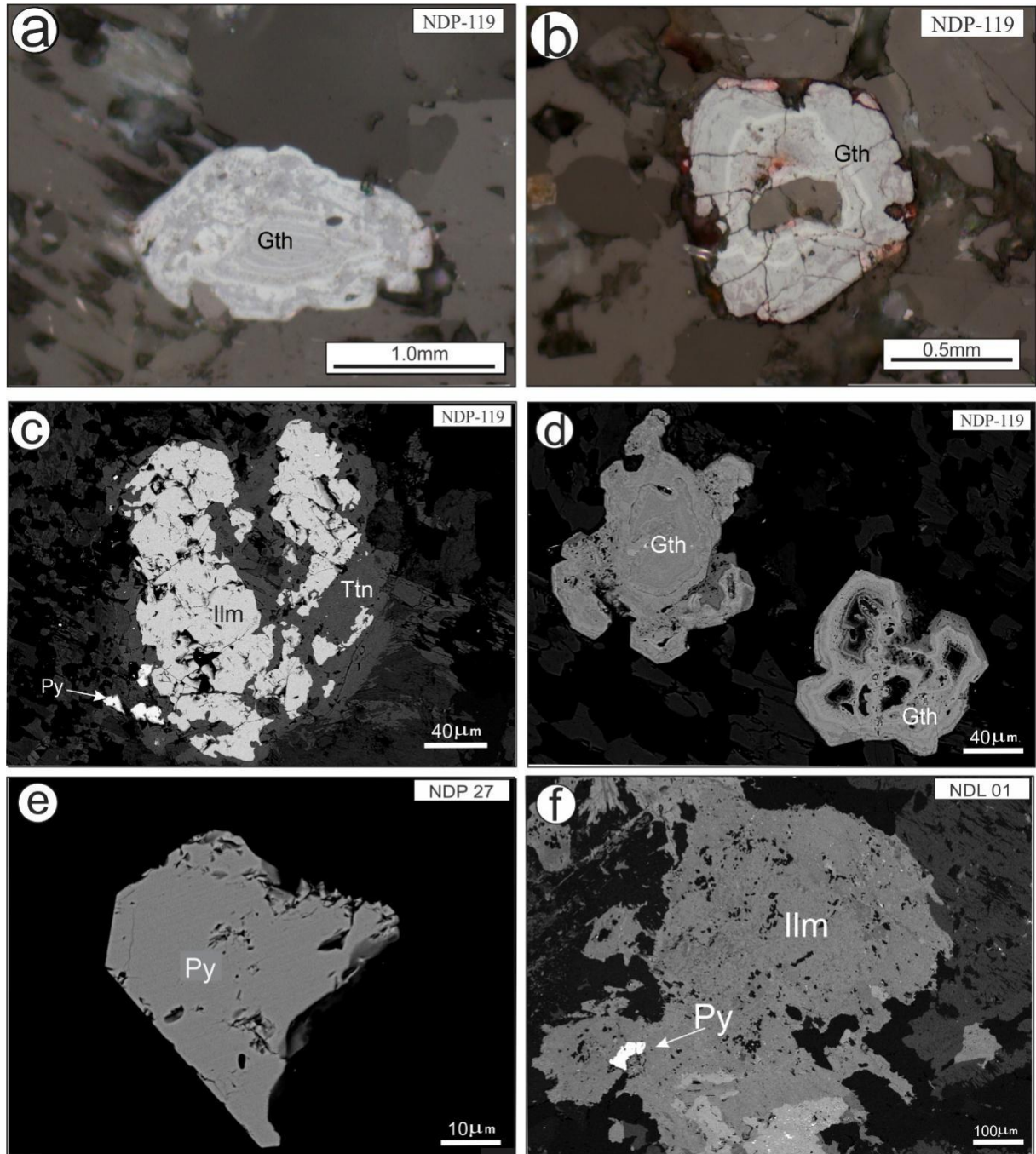
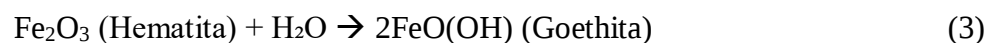
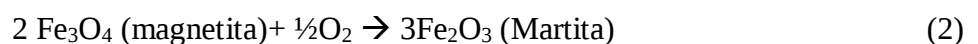
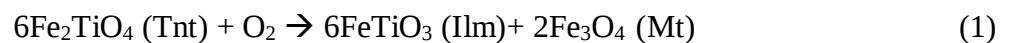


Figura 16 - Aspectos texturais dos minerais opacos presentes na população magnética B: (a) e (b) cristais hiplomórficos de goethita zonada em luz refletida (LR); (c) cristal de ilmenita individual incluso bordejado por titanita e com pirita associada (MEV); (d) goethita idiomórfica fortemente zonada (MEV); (e) cristais de pirita hiplomórfica; e (f) cristais de ilmenita hiplomórfica com incusões de pirita.

biotitas. A Ilm C tem dimensões < 0,4 mm e está associada com cristais de magnetita (Fig. 15c,d), enquanto a Ilm S é hipidiomórfica com dimensões > 0,4 mm, envoltas por magnetitas (Fig. 15b).

A goethita (óxido-hidróxido de Fe) é o mineral opaco mais abundante na população B e ocorre na forma predominantemente hipidiomórfica, com dimensões que dificilmente ultrapassam 0,3 mm e são frequentemente zonados (Fig. 16a,b,d). Estão associados a sufetos, magnetita e hematita, e podem ocorrer tanto de forma isolada como na borda de magnetita fortemente oxidada. Os sulfetos são representados por pirita e calcopirita com forma hipiomórfica, dimensões de até 0,4 mm, comumente associados a agregados de minerais ferromagnesianos, podendo ocorrer na borda de magnetita ou em suas proximidades.

A presença de minerais magnéticos como magnetita e ilmenita em rochas plutônicas pode ser atribuída a reações intraóxidos de re-equilíbrio ou de oxirredução dentro da série da titanomagnetita (Buddington & Lindsley 1964, Frost 1991, Haggerty 1981), sob condições *subsolidus*, representadas pela reação geral (1). A hematita pode ocorrer em granitoides formando lamelas de exsolução na magnetita (processo de martitização), expressa pela equação (2). Por sua vez, a goethita está relacionada a processos de oxi-hidratação da martita (hematita), expressa pela reação (3). Mas também podem estar relacionadas à alteração de sufetos e magnetita, ou ainda à processos de oxi-hidratação de titanomagnetita primária pobre em titânio (Haggerty 1981).



4 DISCUSSÕES

4.1 SEQUÊNCIA DE FORMAÇÃO DE MINERAIS ÓXIDO DE FE-TI

As relações microestruturais e mineralógicas estudadas nos minerais opacos da associação gabronorito-charnoquito-granito de Ourilândia do Norte permitiram estabelecer sua sequência de formação, a partir de três estágios: (i) magmático, (ii) tardi-magmático; e (iii) pós-magmático. Isto possibilitará compreender de modo qualitativo o comportamento dos parâmetros de cristalização (T , fO_2 e xH_2O) dos magmas que deram origem a estas rochas, além de refletir suas implicações em termos de história de deformação.

Magmático: os aspectos texturais identificados nas variedades da população A indicam formação precoce de titanomagnetita e magnetita, no geral, inclusas em plagioclásio, biotita e piroxênio. Durante o resfriamento magmático a presença de titanomagnetita possibilitou a formação de cristais de magnetita empobrecida em Ti. Nas rochas desta população a magnetita é observada em contatos retilíneos com ilmenita composta e sanduiche (Fig. 15b,c,f) indicando origem em estágio magmático e não por reação de oxirredução em estágio *subsolidus*. As associações destes minerais com biotitas primárias sugerem que estes apresentam condições de cristalização semelhantes. Nas variedades da população B, os minerais opacos de formação precoce podem ter sido transformados para goethita a partir de magnetita, martita e sulfeto, na presença de água.

