

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**FUSÃO, GERAÇÃO E PRESERVAÇÃO DE ROCHAS DA FÁCIES  
GRANULITO**

**Aline Mota de Souza**

Orientador: Prof. Dr. Renato de Moraes

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

Programa de Pós-Graduação em Mineralogia e Petrologia

SÃO PAULO

2014

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**FUSÃO, GERAÇÃO E PRESERVAÇÃO DE ROCHAS DA FÁCIES  
GRANULITO**

**Aline Mota de Souza**

Orientador: Prof. Dr. Renato de Moraes

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

Programa de Pós-Graduação em Mineralogia e Petrologia

SÃO PAULO

2014

“And forever, on it goes  
Through the circle, fast and slow  
I know, it can't stop, I wonder”

C.C.R

## AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer primeiro ao Prof. Dr. Renato de Moraes, pela paciência de me orientar por todo esse tempo e pela dedicação sempre que eu batia na porta da sala para perguntar alguma coisa ou mandava e-mail de quilômetros de distância.

Agradeço à FAPESP, projetos 10/11152-8 e 13/04007-0, pela contribuição financeira e bolsa de mestrado. À Pedreira Santa Teresinha, em Alfenas, MG. Aos laboratórios de Química e de LA-ICP-MS do IGc-USP e ao Laboratório de Microsonda Eletrônica da UFRJ pelas análises. Agradeço à Sandra por me ensinar a usar o laser e à Farol pelas horas no campo, microscópio, microsonda e café.

Agradeço aos meus professores que, embora tenham me dado aula há anos já, nunca são esquecidos por todas as coisas importantes que me ensinaram: Caetano Juliani, Mario Campos, Gergely Szabó, Renato Almeida, André Sawakuchi, Paulo Boggiani, Marly Babinski, Adriana Alves, Silvio Vlach, Benjamin Bley, Antônio Romalino e Carlos Grohmann.

Agradeço aos meus companheiros de corredor, ou de corredores vizinhos, que estiveram comigo durante todo o primeiro ano de mestrado: Bilóba, Kabong, Pinky, Gargalo, Lituana, Gemida, Jaú, Sarinha, Vesga e Atoladinha. E aos meus amigos que não dividiam mais os dias comigo, mas continuam me acompanhando desde 2006 na geologia: Voodoo, Cérebro, Arregazzo e Sertão (sou muito feliz de ter vocês na minha vida ☺).

Agradeço aos novos amigos geólogos que fiz no Rio de Janeiro em 2012 e que me viam sempre voltando pra São Paulo pra terminar essa dissertação: Jorge, Gustavo, Júlia, Alexandre, Thaís, Roberto, Adriana, Felipe, Rafael Toledo e Valadão (Grupo Selva! + agregado). Ao André Mello, André Royo e Aline Vianna pela boa vontade de me ajudar com as datas que eu precisava estar em São Paulo.

Por fim agradeço a minha família por todo suporte, compreensão e amor durante esse mestrado e desde que eu nasci.

## RESUMO

A *Nappe* Socorro-Guaxupé faz parte da porção sul da Faixa Brasília, a qual delimita a porção oeste e sul do Cráton do São Francisco. A faixa é composta por três unidades: Unidade Granulítica Basal, Unidade Diatexítica Intermediária e Unidade Metatexítica Superior, provenientes da raiz de arco magmático. Na região estudada, nos arredores da cidade de Alfenas, afloram duas unidades: Unidade Granulítica Basal, composta por granulito félsico intercalado com granulito máfico e veios de leucossoma, e cuja paragênese de pico metamórfico é:  $\text{Cpx} + \text{Opx} + \text{Pl} \pm \text{Qtz} \pm \text{Grt} + \text{Ilm}$ , e  $\text{Opx} + \text{Pl} + \text{Kfs} + \text{Qtz} \pm \text{Cpx} \pm \text{Grt} + \text{Ilm}$ ; e Unidade Diatexítica Intermediária, composta por granada diatexitó e granada migmatito estromático, com paragênese de pico formada por:  $\text{Grt} + \text{Pl} + \text{Kfs} + \text{Qtz} \pm \text{Hbl}$ . As rochas de ambas unidades encontram-se bastante retrometamorfisadas.

A variação da composição química dessas rochas foi estudada com base em química de rocha total e os minerais foram investigados com a microsonda eletrônica e LA-ICP-MS, utilizando perfis núcleo-borda em ortopiroxênio, clinopiroxênio e granada. A partir dos dados obtidos pode-se inferir que a maior quantidade de  $\text{Na}_2\text{O}$  e  $\text{CaO}$  menor de  $\text{K}_2\text{O}$  no leucossoma em relação ao granulito félsico indica que mais plagioclásio do que feldspato potássico foi fundido, enriquecendo o líquido nos componentes do plagioclásio; A presença de anomalia negativa de Eu em cristais de ortopiroxênio, clinopiroxênio e granada e a ausência da mesma em outros cristais de granada indica que algumas porções da rocha sofreram porcentagem maior de fusão de plagioclásio que outras. O empobrecimento em ETR médios e pesados na borda de ortopiroxênio indica que o final de sua cristalização foi concomitante com a gênese de zircão, apatita e granada, fases que competiam pelos mesmos elementos. Os padrões de ETR em ortopiroxênio do granulito e do leucossoma são similares, constatando gênese única para o ortopiroxênio em ambos contextos texturais, que se deu através de reações de fusão parcial de biotita ou hornblenda, dando o caráter peritético para o mineral.

O leucossoma, de composição de charnockito, hornblenda granito e granito, é bastante heterogêneo em sua composição química devido as diferentes quantidades de ortopiroxênio e conseqüente proporção de minerais félsicos

presentes, implicando em processo dinâmico para formação e cristalização do leucossoma.

As relações de contato entre granulito e leucossoma são hora transicionais e hora abruptas, implicando em fusão parcial *in situ* e posterior mobilização do líquido. As reações de fusão nas duas unidades incluem o consumo de hornblenda, biotita e plagioclásio e a blastese de granada e ortopiroxênio. Tais reações indicam temperaturas entre 750 e 950 °C em pressões entre 6 e 11 kbar para ambas unidades, dados condizentes com a literatura e da onde conclui-se que as diferentes paragêneses tem relação com o protólito da rocha e não com as condições nas quais se deram a fusão e o metamorfismo.

Retrometamorfismo intenso afetou as rochas da região deixando-as ricas em biotita e hornblenda e está ligado com a presença de água. Conclui-se então que houve metamorfismo progressivo e fusão, seguido de perda de líquido (acumulação em bolsões, ou escape para porções mais rasas da crosta) para preservar regiões com paragênese de pico metamórfico e depois influxo de água para que as reações retrógradas pudessem gerar minerais hidratados em quantidade tão alta.

## ABSTRACT

The Socorro-Guaxupé Nappe is part of the southern Brasília Orogen, which delimits the western and southern portion of São Francisco Craton. The Southern Brasília Orogen comprises three main units: the Basal Granulitic Unit, the Intermediate Diatexitic Unit and the Superior Metatexitic Unit, all representing a magmatic arc root environment. In the investigated area, nearby Alfenas city, two units outcrop: Basal Granulitic Unit, that is composed by felsic granulite interspersed with mafic granulite and leucosome veins, whose metamorphic peak paragenesis is:  $\text{Cpx} + \text{Opx} + \text{Pl} \pm \text{Qtz} \pm \text{Grt} + \text{Ilm}$ , and  $\text{Opx} + \text{Pl} + \text{Kfs} + \text{Qtz} \pm \text{Cpx} \pm \text{Grt} + \text{Ilm}$ ; and Intermediate Diatexitic Unit composed by garnet diatexite and stromatic garnet migmatite, whose metamorphic peak paragenesis is:  $\text{Grt} + \text{Pl} + \text{Kfs} + \text{Qtz} \pm \text{Hbl}$ . The rocks of both units suffer quite retrograde metamorphism.

The variation of chemical composition of these rocks was investigated based on bulk rock chemistry and the minerals were investigated by electron microprobe and LA-ICP-MS, using core-rim profiles in orthopyroxene, clinopyroxene and garnet. Large contents of  $\text{Na}_2\text{O}$  e  $\text{CaO}$  and lower contents of  $\text{K}_2\text{O}$  in the leucosome indicate that more plagioclase melted over k-feldspar, enriching the melt in the plagioclase components. The presence of Europium negative anomaly in orthopyroxene, clinopyroxene and garnet and the absence of this in other garnet grains indicate that some portions of the rock underwent higher percentages of melting than others. The depletion of MREE and HREE on orthopyroxene rim indicates that the end of the crystallization was concomitant with zircon, apatite and garnet, mineral phases that strive for the same elements. Both granulite and leucosome show similar patterns of REE in orthopyroxene, which suggests single genesis in both textural contexts and which have developed by biotite and hornblende partial melting reactions, giving to the mineral a peritectic feature.

The leucosome, charnockitic and granitic in composition, is highly heterogeneous in its chemical composition due to the different amount of orthopyroxene and consequent amount of felsic minerals on it, implying a dynamic process for the leucosome generation and crystallization .

Contact relationships between granulite and leucosome are transitional and abrupt, implying in situ partial melting and subsequent mobilization of the melt. The partial melting reactions in both units include hornblende, biotite and plagioclase consumption and garnet and orthopyroxene generation. Those reactions indicate temperatures between 750° and 950 °C and pressures between 6 and 11 kbar for both units. Those data are consistent with previous works and imply that the different paragenesis are related to the rock protolith rather than the melt and metamorphic conditions.

Intense water-present retrograde metamorphism affected the region, enriching the rocks in biotite and hornblende. In summary, there was a progressive metamorphism with melting followed by melt loss (accumulation in pockets or migration to shallower levels of the crust) to preserve portions with peak metamorphic paragenesis. Finally, water influx must have triggered large amounts of retrograde reactions derived hydrated minerals.

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	1
1.1 OBJETIVOS.....	2
1.2 LOCALIZAÇÃO.....	2
2. MATERIAIS E MÉTODOS.....	3
3. DEFINIÇÕES E PROCESSOS DE FUSÃO E GERAÇÃO DE GRANULITOS... 4	
4. CONTEXTO GEOLÓGICO.....	12
4.1 FAIXA BRASÍLIA .....	12
4.2 NAPPE SOCORRO–GUAXUPÉ.....	15
5. PETROGRAFIA.....	20
5.1 Unidade Granulítica.....	20
5.2 Unidade diatexítica.....	25
6. QUÍMICA DE ROCHA TOTAL.....	30
7. QUÍMICA MINERAL .....	36
7.1 Microsonda Eletrônica.....	36
7.1.1 Granada .....	36
7.1.2 Piroxênio .....	44
7.2 LA-ICP-MS.....	57
7.2.1 Granada .....	58
7.2.2 Ortopiroxênio.....	61
7.2.3 Clinopiroxênio .....	66
8. DISCUSSÃO .....	67
9. CONCLUSÕES .....	74
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	76
ANEXOS .....	83

# 1. INTRODUÇÃO

Granulitos são rochas metamórficas geradas na crosta continental média e inferior, então quando são expostos à superfície oferecem oportunidade importante para estudar os processos que atuam na formação e transformação dessa porção crustal.

Na visão moderna, considera-se que a fusão é muito importante na gênese de granulitos, incluindo protolitos pelíticos, quartzo-feldspáticos ou máficos e pode-se pensar, em alguns casos, em granulito como resíduo do processo de fusão parcial, após perda do fundido gerado.

A idéia da conexão entre os processos de fusão e a geração de granulitos é antiga na literatura, mas foi a partir do trabalho de Fyfe (1973) que começou a ocorrer certa sistematização, com discussões sobre o papel dos fluidos (Powell, 1983), da preservação de porfiroblastos dentro do leucossoma (Powell & Downes 1990), da geração e extração de fundidos em rochas das fácies anfibolito e granulito (Sawyer, 2001, Marchildon & Brown, 2002), da geração de melanossoma como produto retrometamórfico (Kriegsman, 2001; Brown, 2002), da preservação das paragêneses do pico metamórfico em granulitos (White & Powell 2002, 2010) e da geração de granulitos de temperatura ultra-alta (Moraes *et al.*, 2002).

Petrólogos utilizam a variação química composicional dos principais minerais formadores de rochas para caracterizar e relacionar os processos físico-químicos que controlam a formação das rochas. Até pouco tempo esses dados eram obtidos ou separando os minerais da matriz da rocha, técnica que não permite caracterizar a variação química dentro dos minerais, ou com microsonda eletrônica, que precisa de concentrações relativamente altas de um elemento menor ou traço para poder detectá-lo. O acoplamento do *laser ablation* ao ICP-MS trouxe ferramenta melhor para análise de elementos *in situ*, pois consegue trabalhar com limites de detecção extremamente baixos (Jackson *et al.*, 1992).

Nesse trabalho, são comparados a química de rocha total além da variação de elementos terras raras em ortopiroxênio, clinopiroxênio e granada da *Nappe Socorro–Guaxupé* analisados com LA-ICP-MS com objetivo de entender a relação entre fusão, geração e preservação de rochas da fácies granulito.

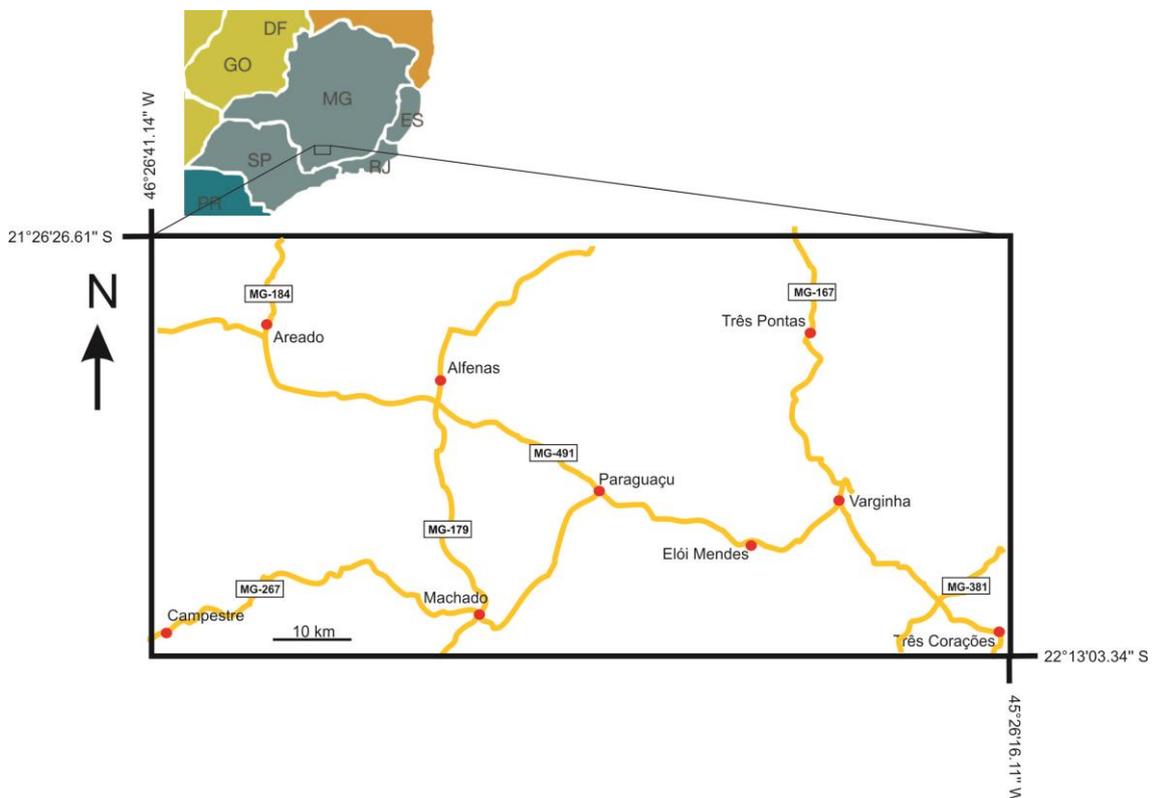
## 1.1 OBJETIVOS

O objetivo do projeto é caracterizar a geração e preservação de granulitos da *Nappe* Socorro–Guaxupé com a combinação da química de elementos maiores, menores e traço em minerais.

## 1.2 LOCALIZAÇÃO

A área de estudo está localizada no sul do Estado de Minas Gerais, nas proximidades da cidade de Alfenas e Machado. Foram utilizadas as cartas topográficas 1:50.000, do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Alfenas (SF-23-V-D-II-3) e Machado (SF-23-V-D-V-1).

O acesso à área a partir da cidade de São Paulo se dá pela Rodovia Fernão Dias e pela rodovia MG-179 (figura 1).



**Figura 1.** Mapa de localização da área de estudo com as principais rodovias da região.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

Para o desenvolvimento desse trabalho, o estudo foi dividido em diversas etapas com uso de várias ferramentas:

1 – **Levantamento bibliográfico:** foi dividido em três etapas: *i)* geologia regional; *ii)* processos de fusão e geração de granulitos e química de minerais presentes em rochas formadas em altas temperaturas; *iii)* estudo das técnicas a serem usadas no trabalho, microsonda eletrônica e LA-ICP-MS.

2 – **Trabalhos de campo e amostragem:** foram realizados para mapeamento das rochas da área em estudo (anexo 1), com auxílio de mapas topográficos, bússola CLAR, martelo, caderneta e lupa. Foram visitados 64 afloramentos (anexo 2) dos quais foram coletadas as amostras para os estudos petrográficos e de química mineral.

3 – **Petrografia:** essa etapa foi iniciada com a descrição macroscópica das amostras e caracterização estrutural e de domínios composicionais (profiroblastos/matriz) com auxílio de bibliografia específica (Mackenzie, 1994; Bard, 1986; Tröger, 1979) A partir dessas amostras foram escolhidas as posições para confecção e descrição de 61 sessões delgadas com microscópio petrográfico convencional e 07 lâminas polidas grossas (80 a 100  $\mu\text{m}$ ) com microscopia eletrônica.

4 – **Análise química dos minerais:** a partir das descrições petrográficas foram selecionadas sete lâminas com minerais peritéticos preservados. Os minerais foram submetidos a análises da microsonda eletrônica do Laboratório de Microsonda (LABSONDA) da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Em seguida, foram analisados minerais de quatro amostras no LA-ICP-MS do Laboratório de Química e ICP-OES/MS do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo.

5 – **química de rocha total:** Foram analisadas 10 amostras de granulito máfico e félsico, hornblenda granito e charnockito. Foram selecionadas apenas amostras livres de intemperismo, na tentativa de determinar a composição total e o conteúdo de elementos traço para avaliação de processos petrogenéticos.

Detalhes mais específicos de alguns dos métodos utilizados serão apresentados dentro de capítulos relacionados da dissertação.

### 3. DEFINIÇÕES E PROCESSOS DE FUSÃO E GERAÇÃO DE GRANULITOS

Os granulitos são nossas ferramentas para estudar a crosta inferior através das rochas expostas em cinturões metamórficos de alto grau ou ainda das exumadas como xenólitos trazidos por lavas basálticas (Harley, 1989). A importância de se estudar e entender os granulitos é que estes são rochas que permitem conhecer a provável natureza e composição da crosta inferior nos continentes atuais. Assim como, nos dão ideias sobre importantes processos, tectônicos e químicos, responsáveis pela acreção, formação e eventual estabilização de nova crosta continental.

#### Histórico e definição

A definição do termo granulito sofreu significativas alterações desde sua primeira utilização. Inicialmente, designava rocha granular quartzo-feldspática do Erzgebirge, maciço da Saxônia e Boemia, no sul da Alemanha (Weiss, 1803) e não havia qualquer associação ou conotação genética. Na realidade, essas rochas usadas para a definição do termo granulito são rochas meta-ígneas metamorfizadas em condições da fácies eclogito e intensamente cisalhadas, dando origem a milonitos e blastomilonitos com porfiroclastos de granada rica em pirope, cianita, rutilo e feldspato ternário (O'Brien, 2006).