Tardi-magmático: marcado pela formação de titanita associada a ilmenita e magnetita, na fácies clinopiroxênio monzogranito e, principalmente, no hornblenda monzogranito. Este processo ocorre a partir da desestabilização da titanomagnetita liberando Ti que se associa ao cálcio e silício extraídos do líquido magmático para substituição parcial gerando titanita. A ilmenita, considerando as reações dentro da série da titanomagnetita, é resultado de reações posteriores, porém ainda de estágio magmático. Assim é provável que a textura em corona formada entre ilmenita envolta por biotita tenha se origem neste estágio, sendo que esta textura é exclusiva da população A.

Pós-magmático: é marcada pela formação de cristais de magnetita durante os processos de recristalização e alteração que afetaram as variedades da população A e formação de goethita, com a presença de água, nas rochas da população B. Este processo é registrado pelo surgimento de magnetita e ilmenita ao longo dos planos de clivagem de biotita, e mais raramente preenchendo faturas. Na sequência, o decréscimo da temperatura induziu substituição de magnetita por martita em condições *subsolidus*. Na população B a evolução envolveu maiores conteúdos de água, levando a formação de goethita por reação de oxi-

hidratação, diferindo das variedades da população A que é caracterizada essencialmente pela formação de martita por reação de oxi-exsolução. Além disso, a presença de fluidos enriquecidos em metais permitiu a formação de sulfetos (pirita e calcopirita).

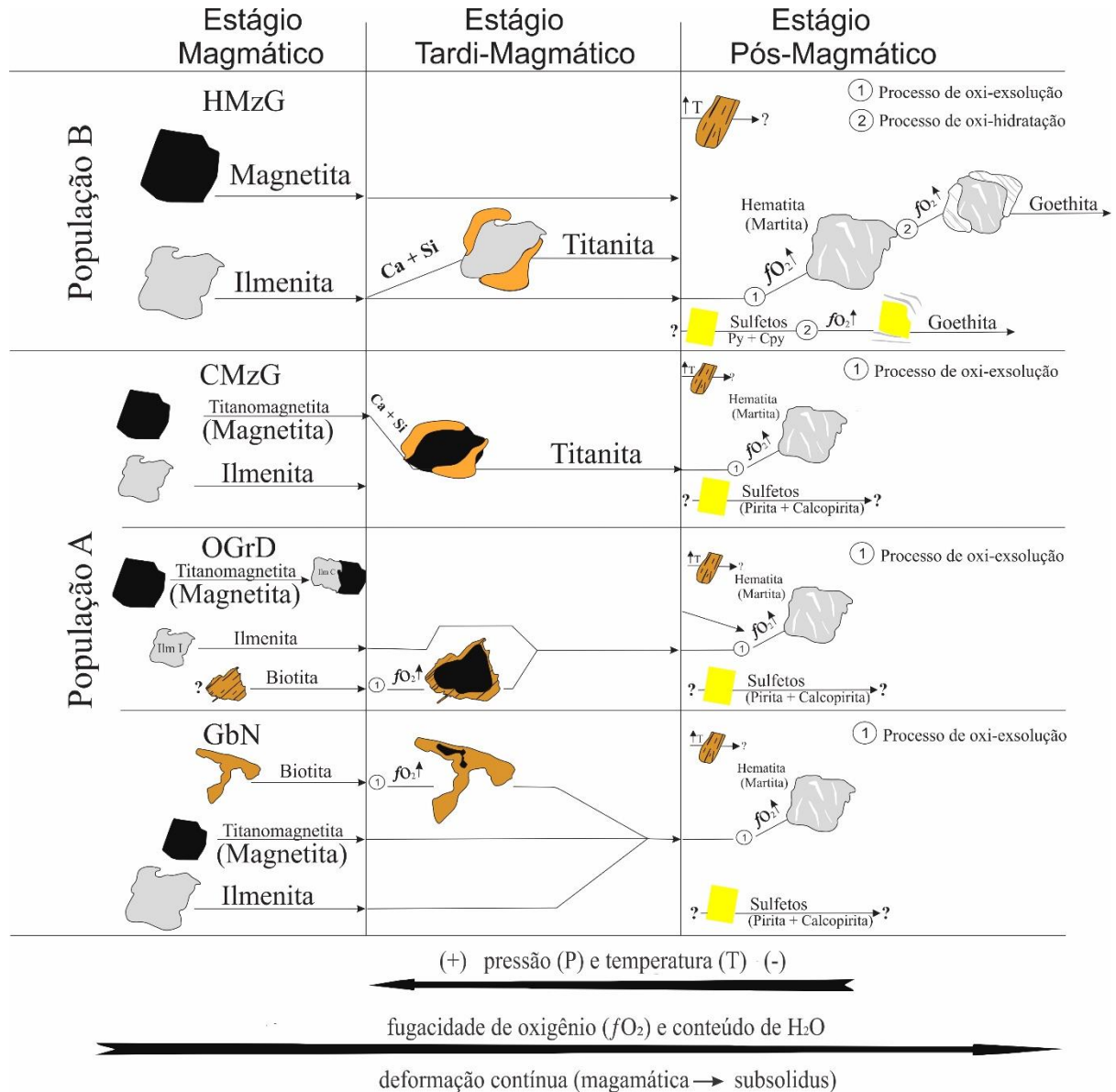


Figura 17 - Sequência de cristalização das fases opacas para a associação gabronorito-charnoquito-granito de Ourilândia do Norte, a partir do estágio magmático ao pós-magmático. As fases do último estágio foram formadas durante resfriamento *subsolidus* na presença de água, assistido por deformação.

As informações acima permitem estabelecer uma sequência de formação para os minerais óxido de Fe-Ti (Fig. 18): (i) cristalização de titanomagnetita (?); (ii) cristalização de magnetita; (iii) cristalização de ilmenita composta e sanduiche nas variedades da população A; (iv) desestabilização dos minerais da série titanomagnetita para formação de titanita na população B; e (v) oxidação da magnetita para formação de hematita (martita) e oxi-hidratação desta para formação de goethita da população B (hornblenda monzogranito). As relações entre

ilmenita composta com magnetita indicam contemporaneidade nas suas formações. Contudo a formação de ilmenita individual é interpretada no estágio magmático. Como indicado na Fig. 18, os parâmetros de temperatura (T) e pressão total (P) decrescem de (i) a (v), acompanhado pelo aumento da fugacidade de oxigênio (fO_2) e conteúdo de água (xH_2O) no mesmo sentido. Este padrão nas condições de formação é coerente com o modelo petrogenético adotado por Felix (2019), que envolve cristalização fracionada do gabronorito para o ortopiroxênio granodiorito e uma evolução associada à processos de hidratação para os monzogranitos. Após a completa cristalização, os processos de deformação e alteração continuam durante resfriamento na presença de água. O que está de acordo com as observações microestruturais (seção 3.2) e fortalece a natureza sintectônica destas rochas.

4.2 CONDIÇÕES DE CRISTALIZAÇÃO

Petrologia magnética é o ramo que estuda as condições de formação das rochas a partir da investigação de suas assinaturas magnéticas combinada a caracterização da natureza e principais aspectos texturais de seus minerais óxidos de Fe-Ti (Balsley & Buddington 1958, Grant 1985, Hattori 1987, Speer 1981). Neste sentido, o estudo da assinatura magnética das rochas está diretamente relacionado a natureza e ao conteúdo de minerais ferromagnéticos, que compõem as fases opacas (Buddington & Lindsley 1964, Haggerty 1981), em especial a magnetita (principal mineral ferromagnético). Buddington & Lindsley (1964) estabeleceram oxibâmetros para rochas magmáticas crustais, baseado em composições de magnetita primária inseridas no sistema ternário FeO-Fe₂O₃-TiO₂. Este estudo consistiu na análise da coexistência entre pares minerais óxidos de Fe e Ti em equilíbrio, formados a partir das soluções sólidas da série titanomagnetita (ulvoespínélio e magnetita) e série ilmenita-hematita. Contudo, sua aplicação não foi bem-sucedida em rochas magmáticas de resfriamento lento, uma vez que estas sofrem processo de reequilíbrio em estágio *subsólido* e não permite estimar a composição primária dos minerais pertencentes a estas séries.