O estudo feito por Pentti Eskola entre as décadas de 1920 e 1950 nas rochas da Lapônia, Finlândia (Eskola, 1952), serviu como base para a definição da fácies granulito. Algumas das rochas apresentam aspecto textural semelhante às da região de Erzgebirge e, assim, também foram denominadas de granulitos, mas por conterem ortopiroxênio metamórfico, as condições da fácies granulito começaram a ser relacionadas com a presença desse mineral. Nesse trabalho, Eskola propõe que todas as rochas da fácies granulito são granulitos, sendo desnecessário o uso do termo granulito e o nome de cada rocha seria dado pela abreviação das três primeiras letras dos minerais constituintes, como hyp-gar-qua-ort-pla (hyperstênio-granada-quartzo-ortoclásio-plagioclásio granulito).

Ao longo das décadas de 1950 e 1960 a discussão sobre o que é granulito

culminou com os relatos de Behr *et al.* (1971) e Mehnert (1972) que organizaram e apresentaram os resultados e sugestões. Tentou-se desvincular o nome de rocha granulito das condições da fácies granulito, e também acabar com a ligação com o aspecto granular da rocha. Assim, a definição apresentada para granulito: rocha metamórfica formada pela predominância de feldspatos e minerais anidros, tais como orto- e clinopiroxênio, aluminossilicatos e granada (Mehnert, 1972).

Depois, já na década de 80, Harley (1985) introduziu os termos granulito máfico para rocha de composição basáltica e granulito félsico para rocha quartzo-feldspática. Além disso, é comum denominar de granulito de alta pressão, rochas de composição máfica ou félsica, que apresentam mineralogia de granulito, mas que foram metamorfasadas em fácies eclogito (O'Brien, 2006).

Enfim, em 2002, a sub-comissão de nomenclatura de rochas metamórficas da IUGS definiu o termo granulito como “rocha de alto grau metamórfico na qual silicatos de Fe-Mg são dominantes e anidros. A presença de feldspato e a ausência de muscovita primária são críticas; cordierita também pode estar presente. A rocha com >30% de minerais máficos pode ser chamada de granulito máfico. O termo não deve ser aplicado para mármore, formações ferríferas e quartzitos.” (Coutinho *et al.*, 2002).

### Condições Metamórficas

As condições *P-T* do início da fácies granulito têm mudado com o avanço dos dados experimentais e métodos termobarométricos. Os livros textos das décadas de 1970 e 1980 colocam o limite inferior de temperatura em valores entre 650 e 700 °C. Mais recentemente alguns livros colocam esse valor em torno de 750 °C, concordando com o limite de temperatura proposto por Bohlen & Mezger (1989), o qual afirma que a maior parte dos granulitos estaria enquadrada na janela *P-T*  $800 \pm 50$  °C e  $7,5 \pm 0,5$  kbar. No entanto, na época já havia sido apontado que a janela indicada é muito pequena, pois a compilação das condições *P-T* de vários terrenos granulíticos do mundo ocupam intervalo *P-T* muito mais amplo (Harley, 1989). O motivo do início da fácies granulito ser colocado em temperaturas tão baixas está relacionado com o fato de que as primeiras determinações termobarométricas foram baseadas em termômetros de

troca catiônica, Fe-Mg, entre dois piroxênios. A temperatura calculada é a de fechamento do sistema Fe-Mg em piroxênios, que é mais baixa do que as condições mínimas para a cristalização de ortopiroxênio e também não reflete a temperatura do pico metamórfico.

Os dados experimentais indicam que a temperatura mínima de cristalização de ortopiroxênio em rochas pelíticas, quartzo-feldspáticas e máficas (basálticas) está entre 800 e 850 °C, dependendo da pressão (Pattison *et al.*, 2003). Parte significativa dos cálculos termobarométricos não consegue produzir condições de temperatura maiores que 800 °C para granulitos, o que deveria ser comum levando-se em consideração os dados experimentais. Resoluções para o problema foram trabalhadas por vários autores, com combinações de termômetros e barômetros e reajuste da composição dos minerais para o cálculo das condições do pico metamórfico (Fitzsimons & Harley, 1994; Pattison & Bégin, 1994; Moraes & Fuck, 2000). O método de recálculo de condições de pico metamórfico mais recente é feito com o reajuste da razão Fe/Mg de ortopiroxênio e granada, com base na proporção modal dos minerais na rocha e possibilita a resolução do problema. Quando a técnica foi aplicada para dados disponíveis na literatura de diversos granulitos, foi possível verificar que a maior parte dos resultados de temperatura de pico metamórfico está acima de 820 a 850°C, fazendo com que os cálculos *P-T* apresentem coerência com dados experimentais (Pattison *et al.*, 2003). Com base nos recálculos feitos com as amostras investigadas, é sugerido que o início da fácies granulito deve ser fixado em  $T > 800$  °C. Além disso, a janela *P-T* da fácies granulito fica continua com as condições de temperatura ultra-altas,  $T > 900$  °C (Harley, 1998), caracterizadas por paragêneses de ortopiroxênio aluminoso + sillimanita + quartzo, safirina + quartzo e espinélio + quartzo (Harley, 1998).

Algumas reações e paragêneses características marcam o início da fácies granulito: em rochas pelíticas, são as reações de quebra da biotita dando origem a feldspato potássico, mineral máfico (granada+cordierita ou ortopiroxênio) e líquido de fusão; em rochas básicas, as paragêneses resultantes da quebra ou fusão da hornblenda são quartzo+faialita, sob baixa pressão, ortopiroxênio, sob pressão média, e clinopiroxênio+granada+quartzo, sob pressão alta.

## Constituição litológica e idade

A maioria dos terrenos granulíticos é composta por mais de um tipo de rocha. Incluem suítes variadas de rochas como ortognaisses máficos e félsicos e paragnaisses derivados de protólitos pelíticos, quartzíticos e calcáreos. Muitos desses terrenos contêm componentes que estavam na superfície terrestre, ou próxima a ela, em algum momento anterior ao metamorfismo de alto grau, que foram levados à grandes profundidades na crosta terrestre, em alguns casos, passaram longos períodos (200–2500 Ma) residindo na crosta inferior (Harley, 1989). Existe longa história geológica “pré-fácies granulito” na maioria desses terrenos, evidenciada pelas relações de campo e estudos isotópicos. Por exemplo, componentes crustais da ordem de 3860 Ma estão presentes no Complexo Napier de idade 3070 Ma (Harley, 1989). Fica claro então, que o metamorfismo em fácies granulito pode acompanhar a formação de crosta continental em alguns casos, ou pode afetar crosta antiga e que possivelmente tenha sofrido outros eventos tectônicos antes do metamorfismo de alto grau.

Já foi considerado que os granulitos só se formavam durante o Arqueano e Paleoproterozóico em virtude do elevado gradiente térmico, sendo restrito aos escudos, e que eram característicos apenas de terrenos antigos e muito erodidos. No entanto, tem se tornado claro que o metamorfismo em fácies granulitos não é restrito a nenhum período de tempo na história geológica da Terra, mas sim que eles estão associados à formação de crosta continental e episódios de retrabalhamento, incluindo os que continuam acontecendo atualmente (Harley, 1989). Considerando o longo período de residência de alguns granulitos na crosta inferior, é possível que muitos granulitos fanerozóicos ainda precisem ser exumados através de eventos tectônicos posteriores.

A aquisição de dados isotópicos de terrenos granulitos, que frequentemente são polimetamórficos, apresenta dificuldades, o que pode tornar a interpretação da idade do metamorfismo duvidosa. Felizmente, as extensivas datações de zircão com microsonda iônica e SHRIMP permitem melhor resolução das idades metamórficas, desde as mais antigas até as mais tardias.

## Preservação de granulitos

Modelamento termodinâmico demonstra que rochas pelíticas sob condições de 800 °C e 6 kbar são submetidas a fusão e que taxas de fusão entre 40 e 60% são comuns. O resíduo granulítico de pelitosnessas condições é formado pelos silicatos granada + cordierita + quartzo + feldspato potássico + sillimanita. Assim, para que a paragênese do pico metamórfico seja preservada e não sofra retrometamorfismo para associações minerais de fácies anfibolito superior, mais do que 80% do fundido gerado deve ser retirado da rocha, ou concentrado em leucossoma (White & Powell, 2002). A movimentação de fundido na rocha inicia-se assim que a taxa de fusão chega a valores entre 10 e 25%, pois nesse momento as gotas de líquido geradas entre os contatos dos minerais da reação de fusão se interconectam formando uma rede. Depois disso, o fundido pode ser coletado em sítios de dilatação, tais como, veios, zonas de constricção de *boudins* ou zonas de cisalhamento (Brown, 2008), até que o volume de fundido seja suficiente para o transporte do material para porções mais rasas da crosta.

Durante a fusão parcial da crosta, a separação do líquido do resíduo sólido com segregação do líquido em sítios de dilatação pode resultar na formação de migmatitos durante o resfriamento e cristalização. Tal segregação física do líquido e resíduo também resulta no particionamento químico da rocha, com o líquido sendo relativamente enriquecido em álcalis e água, e o resíduo sendo dominado por minerais ferromagnesianos, que em fácies granulito são quase todos anidros. O resultado disso é que a maioria da H<sub>2</sub>O da rocha esteja no líquido segregado. Por outro lado, observações e análises do leucossoma e melanossoma comumente mostram que os veios de leucossoma são quase anidros, sendo compostos primariamente por quartzo e feldspato e que a maioria da H<sub>2</sub>O na rocha ocorre no melanossoma em fases hidratadas como mica e anfibólio. Para explicar essa feição, White & Powell (2010) propõem modelo em que a difusão da água ocorre durante o resfriamento, e migra do leucossoma de maior potencial químico para o melanossoma de menor potencial químico, o que é a responsável pela natureza anidra do leucossoma e hidratação do melanossoma.

Nestes casos, com a formação de melanossoma rico em minerais hidratados como biotita, a soma do leucossoma mais melanossoma nunca será

igual à composição do protolito, como no modelo em sistema fechado de Mehnert (1968) e o melanossoma será muito mais máfico e o leucossoma mais félsico ainda do que o líquido gerado originalmente (Kriegsman, 2001).

### Ambiente tectônico

Apesar de grande parte dos granulitos estarem relacionados à ambientes de cinturões colisionais (Harley, 1989, 1992), o ambiente tectônico para sua formação ainda é bastante problemático. Isso porque os modelos geodinâmicos não conseguem produzir uma quantidade de calor suficientemente alta durante o relaxamento termal que segue a colisão (England & Thompson, 1984). Sendo assim, é necessária uma fonte de calor adicional para explicar a ocorrência de metamorfismo de temperatura ultra-alta (Harley, 1989, 1992).

Em meados da década de 80, o *magmatic underplating* foi sugerido como fonte de calor adicional (Wells, 1980; Bohlen, 1987), mas o volume de magma dessas intrusões máficas a ser colocado na base da crosta teria que ser equivalente ao volume da crosta a ser metamorfisada (Oxburgh, 1990), o que, em cinturões de centenas de quilômetros de extensão, levaria a intrusões contemporâneas ao pico metamórfico, característica essa que não é observada.

Outra forma de explicar as altas temperaturas é pela aproximação da astenosfera na base da crosta continental. Nesse caso, a base da litosfera que funciona como uma camada de limite termal é removida durante a colisão continental, quando o desacoplamento entre a crosta continental e o manto forma uma raiz orogenética muito espessa, densa, fria e, portanto, instável (Houseman *et al.*, 1981; England, 1993). Essa raiz pode se destacar e fundar na astenosfera depois de 10–15 Ma (Molnar *et al.*, 1993) com descolamento por adelgaçamento dúctil ou delaminação (Schott & Schmeling, 1998), ou por erosão causada pela convecção das astenosfera (England, 1993). O resultado desses cenários é um adelgaçamento litosférico seguido de soerguimento topográfico, deformação do manto e colapso extensional da cadeia de montanhas, associado com metamorfismo de fácies granulito, fusão por descompressão e geração de granulitos (Sandiford, 1989; Ledru *et al.*, 2001). Outro modo de trazer a astenosfera para perto da base da crosta continental é por *slab break-off* (Davies &, 1995; Von

Blanckenburg & Davies, 1995), um destacamento da crosta oceânica subductada. Nesse caso, o modelo prediz que após seu destacamento, a placa ocênica afunda no manto, permitindo a ascensão da astenosfera.

Nas duas hipóteses, o pico do metamorfismo será atingido durante ou logo após a descompressão. Depois do restabelecimento do equilíbrio isostático, as rochas da crosta passam por um estágio de resfriamento isobárico (Harley, 1989, 1992). De qualquer forma, nos modelos apresentados ainda existe o problema de que as rochas da crosta inferior não são soergidas no mesmo evento tectônico que são geradas, a menos que o orógeno seja formado por colisão oblíqua (Thompson *et al.*, 1997).

### **3.1 Química de elementos traço em minerais presentes de rochas formadas a altas temperaturas**

Parte significativa, 99%, dos elementos terras raras, Zr, Th, U e Y estão concentrados em zircão, monazita, xenotima e apatita, minerais acessórios em granitos, gnaisses metassedimentares e granulitos (Bea, 1996). Existem vários fatores que são determinantes na participação desses minerais nas reações de fusão, a começar pela temperatura mínima de fusão ser atingida ou não. Nesse caso dois fatores são muito importantes e estão relacionados com a posição desses minerais na rocha, se inclusos em outros minerais ou presentes como componentes da sua matriz. No último caso, se a temperatura de fusão dos minerais acessórios é atingida, eles irão participar das reações de fusão e descarregar no líquido formado seu conteúdo de elementos terras raras, Zr, Th, U e Y. Entretanto, monazita, xenotima e zircão estão muitas vezes inclusos em biotita e as reações de fusão da biotita devem ser cruzadas para que o conteúdo de elementos traço da rocha contido nesses minerais seja disponibilizado para o fundido (Bea, 1996). O padrão de elementos terras raras (ETR) de todos os minerais, discutidos a seguir, são baseados em padrões normalizados pelo condrito e nos dados de Bea, (1996) e Bea & Montero (1999).

Monazita contém a maior parte dos ETR leves, apresenta grandes anomalias negativas de Eu e forte empobrecimento progressivo em ETR pesados. Apatita apresenta padrões variados, sem diferenças pronunciadas entre ETR

leves e pesados e com leves anomalias negativas de Eu. Xenotima apresenta padrões com aumento progressivo dos ETR leves, profunda anomalia negativa de Eu, seguida de aumento pouco pronunciado entre os ETR pesados. Zircão por sua vez apresenta grande afinidade com os ETR pesados, havendo fracionamento entre ETR leves e pesados, além de anomalias negativas de Eu variáveis; o conteúdo de ETR no zircão é inversamente proporcional à quantidade de fósforo presente no mineral.

Para que rochas pelíticas e quartzo-feldspáticas alcancem as condições da fácies granulito, elas devem cruzar as reações de fusão da biotita e uma vez que parte significativa da biotita entre em fusão, os minerais nela inclusos passam a disponibilizar sua carga composicional. Isso é importante, pois os minerais peritéticos crescem no mesmo momento que os acessórios estão sendo dissolvidos e o líquido nesse momento estará saturado em elementos traço, garantindo que as fases peritéticas contenham o máximo de elementos traço que puderem assimilar durante o seu crescimento (Bea, 1996; Bea & Montero, 1999).

Granada em rochas da fácies granulito apresenta conteúdo baixo de elementos terras raras leves, com conteúdo crescente entre La e Sm, com acentuada anomalia negativa de Eu, e valores relativamente constantes entre Gd e Lu; o conteúdo de Y é menor do que em grãos cristalizados na fácies anfibolito (Bea, 1996). O ortopiroxênio apresenta quantidades muito pequenas de elementos terras raras (Bea, 1996), com leve fracionamento entre terras raras leves e pesados, com enriquecimento dos últimos e anomalias negativas de Eu (Harley & Kelly, 2007). Os feldspatos têm preferência pelos elementos terras raras leves e apresentam grande anomalia positiva de Eu (Bea, 1996; Bea & Montero, 1999).

Se quantidade apreciável dos minerais acessórios é dissolvida durante as reações de fusão, o líquido gerado estará saturado em elementos terras raras, Zr, P, Y, U e Th. À medida que ocorre resfriamento, as fases peritéticas que cresceram com todos elementos traços à disposição podem ser parcialmente absorvidas se não houver perda do fundido gerado (White & Powell, 2002, White *et al.*, 2010) e com o decréscimo de temperatura as fases acessórias começam a cristalizar e competir pelos elementos traço do líquido (Kelsey, 2008).

A composição das bordas das fases peritéticas registra esse processo. Como no caso da granada onde, a afinidade do zircão pelos ETR pesados, faz com que sua cristalização simultânea seja acompanhada de empobrecimento desses elementos na granada; enquanto ocorre enriquecimento relativo do Y, elemento compatível na granada, dissociando os ETR pesados do Y, elementos, em geral, de comportamento similar. Caso a granada seja parcialmente absorvida por reações retrógradas com o líquido (*back-reactions*, Kriegsman & Hensen, 1998), o Y permanece na granada, com enriquecimento relativo, enquanto o conteúdo de ETR pesados disponibilizado será assimilado pelos grãos de zircão. Assim o conteúdo e padrão dos elementos terras raras, Y, Zr, Th, U e P em fases peritéticas e minerais acessórios são excelentes marcadores de processos petrogenéticos em rochas da fácies granulito.

## **4. CONTEXTO GEOLÓGICO**

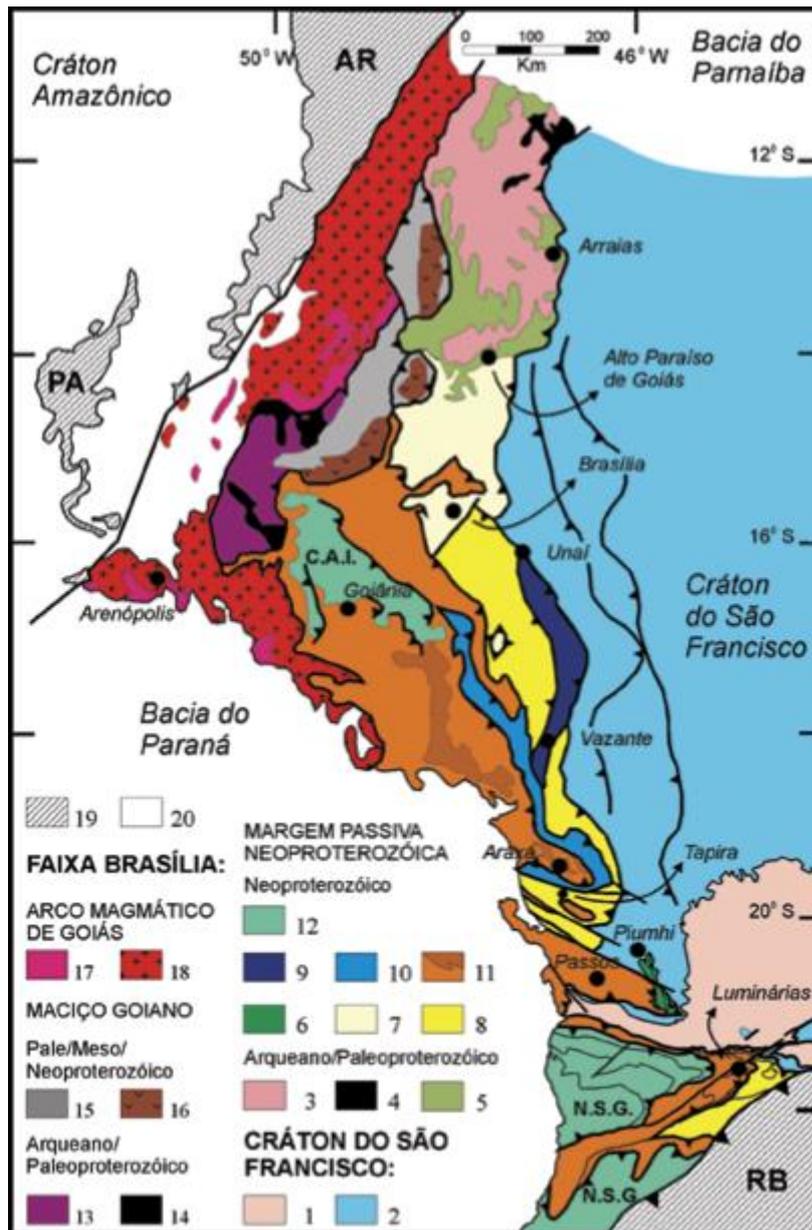
### **4.1 FAIXA BRASÍLIA**

A Faixa Brasília faz parte da Província Tocantins (Almeida *et al.*, 1977), sistema orogênico neoproterozóico, situado entre os crátons Amazônico e São Francisco, resultado da sucessão de eventos colisionais entre blocos crustais que culminaram na formação do supercontinente Gondwana (Valeriano *et al.*, 2004). A Província Tocantins é composta, além da Faixa Brasília que bordeja o Cráton do São Francisco a leste, pelas faixas Paraguai e Araguaia, que bordejam o Cráton Amazônico a oeste. A interferência de um terceiro bloco cratônico a sul, Cráton Paranapanema, é sugerida por diversos autores como importante no desenvolvimento da Província Tocantins (Brito Neves *et al.*, 1999).

A Faixa Brasília é dividida em dois segmentos: Faixa Brasília Setentrional, de orientação NE e Faixa Brasília Meridional, de orientação NW, que são separadas pela Megaflexura dos Pirineus (Costa e Angeiras, 1971). Sua compartimentação tectônica pode ser definida em relação aos terrenos que foram amalgamados à borda do Cráton São Francisco (figura 2). São eles, de leste para oeste, Grupo Bambuí com rochas sedimentares parautóctones, representando a

zona de antepaís; rochas metassedimentares alóctones da margem passiva neoproterozóica e rochas de seu embasamento; Maciço Goiano, microcontinente arqueano-mesoproterozóico; e Arco Magmático de Goiás (Fuck *et al.*, 1994).

A formação da Faixa Brasília teve seu início em *ca.* 900 Ma, em um episódio tafrogenético de expressão mundial (Tafrogênese Toniana), com a acreção desses terrenos à borda do Cráton do São Francisco. Isso ocorreu após a fragmentação do supercontinente Rodínia que gerou a dispersão de muitos paleo-continentes, incluindo o São Francisco-Congo, e que se reorganizaram na formação de um novo supercontinente, o Gondwana (Brito Neves *et al.*, 1999). Após a subducção da margem passiva sanfranciscana sob a placa colidente (Paranapanema), que definiu o auge metamórfico em *ca.* 640 Ma na Faixa Brasília Meridional, foram empilhadas extensas *nappes* de cavalgamento subhorizontal e direção ENE, formadas predominantemente por unidades metassedimentares neoproterozóicas. O grau metamórfico, assim como a intensidade da deformação aumentam consideravelmente, apesar de não continuamente, da área cratônica para o interior da faixa (Valeriano *et al.*, 2008)



**Figura 2.** Unidades tectônicas da Faixa Brasília. 1– terrenos granito-*greenstone* e gnaiss-migmatíticos arqueanos/paleoproterozóicos; 2– coberturas neoproterozóicas autóctones/paraautóctones (São João Del Rey, Carandaí, Andrelândia e Bambuí); 3– terrenos granito-*greenstone* e gnaiss-migmatíticos arqueanos/paleoproterozóicos; 4– *greenstone belt*; 5– sucessões de *rift* paleo a mesoproterozóico (Grupo Araí); 6– sistema de cavalgamento Ilícinea-Piumhi; 7– Grupo Paranoá; 8– Grupo Canastra; 9– Grupo Vazante; 10– Grupo Ibiá; 11– Grupos Araxá e Andrelândia; 12– *nappes* granulíticas (Complexo Anápolis-Itauçu e *Nappe* Socorro-Guaxupé); 13– complexos granito-gnaiss-migmatíticos arqueano/paleoproterozóico; 14– *greenstone belt*; 15– sucessões vulcano-sedimentares de *rift* mesoproterozóico; 16– complexos básico-ultrabásicos meso/neoproterozóicos; 17– sucessões vulcanosedimentares meso a neoproterozóicas; 18– ortognaisses e granitóides neoproterozóicos; 19– faixas Paraguai (PA), Araguaia (AR) e Ribeira (RB); 20– coberturas fanerozóicas. Extraído de Valeriano *et al.*, (2004).

## 4.2 NAPPE SOCORRO-GUAXUPÉ

As rochas de fácies granulito estudadas tem sido agrupadas com diversos nomes, desde Maciço Guaxupé (Almeida *et al.* 1976) quando foram descritas pela primeira vez, até *Nappe Socorro-Guaxupé* (Campos Neto e Caby 1999).

A *Nappe Socorro-Guaxupé* faz parte da porção sul da Faixa Brasília, instalada no oeste e sul do Cráton do São Francisco (Fuck *et al.*, 1994) e está colocada tectonicamente entre outras unidades tectonoestratigráficas que foram justapostas durante a colisão continental neoproterozóica entre a placa Sanfranciscana, margem passiva, e Paranapanema, margem ativa (Campos Neto, 2000). A região foi subdividida em vários sistemas de nappes. De oeste para leste e do topo para a base estão empilhadas: *Nappe Socorro-Guaxupé*; Sistema de *Nappes* Andrelândia; e Sistema de *Nappes* Carrancas (Figura 3).

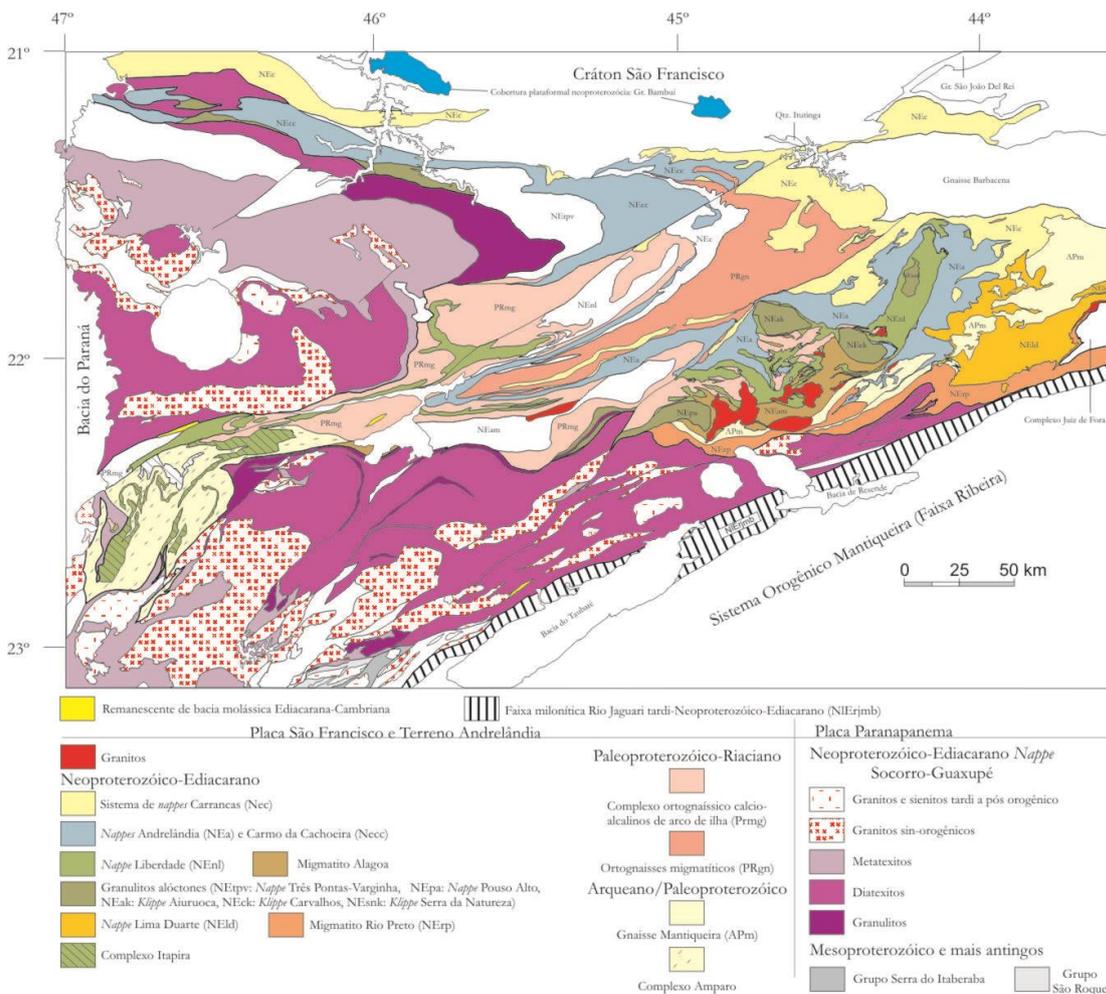


Figura 3. Mapa tectônico da porção sul da Faixa Brasília segundo Campos Neto

*et al.* (2007).

A *Nappe* Socorro-Guaxupé é uma unidade alóctone gigante, com pelo menos 10 km de espessura, que representa o empilhamento de três unidades de crosta continental profunda: Unidade Granulítica Basal, Unidade Diatexítica Intermediária e Unidade Metatexítica Superior, provenientes da raiz de arco magmático (Campos Neto e Caby, 2000).

A unidade basal, de ~3 km de espessura, é composta predominantemente de granada – biotita – ortopiroxênio - ( $\pm$  clinopiroxênio - anfibólio) granulito-gnaisses bandados, de coloração verde, enderbíticos a charnoenderbíticos, intercalados com camadas decimétricas de gnaisses de composição gabro-norítica, considerados intrusivos sin-metamórficos. Apresenta também leucossomas hololeucocráticos anidros com estrutura estromática bem desenvolvida, como enderbitos de coloração clara e charnockitos cinza a rosa de granulação grossa. Veios concordantes de granada mangeritos, de espessura de 0,1 a 1,0 m, também ocorrem (Campos Neto e Caby, 2000). O topo dessa unidade é marcado por uma transição gradual para fácies anfibolito, onde as rochas predominantes são hornblenda– e hornblenda–biotita gnaisses tonalíticos a granodioríticos contendo muitas lentes metabásicas decamétricas e bandas estromáticas leucocráticas leucotonalíticas a trondhjemíticas. Relações de campo e petrográficas mostram que essas rochas de fácies anfibolito não são produto de retrometamorfismo do granulito (Fernandes *et al.*, 1987). Campos Neto *et al.*, (1996) estabeleceram com base na geoquímica de elementos maiores e traço que os granulitos enderbíticos podem ser derivados principalmente de protólitos ígneos de arco magmático. Algumas lentes de granada–biotita–espinélio–mesoperita–plagioclásio gnaisses de composição pelítica cujas relações de química de elementos maiores são compatíveis com protólitos sedimentares de margem passiva estão intercaladas com os granulitos máficos (Campos Neto e Caby, 2000).

Na unidade intermediária, de aproximadamente 6 km de espessura, predominam biotita e biotita-granada diatexitos graníticos rosados (Haddad *et al.*, 1997; Janasi *et al.*, 1997) derivados da fusão por quebra de Bt, de fontes metaluminosas a peraluminosas. Migmatitos estromáticos descontínuos estão inclusos em dominantes granitóides porfiríticos deformados e nebulitos. Esses migmatitos estromáticos possuem mesossoma gnáissico (com hornblenda, biotita

e clinopiroxênio) de composição diorítica–tonalítica e leucossoma contendo biotita, de espessura centimétrica a métrica, de composição trondhjemítica se alternam com melanossomas ferromagnesianos (Campos Neto e Caby *et al.*, 2000). Os nebulitos representam biotita–hornblenda granitos leucocráticos de granulação grossa com contatos transicionais com corpos irregulares de tamanho de batólitos de granito porfirítico deformado. Esses corpos contem enclaves de gnaisses dioríticos–monzodioríticos e xenólitos de granada–diopsídio–escapolita rocha calciossilicática. Também ocorrem lentes metassedimentares de silimanita–cordierita gnaisses kinzigíticos (Campos Neto e Caby *et al.*, 2000).

Já a unidade superior constitui migmatitos estromáticos de origem metassedimentar, onde o grau de anatexia decresce para cima. O mesossoma possui assinatura química e isotópica de metagrauvas e metapelitos, os primeiros, provenientes da denudação de arco magmático neoproterozóico (Janasi, 1999). Granada±silimanita-biotita gnaisses bandados com biotita–granada leucossoma gradam para cima para micaxistos peraluminosos localmente intercalados com muscovita quartzitos feldspáticos, gnaisses ricos em quartzo, gnaisses calciossilicáticos, raros mármore, hornblenda gnaisses e metaintrusivas máficas (Campos Neto e Caby *et al.*, 2000). Zircões de metapelito de alto grau resultaram numa idade máxima U/Pb no intervalo de 1.9-2.1 Ga (Ebert *et al.*, 1996), dado interpretado como a idade média dos zircões herdados incorporados aos sedimentos.

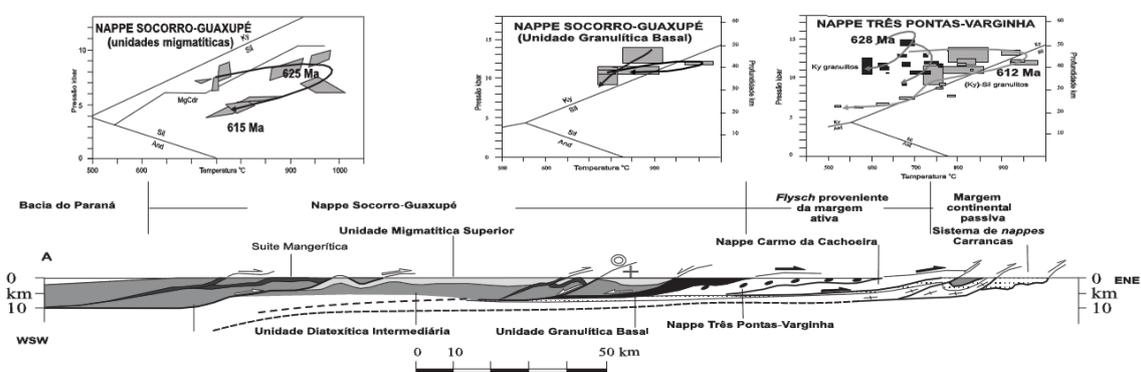
Supersuítas magmáticas ocorrem em todos os níveis estratigráficos da *nappe*. Das mais profundas para as mais rasas estão: séries mangeríticas estratóides derivadas da fusão de granulitos (Campos Neto *et al.*, 1988; Janasi, 1997); granitóides híbridos derivados da crosta inferior e rochas básicas com assinaturas de zona de subducção (Janasi *et al.*, 1997) na porção intermediária da *nappe*. Os batólitos formam uma série cálcio-alcálica expandida, com composição de hornblenda–biotita quartzo monzodiorito-granodiorito-granito porfiríticos. No segmento superior da *nappe* ocorrem corpos descontínuos, intrusivos e/ou *in situ*, de granada – biotita granito peraluminoso gerado na fusão por quebra da muscovita (Janasi, 1997).

A rochas da *Nappe* Socorro-Guaxupé apresentam foliação metamórfica de

baixo ângulo, lineação mineral desenvolvida sob condições de deformação não-coaxial e indicadores cinemáticos de topo para ENE. Também ocorrem zonas de cisalhamento sin-metamórficas normal-obliquas. As rochas plutônicas encontram-se deformadas no estado sólido (Campos Neto e Caby, 2000).

Dados geocronológicos evidenciam que o principal evento formador de rochas no interior da *nappe*, representado por metamorfismo de temperatura ultra-alta, ocorreu a  $625 \pm 5$  Ma (Tabela 2). As unidades superiores atingem condições máximas de  $900 \pm 50^\circ\text{C} - 6,5 \pm 2$  kbar, trajetória metamórfica de aquecimento quase isobárico (Figura 4). Essas condições de altas temperaturas em baixas profundidades sugerem um forte gradiente termal, em um modelo geotérmico relaxado, análogo aos ambientes de margem ativa com manto astenosférico raso. Já na Unidade Granulítica, estão registradas condições de alta pressão, ca.  $850^\circ\text{C} - 14$  kbar (Del Lama *et al.*, 2000; Campos Neto e Caby, 2000; Freitas, 2000; Garcia e Campos Neto, 2003), cenário metamórfico compatível com ambiente tectônico relacionado a uma profunda raiz de arco magmático (Campos Neto *et al.*, 2004).

O equilíbrio metamórfico, relacionado ao relaxamento térmico colisional, ocorreu entre  $615 \pm 16$  e  $612 \pm 3$  Ma (Tabela 1) em granulitos ( $740 \pm 10^\circ\text{C} - 9 \pm 1,2$  kbar) e gnaisses migmatíticos ( $750^\circ\text{C} - 5,5$  kbar). Já as idades para os granitos sin- a tardi-colisionais estão entre  $619 \pm 4$  e  $604 \pm 10$  Ma. O principal período de transporte da *nappe*, responsável pelo encurtamento orogênico e espessamento crustal em regime de colisão continental, ocorreu por volta de 615 Ma, tendo em vista que a deformação das rochas plutônicas do estágio de arco ocorreu em estado sólido (Campos Neto *et al.*, 2004).



**Figura 4.** Perfil geológico e trajetórias metamórficas para *Nappe Socorro-Guaxupé* e *Nappe Três Pontas-Varginha*. Extraído de Campos Neto *et al.* (2004).

**Tabela 1.** Dados geocronológicos da *Nappe Socorro-Guaxupé*. Extraído de Campos Neto *et al.* (2004), compilado de diversos autores.

Método	Rocha	Idade	Observações
K-Ar (Bt)		Valor modal 565	
K-Ar (Amp)		Valor modal 610	
Rb-Sr	Diorito	581±13	Cinturão Itu
U-Pb (Zr)	Granito	582±6	Cinturão Itu: granito rapakiwi
Pb-Pb <sub>evp</sub> (Zr)	Charnockito	590	Zona de cisalhamento
U-Pb (Zr)	Granito	595±12	Zona de cisalhamento
U-Pb (Zr)	Sienito	612±2,5	Pós-colisional
(U-Th)-Pb (Mnz)	Granito	604±10	Granito rosado peraluminoso (M2)
Pb-Pb <sub>evp</sub> (Zr)	Granito	612±8	
U-Pb (Mnz)	Migmatito	612±3	Metamorfismo colisional (M2)
(U-Th)-Pb (Mnz)	Granito	614±14	Grt-Bt granito (M2)
(U-Th)-Pb (Mnz)	Paragneisse	615±16	Metamorfismo colisional (M2)
(U-Th)-Pb (Mnz)	Granito	616±14	Granito porfirítico sin a tardimetamórfico
U-Pb (Zr)	Granito	616±8	
Pb-Pb <sub>evp</sub> (Zr)	Jotunito	619±4	
Sm-Nd (Grt-RT)	Granulito	624±17	Grt granulito. Metamorfismo (M1)
U-Pb (Zr)	Ortogneisse	625±81	Metamorfismo (M1)
(U-Th)-Pb (Mnz)	Paragneisse	626±18	Metamorfismo (M1)
(U-Th)-Pb (Mnz)	Paragneisse	630±16	Cdr-Sil-Grt-Bt gnaisse. Metamorfismo (M1)
U-Pb (Zr)	Gn. Enderbítico	645±7,4	
U-Pb (Zr)	Ortogneisse	650±2	
U-Pb (Zr)	Mangerito	623±31	
U-Pb (Mnz)	Granito	624±2	Grt-Bt granito
U-Pb (Zr-Mnz)	Granito	625±3	Bt granito rosado
U-Pb (Zr)	Mangerito	625±7	
U-Pb (Zr-Mnz)	Granito	627±4	MS-Bt leucogranito
U-Pb (Zr)	Mangerito	628±14	
U-Pb (Zr)	Granitóide	628±69	Hbl-Bt granito porfirítico
U-Pb (Zr)	Granitóide	629±3	Hbl-Bt granito porfirítico
U-Pb (SHRIMP)	Mangerito	640	
U-Pb (SHRIMP)	Mangerito	670	
U-Pb (Zr)	Granulito	670	Grt granulito
U-Pb (Zr)	Migmatito	2772±26	

## 5. PETROGRAFIA

A área de estudo é dividida em duas unidades principais, a Unidade Granulítica, a norte, e a Unidade Diatexítica, a sul, situada estratigraficamente acima da primeira. Os afloramentos na área são relativamente raros, e quando preservados de intemperismo ocorrem como blocos e matacões, dispostos em colinas, em afloramentos de corte de estrada e ainda em duas pedreiras.