Por outro lado, Dall' Agnol *et al.* (1997) destacaram que a variação composicional dentro destas séries dependeria diretamente da temperatura e fugacidade de oxigênio atuantes durante a cristalização (Buddington & Lindsley 1964, Spencer & Lindsley 1981). Neste contexto, a fO_2 representa um importante indicador petrológico, uma vez que registra a variação de oxidação durante os processos de formação magmática e diferenciação, além de refletir a natureza da fonte (Buddington & Lindsley 1964, Dall' Agnol *et al.* 1997, Figueiredo 1999, Gabriel & Oliveira 2013, Haggerty 1981, Ishihara 1977, Wones 1981). Ishihara (1977) mostrou

que granitoides podem ser subdivididos em duas séries magmáticas de acordo com a natureza dos minerais opacos: (i) série magnetita, que pode conter ilmenita, e (ii) série ilmenita, com ausência de magnetita. De modo que, estas séries representam granitoides formados em condições distintas de fO_2 . A primeira formada em condições relativamente oxidantes e a segunda em condições redutoras.

Na região de Ourilândia do Norte, a assinatura magnética da associação gabronorito-charnoquito-granito indicou caráter bimodal, em que a população A de maior SM integra o gabronorito e granitoides com piroxênio. Estes apresentam conteúdo de minerais opacos variando entre 2 e 1,7%, com presença de magnetita e ilmenita. Por outro lado, a população B de menor SM é caracterizada por um menor conteúdo de minerais opacos (<0,3%), pela escassez de magnetita e predominância de goethita, o que justifica seus menores valores de SM. Apesar destes valores, o magma gerador do granito desta população evoluiu sob condições oxidantes, na presença de água, capaz de gerar goethita, a partir de martita e sulfetos, via reações de oxi-hidratação.

Portanto, os granitoides de ambas as populações mostram afinidade com a série magnetita, de modo que as pequenas quantidades de magnetita que teriam se formado nas rochas da população B foi transformada para martita, que por sua vez foi transformada para goethita. Isto está em conformidade com as elevadas condições de fO_2 , situadas entre os tampões FMQ e HM, pouco acima do tampão NNO (Frost, 1991). A correlação destes tampões com os conteúdos médios de SiO_2 (Tab.3) permitem estimar um intervalo de temperatura entre 820°C e 690°C atuantes durante a cristalização destas rochas (Anderson *et al.* 2008, Frost 1991). A interpretação de condições relativamente altas para a fO_2 durante a cristalização destas rochas é fortalecida pelos dados composicionais em biotita e anfibólio, em que as baixas razões $Fe/(Fe+Mg)$ indicam afinidade com a série magnetita (Fig. 19a), sob condições de fO_2 variando de intermediária a alta (Fig. 19b). Apesar dos dados de química mineral aqui empregados serem semi-quantitativos seus resultados estão em conformidade com dados quantitativos obtidos por WDS (*Wavelength dispersive spectroscopy*) no trabalho de Felix (2019), realizado nas mesmas amostras. Uma comparação entre estes dados mostra que eles são similares, de modo que, em geral, as análises plotam nos mesmos campos de classificação mineral.

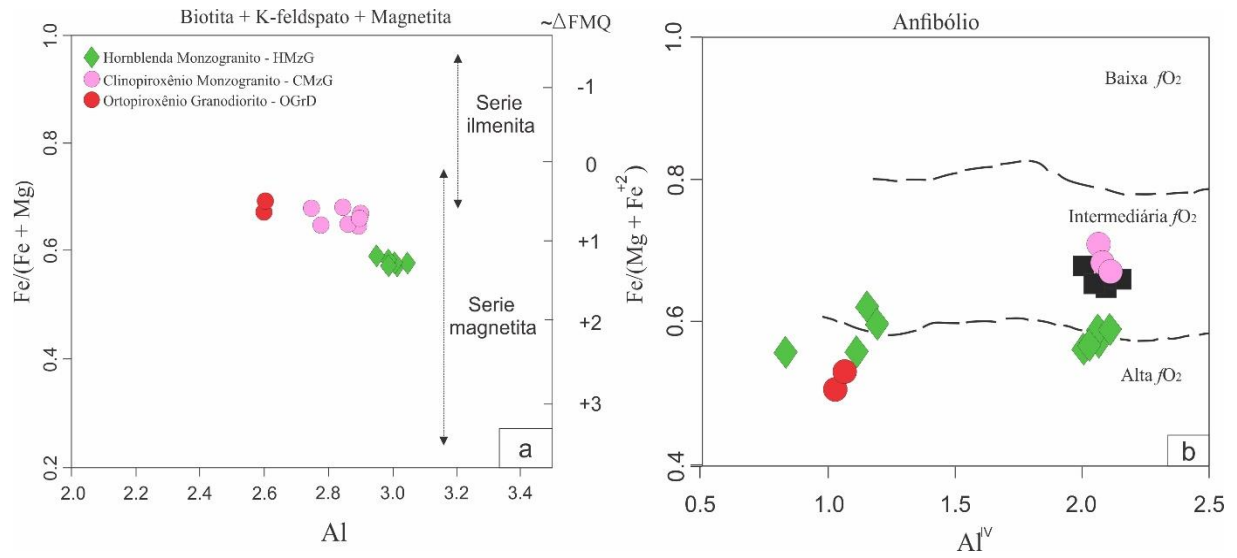


Figura 18 - Diagramas de classificação para série magnetita-ilmenita: (a) diagrama Al total versus $\text{Fe}/(\text{Fe} + \text{Mg})$ para biotita, com discriminação das séries magnetita e ilmenita. Valores de ΔFMQ de Anderson *et al.* (2008). estimar condições de $f\text{O}_2$; e (b) diagrama binário comparando $\text{Fe} / (\text{Fe} + \text{Mg})$ para anfibólio. Fonte: (Anderson & Smith 1995)

5 CONCLUSÕES

A associação gabronorito-charnoquito-granito de Ourilândia do Norte são intrusivas em leucogranitos e sanukitoides mesoarqueanos (2,88 Ga) e foi subdividida em quatro grupos petrográficos: (i) gabronorito; (ii) ortopiroxênio granodiorito; (iii) clinopiroxênio monzogranito; (iv) anfibólio monzogranito. Seus plútons são alongados na direção NE-SW e E-W, onde o principal apresenta ~12 Km de extensão e 2-3 Km de largura. De modo geral, elas mostram textura magmática bem preservada. No entanto, podem exibir feições de deformação, como trama planar formada pela orientação preferencial de feldspatos e agregados de minerais máficos, com direção NE-SW ou E-W e mergulho subvertical (70-80°).

Os dados de susceptibilidade magnética (SM) permitiram diferenciar estas rochas em duas populações (A e B) e apresentaram uma assinatura geral variando entre $2,31 \times 10^{-4}$ e $2,21 \times 10^{-2}$ SIv. O gabronorito e os granitoides com piroxênio representam a população A com os maiores valores magnéticos ($3,16 \times 10^{-3}$ – $2,21 \times 10^{-2}$ SIv), enquanto o hornblenda monzogranito define a população B, caracterizada pelos menores valores de SM ($2,31 \times 10^{-4}$ – $3,09 \times 10^{-4}$). Os minerais opacos encontrados em ambas as populações são representados por magnetita, hematita (martita), ilmenita, goethita, pirita e calcopirita. A população A apresenta conteúdo modal de minerais opacos variando de 0,2 a 1,7% com importante presença de magnetita e ilmenita. Por outro lado, a população magnética B, mostra menores conteúdos de minerais opacos (<0,3%) e é caracterizada pela presença de goethita zonada. A sequência de formação definida para os minerais opacos destas rochas é coerente em um contexto de cristalização fracionada no sentido gabronorito → ortopiroxênio granodiorito. Enquanto a evolução do clinopiroxênio monzogranito e hornblenda monzogranito envolveram hidratação.