### 5.1 Unidade Granulítica

A Unidade Granulítica é composta por hornblenda granulito félsico (figura 5A) com intercalações de lentes de hornblenda granulito máfico e ainda hornblenda charnockito. Essas rochas encontram-se associadas com contatos ora abruptos (figura 5B), ora transicionais (figura 5C), indicando que as porções graníticas/charnockíticas são produto de fusão parcial do granulito. A descrição dos litotipos que compõem a unidade é apresentada a seguir:

#### 5.1.1 Hornblenda granulito félsico ± granada e clinopiroxênio com intercalações de hornblenda granulito máfico

O hornblenda granulito félsico trata-se de rocha inequigranular com bandamento granulométrico, seriada, muito fina a média, com estrutura foliada e textura granoblástica, devido ao domínio de quartzo e feldspatos, com porções lepidonematoblásticas em que predominam hornblenda e biotita. A mineralogia é composta por quartzo (30-35%), plagioclásio (7-13%), feldspato potássico (25-35%), ortopiroxênio (0-30%), clinopiroxênio (0-10%) biotita (3-4%), hornblenda (0-15%), granada (3%), apatita (<1%), zircão (<1%) e minerais opacos (5%). As rochas gradam para rocha bandada, com bandas descontínuas subcentimétricas e máficas, que são intercaladas com bandas centimétricas félsicas, ambas de granulação fina a média. As bandas máficas apresentam textura lepidogranonematoblástica e são compostas por hornblenda, quartzo, plagioclásio, biotita e minerais opacos, enquanto as bandas félsicas são

granoblásticas e compostas apenas por quartzo, feldspato potássico, plagioclásio e minerais opacos. Zircão e apatita ocorrem distribuídos pelas duas bandas.

Quartzo é xenoblástico, ocorrendo como microgrãos, tanto aglomerados ou dispersos na matriz; os aglomerados são alongados e dispostos segundo a foliação principal. Quartzo com textura *flaser* apresenta extinção ondulante e chega a formar subgrãos; ainda ocorre como inclusões arredondadas em feldspato e hornblenda; e de canaliculos margeando os demais minerais, que indica fusão parcial. Sua granulação varia de extremamente fina (microgrãos) a média (cristais alongados), predominando a granulação fina com contatos retos a lobados, com os demais cristais de quartzo, e lobado a amebóide com os demais minerais. Junto com plagioclásio e feldspato potássico confere a textura granoblástica dominante da rocha. Onde há separação composicional de bandas, quartzo subidioblástico ocorre com até 0,6 cm e paralelo à foliação, associado a plagioclásio e feldspato potássico na banda félsica e intersticial submilimétrico associado com plágioclásio na banda máfica.

Feldspato potássico só ocorre no granulito félsico, é xenoblástico a subidioblástico, de granulação variando entre muito fina a média, e ocorre como microclínio, pertita e mesopertita. Seus contatos são lobados a irregulares. Alguns cristais maiores formam subgrãos na borda, indicando recristalização. Em algumas amostras, os cristais encontram-se bastante alterados para muscovita muito fina e carbonato.

Plagioclásio tem composição de andesina,  $An_{32}$  a  $An_{36}$ , na banda félsica ocorre com granulação que varia de 0,1 a 3 mm, subidioblástico e com contatos retos a serrilhado. Muitos dos grãos são saussuritizados e, por vezes, formam mimerquita na borda do feldspato potássico. Na banda máfica ocorre com granulação muito fina associado ao quartzo, com contatos retos a lobados.

Ortopiroxênio subidioblástico ocorre orientado segundo a foliação da rocha. Apresenta granulação média, inclusões de quartzo e minerais opacos e bordas normalmente substituídas por biotita (figura 6A e B) ou diopsídio. O pleocroísmo varia de verde claro à rosa pálido e seus contatos são retos a irregulares.

Clinopiroxênio é o diopsídio, de até 2mm, subidioblástico e ocorre nas bordas do ortopiroxênio, chegando a substituí-lo por completo ou ficando com inclusões do mesmo. Está orientado segundo a foliação e apresenta pleocroísmo

leve de verde claro à verde pálido. Inclusões de minerais opacos são comuns e está associado à hornblenda, presente em suas bordas, em virtude de sua substituição.

Hornblenda está presente na maioria das amostras, nas bordas de orto- e clinopiroxênio, pois os substituiu. Apresenta-se subidioblástica a xenoblástica, com pleocroísmo variando de amarelo esverdeado a verde amarronzado, ocorre orientada segundo a foliação principal da rocha, com granulação variada, mas predominando a média. Apresenta contatos retos a lobados e inclusões arredondadas de quartzo, biotita e minerais opacos, além de zircão.

Biotita é subidioblástica, com pleocroísmo variando entre verde amarelado e marrom, de granulação fina, ocorrendo nas bordas da hornblenda, substituindo-a, ou na borda de minerais opacos, sendo considerada retrometamórfica. Apresenta algumas inclusões de quartzo. Quando não está associada à hornblenda, ocorre oblíqua a foliação com contatos predominantemente retos. Confere a textura lepidoblástica da rocha. Quando há ortopiroxênio na rocha, biotita comumente está em suas bordas.

Granada é xenoblástica, ocorre com inclusões arredondadas de quartzo e feldspato, zircão arredondado, minerais opacos orientados e hornblenda prismática. Apresenta filmes de feldspato potássico na borda mimetizando o líquido silicático, indicando que a granada é peritética.

Minerais opacos, de granulação fina a média, são xenoblásticos, ocorrem distribuídos pelas duas bandas e a maioria está disposta paralela à foliação. Ocorrem tanto inclusos, como nas bordas de hornblenda, ortopiroxênio ou biotita, o que sugere que foram consumidos durante o crescimento de seus hospedeiros. Ocorrem também dispersos nas porções quartzo-feldspáticas, nas quais são intersticiais.

Zircão e apatita são arredondados, com alguns cristais subeuhedrais E apresentam tamanho médio de 0,2 mm. Ocorrem tanto na matriz quartzo-feldspática quanto associados a minerais opacos, biotita e hornblenda. Estão inclusos principalmente em quartzo na banda félsica e em hornblenda na máfica. Ocorrem com aspecto arredondado, com alguns cristais subeuhedrais.

Algumas amostras de granulito félsico encontram-se intensamente retrometamorfisadas, com alta proporção de biotita e perdendo as características

originais. Nesses casos, ocorrem aglomerados de biotita ou simplectitos de cummingtonita-antofilita-carbonato com bordas de simplectitos de hornblenda com outro anfibólio, que provavelmente substituem os piroxênios. Outras amostras apresentam epidoto (2%) subidioblástico associado à hornblenda na banda máfica. Nessas amostras, o núcleo de alguns cristais de hornblenda está alterado para antofilita, cummingtonita e carbonato.

### 5.1.2 Charnockito/granito ± hornblenda

O charnockito/granito trata-se de rocha maciça a levemente foliada, de granulação variando de fina a grossa, predominando grossa, com textura inequigranular fanerítica. A mineralogia é composta por quartzo (20-35%), feldspato potássico (20-34%), plagioclásio (18-28%), clinopiroxênio (0-10%), ortopiroxênio (0-5%) anfibólios (hornblenda, antofilita, cummingtonita) (3-20%), epidoto (0-5%), biotita (2-10%), minerais opacos (2%), carbonato (<1%) e minerais acessórios (<1%)

Quartzo anedral ocorre como cristais de até 4 mm, com extinção ondulante e alongado, semelhante à textura *flaser*. Também aparece intersticial e como microgrãos associado com feldspato potássico e plagioclásio com contatos difusos; como mimerquitas; na forma de intercrescimento granofírico e ainda como filmes mimetizando a fusão.

Feldspato potássico ocorre como megacristais de até 5 mm de microclínio, pertita ou mesopertita, com zoneamento textural. As bordas das pertitas não apresentam tanta exsolução como o núcleo, indicando a cristalização tardia da borda. Por vezes a borda também se encontra recristalizada, formando microgrãos. Também ocorre como aglomerado de microgrãos associados com quartzo e plagioclásio e como cristais intersticiais. Inclusões de biotita e plagioclásio são comuns e indicam que esses minerais tiveram cristalização precoce, seguidos pela cristalização de feldspato potássico e, por fim, quartzo. Por vezes encontra-se alterado, formando muscovita e carbonato.

O plagioclásio apresenta composição  $An_{22-28}$ , oligoclásio, também ocorre como aglomerados de microgrãos ou megacristais euhedrais tabulares de até 5 mm e na forma de mimerquitas. Assim como feldspato potássico, os cristais de

plagioclásio indicam um pouco de deformação devido a recristalização em alguns locais, mas nas porções menos afetadas, percebe-se o caráter ígneo dos cristais, por apresentarem várias faces bem desenvolvidas (figura 6D). Apresenta zoneamento ótico, o que indica que as bordas tem composição diferente do núcleo. Possui inclusões de biotita, apatita e zircão. Encontra-se saussuritizado em algumas porções.

Clinopiroxênio é subidiomórfico a xenomórfico, ocorre orientado segundo a foliação da rocha. Apresenta inclusões de minerais opacos, quartzo e se apresenta intercrescido com anfibólio de extinção reta. As bordas estão alteradas para anfibólios (antofilita/cummingtonita).

Ortopiroxênio é xenomórfico a subidiomórfico, de até 10 mm, são raros os grãos sem alteração e a maioria encontra-se quase totalmente substituído por simplectitos de hornblenda (figura 5D) e anfibólio de granulação muito fina (antofilita/cummingtonita), com carbonato associado ou por um agregado de minerais fibrosos (iddingsita – agregado de clorita e serpentina tingido de vermelho cobre, por hidróxido de ferro). Em alguns locais, ocorre clinopiroxênio em suas bordas, devido à substituição. As bordas dos cristais são bastante irregulares e ocorre a blastese de hornblenda e biotita.

Hornblenda também ocorre sozinha como cristais de até 1 cm, subidioblástica, com inclusões de opacos, quartzo e zircão subarredondado. Em algumas amostras menos retrometamorfisadas, percebe-se que os piroxênios estão sendo substituídos por hornblenda, pois estão em seu núcleo e são bordejados por intercrescimentos de finos cristais de hornblenda. Também ocorre bordeada por biotita, indicando que está sendo substituída por esta.

Epidoto ocorre na forma de simplectitos com quartzo, escapolita e carbonato.

Biotita ocorre de duas formas, inclusa em feldspato potássico caracterizando uma cristalização precoce; e xenomórfica a subidiomórfica nas bordas de anfibólio, piroxênio e dos minerais opacos e com inclusões de quartzo e zircão, evidenciando aspecto tardio.

Minerais opacos xenomórficos e orientados segundo a foliação da rocha ocorrem associados a clinopiroxênio e biotita, inclusos em feldspato potássico e

plagioclásio e intersticiais na matriz quartzo-feldspática. Apresentam contatos lobados e também ocorrem associados com os aglomerados de anfibólios.

Zircão e apatita de até mais de 1 mm ocorrem arredondados a euhedrais espalhados pela matriz quartzo-feldspática, por vezes inclusos em plagioclásio, feldspato potássico e biotita formando halos pleocróicos, e associados ao aglomerado de anfibólios. Apesar de o charnockito estar em contato com granulito máfico, a quantidade de apatita diminui significativamente no charnockito. Zircão também ocorre com coroa de minerais opacos ou totalmente incluso neles.

## **5.2 Unidade diatexítica**

A Unidade diatexítica é composta por granada migmatito bandado e granada granito/charnockito intercalados com hornblenda–biotita granulito félsico e granulito máfico intensamente biotitizado.

Granada granito e granada charnockito com hornblenda ocorrem intercalados em contatos transicionais, como bolsões centimétricos a métricos em meio ao migmatito bandado. No granulito máfico também ocorrem veios e bolsões de leucossoma granítico e charnockítico, que podem ser fruto de fusão parcial do granulito. Os bolsões menores apresentam contatos transicionais e descontínuos, evidenciando fusão *in situ* (figura 5E) enquanto os bolsões maiores são intrusivos, pois estão cortando os demais litotipos (figura 5F). A descrição dos litotipos que compõem a unidade é apresentada a seguir:

### **5.2.1 Granada migmatito bandado**

O granada migmatito bandado é rocha foliada e bandada, com estrutura *schiliren* e bandas entre 1 e 10 cm de espessura. Apresenta granulação variada, fina a média e média a grossa; a textura granoblástica é dada devido ao predomínio de minerais como quartzo e feldspato, com porções subcentimétricas a centimétricas lepidogranoblásticas dadas pela presença de biotita orientada. A mineralogia da rocha é composta por quartzo (30-35%), feldspato potássico (22-25%), plagioclásio (18-20%), biotita (15-20%), granada (5-15%) escapolita (<1%), carbonato (<1%), minerais opacos (2-4%), apatita (<1%) e zircão (<1%).

Quartzo subidioblástico a xenoblástico ocorre associado a feldspato potássico e plagioclásio, conferindo a estrutura granoblástica da rocha, com granulação grossa, mas variando até fina. Alguns cristais encontram-se levemente alongados segundo a foliação da rocha, mas a maioria dos grãos é equidimensional, portanto sem orientação. Os cristais de granulação média a grossa apresentam extinção ondulante. Os contatos com os demais minerais são lobados a irregulares. Ocorre ainda em textura mirmequítica que substituiu o feldspato potássico, como pequenos filmes nas bordas de granada e *string of beads* mimetizando a fusão. No mesossoma, quartzo ocorre na forma intersticial.

Feldspato potássico subidioblástico a xenoblástico também ocorre com granulação grossa até fina, na forma de ortoclásio e microclínio. Apresenta contatos irregulares a lobados. Ocorrem também como pequenos filmes mimetizando o líquido e dispostos ao redor de granada na banda máfica. Encontra-se transformado em sericita e carbonato.

Plagioclásio com teor de anortita An<sub>28</sub>, oligoclásio, no leucossoma ocorre idioblástico, com hábito tabular, e com granulação grossa, evidenciando que foi o primeiro a se cristalizar a partir da fusão. Também ocorre formando antipertita e mirmequita. Já nas bandas mais ricas em biotita apresenta teor de anortita An<sub>42</sub>, andesina e ocorre subidioblástico, com granulação fina a média. Possui contatos retos a lobados. Apresenta inclusões de granada. Encontra-se saussuritizado.

Biotita idioblástica a subidioblástica, de granulação fina a média e pleocroísmo variando de verde amarelado pálido à marrom, ocorre orientada segundo a foliação, definindo a textura lepidogranoblástica. Seus contatos são retos, de acordo com seu hábito tabular, mas por vezes apresenta-se com hábito esqueletal, associada a quartzo e feldspato. Também ocorre como inclusões arredondadas em granada (figura 6C), evidenciando a existência de duas gerações de biotita: uma anterior à blastese da granada e outra posterior.

Granada subidioblástica a xenoblástica e granulação média a grossa, chegando a cristais de 1,5 cm, ocorre no mesossoma, rico em biotita, mas também ocorrem cristais esparsos no leucossoma. Apresenta inclusões de quartzo xenoblástico irregular ou arredondado, biotita, minerais opacos, plagioclásio e feldspato potássico, além de escapolita e carbonato em fraturas. Também possui inclusões muito finas de espinélio. Encontra-se bordeada por biotita idioblástica e

minerais opacos. Os contatos com biotita são retos enquanto com outros minerais são irregulares. No caso de granada presente no leucossoma, a substituição por biotita é menor ou inexistente, mas a última também ocorre como inclusões.

Escapolita de granulação fina a média ocorre associada com cristais muito finos de carbonato em meio a matriz do leucossoma ou ainda associada às fraturas de granada.

Minerais opacos são xenoblásticos, orientados segundo a foliação principal da rocha. Ocorrem predominantemente no mesossoma com granulação fina, mas chegando a média, associado à biotita com contatos retos, ou na borda de cristais de granada. Também ocorre como inclusão em granada. Possui raras inclusões de quartzo arredondado.

Zircão ocorre subidioblástico a arredondado, fino e em contato com quartzo e plagioclásio no domínio com biotita. Alguns cristais estão em contato com biotita, quase inclusos nela. Apatita arredondada ocorre no mesossoma.

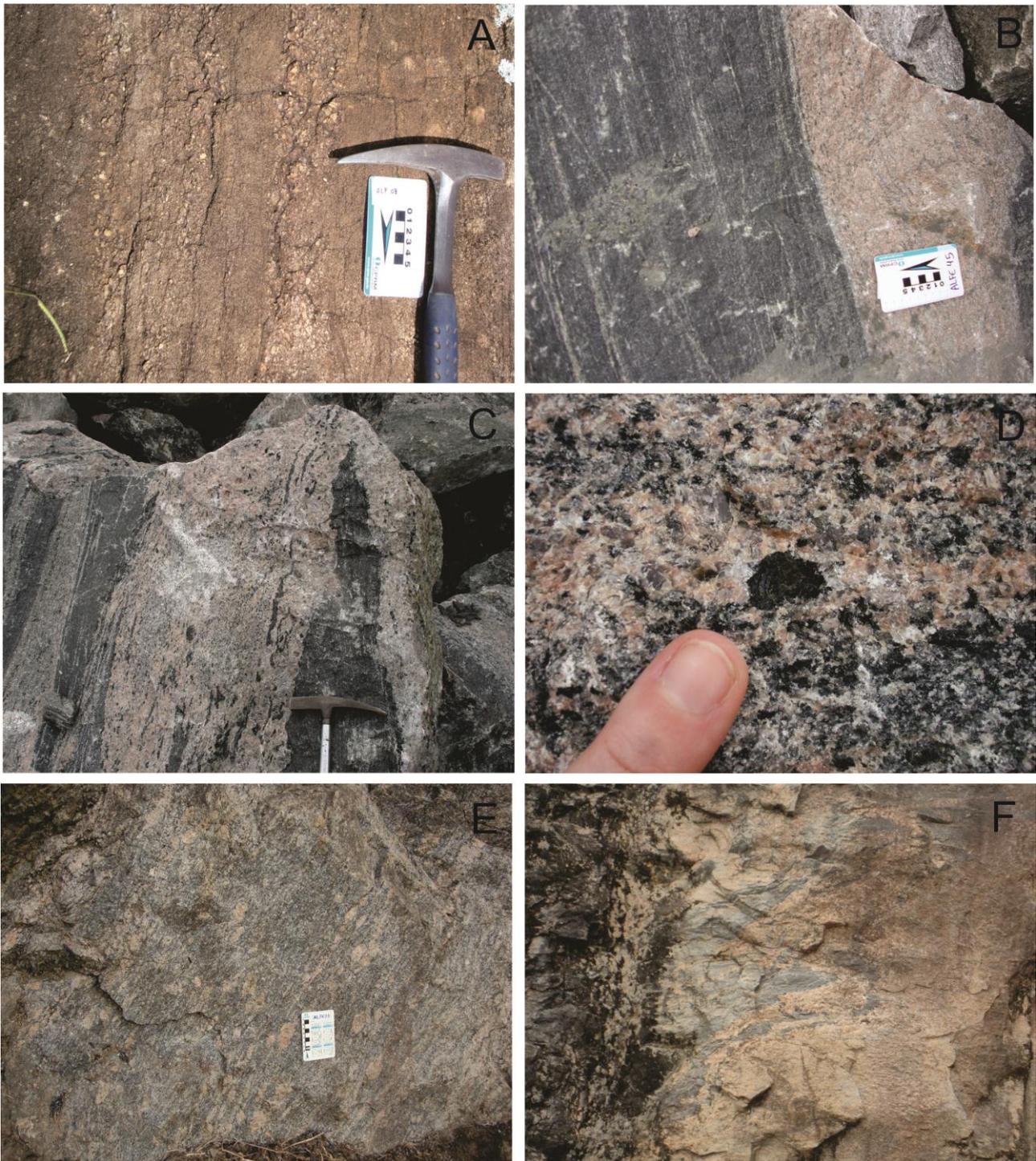
### **5.2.2 Granada granito/charnockito ± hornblenda**

Corresponde à mesma rocha descrita na Unidade Granulítica, porém com a presença de granada. Nesse caso, granada (4-10%) ocorre como cristais subhedrais de granulação grossa que chegam a ter mais de 2 cm. dispersos pela matriz quartzo-feldspática. Apresenta inclusões arredondadas de quartzo, zircão, minerais opacos e feldspato potássico xenomórfico, que indica mimetização do líquido (figura 6E). Muscovita, biotita, clorita e carbonato, que ocorrem em suas bordas e fraturas.

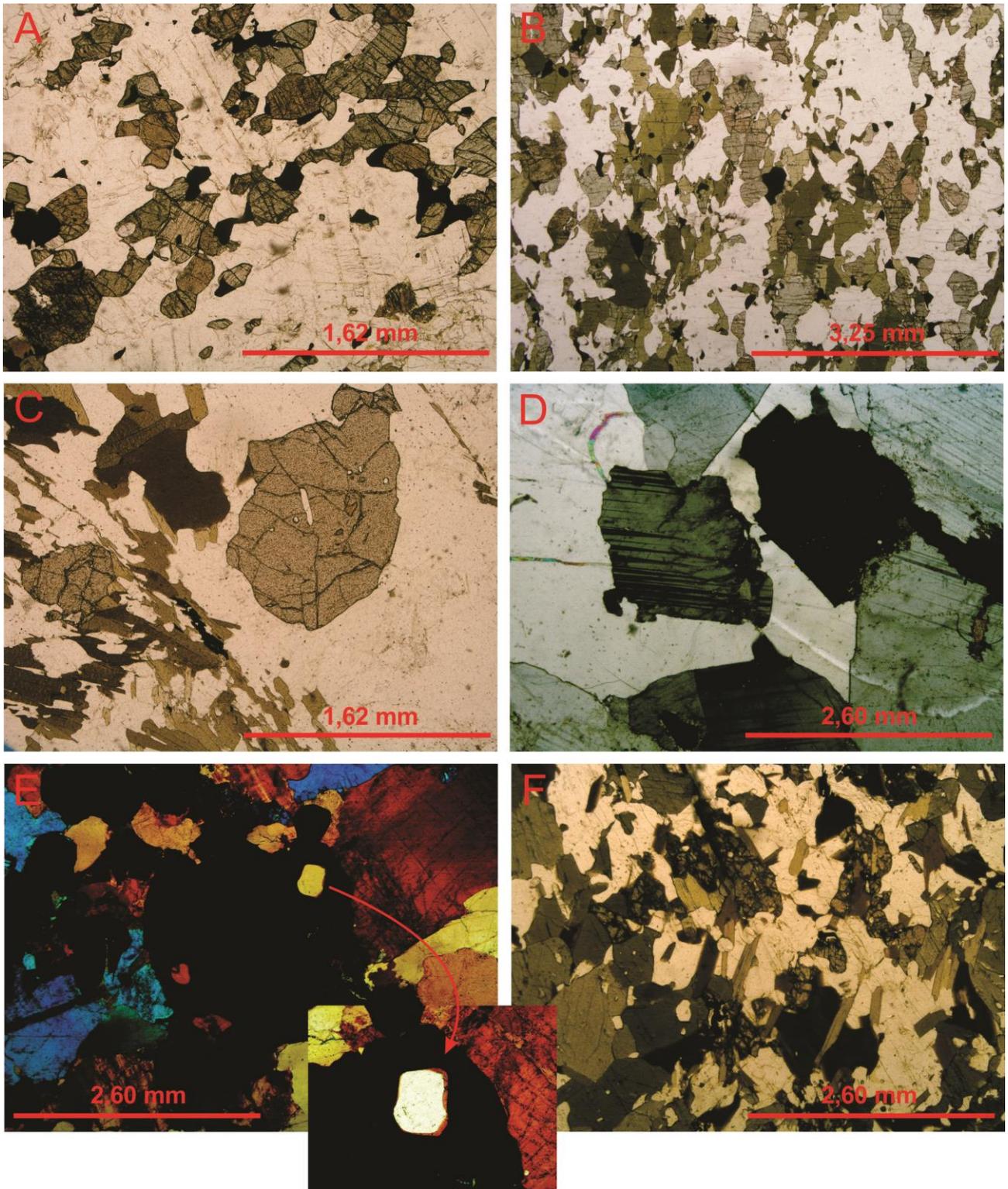
A quantidade de hornblenda no litotipo dessa unidade é menor que da Unidade Granulítica, chegando no máximo a 2%.

### **5.2.3 Hornblenda–biotita granulito félsico e granulito máfico biotitizado**

Tratam-se das mesmas rochas descritas na Unidade Granulítica porém com maior quantidade de biotita, que chega a 20% (figura 6F) indicando retrometamorfismo intenso. Ocorrem níveis centimétricos charnockíticos segregados em meio ao granulito máfico.



**Figura 5.** Prancha de fotos de afloramentos. **A** Bandamento granulométrico em granulito félsico. **B** Contato abrupto entre granulito máfico e hornblenda charnockito. **C** Relações de contatos abruptos e transicionais entre granulito félsico, granulito máfico e charnockito. **D** Ortopiroxênio envolto por hornblenda em charnockito. **E** Pequenos bolsões de leucossoma graníticos em migmatito, evidenciando fusão *in situ*. **F** Contato abrupto entre bolsão granítico/charnockítico e granulito félsico.



**Figura 6.** Prancha de fotomicrografias. **A** Granulito félsico da Unidade Granulítica. Polarizadores paralelos. **B** Hornblenda granulito félsico da Unidade Granulítica retrometamorfisado. Polarizadores paralelos. **C** Biotita inclusa em granada em migmatito da Unidade Diatexítica. Polarizadores paralelos. **D** Textura ígnea com plagioclásio euhedral a subhedral em leucossoma charnockítico da Unidade Diatexítica. Polarizadores cruzados. **E** Inclusão de quartzo e feldspato potássico em granada, mimetizando o líquido em granada granito da Unidade Diatexítica. Polarizadores cruzados e acessório inserido. **F** Granulito máfico da Unidade Diatexítica intensamente biotitizado. Polarizadores paralelos.

## 6. QUÍMICA DE ROCHA TOTAL

Foram coletadas 10 amostras de rochas dos diferentes litotipos da Unidade Granulítica para análise química de rocha total. Durante a coleta das amostras, foi tomado cuidado para que apenas as rochas livres de intemperismo fossem selecionadas. Os litotipos coletados foram: granulito félsico, granulito bandado com porções félsicas e máficas, hornblenda granito e charnockito, sendo os dois últimos litotipos veios de leucossoma que ocorrem tanto na forma de bolsões como de veios. Os valores obtidos estão apresentados no anexo 3.

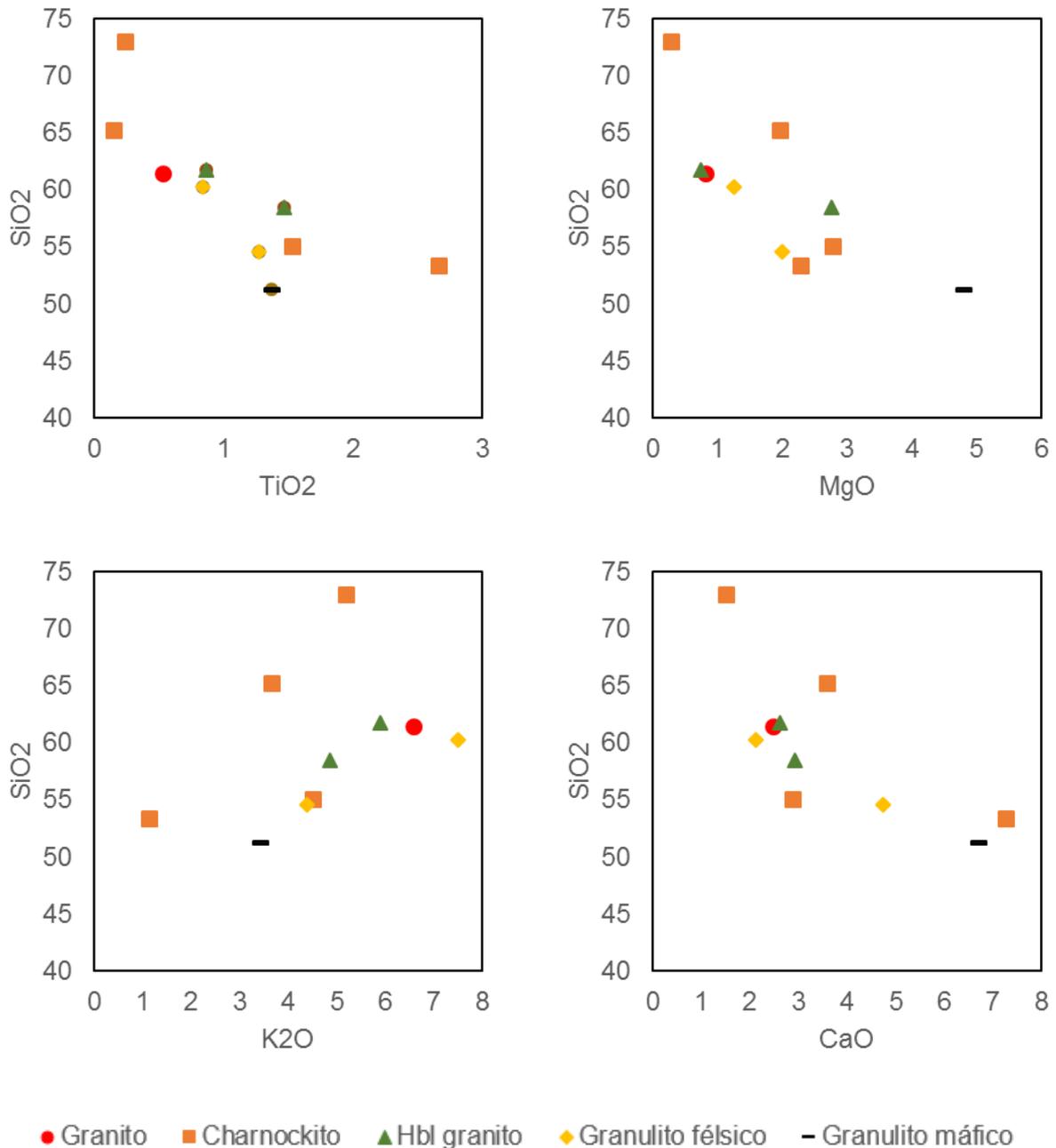
Através dos diagramas de  $\text{SiO}_2 \times \text{TiO}_2$ ,  $\text{SiO}_2 \times \text{MgO}$ ,  $\text{SiO}_2 \times \text{K}_2\text{O}$  e  $\text{SiO}_2 \times \text{CaO}$  (figura 7) é possível observar que o charnockito do leucossoma apresenta a maior variação de  $\text{SiO}_2$ , com valores oscilando entre 53,37% e 73,03%. Granulito félsico também apresenta alguma variação entre 54,55% e 60,26% assim como hornblenda granito, entre 61,74% e 58,47%. Já o granito apresenta valor de 61,49% e o granulito máfico apresenta o valor mais baixo, 51,29%.

O charnockito também é a rocha que sofre maior variação composicional em relação ao titânio, no diagrama  $\text{SiO}_2 \times \text{TiO}_2$ , com valores entre 0,15% e 2,66%. Já o granulito félsico e hornblenda granito variam dentro de intervalo menor, entre 0,84% e 1,27% e entre 0,85% e 1,47%, respectivamente. Granulito máfico apresenta valores em torno de 1,36% e o granito em torno de 0,53%

No diagrama  $\text{SiO}_2 \times \text{MgO}$  percebe-se o maior valor de magnésio está associado ao granulito máfico, com 4,8% devido à sua mineralogia rica em piroxênio e anfibólio. As demais amostras variam dentro um intervalo mais baixo, com charnockito apresentando valores entre 0,28% e 2,78%, granito com 0,81%, hornblenda granito entre 0,75% e 2,77% e granulito félsico entre 1,25% e 2%. As variações, nesses casos, devem-se a maior ou menor quantidade de minerais ferromagnesianos observados nas rochas.

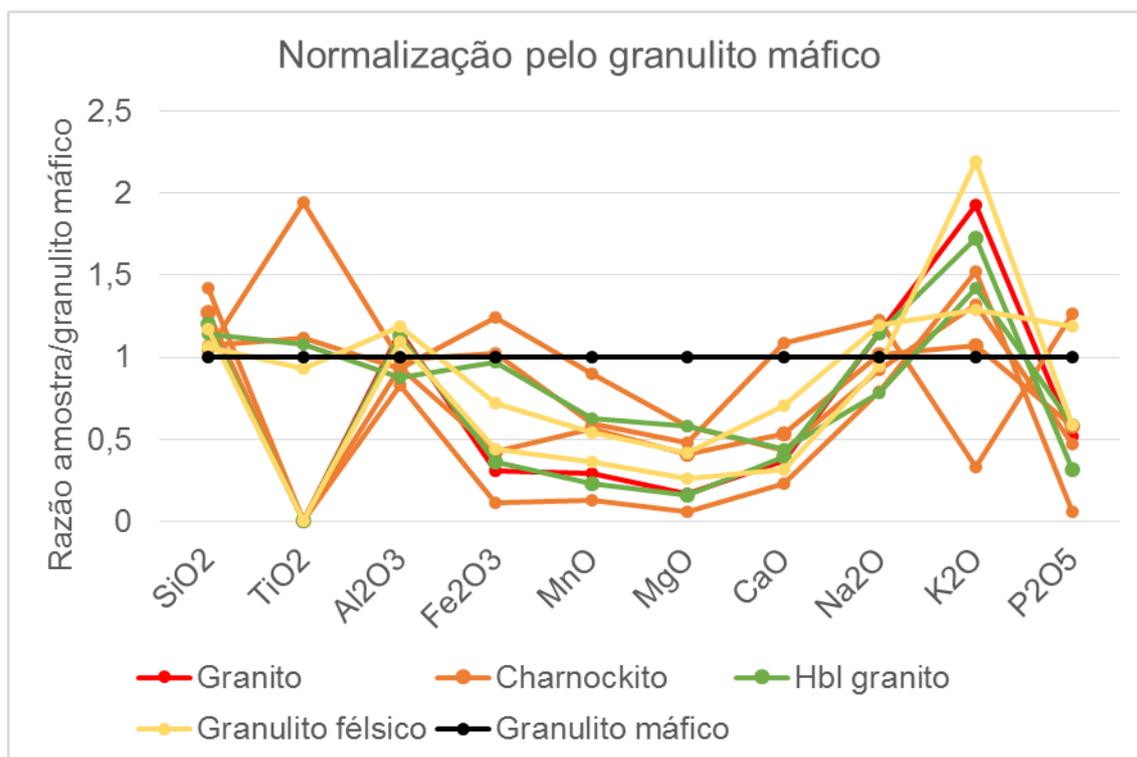
Os valores mais altos de potássio no diagrama  $\text{SiO}_2 \times \text{K}_2\text{O}$  são observados no granito com 6,59%, no granulito félsico e nos veios de hornblenda granito, variando entre 4,4% e 7,51% e entre 4,85% e 5,9% respectivamente, indicando maior quantidade de feldspato potássico nessas rochas em relação ao granulito máfico que apresenta valores em torno de 3,4%, enquanto o charnockito varia entre 1,14 % e 5,2%.

Em relação ao diagrama  $\text{SiO}_2 \times \text{CaO}$ , os veios de charnockito também representam a rocha com maior variação composicional, entre 1,52% e 7,26%. Sendo que a amostra com valor 7,26% de  $\text{CaO}$  é a mesma que apresenta 1,14% de  $\text{K}_2\text{O}$ , indicando porção rica em plagioclásio e com pouco feldspato potássico. O granulito máfico apresenta valores em torno de 6,7%. Granulito félsico e hornblenda granito apresentam valores mais baixos de cálcio, entre 2,12% e 4,74% e entre 2,62% e 2,92%, respectivamente e granito com valor de 2,49%.



**Figura 7.** Diagramas de variação química de rochas da Unidade Granulítica

Para investigação petrológica com intuito de avaliar o processo de fusão e a distribuição dos elementos maiores, menores e traço nos diferentes litotipos foi realizada a normalização da composição de várias rochas com a composição de alguns litotipos, granulito máfico ou félsico. O resultado obtido é apresentado nas figuras 8, 9, 10 e 11.

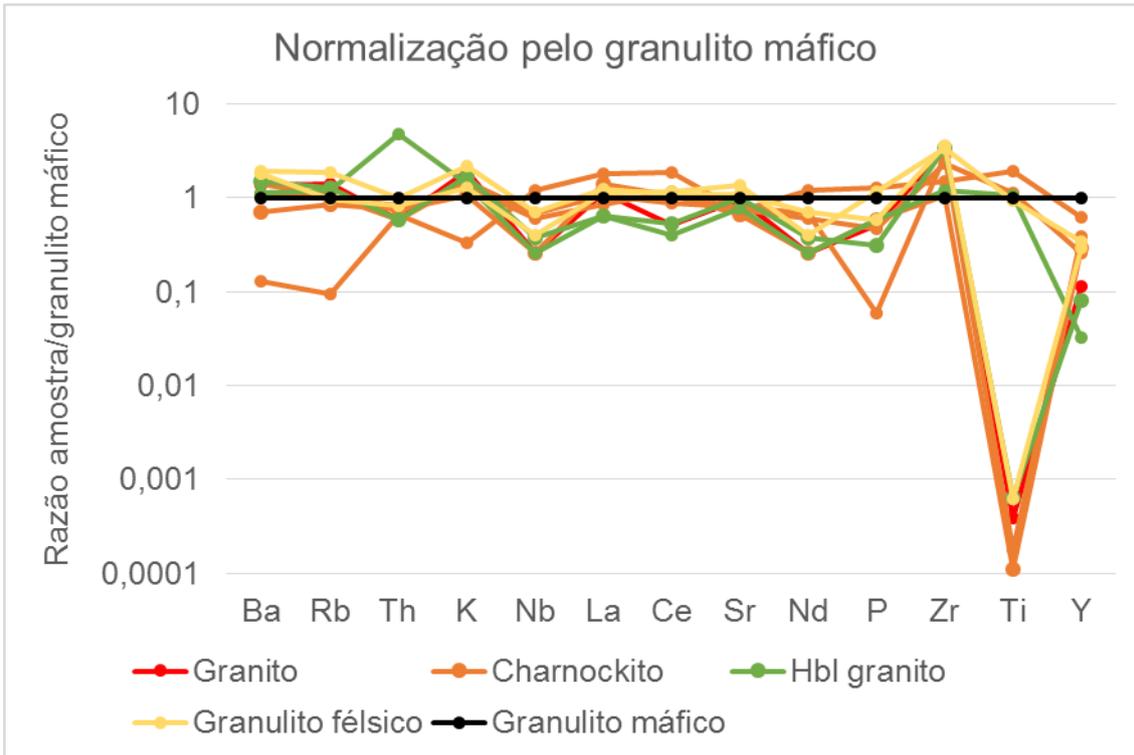


**Figura 8.** Razão de elementos maiores e menores normalizados por granulito máfico das amostras da Unidade Granulítica.