Os dados de química mineral permitiram classificar os piroxênios como enstatita, pigeonita, augita-ferroaugita e diopsídio. As análises em anfibólio plotaram no campo da série Mg-hornblenda – Fe-hornblenda. A biotita foi classificada como annita de composição compatível com biotitas subalcalinas para a população A e cálcico-alcalinas para a população B. As análises de plagioclásio da população A plotaram essencialmente como labradorita e andesina, enquanto da população B incidiram no campo do oligoclásio. Todas as variedades indicam condições de fO_2 relativamente elevadas, entre os tampões FMQ e HM, pouco acima das do tampão NNO. Portanto, os granitoides podem ser classificados como pertencentes à série magnetita em conformidade com as baixas razões Fe/(Fe+Mg) em biotita e anfibólio que indicam afinidade com esta série, sob condições intermediárias a altas de fO_2 .

REFERÊNCIAS

- Almeida J., Oliveira M., Dall'Agnol R., Althoff F. 2008. *Relatório de mapeamento geológico na escala 1: 100.000 da Folha Marajoara (SB-22-zc v)*. Belém, CPRM–Serviço Geológico do Bras. 147p. (Programa GeoBrasil).
- Almeida J.A.C. de., Dall'Agnol R., Oliveira M.A.de., Macambira M.J.B., Pimentel M.M., Rämö O.T., Guimarães F.V., Leite A.A. da S., Almeida J. de A.C., Dall'Agnol R., Oliveira M.A.de., Macambira M.J.B., Pimentel M.M., Rämö O.T., Guimarães F.V., Leite A.A.S.da. 2011. Zircon geochronology, geochemistry and origin of the TTG suites of the Rio Maria granite-greenstone terrane: Implications for the growth of the Archean crust of the Carajás province, Brazil. *Precambrian Research*, 187 (1-2): 201–221. doi:10.1016/j.precamres.2011.03.004.
- Almeida F.F.M., Hasui Y., Brito Neves B.B., Fuck R.A. 1981. Brazilian Structural Provinces: an introduction. *Earth Science Review*, 17(1-2):1-29.
- Almeida J.A.C., Dall'Agnol R., Leite A.A.S. 2013. Geochemistry and zircon geochronology of the Archean granite suites of the Rio Maria granite-greenstone terrane, Carajas Province, Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, 42:103-126.
- Amaral G. 1974. *Geologia Pré-cambriana da Região Amazônica*. PhD Thesis, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 212 p.
- Anderson J.L., Barth A.P., Wooden J.L., Mazdab F. 2008. Thermometers and Thermobarometers in Granitic Systems. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, 69:121-142.
- Anderson J.L., Smith D.R., 1995. The effects of temperature and fO_2 on the Al-inhornblende barometer. *American Mineralogist*, 80: 549-559.
- Araújo O.J.B., Maia, R.G.N., Jorge João, X.S.; Costa, J.B.S. 1988. A Megaestruturação Arqueana da Folha Serra dos Carajás. In: SBG, 7º Congresso Latino-Americano de Geologia, Belém, *Anais...* p. 324-338.
- Araújo O.J.B. & Maia R.G.N. 1991. *Serra dos Carajás, Folha SB.22-Z-A, Estado do Pará, escala 1:250.000*. Brasília, DF, CPRM- Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil (PLGB), Projeto Especial Mapas de Recursos Minerais, de Solos e de Vegetação para a Área do Programa Grande Carajás, 135 p.
- Avelar V.G., Lafon J.M., Correia JR F.C., Macambira E.M.B. 1999. O Magmatismo Arqueano da região de Tucumã – Província Mineral de Carajás: novos resultados geocronológicos. *Revista Brasileira de Geociências*, 29(4):453-460.
- Barros C.E.M., Sardinha A.S., Barbosa J.P.O., Krismski R., Macambira M.J.B. 2001. Pb-Pb and zircon ages of Archean sytectonic granites of the Carajás metallogenic province, Northern Brazil. In: Serviço Nacional de Geologia e Mineral, 3º Simpósio Sul-americano de Geologia Isotópica, *Resumos Expandidos*, Pucon, Chile, 1 CDrom.
- Balsley J. R., Buddington A. F. Iron-titanium oxide minerals, rocks, and aeromagnetic anomalies of the Adirondack area, New York. 1958. *Economic geology*, 53 (7):77-805.

- Barros C.E.M., Sardinha A.S., Barbosa J.P.O., Macambira M.J.B., Barbey P., Boullier A.M. 2009. Structure, Petrology, Geochemistry and zircon U/Pb and Pb/Pb Geochronology of the Synkinematic Archean (2.7 Ga) A-type Granites from the Carajás Metallogenic Province, Northern Brazil. *The Canadian Mineralogist*, 47:1423-1440.
- Blenkinsop T.G. 2000. *Deformation microstructures and mechanisms in minerals and rocks*. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, 150 p.
- Brito Neves B.B. & Cordani U.G. 1991. Tectonic evolution of South America during the Late Proterozoic. *Precambrian Research*, 53:23-40.
- Buddington A. F. & Lindsley D. H. 1964. Iron-titanium oxide minerals and synthetic equivalents. *Journal of Petrology*, 5 (2):310-357.
- Cordani U.G., Tassinari C.C.G., Teixeira W., Basei M.A.S., Kawashita K. 1979. Evolução tectônica da Amazônia com base nos dados geocronológicos. In: 2º Congresso Geológico Chileno. Chile, *Actas...*, v. 4, p. 137-148.
- Costa J.B.S., Araújo J.B., Santos A., Jorge João X.S., Macambira M.J.B., Lafon J.M.A. 1995. Província Mineral de Carajás: aspectos tectono-estruturais, estratigráficos e geocronológicos. *Boletim Museu Paraense Emílio Goeldi*. 7(2):199-235.
- Cunha I.R.V.da., Dall'Agnol R., Feio G.R.L. 2016. Mineral chemistry and magnetic petrology of the Archean Planalto Suite, Carajás Province – Amazonian Craton: Implications for the evolution of ferroan Archean granites. *Journal of South American Earth Sciences*, 67: 100–121. doi:10.1016/j.jsames.2016.01.007.
- Dall'Agnol R., Pichavant M., Champenois M. 1997. Iron-titanium oxide minerals of the Jamon Granite, eastern Amazonian region, Brazil: implications for the oxygen fugacity in Proterozoic, A-type granites. *An. Acad. Bras. Ci*, 69(3):325-347.
- Dall'Agnol R., Cunha, I.R.V., Guimarães, F.V., Oliveira, D.C., Teixeira, M.F.B., Feio, G.R.L., Lamarão, C.N. 2017. Mineralogy, geochemistry, and petrology of Neoarchean ferroan to magnesian granites of Carajás Province, Amazonian Craton: The origin of hydrated granites associated with charnockites. *Lithos*, 277: 3-32.
- Dall'Agnol R., Oliveira C.D., Lamarão N.C. 2013. Archean granitoid magmatism and geologic evolution of the Transition Subdomain of the Carajás Province, southeastern Amazonian craton, Brazil. *Boletim Museu Emílio Goeldi*, 8(3): 251-256.
- Dall'Agnol R. & Oliveira D.C. 2007. Oxidized, magnetite-series, rapakivi-type granites of Carajás, Brazil: Implications for classification and petrogenesis of A-type granites. *Lithos*, 93:215-233.
- Dall'Agnol R., Oliveira M.A., Almeida J.A.C., Althoff F.J., Leite A.A.S., Oliveira D.C., Barros C.E.M. 2006. Archean and Paleoproterozoic granitoids of the Carajás metallogenic province, eastern Amazonian craton. In: Symposium on Magmatism, Crustal Evolution, and Metallogenesis of the Amazonian Craton. *Abstracts Volume and Field Trips Guide*. Belém, PRONEX-UFPA/SBG-NO, 150p.

Deer W.A., Howie R.A., Zussman J. 1992. *Rock-forming minerals*. 2a ed. London, Longmans (eds.). 696 p.

DOCEGEO E.D.A. 1988. Revisão litoestratigráfica da Província Mineral de Carajás. In: SBG; CVRD, 35º Congresso Brasileiro de Geologia. Belém, *Anais*. p.10-54.

Feio G.R.L., Dall'Agnol R., Dantas E.L., Macambira M.J.B., Santos J.O.S., Althoff F.J., Soares J.E.B. 2013. Archean granitoid magmatism in the Canaã dos Carajás area: Implications for crustal evolution of the Carajás province, Amazonian craton, Brazil. *Precambrian Research*, **227**:157-185.