Através do gráfico da figura 8 é possível observar que a maioria dos litotipos analisados apresentam a concentração menor de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MnO, MgO, CaO e P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> em relação ao granulito máfico, com exceção de uma amostra de charnockito que apresenta maior quantidade de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e uma amostra de granulito félsico e outra de charnockito que apresentam valores de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> maiores. Em relação à SiO<sub>2</sub> e K<sub>2</sub>O, todas as amostras apresentam valores maiores que as do granulito máfico, refletindo a quantidade de quartzo e feldspato potássico em cada amostra, com exceção de uma amostra de charnockito pobre em K<sub>2</sub>O e rica em TiO<sub>2</sub> e P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Em relação ao TiO<sub>2</sub>, não há uma relação direta visto que amostras diferentes dos mesmos litotipos (charnockito, granulito félsico e hornblenda granulito) apresentam tanto valores semelhantes aos do granulito máfico como

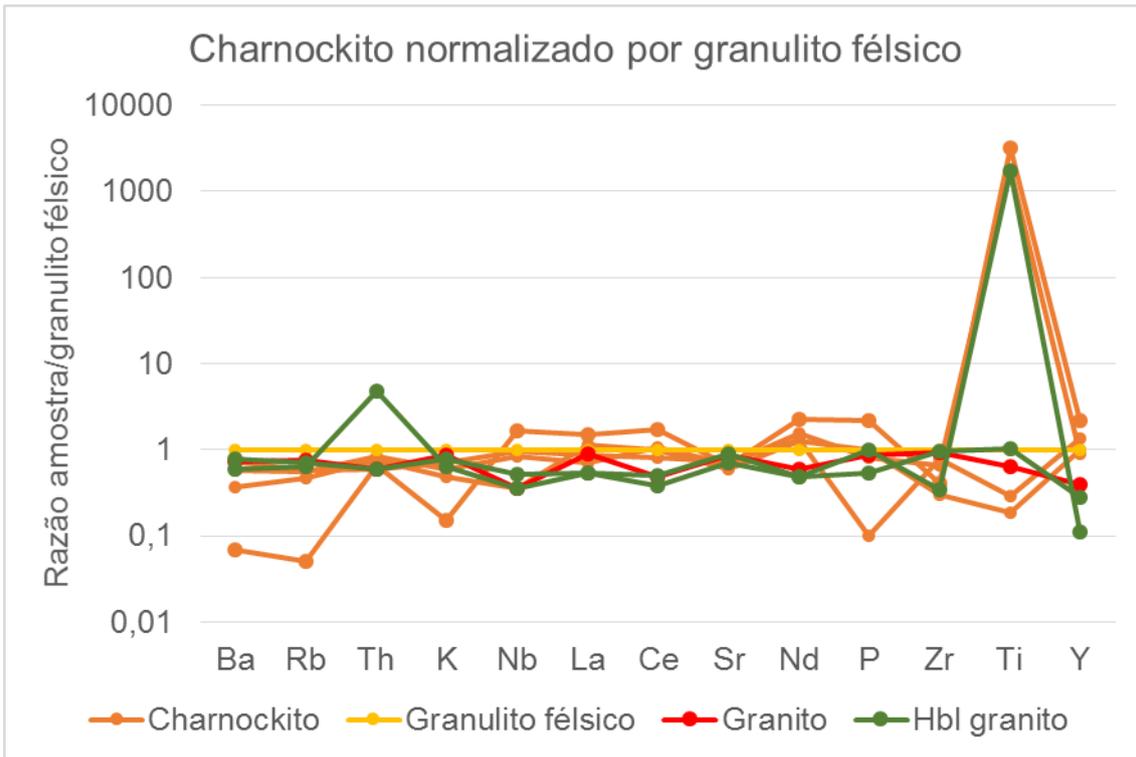
valores bastante empobrecidos nesse elemento. Uma das amostras de charnockito é rica em  $\text{TiO}_2$ , quase duas vezes o valor do granulito máfico. A razão de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  e de  $\text{Na}_2\text{O}$  é similar e próxima a 1 em todas as amostras analisadas. No geral, as amostras de charnockito mostram-se as mais heterogêneas em relação a quantidade de elementos maiores e menores. Isso se deve ao fato de que os veios de leucossoma charnoquítico são bastante heterogêneos em relação à quantidade e tipo de minerais máficos presentes. Já a amostra de granito apresenta valores praticamente iguais aos de uma das amostras de hornblenda granito. Ambas as amostras de granulito félsico seguem a mesma tendência, com exceção para a quantidade de  $\text{TiO}_2$  e  $\text{K}_2\text{O}$ , que refletem a quantidade de óxidos de Fe-Ti e feldspato potássico presente, sendo que essa amostra apresenta a maior quantidade de Ca, o que reflete a maior quantidade de plagioclásio. As amostras de hornblenda granito também apresentam a mesma tendência para todos os elementos, enriquecidos em  $\text{SiO}_2$  e  $\text{K}_2\text{O}$  e empobrecidos em  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , MgO, MnO, CaO e  $\text{P}_2\text{O}_5$ . Em relação ao granulito máfico e comportamento errático de  $\text{Na}_2\text{O}$  e  $\text{Al}_2\text{O}_3$ .

O comportamento da distribuição dos elementos traço dos diferentes litotipos em relação ao granulito máfico pode ser analisado na figura 9. A maioria das amostras apresenta quantidade maior de Ba, Rb e K, evidenciando a presença de mais feldspato potássico do que o granulito máfico. A exceção está para uma amostra de charnockito, que é mais rica em plagioclásio. A maioria das amostras são empobrecidas em Y, Nd e em P em relação ao granulito máfico, sugerindo a presença de maior quantidade de granada e apatita no resíduo. Enquanto a maior quantidade de Zr em todas as amostras evidencia a maior quantidade de zircão do que no granulito máfico. O comportamento do Ti é errático com amostras bastante empobrecidas nesse elemento e outras com valores maiores do que do granulito máfico. O comportamento do granito é similar ao do hornblenda granito, sugerindo que a quantidade presente de hornblenda não foi determinante para definir o comportamento químico da rocha.

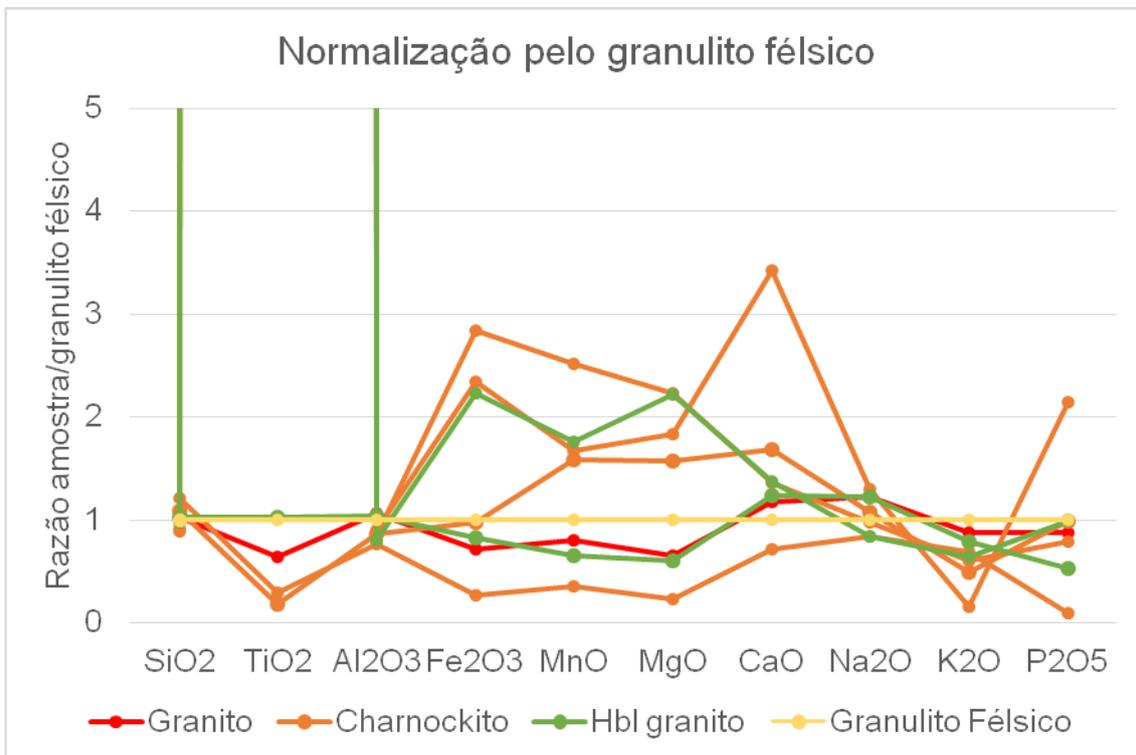


**Figura 9.** Razão de elementos traço mais K, P e Ti normalizados por granulito máfico das amostras da Unidade Granulítica.

O comportamento químico dos bolsões e veios de leucossoma (charnockito, granito e hornblenda granito) podem ser analisados através do gráfico da figura 10, no qual são apresentados as suas composições de elementos traço, K, P e Ti normalizadas à do granulito félsico, e da figura 11 que mostra os elementos maiores e menores também normalizados com granulito félsico. Pode-se observar a maior quantidade de CaO e Na<sub>2</sub>O e menor quantidade de Ba, Rb e K no leucossoma, indicando que a fusão não foi suficiente para eliminar todo o feldspato potássico do resíduo e foi mais eficiente no plagioclásio. O comportamento do Ti é errático, o que sugere que dependendo da amostra houve fusão de quantidade maior de biotita ou segregação ou retenção de óxidos de Fe-Ti. O comportamento também errático do P sugere o mesmo em relação a apatita. Já os valores menores de Zr no leucossoma indicam que zircão ficou no resíduo.



**Figura 10.** Razão de elementos traço mais K, P e Ti normalizados por granulito félsico das amostras do leucossoma da Unidade Granulítica.



**Figura 11.** Razão de elementos maiores e menores normalizados por granulito félsico das amostras do leucossoma da Unidade Granulítica.

## 7. QUÍMICA MINERAL

### 7.1 *Microssonda Eletrônica*

Após a descrição petrográfica, sete lâminas foram selecionadas para realizar a análise química de granada, ortopiroxênio e clinopiroxênio com base no tamanho do grão, localização na rocha (leucossoma ou granulito), estado de alteração da rocha e intensidade do retrometamorfismo. Foram analisados grãos em cinco seções delgadas representantes da Unidade Granulítica da *Nappe* Socorro – Guaxupé (ALF11 A, ALF45 Ib, ALF45 N, ALF45 V1 e ALF45 VA) e duas representantes da Unidade Diatexítica (ALF 71 C e ALF 71 E), onde foram feitos perfis borda–núcleo–borda ao longo dos grãos selecionados para determinar a variação de sua composição química (anexo 4).

As análises apresentadas abaixo foram realizadas na microssonda eletrônica JEOL-JXA8230 Super-Probe com cinco espectrômetros WDS (análises quantitativas) e EDS acoplado (análises semi-quantitativas) do Laboratório de Microssonda (LABSONDA) do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). As condições para análise foram: voltagem de 15kV, corrente do feixe de  $20,1 \pm 0,1$  nA e minerais naturais foram usados como padrões. As fórmulas estruturais foram calculadas pelo programa Ax de Tim Holland.

#### 7.1.1 Granada

O grupo da granada faz parte do grupo dos nesossilicatos de sistema isométrico, importante por estar presente em quase todo intervalo *P-T* do metamorfismo e apresentar importantes variações da composição química. O grupo da granada é composto por uma série de espécies isomórficas, cujas fórmulas estruturais foram calculadas com base em 8 cátions e 12 átomos de oxigênio utilizando as seguintes expressões (Deer *et al.*, 1967):

Piropo	$Mg_3Al_2Si_3O_{12}$	$[Mg/(Fe^{2+}Mg+Mn+Ca)]*100$
Almandina	$Fe_3Al_2Si_3O_{12}$	$[Fe/(Fe^{2+}Mg+Mn+Ca)]*100$

Espessartita	$Mn_3Al_2Si_3O_{12}$	$[Mn/(Fe^{2+}Mg+Mn+Ca)]*100$
Grossulária	$Ca_3Al_2Si_3O_{12}$	$[Ca/(Fe^{2+}Mg+Mn+Ca)]*100-(adr)$
Andradita	$Ca_3Fe_2Si_3O_{12}$	$[Fe^{3+}/(Fe^{3+}+Al+Cr)]*100$
Uvarovita	$Ca_3Cr_2Si_3O_{12}$	$[Cr/(Fe^{3+}+Al+Cr)]*100$

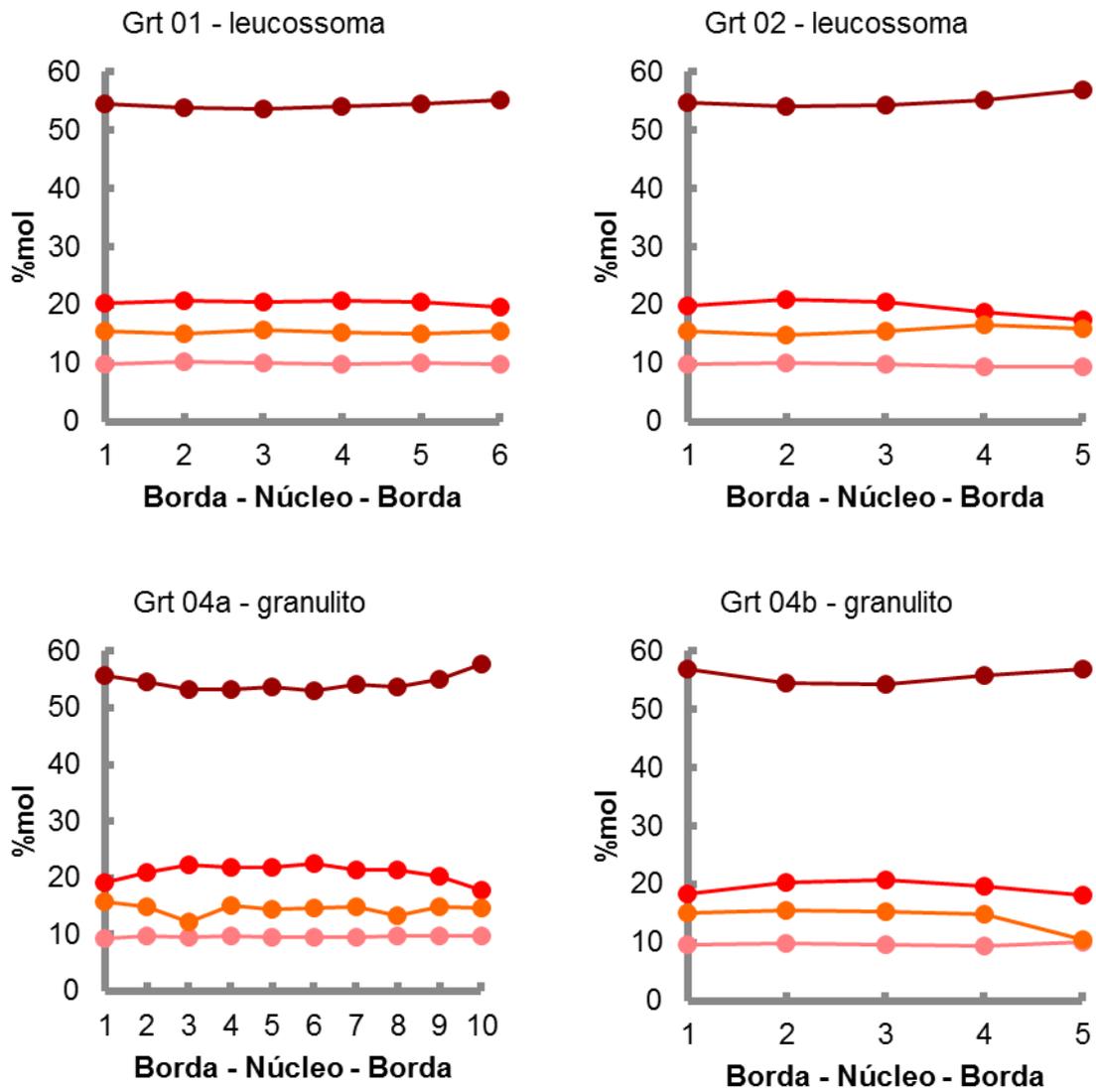
Composições de granada são expressas pela fórmula estrutural geral  $A_3B_2(SiO_4)_3$ , onde o sítio A aloja Ca, Mg,  $Fe^{+2}$  ou  $Mn^{+2}$  enquanto a posição B incorpora Al,  $Fe^{+3}$  e  $Cr^{+3}$ . A solução sólida é extensiva entre os membros do grupo das pirlaspitas (piropo, almandina e espessartita) e entre o grupo das ugranditas (uvarovita, grossulária e andradita). Há relativamente pouca solução sólida entre essas duas categorias, com exceção da grossulária que faz a ligação entre os dois grupos. Raramente os membros finais são encontrados na natureza, mesmo assim, a nomenclatura é determinada de acordo com a espécie dominante (Deer *et al.*, 1967).

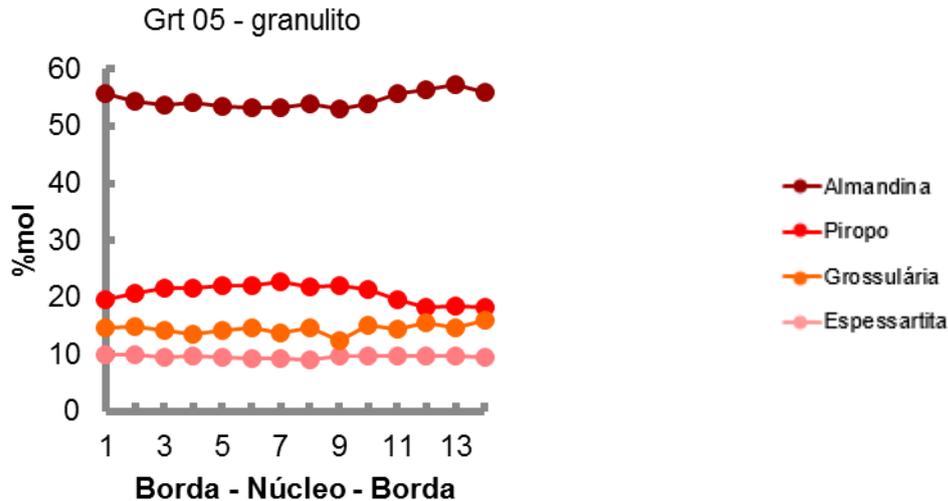
O membro final piropo aumenta em proporção nas rochas metamórficas de alto grau, principalmente em altas pressões ou em condições  $P-T$  do manto, cuja granada costuma conter entre 40–70% dessa molécula e um pouco de almandina, além de grossulária em quantidades menores. Já a almandina é o membro final mais comum do grupo da granada, ocorrendo principalmente em rochas metamórficas de protólito pelítico em metamorfismo regional, costumando conter proporções variadas de piropo e espessartita, além de grossulária. Espessartita tem largo intervalo de composição, de 97% dessa molécula para baixo, com almandina como segundo constituinte e, também, grossulária. Por fim, a grossulária é típica de metamorfismo termal e pode ocorrer com composição bem próxima do membro final ou junto com moléculas de andradita (Deer *et al.*, 1967).

### Granada da Unidade Granulítica

Foram feitos perfis borda–núcleo–borda em grãos de granada de três amostras da Unidade Granulítica. Na primeira amostra (ALF-45lb) foram analisados quatro grãos com valores de fechamento satisfatórios (figura 12). Estes grãos apresentam-se subidioblásticos, com contatos suaves a retos, biotita nas bordas e inclusões de quartzo e minerais opacos xenoblásticos. Os grãos 01

e 02 encontram-se no leucossoma, na interface com o granada granulito. Já os grãos 04 e 05 pertencem à matriz do granada granulito. O grão 04 é, na verdade, o amalgamento de dois cristais, sendo dividido em 04a e 04b.