Feio G.R.L., Dall'Agnol R. 2012. Geochemistry and petrogenesis of the Mesoarchean granites from the Canaã dos Carajás Area, Carajás Province, Brazil: implications for the origin of Archean granites. *Lithos*, **154**: 33-52.

Felix W.Q. 2019. *Charoquitos de Ourilândia do Norte (PA): geologia, natureza e implicações tectônicas para a Província Carajás*. MS Dissertation, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém 78 p.

Figueiredo M.A. 1999. *Minerais óxidos de Fe-Ti e susceptibilidade magnética em vulcânicas e granitóides proterozóicos da Vila Riozinho, Província Aurífera do Tapajós*. MS Dissertation, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 182p.

Frost R. 1991. Oxide minerals: petrologic and magnetic significance. *Rev. Mineral.* **25**:481–509.

Galarza M.A, Oliveira D.C, Rodrigues E. A., Santos A. N., Martins A. B., Marangoanha B. 2017. Granitoides neoarqueanos (2,73 – 2,74 Ga) intrusivos e associados ao Diopsídio Norito Pium, Canaã dos Carajás, Província Carajás (PA). In: Lima A. M. & Gorayeb P. (ed.). *Contribuições à geologia da Amazônia*, v.10, p.225-246.

Grant F. S. 1985. Aeromagnetism, geology and ore environments, I. magnetite in igneous, sedimentary and metamorphic rocks: an overview. *Geoexploration*, **23**: 303-333.

Gabriel E.O. & Oliveira D.C. 2013. Geologia, petrografia e geoquímica dos granitoides arqueanos de alto magnésio da região de Água Azul do Norte, porção sul do Domínio Carajás, Pará. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi*, **9**:533-564.

Gabriel E.O. & Oliveira D.C. 2014. Geologia, petrografia e geoquímica dos granitoides arqueanos de alto magnésio da região de Água Azul do Norte, porção sul do Domínio Carajás, Pará. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi*. Ciências Naturais, **9**(3):533-564.

Gabriel E.O. 2012. *Geologia, geoquímica e petrologia magnética dos granitoides arqueanos da porção nordeste de Água Azul do Norte (PA) – Província Carajás*. MS Dissertation. Instituto de Geociências, Programa de Pós-graduação em Geologia e Geoquímica, Universidade Federal do Pará, Belém, 107 p.

Gabriel E.O., Oliveira D. C., Galarza M. A. 2010. Petrografia e Geocronologia de granitoides do Complexo Xingu da região nordeste de Água Azul do Norte, Província Mineral de Carajás. In: SBG, 45º Congresso Brasileiro de Geologia, 45, *Anais*. Belém, 1 CDrom.

- Haggerty S.E. 1981. Oxidation of opaque mineral oxides in basalts. *In: Rumble D. Oxide minerals*. 2nd ed. Washington, Miner. Soc. Am. P. Hg1-Hg99. (Short course notes). (Reviews in Mineralogy, v.3).
- Hattori K. Magnetic felsic intrusions associated with canadian Archean gold deposits. 1987. *Geology*, **15**: 1107-1111.
- Ishihara S. 1977. The magnetite-series and ilmenite-series granitic rocks. *Mining Geology*, **27**:293-305.
- Kerr P. 1959. *Optical mineralogy*. New York, McGraw-Hill, 549 p.
- Lafon J.M., Macambira M.J.B., Pidgeon R.T. 1994. Zircon U-Pb SHRIMP dating of Neoproterozoic magmatism in the southwestern part of the Carajás Province (eastern Amazonian Craton, Brazil). *In: 31st International Geological Congress, Rio de Janeiro. Abstracts*. 1 CD-ROM.
- Le Maitre R.W. 2002. *A classification of igneous rocks and glossary of terms*. 2nd ed., London, 193 p.
- Leake B.E., Woolley A.R., Arps C.E.S., Birch W.D., Gilbert C. M., Grice J.D., Hawthorne F.C., Kato A., Kisch H.J., Krivovichev V.G., Linthout K., Laird J., Mandarino J.A., Maresch W. V., Nickel E.H., Rock N.M.S.N.M.S., Schumacher J.C., Smith D.C., Stephenson N.C.N., Whittaker E.J.W., Youzhi G., Gurion B., Krivovichev V.G., Laird J., Mandarino J.A., Maresch W. V., Nickel E.H., Rock N.M.S.N.M.S., Schumacher J.C., Smith D.C., Stephenson N.C.N., Ungaretti L., Whittaker E.J.W., Youzhi G., Gilbert M.C., Grice J.D., Linthout K., Nicholas M.S., Karort A., Krschr H.J., H, D.G.F.C., Knns G.K., Jo, L., Mlnnarrnor A., Mannschrr W. V., Rocrrft H.N.N.M.S., Svrrnr D.C., Srrnphensonrr N.C.N., Scnrnmcherrrr J.C., Wnrrrakerrl J.W., Youznrl G. 1997. Nomenclature of amphiboles: Report of the Subcommittee on Amphiboles of the International Mineralogical Association, Commission on New Minerals and Mineral Names BnnN. *Can. Mineral*, **35**: 219–246.
- Leite A.A.S., Dall’Agnol R., Macambira M.J.B., Althoff F.J. 2004. Geologia e geocronologia dos granitóides arqueanos da região de Xinguara (PA) e suas implicações na evolução do Terreno Granito-Greenstone de Rio Maria. *Revista Brasileira de Geociências*, **34**:447-458.
- Macambira M.J.B. & Lafon J.M. 1995. Geocronologia da Província Mineral de Carajás, Síntese os dados e novos desafios. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, Série Ciências da Terra, Belém*, **7**:263-287.
- Macambira M.J.B., Lancelot J. 1996. Time constraints for the formation of the Archean Rio Maria crust, southeastern Amazonian Craton, Brazil. *International Geology Review*, **38**:1134-1142
- Machado N., Lindenmayer Z., Krogh T.H., Lindenmayer Z.G. 1991. U-Pb geochronology of Archean magmatism and basement reactivation in the Carajás area, Amazon shield, Brazil. *Precambrian Research*, **49**:329-354.

- Marangoanha B., Oliveira, D.C.de., Oliveira V.E.S.de., Galarza M.A., Lamarão C.N. 2019. Neoproterozoic A-type granitoids from Carajás province (Brazil): New insights from geochemistry, geochronology and microstructural analysis. *Precambrian Research*. **324**: 86-108. doi:10.1016/j.precamres.2019.01.010.
- Moreto C.P.N., Monteiro L.V.S., Xavier, R.P., Amaral W.S., Santos T.J.S., Juliani C., Souza Filho C.R. 2011. Mesoproterozoic (3.0 and 2.86 Ga) host rocks of the iron oxide–Cu–Au Bacaba deposit, Carajás Mineral Province: U–Pb geochronology and metallogenetic implications. *Mineralium Deposita*, **46**:789-811.
- Morimoto N. 1988. Nomenclature of pyroxenes. *Mineral. Petrol.* **39**, 55–76.
- Nachit H. 1994. *Contribution à la typologie des granitoides, petrogenèse et pétrologie structurale du batholite Panafricain du cercle de Tafroute (boutonnière de Kerdous, Anti-Atlas occidental, Maroc)*. Thèse d'Etat, Université Ibnou Zohor, Agadir, 465p.
- Nachit H., Razafimahefa N., Stussi J.M., Carron J.P. 1985. Composition chimique des biotites et typologie magmatique des granites. *C.R. Acad. Sci. Paris*. doi:10.1088/0031- 9120/35/3/311.
- Oliveira V.E.S. de., Oliveira D.C.de., Marangoanha B., Lamarão C.N. 2018. Geology, mineralogy and petrological affinities of the Neoproterozoic granitoids from the central portion of the Canaã dos Carajás domain, Amazonian craton, Brazil. *J. South Am. Earth Sci.* **85**: 135-159. doi:10.1016/j.jsames.2018.04.022.
- Oliveira M.A. de., Dall'Agnol R., Althoff F.J., Silva Leite A.A.da. 2009. Mesoproterozoic sanukitoid rocks of the Rio Maria Granite-Greenstone Terrane, Amazonian craton, Brazil. *J. South Am. Earth Sci.* **27**: 146-160. doi:10.1016/j.jsames.2008.07.003.
- Pidgeon R.T., Macambira M.J.B., Lafon J.M. 2000. Th-U-Pb isotopic systems and internal structures of complex zircons from an enderbite from the Pium Complex, Carajas Province, Brazil: Evidence for the ages of granulite facies metamorphism and the protolith of the enderbite. *Chem. Geol.* **166**: 159-171. doi:10.1016/S0009-2541(99)00190-4.
- Rodrigues D.D., Oliveira D.C., Macambira M.J.B. 2014. Geologia, geoquímica e geocronologia do Granito Mesoproterozoico Boa Sorte, município de Água Azul do Norte, Pará – Província Carajás. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Série Ciências da Terra, Belém*. **9**:597-633.
- Ricci P.S.F. & Carvalho M.A. 2006. Rocks of the Pium-Area, Carajás Block, Brazil – A Deepseated High-T Gabbroic Pluton (Charnokitoid-Like) with Xenoliths of Enderbitic Gneisses Dated at 3002 Ma – The Basement Problem Revisited. In: 9º Simpósio de Geologia da Amazônia, *Boletim de Resumos Expandidos*, Belém, 1CD ROM.
- Santos M.J.P., Lamarao C.N., Lima P.H.A., Galarza M.A., Mesquita, J.C.L. 2013. Granitoides arqueanos da região de Água Azul do Norte, Província Carajás, sudeste do estado do Pará: petrografia, geoquímica e geocronologia. *Boletim do Museu Paraense Emílio. Ciências Naturais*, **8**(3):325-354.

Santos M.N.S.D. 2015. *Granodiorito Rio Maria e rochas associadas de Ourilândia do Norte – Província Carajás: geologia e afinidades petrológicas*. Dissertação (Mestrado em Geologia e Geoquímica) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém. 68 f.

Silva L.R., Oliveira D.C., Santos M.N.S. 2018. Diversity, origin and tectonic significance of the Mesoarchean granitoids of Ourilândia do Norte, Carajás province (Brazil). *Journal of South American Earth Sciences*, **82**:33-61.

Santos J.O.S. 2003. Geotectônica do Escudo das Guianas e Brasil-Central. In: Bizzi L.A. et al. (eds.). *Geologia, tectônica e recursos minerais do Brasil: texto, mapas e SIG*. Brasília,DF. CPRM- Serviço Geológico do Brasil, p. 169-226.

Santos J.O.S., Hartmann L.A., Gaudette H.E., Groves D.I., McNaughton N.J., Fletcher I.R. 2000. A new understanding of the Provinces of the Amazon Craton based on integration of field and U-Pb and Sm-Nd geochronology. *Gondwana Research*. **3**:453-488.

Sousa L.A.M. 2019. *Petrologia magnética dos granitoides da suíte Vila Jussara do domínio Sapucaia - Província Carajás, Cráton Amazônico*. MS Dissertation, Universidade Federal do Pará.

Santos M.N.S. & Oliveira D.C. 2016. Rio Maria granodiorite and associated rocks of Ourilândia do Norte - Carajás province: petrography, geochemistry and implications for sanukitoid petrogenesis. *Journal of South American Earth Sciences*, **72**:279-301.

Schobbenhaus C. & Brito Neves B.B. 2003. A geologia do Brasil no contexto da Plataforma Sul-Americana. In: Bizzi L.A. et al. (ed.). *Geologia, tectônica e recursos minerais do Brasil: texto, mapas e SIG*. Brasília,DF, CPRM, p. 5-54.

Silva A.C., Oliveira D.C., Macambira M.J.B. 2010. Individualização e geocronologia de granitoides do Complexo Xingu, região de Vila Jussara, Município de Água Azul do Norte-PA, Província Mineral de Carajás. In: SBG, 45º Congresso Brasileiro de Geologia. *Anais...* Belém, 1 CD-ROM.

Silva A.C., Dall'Agnol R., Guimarães F.V., Oliveira D.C. 2014. Geologia, petrografia e geoquímica de associações tonalíticas e trondhjemiticas arqueanas de Vila Jussara, Província Carajás, Pará. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Naturais*. **9** (1): 13-45.

Silva L.R. & Oliveira D.C. 2019. Magmatismo Mesoarqueano de Ourilândia do Norte-PA: Afinidades Petrológicas e Implicações Tectônicas para a Província Carajás. In: Teixeira S.G. & Chaves C.L. (eds.). *Contribuições à Geologia da Amazônia*, **11**, p.147-180.

Silva L.R., Oliveira D.C., Galarza M.A. 2019. Granitoides Mesoarqueanos de Ourilândia do Norte (PA): Geocronologia e Implicações Tectônicas para a Província Carajás. In: SBG, 16º Simpósio de Geologia da Amazônia. Manaus. *Anais...* 1 CD-ROM.

Silva L.R., Oliveira D.C., Santos M.N.S. 2018. Diversity, origin and tectonic significance of the Mesoarchean granitoids of Ourilândia do Norte, Carajás province (Brazil). *Journal of South American Earth Sciences*, **82**:33-61.

Sousa S.D., Oliveira D.C., Gabriel E.O., Macambira M.J.B., 2010. Geologia, Petrografia e Geocronologia das rochas granitoides do Complexo Xingu da porção a leste da cidade de Água

Azul do Norte (PA) - PMC. In: SBG, 45º Congresso Brasileiro de Geologia. Belém, *Anais...* 1 CD-ROM.

Souza S.Z., Dall'Agnol R., Althoff F.J., Leite A.A.S., Barros C.E.M. 1996. Carajás mineral province: geological, geochronological and tectonic constrasts on the Archean evolution of the Rio Maria Granite-Greenstone Terrain and the Carajás block. In: Symposium on archean Terranes of South America Platform, *Extended abstracts*. Brasília,DF, SBG. p. 31-32.

Souza Z.S., Potrel A., Lafon J.M., Althoff F.J., Pimentel M.M., Dall'Agnol R., Oliveira C.G. 2001. Nd, Pb and Sr isotopes in the Identidade Belt, an Archean greenstone belt of Rio Maria region (Carajás Province, Brazil): implications for the geodynamic evolution of the Amazonian craton. *Precambrian Research*, **109**(3-4):293-315.

Streckeisen A. 1976. To each plutonic rock its proper name. *Earth-Science Reviews*, **12**:1-13.

Tassinari C.C.G. & Macambira M.J.B. 2004. Evolução tectônica do Cráton Amazônico. In: Mantesso Neto V., Bartorelli A., Carneiro C.D.R., Brito Neves B.B. (eds.). *Geologia do continente Sul Americano: evolução da obra de Almeida F.F.M.* São Paulo, BECA, p. 471-486.

Tassinari C.C.G. 1996. *O mapa geocronológico do Cráton Amazônico no Brasil: revisão dos dados isotópicos*. Phd Thesis. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 139 p.

Speer J.A. 1981. Petrology of cordierite-and almandine-bearing granitoid plutons of the southern Appalachian Piedmont, USA. *Can. Miner*, **19**: 35-46.

Tassinari C.C.G., Bettencourt, J. S., Geraldés M.C., Macambira M.J.B., Lafon J.M. 2000. The Amazonian cráton. In: Cordani U.G., Milani E.J., Thomaz Filho A., Campos D.A. (eds.). *Tectonic evolution of South America*. Rio de Janeiro, p. 41-95.

Teixeira M.F.B., Dall'Agnol R., Silva A.C. Santos P.A. 2013. Geologia, petrografia e geoquímica do Leucogranodiorito Pantanal e dos leucogranitos arqueanos da área a Norte de Sapucaia, Província Carajás, Pará: implicações petrogenéticas. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Naturais*. **8** (3): 291-323.