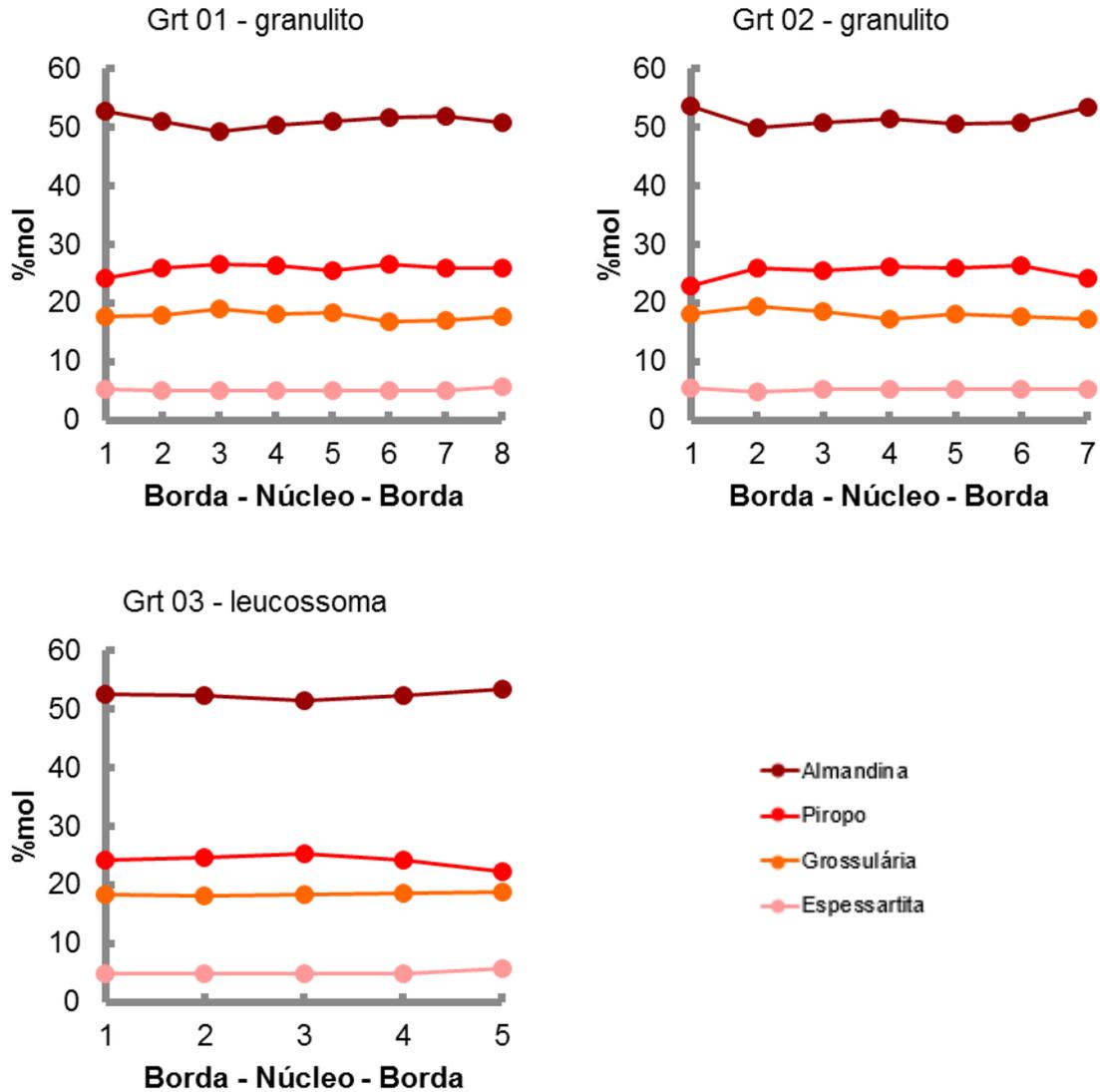




**Figura 12.** Perfis borda-núcleo-borda com razões dos membros finais de granada do leucossoma e granulito da Unidade Granulítica. Amostra ALF 45 Ib.

Todos os grãos apresentam valores maiores do componente almandina (52,9–57,8%), seguidos por piropo (17,5–22,6%), grossulária (10,5–16,5%) e, por último, espessartita (9,1–10,2%). O elemento Mn apresenta poucas variações e forma perfis planares em todos os grãos, já os outros componentes apresentam algumas variações. Todos os grãos analisados, localizados no granulito ou na interface leucossoma-granulito apresentam o mesmo padrão de bordas com enriquecimento em Fe em relação ao núcleo, acompanhadas por empobrecimento em Mg. A única exceção é o grão 05 que no ponto mais próximo a uma das bordas (ponto 14) apresenta empobrecimento em Fe. As bordas dos grãos 02, 04a e 05 também apresentam enriquecimento em cálcio bem sutil em relação ao núcleo, enquanto o grão 01 tem perfil planar, sem variações significativas desse elemento, e no grão 04b ocorre empobrecimento de Ca em uma das bordas.

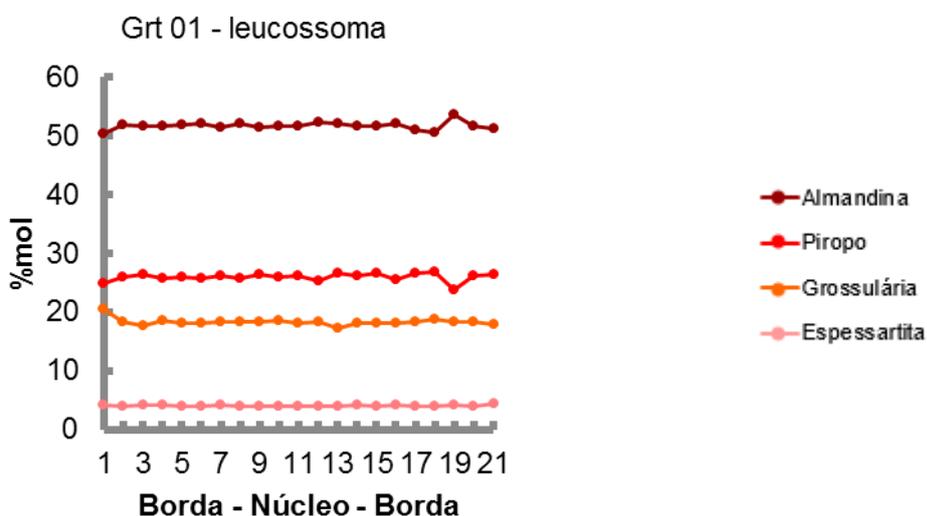
Na segunda amostra (ALF-45V1) foram analisados três grãos (figura 13). Os grãos 01 e 02 pertencem à matriz do granada granulito e são xenoblásticos, apresentam contatos lobados a interdigitados e inclusões arredondadas de quartzo. O grão 03 encontra-se na interface leucossoma-granulito e é subidioblástico, levemente arredondado, com contatos retos e sem inclusões.



**Figura 13.** Perfis borda–núcleo–borda com razões dos membros finais de granada da matriz e leucossoma da Unidade Granulítica. Amostra ALF 45 V1.

Como na primeira amostra, todos os grãos apresentam valores maiores do componente almandina (49,4–53,5%), seguidos por piropo (22,2–26,7%), grossulária (16,9–19,4%) e finalmente, espessartita (4,8–5,6%). Os grãos 01 e 03 apresentam teores mais elevados de Fe em uma das bordas, acompanhando pela diminuição de Mg. A outra borda apresenta valores similares ao núcleo. Em relação ao Ca e Mn, os valores não apresentam grande variação borda-núcleo, com perfis planares. Já o grão 02 apresenta claro enriquecimento em Fe e empobrecimento em Mg em ambas as bordas, valores de Mn sem variações e de Ca oscilantes com empobrecimento no núcleo, seguido por aumento em direção as bordas e por fim com empobrecimento de novo nas bordas.

Na terceira amostra (ALF-45VA) foi analisado um único porfiroblasto de granada na interface leucossoma com hornblenda–granada granulito (figura 14). Esse grão apresenta-se xenoblástico, fraturado, com contatos irregulares e inclusões de quartzo, feldspatos e minerais opacos.



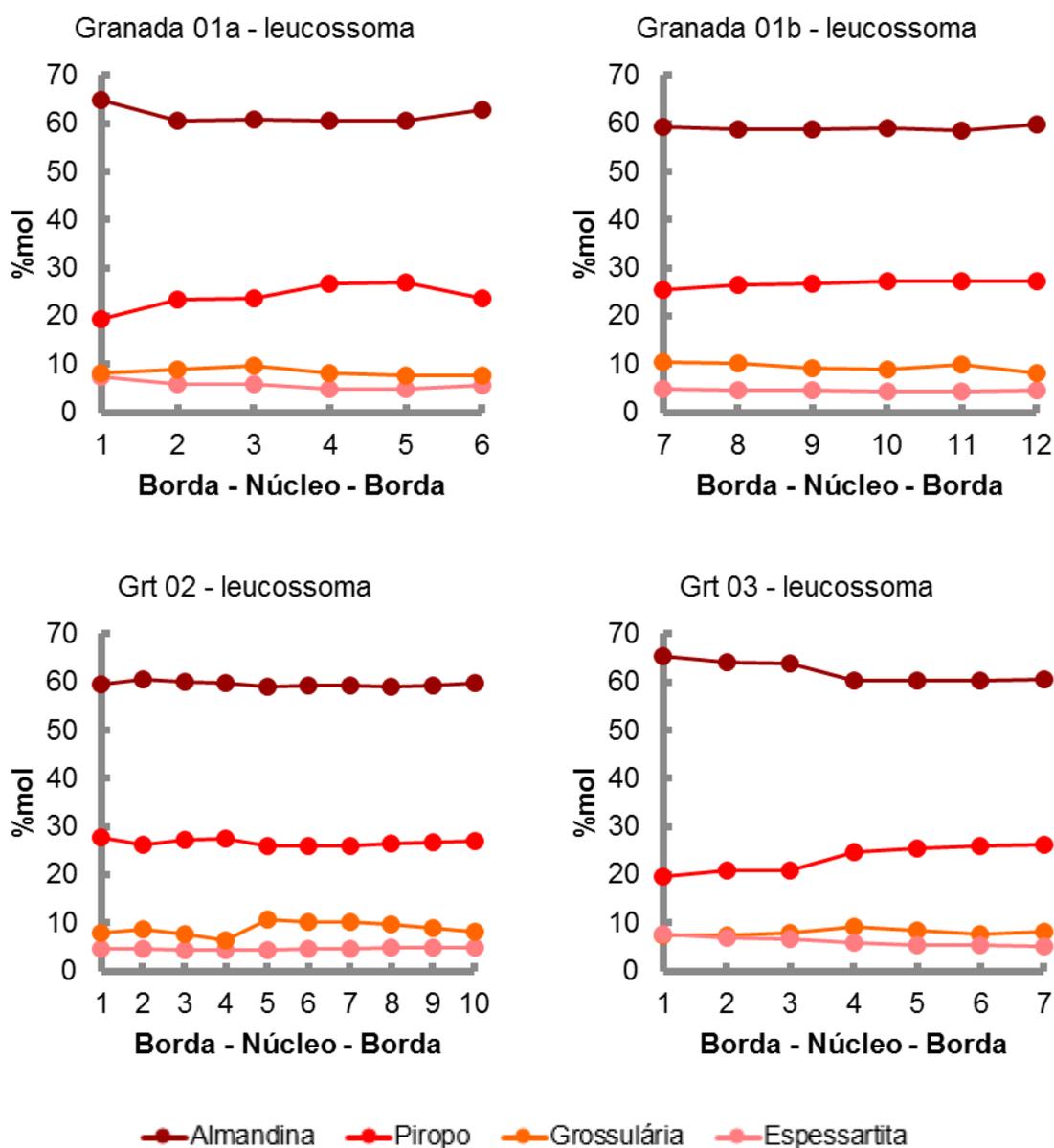
**Figura 14.** Perfil borda–núcleo–borda com razões dos membros finais de granada do leucossoma da Unidade Granulítica. Amostra ALF 45 VA.

Esse grão apresenta maiores valores do componente almandina (50,4–53,5%), seguido por piropo (23,8–26,8%), grossulária (20,5–17,2%) e espessartita (3,9–4,4%). As análises formam perfil praticamente plano, com uma das bordas empobrecida em Fe e Mg e enriquecida em Ca em relação ao núcleo, e em direção à borda oposta há enriquecimento em Fe e empobrecimento em Mg que, no final, volta para valores compatíveis com o núcleo. O Ca permanece sem grandes variações, com leve empobrecimento para a segunda borda e o Mn mantém-se em perfil planar ao longo de todo o grão.

### Granada da Unidade Diatexítica

Na Unidade Diatexítica a granada foi analisada em duas amostras, com perfis borda–núcleo–borda. A primeira amostra (ALF-71C) corresponde ao leucossoma, onde foram analisados três grãos (figura 15) subidioblásticos, com contatos lobados, poucas inclusões de quartzo e minerais opacos e por vezes

com biotita nas bordas. O primeiro grão analisado trata-se de amalgamento de dois cristais, sendo sua nomenclatura representada por grão 01a e 01b.



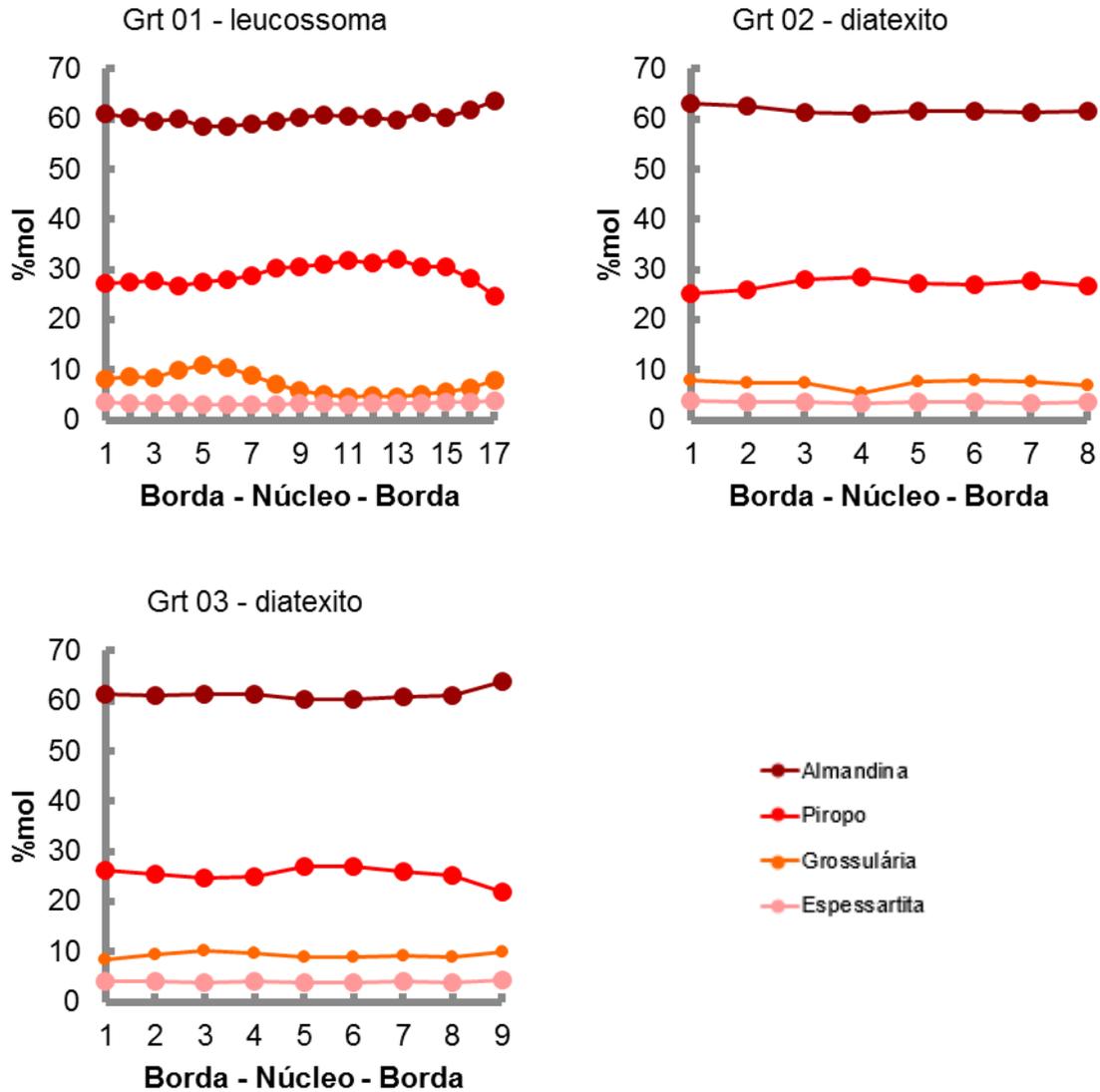
**Figura 15.** Perfis borda–núcleo–borda com razões dos membros finais de granada da Unidade Diatexítica. Amostra ALF 71C.

Como nas amostras na Unidade Granulítica, os grãos analisados apresentam valores maiores do componente almandina (58,4–65,3%), seguido por piropo (19,5–27,7%), grossulária (6,5–10,6%) e espessartita (4,3–7,6%).

O grão 01a apresenta bordas mais enriquecidas em Fe e empobrecidas em Mg em relação ao núcleo. Também apresenta bordas levemente empobrecidas em Ca e uma delas enriquecida em Mn. O grão 01b não apresenta variação significativa borda-núcleo em nenhum dos elementos, enquanto o grão 02 apresenta perfil linear dos elementos Fe e Mn e empobrecimento em Ca em uma das bordas acompanhado por enriquecimento em Mg. O grão 03 apresenta uma das bordas mais enriquecida em Fe com perfil plano com empobrecimento em direção ao núcleo, mantendo sem variações até a outra borda. O contrário acontece com o Mg, que apresenta uma borda empobrecida, aumentando o teor em direção ao núcleo e depois mantendo estável também até a outra borda. Ca e Mn iniciam com valores parecidos sendo que há empobrecimento em Mn e enriquecimento em Ca em direção ao núcleo e à outra borda.

Na segunda amostra (ALF-71E1) também foram analisados três grãos de granada (figura 16). O grão 01 é porfiroblasto arredondado de bordas irregulares substituídas por biotita, com inclusões de quartzo e minerais opacos, localizado na interface do leucossoma com o resíduo. Os grãos 02 e 03 pertencem ao granada diatextito, são de formato ovalado, levemente orientados segundo a foliação principal da rocha, com contatos lobados e suaves, com poucas inclusões de minerais opacos e algumas bordas substituídas por biotita. Nessa amostra, os grãos também apresentam maiores valores do componente almandina (58,5–63,8%), que é acompanhado por piropo (24,6–31,8%), grossulária (4,5–11%), espessartita (3,1–4,3%).

O grão 01 apresenta enriquecimento em Fe e Ca e empobrecimento em Mg em uma das bordas, seguindo em direção ao núcleo com empobrecimento de Fe e Ca e enriquecimento em Mg. Do núcleo em direção à outra borda há leve enriquecimento em Fe, empobrecimento seguido de leve enriquecimento em Mg e enriquecimento significativo em Ca, terminando com empobrecimento novamente desse elemento. Mn não apresenta variações ao longo do grão. Os grãos 02 e 03 apresentam uma das bordas levemente mais enriquecidas em Fe e empobrecidas em Mg em relação ao núcleo e à outra borda. Ca e Mn apresentam perfis planares, exceto pelo ponto 4 do grão 02, no qual ocorre pequeno empobrecimento em Ca próximo ao núcleo.



**Figura 16.** Perfis borda–núcleo–borda com razões dos membros finais de granada da Unidade Diatexítica. Amostra ALF 71 E1.