Teixeira A.S., Ferreira Filho C.F., Giustina M.E.S., Della Araújo S.M da., Silva H.H.A.B. 2015. Geology, petrology and geochronology of the Lago Grande layered complex: Evidence for a PGE-mineralized magmatic suite in the Carajás Mineral Province, Brazil. *J. South Am. Earth Sci.* 64, 116–138. doi:10.1016/j.jsames.2015.09.006.

Vasquez L.V., Rosa-Costa L.R., Silva C.G., Ricci P.F., Barbosa J.O., Klein E.L., Lopes E.S., Macambira E.B., Chaves C.L., Carvalho J.M., Oliveira J.G., Anjos G.C., Silva H.R. 2008. Unidades litoestratigráficas. In: Vasquez L.V. & Rosa-Costa L.R. (coord). 2008. *Geologia e recursos minerais do Estado do Pará: texto explicativo dos mapas Geológico e Tectônico e de Recursos Minerais do Estado do Pará Escala 1: 1000.000*. Belém, CPRM. p. 113-215.

Vernon R.H. 2004. *A practical guide to rock microstructures*. Cambridge University Press, 594 p.

Wones D. 1981. Mafc silicates as indicators of intensive variables in granitic magmas. *Min Geol*, **31**(4):191–212.

APÊNDICE A

Análises representativas de piroxênio das rochas estudadas em MEV-EDS

Associação Gabronorito-Charnoquito-Granito de Orilândia do Norte												
VARIÉDADES	Gabronorito			Opx Granodiorito			Cpx Monzogranito			Hbl Monzogranito		
AMOSTRAS	WDL 06 _{OPX}	WDL 07 _{OPX}	WDL 08A _{Cpx}	WDL 01 A _{OPX}	WDL 01 A _{Cpx}	WDL 01 A _{Cpx}	NDP 77A _{Cpx}	NDP 77A _{Cpx}	NDP 77A _{Cpx}	NDP 83 _{Cpx}	NDP 83 _{Cpx}	NDP 83 _{Cpx}
ANÁLISES	C1-1-N	C5 2-1-N	C3 2-2-N	C1-1-N	C1-3-B	C1-2-1-N	C5-4-B	C1-4-B	C4-3-B	C3-5-B	C3-6-N	C3-7-N
SiO ₂	54,58	52,06	48,79	50,78	46,35	52,77	48,10	40,34	50,10	53,12	53,29	54,09
TiO ₂	0,25	0,34	0,78	0,21	1,20	0,39	1,19	0,13	0,61	0,48	0,39	0,31
Al ₂ O ₃	1,04	0,90	7,49	0,92	6,49	1,92	7,11	15,78	6,29	1,82	1,65	1,74
FeO*	19,15	27,58	18,41	32,12	23,41	11,19	22,75	24,96	21,07	14,23	12,05	10,30
MnO	0,51	0,61	0,32	0,64	0,26	0,36	0,48	0,41	0,40	0,25	0,30	0,38
MgO	22,74	15,54	10,99	14,16	8,62	11,34	7,67	3,72	8,48	11,62	12,24	13,18
CaO	1,58	2,62	11,37	0,81	12,08	21,60	10,72	11,75	11,79	18,16	19,71	19,58
Na ₂ O	0,14	0,35	1,04	0,28	0,81	0,35	1,18	1,00	0,70	0,29	0,37	0,42
K ₂ O	0,00	0,00	0,80	0,06	0,78	0,07	0,81	1,91	0,57	0,04	0,00	0,00
total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Fórmula estrutural baseada em 6 átomos de oxigênio												
Sítio T												
Si	2,00	2,00	1,86	1,99	1,82	1,98	1,87	1,61	1,92	2,00	2,00	2,00
Al ^{IV}	0,00	0,00	0,14	0,01	0,18	0,02	0,13	0,39	0,08	0,00	0,00	0,00
total	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
Sítio M1												
Al ^{VI}	0,05	0,04	0,19	0,03	0,12	0,07	0,19	0,35	0,20	0,08	0,07	0,08
Ti	0,01	0,01	0,02	0,01	0,04	0,01	0,03	0,00	0,02	0,01	0,01	0,01
Mg	0,95	0,89	0,62	0,83	0,50	0,64	0,44	0,22	0,48	0,65	0,68	0,73
Fe ³⁺	0,00	0,06	0,16	0,14	0,34	0,29	0,33	0,42	0,29	0,25	0,24	0,19
total	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Sítio M2												
Mg	0,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fe ²⁺	0,59	0,83	0,42	0,92	0,43	0,07	0,41	0,41	0,38	0,19	0,14	0,13
Mn	0,02	0,02	0,01	0,02	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Ca	0,06	0,11	0,46	0,03	0,51	0,87	0,45	0,50	0,48	0,73	0,79	0,78
Na	0,01	0,03	0,08	0,02	0,06	0,03	0,09	0,08	0,05	0,02	0,03	0,03
total	0,97	0,98	0,97	0,99	1,01	0,97	0,96	1,00	0,93	0,96	0,97	0,95
Wo	3,29	5,72	7,76	1,78	28,53	46,85	26,68	30,92	35,15	39,39	43,63	47,86
En	65,68	47,25	31,89	43,22	28,32	34,20	35,05	32,74	30,42	28,10	25,79	23,47
Fs	31,03	47,03	60,36	55,00	43,16	18,95	38,27	36,35	34,43	32,51	30,59	28,66
FeO*/(FeO*+MgO)	0,32	0,50	0,48	0,56	0,60	0,36	0,62	0,79	0,58	0,41	0,36	0,30

APÊNDICE B

Análises representativas de anfibólio das rochas estudadas em MEV-EDS

Associação Gabronorito-Charnóquito-Granito de Orilândia do Norte											
VARIEDADES	Gabronorito			Opx Granodiorito		Cpx Monzogranito			Hbl Monzogranito		
AMOSTRAS	WDL 10	WDL 10	WDL 10	WDL 01 A	WDL 01 A	NDP 77A	NDP 77A	NDP 77A	NDP 119	NDP 27	NDP 83
ANÁLISES	C2-2-B	C2-3-B	C2-4-B	C3-1-N	C3-2-B	C5-1-N	C5-2-B	C5-3-N	C2-3-N	C2-4-B	C3-2-1-N
SiO ₂	38,38	38,42	37,63	47,73	47,17	38,01	37,88	37,75	45,54	45,50	39,38
TiO ₂	3,45	3,11	2,74	1,95	2,06	3,14	3,03	2,84	1,82	1,16	2,27
Al ₂ O ₃	15,88	15,62	16,49	8,22	8,51	16,46	16,10	16,18	7,92	8,17	17,46
FeO*	24,67	25,86	25,56	18,95	19,10	25,36	26,64	25,64	21,55	22,36	21,32
MnO	0,17	0,31	0,23	0,14	0,29	0,24	0,19	0,33	0,45	0,47	0,25
MgO	7,30	6,82	7,35	10,47	9,44	6,54	6,10	6,91	8,14	7,68	9,18
CaO	0,11	0,00	0,11	10,22	10,97	0,00	0,00	0,00	12,52	12,71	0,00
Na ₂ O	0,36	0,00	0,36	1,17	1,32	0,31	0,14	0,45	0,98	0,88	0,48
K ₂ O	9,67	9,86	9,52	1,14	1,14	9,95	9,92	9,90	1,08	1,06	9,67
total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Fórmula estrutural baseada em 23 átomos de oxigênio											
Si	5,95	5,99	5,86	6,98	6,93	5,92	5,94	5,90	6,83	6,85	5,98
Al ^{IV}	2,05	2,01	2,14	1,02	1,07	2,08	2,06	2,10	1,17	1,15	2,02
Al ^{VI}	0,85	0,86	0,89	0,39	0,40	0,94	0,91	0,88	0,23	0,29	1,11
Ti	0,40	0,36	0,32	0,21	0,23	0,37	0,36	0,33	0,21	0,13	0,26
Fe ³⁺	2,03	2,15	2,05	2,09	2,26	2,14	2,28	2,13	2,69	2,79	1,52
Fe ²⁺	1,17	1,23	1,28	0,23	0,08	1,17	1,21	1,22	0,01	0,02	1,19
Mn	0,02	0,04	0,03	0,02	0,04	0,03	0,02	0,04	0,06	0,06	0,03
Mg	1,69	1,59	1,71	2,28	2,07	1,52	1,43	1,61	1,82	1,72	2,08
Ca	0,02	0,00	0,02	1,60	1,73	0,00	0,00	0,00	2,01	2,05	0,00
Na	0,11	0,00	0,11	0,33	0,38	0,09	0,04	0,14	0,28	0,26	0,14
K	1,91	1,96	1,89	0,21	0,21	1,98	1,98	1,97	0,21	0,20	1,87
total	16,21	16,19	16,30	15,37	15,40	16,24	16,23	16,33	15,51	15,53	16,20
Mg/(Mg+Fe ⁺²)	0,59	0,56	0,57	0,91	0,96	0,57	0,54	0,57	0,99	0,99	0,64
Fe ⁺³ /(Fe ⁺³ +Al ^{vi})	0,70	0,71	0,70	0,84	0,85	0,69	0,72	0,71	0,92	0,90	0,58

APÊNDICE C

Análises representativas de biotita das rochas estudadas em MEV-EDS

Associação Gabronorito-Charnoquito-Granito de Orilândia do Norte											
VARIÉDADES	Gabronorito			Opx Granodiorito		Cpx Monzogranito			Hbl Monzogranito		
AMOSTRAS	WDL 08A	WDL 07	WDL 07	WDL 01 A	WDL 01 A	NDP 77A	NDP 77A	WDL 10	NDP 83	NDP 83	NDP 83
ANÁLISES	C2-4-N	C3-4-N	C3-5-N	C4-1-N	C4-2-B	C3-1-N	C3-2-B	C2-1-N	C2-2-N	C2-3-N	C2-4-N
SiO ₂	38,84	38,26	38,12	35,37	35,91	37,62	37,67	38,10	39,07	38,90	39,12
TiO ₂	4,83	5,08	4,94	6,00	5,95	3,10	2,95	3,17	2,33	2,00	2,13
Al ₂ O ₃	14,31	15,65	15,68	14,49	14,59	16,51	16,11	16,39	17,63	17,71	17,43
FeO*	19,57	20,85	20,93	26,48	25,48	24,74	25,81	24,58	21,48	21,84	21,68
MnO	0,06	0,26	0,15	0,16	0,21	0,37	0,50	0,29	0,40	0,29	0,29
MgO	11,82	9,78	9,76	6,65	6,95	7,59	6,69	7,42	9,07	8,98	9,19
CaO	0,15	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,12	0,11	0,08	0,00	0,00
Na ₂ O	0,35	0,39	0,34	0,32	0,44	0,23	0,00	0,50	0,52	0,40	0,46
K ₂ O	10,06	9,65	10,07	10,52	10,46	9,84	10,14	9,43	9,42	9,89	9,71
total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Fórmula estrutural baseada em 22 átomos de oxigênio											
Sítio T											
Si	5,65	5,59	5,58	5,40	5,43	5,60	5,64	5,65	5,68	5,68	5,70
Al ^{IV}	2,35	2,41	2,42	2,60	2,57	2,40	2,36	2,35	2,32	2,32	2,30
total	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00
SítioM1											
Al ^{VI}	0,10	0,28	0,28	0,00	0,03	0,49	0,49	0,51	0,71	0,73	0,69
Ti	0,53	0,56	0,54	0,69	0,68	0,35	0,33	0,35	0,26	0,22	0,23
Fe	2,38	2,55	2,56	3,37	3,22	3,08	3,23	3,05	2,61	2,67	2,64
Mn	0,01	0,03	0,02	0,02	0,03	0,05	0,06	0,04	0,05	0,04	0,04
Mg	2,56	2,13	2,13	1,51	1,57	1,68	1,49	1,64	1,97	1,95	2,00
total	5,59	5,54	5,54	5,56	5,52	5,64	5,61	5,59	5,59	5,60	5,60
Sítio M2											
Ca	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,02	0,01	0,00	0,00
Na	0,10	0,11	0,10	0,09	0,13	0,07	0,00	0,14	0,15	0,11	0,13
K	1,87	1,80	1,88	2,04	2,02	1,87	1,94	1,78	1,75	1,84	1,81
Fe/(Fe+Mg)	0,48	0,54	0,55	0,69	0,67	0,65	0,68	0,65	0,57	0,58	0,57

APÊNDICE D

Análises representativas de plagioclásio das rochas estudadas em MEV-EDS

Associação Gabronorito-Charnokito-Granito de Orilândia do Norte												
VARIEDADES	Gabronorito			Opx Granodiorito			Cpx Monzogranito			Hbl Monzogranito		
AMOSTRAS	WDL 06	WDL 08A	WDL 07	WDL 01 A	WDL 01 A	WDL 01 A	NDP 77A	NDP 77A	NDP 77A	NDL 01	NDL 01	NDL 01
ANÁLISES	C1-4-N	C1 2-1-N	C5 2-1-N	C2-2-N	C2-3-B	C2-4-N	C4-2-1-N	C4-2-N	C4-3-N	C1-1-N	C1-2-N	C1-3-N
SiO ₂	54,30	55,42	53,87	55,94	57,49	57,60	56,96	57,46	59,82	64,17	64,17	64,03
TiO ₂	0,08	0,09	0,13	0,22	0,13	0,09	0,11	0,10	0,20	0,07	0,05	0,09
Al ₂ O ₃	29,60	28,24	29,59	28,34	27,56	27,21	28,01	27,30	25,51	22,84	22,89	22,85
FeO*	0,31	0,42	0,45	0,16	0,14	0,30	0,19	0,42	0,61	0,04	0,17	0,26
MnO	0,21	0,16	0,09	0,09	0,13	0,09	0,13	0,23	0,14	0,15	0,06	0,16
MgO	0,31	0,34	0,30	0,32	0,28	0,30	0,37	0,31	0,47	0,25	0,28	0,25
CaO	10,51	10,88	10,85	9,55	8,50	8,39	8,36	8,08	5,43	3,44	2,93	3,25
Na ₂ O	4,49	4,20	4,39	5,17	5,66	5,86	5,76	5,91	6,84	8,88	9,02	8,91
K ₂ O	0,20	0,25	0,32	0,21	0,11	0,17	0,12	0,19	0,97	0,17	0,44	0,19
total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Fórmula estrutural baseada em 32 átomos de oxigênio												
Si	9,78	9,98	9,73	10,04	10,27	10,30	10,18	10,28	10,67	11,30	11,30	11,28
Ti	0,01	0,01	0,02	0,03	0,02	0,01	0,01	0,01	0,03	0,01	0,01	0,01
Al	6,28	5,99	6,30	5,99	5,80	5,73	5,90	5,76	5,36	4,74	4,75	4,75
Fe	0,05	0,06	0,07	0,02	0,02	0,04	0,03	0,06	0,09	0,01	0,03	0,04
Mg	0,08	0,09	0,08	0,09	0,08	0,08	0,10	0,08	0,12	0,07	0,07	0,07
Ca	2,03	2,10	2,10	1,83	1,63	1,61	1,60	1,55	1,04	0,65	0,55	0,61
Na	1,57	1,47	1,54	1,80	1,96	2,03	2,00	2,05	2,37	3,03	3,08	3,05
K	0,05	0,06	0,07	0,05	0,03	0,04	0,03	0,04	0,22	0,04	0,10	0,04
total	19,84	19,76	19,90	19,85	19,79	19,84	19,85	19,84	19,90	19,83	19,89	19,85
Si+Al	16,06	15,97	16,02	16,03	16,07	16,03	16,08	16,04	16,03	16,04	16,06	16,03
Ca+Na+K	3,64	3,62	3,71	3,68	3,61	3,68	3,62	3,64	3,62	3,72	3,73	3,70
An	55,70	57,93	56,57	49,87	45,05	43,71	44,17	42,54	28,62	17,45	14,84	16,59
Ab	43,04	40,50	41,45	48,83	54,24	55,26	55,07	56,28	65,32	81,54	82,51	82,24
Or	1,27	1,57	1,99	1,30	0,71	1,03	0,76	1,19	6,07	1,01	2,66	1,17