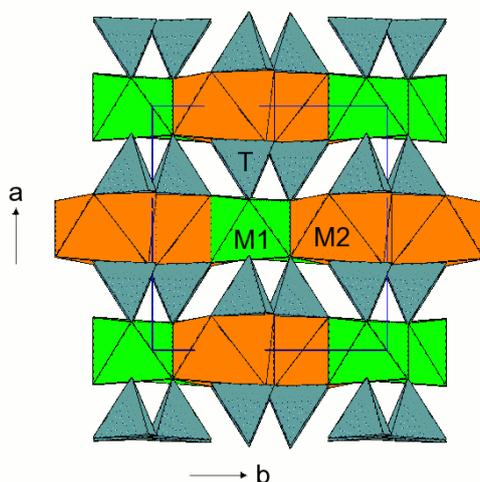
### 7.1.2 Piroxênio

Um dos grupos de minerais formadores de rochas mais importantes que existem é o dos piroxênios, silicatos ferro-magnesianos que ocorrem como fases estáveis em quase todo tipo de rocha ígnea, além de várias rochas metamórficas de diversas composições, podendo conter cálcio, sódio, alumínio (Deer *et al.*, 1967).

Existem dois subgrupos de piroxênios, os clino e os ortopiroxênios, que diferem na sua simetria e composição química. Os ortopiroxênios possuem

simetria ortorrômbica e são constituídos essencialmente por  $(\text{Mg, Fe})\text{SiO}_3$ , ao contrário dos clinopiroxênios, minerais do sistema monoclinico que possuem grande variedade de composições químicas.

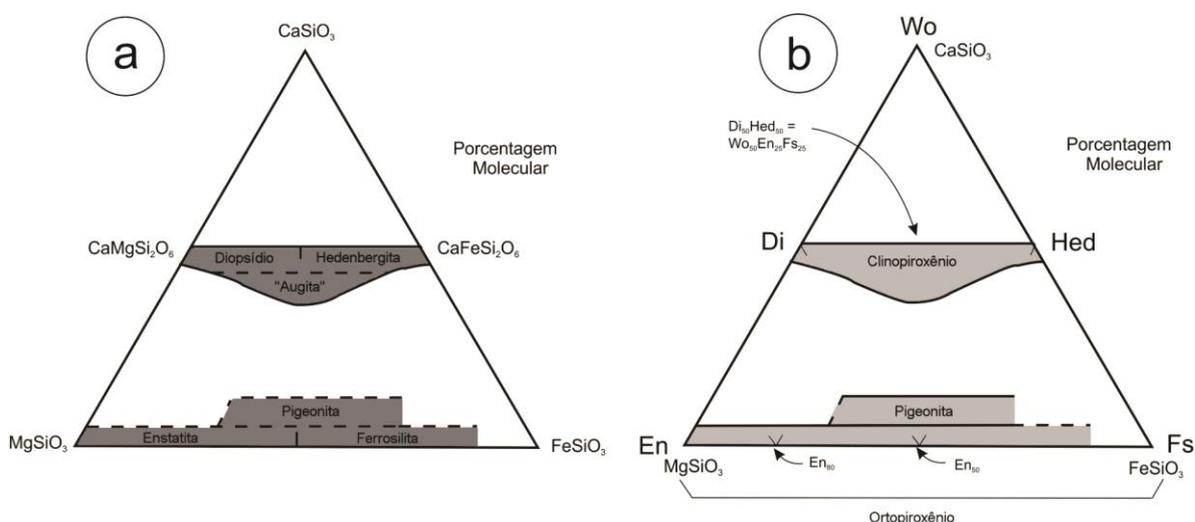
A estrutura dos piroxênios (Figura 17) tem como aspecto essencial a ligação entre tetraedros de  $\text{SiO}_2$  compartilhando dois dos quatro vértices (oxigênios) para formar cadeias contínuas de composição  $(\text{SiO}_3)_n$  paralelas ao eixo  $c$ . Essas cadeias são ligadas lateralmente por cátions nas posições M1, entre os ápices das cadeias de  $\text{SiO}_3$  e M2, entre as bases das cadeias onde entrarão, caso existam, os cátions de maior raio iônico como Ca e Na. A fórmula geral dos piroxênios pode ser expressa por  $\text{XYZ}_2\text{O}_6$ , em que X representa  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{Li}^+$  no sítio M2; Y representa  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Cr}^{3+}$  e  $\text{Ti}^{4+}$  no sítio octaédrico M1; e Z representa  $\text{Si}^{4+}$  e  $\text{Al}^{3+}$  no sítio tetraédrico.



**Figura 17.** Estrutura do piroxênio no plano  $ab$ . (de.wikipedia.org/wiki/pyroxene)

Os piroxênios podem ser classificados de várias maneiras. A mais comum delas é em relação ao sistema químico  $\text{CaSiO}_3$  (wollastonita, um piroxenóide) –  $\text{MgSiO}_3$  (enstatita) –  $\text{FeSiO}_3$  (ferrosilita). O trapézio que faz parte desse sistema inclui ainda os membros diopsídio  $\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$  e hedenbergita,  $\text{CaFeSi}_2\text{O}_6$  como membros finais (figura 18A). Antigamente, composições intermediárias recebiam vários nomes, como hiperstênio ou salita, mas a nomenclatura moderna determina que as espécies devem ser definidas com base nesses membros finais (Klein *et al.*, 1993). Por exemplo, enstatita pura deve ser apresentada como  $\text{En}_{100}$  enquanto um membro da série dos ortopiroxênios composto por 80 por cento da

proporção molecular de enstatita e 20 de ferrosilita deve ser expresso por  $En_{80}$  (figura 18b).



**Figura 18. (a)** Diagrama  $CaSiO_3$ – $MgSiO_3$ – $FeSiO_3$  mostrando as composições gerais dos piroxênios em relação aos *end members*. Augita está entre aspas porque possui considerável quantidade de Al que não é considerado nesse diagrama. **(b)** Nomenclatura dos piroxênios no sistema triangular Wo–En–Fs em relação à composição química. Extraído de Klein *et al.* (1993).

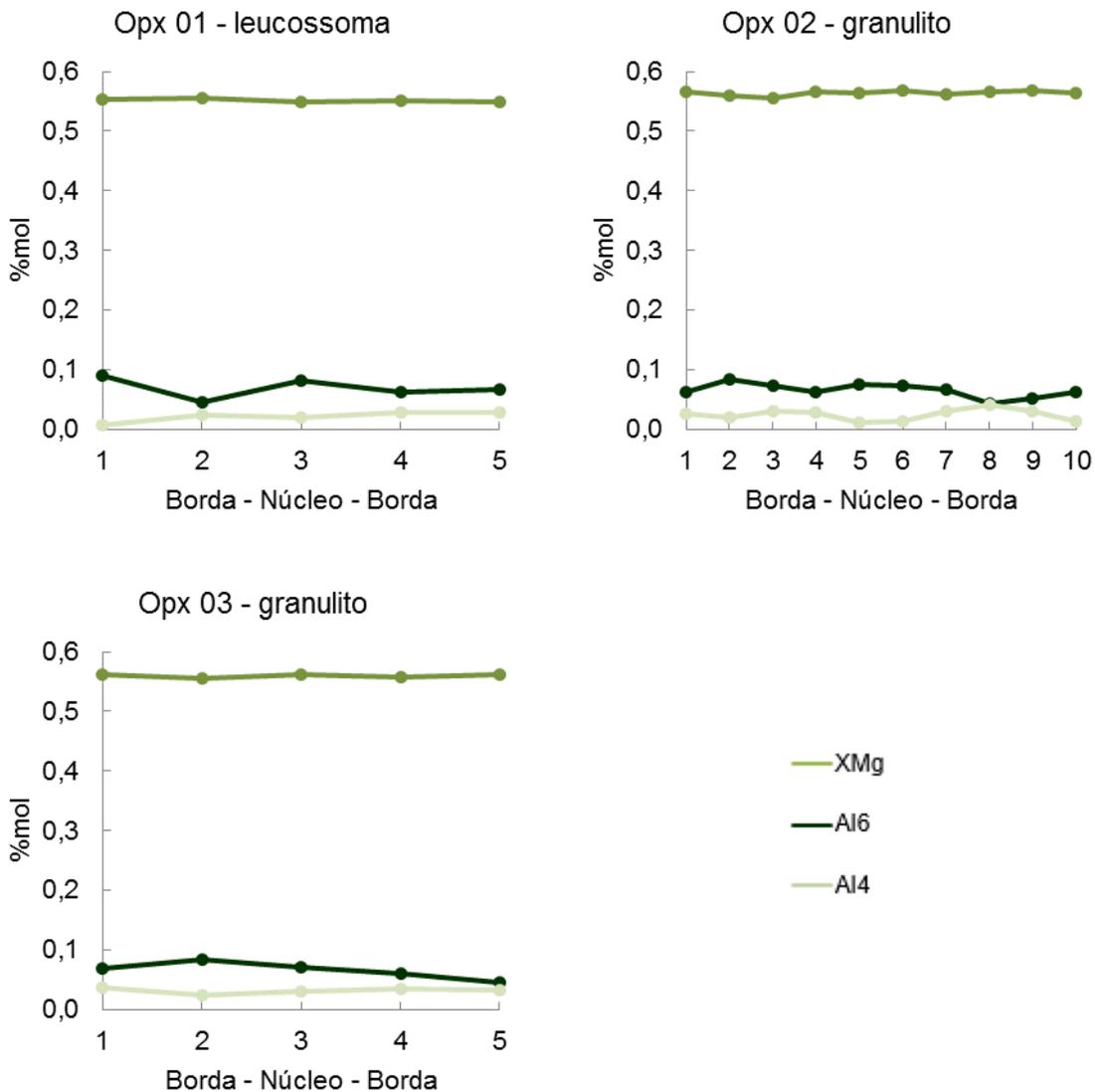
Ainda que os ortopiroxênios sejam essencialmente silicatos ferromagnesianos, eles invariavelmente contêm outros íons. Os mais comuns são Al, Ca, Mn,  $Fe^{3+}$ , Ti, Cr e Ni. Esses íons, na maioria dos minerais da série, não ultrapassam os 10% da sua porcentagem molar. A quantidade máxima de CaO em ortopiroxênio geralmente não ultrapassa o 1,5% de porcentagem em peso (Klein *et al.*, 1993).

### Ortopiroxênio

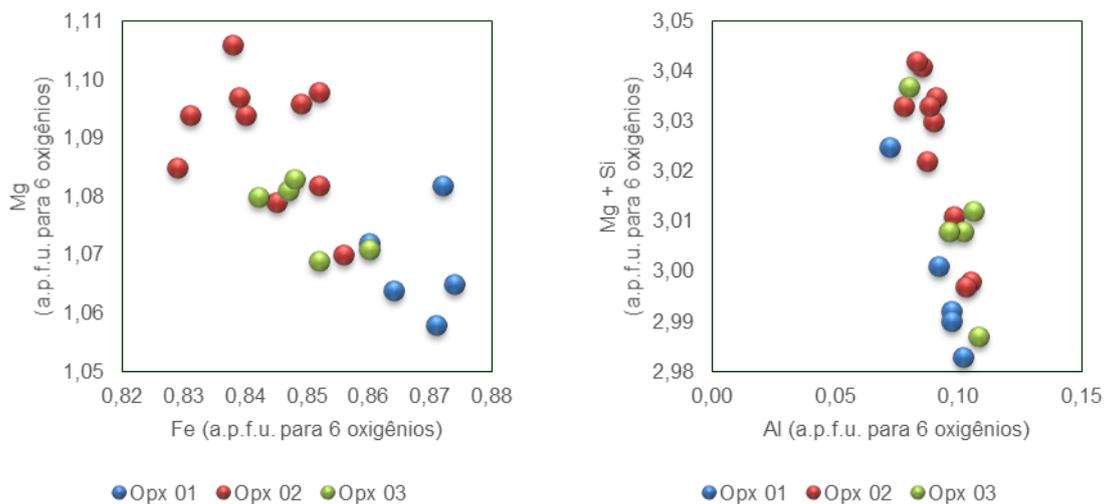
Foram analisados grãos de ortopiroxênio em quatro amostras das rochas da Unidade Granulítica da *Nappe* Socorro–Guaxupé. A primeira amostra (ALF 11a) trata-se de granulito félsico bandado onde foram analisados três grãos de ortopiroxênio: um no leucossoma e dois no granulito (figuras 19 e 20). O grão 01, localizado no leucossoma, é subidioblástico a arredondado, apresenta fraturas e bordas alteradas para hornblenda. Os grãos 02 e 03, pertencentes ao granulito,

são xenoblásticos, com bordas irregulares e levemente orientados segundo a foliação principal da rocha.

Tanto ao longo do grão 01 ( $En_{53}$ - $En_{54}$ ) quanto dos grãos 02 e 03 ( $En_{54}$ - $En_{55}$ ) não houve variação química significativa borda-núcleo em relação a  $Al^{IV}$ ,  $Al^{VI}$  e  $X_{Mg}$ , podendo-se notar apenas que quando há a diminuição em um ponto do componente  $Al^{IV}$ , o componente  $Al^{VI}$  aumenta, isto é, são inversamente proporcionais. Quanto às substituições catiônicas  $Fe_{x}Mg$  e  $SiMg_{x}Al^{IV}Al^{VI}$ , é possível perceber através dos gráficos que os pontos do grão 01, do leucossoma, são plotados em uma área diferente dos grãos da matriz granulítica, indicando ser mais pobre em Mg e rico em Fe comparado com os grãos 02 e 03. Além disso, nos grãos do granulito há um leve aumento de Ca.



**Figura 19.** Razões  $Al^{IV}$ ,  $Al^{VI}$  e  $X_{Mg}$  em grãos de ortopiroxênio da Unidade Granulítica. Amostra ALF 11a.

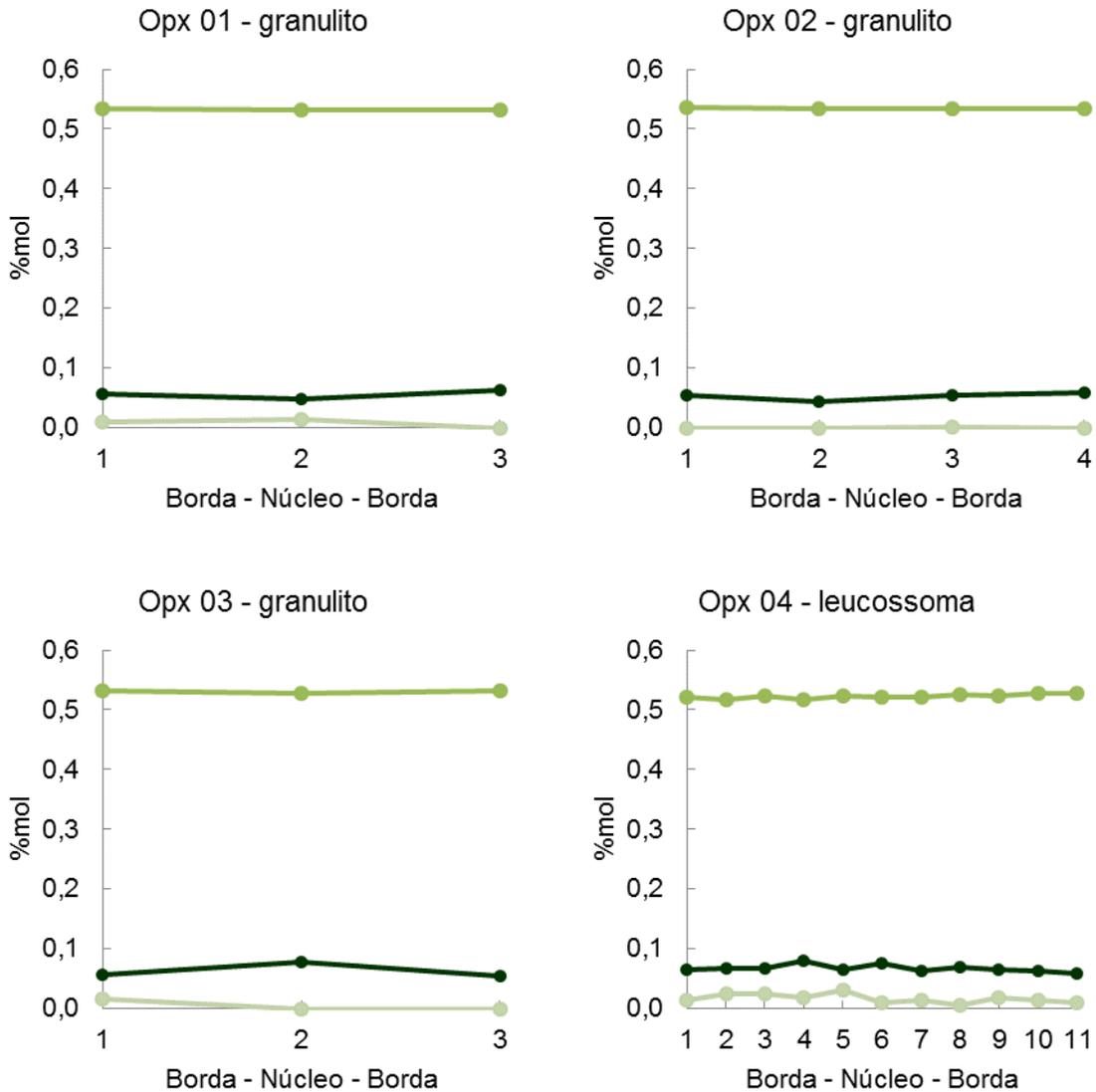


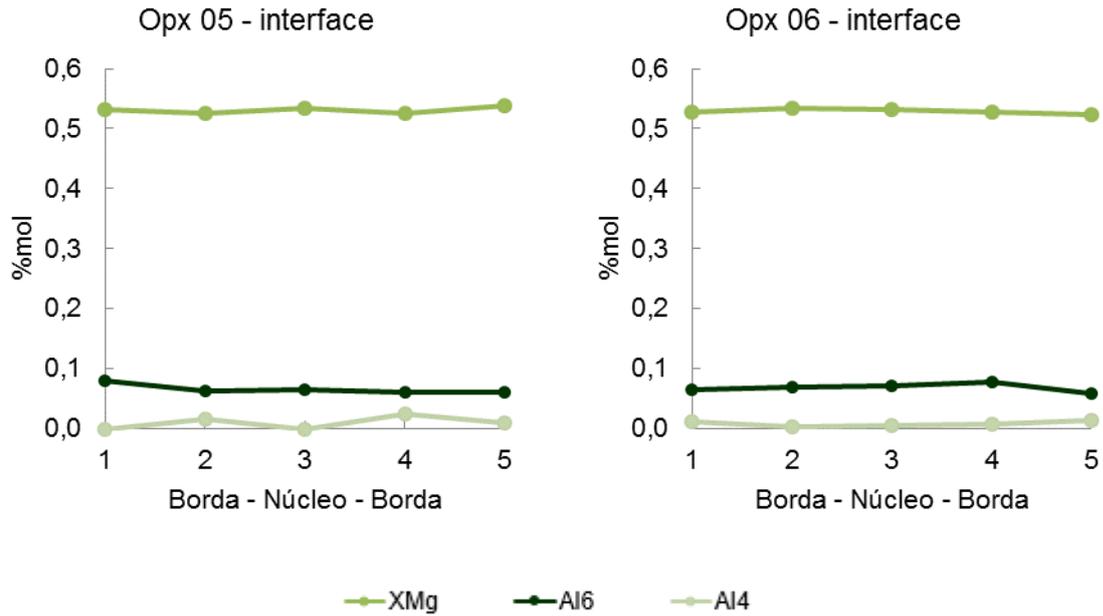
**Figura 20.** Gráficos de substituição catiônica. A esquerda,  $FeX_{Mg}$  e a direita  $MgSiX_{Al^{IV}Al^{VI}}$ . Amostra ALF 11a.

A segunda amostra (ALF 45lb) é composta de dois litotipos: granada granulito máfico e hornblenda granulito félsico com leucossoma com porfiroblastos de ortopiroxênio no contato entre eles. Nessa amostra foram analisados seis grãos (figuras 21 e 22): grãos 01, 02 e 03 ( $En_{50}$ - $En_{52}$ ), pertencentes ao granada granulito máfico, os quais são xenoblásticos, com bordas irregulares, granulação muito fina e intersticiais aos grãos de granada, predominantes. O grão 04 ( $En_{48}$ - $En_{50}$ ) trata-se de porfiroblasto subidioblástico localizado no leucossoma, com bordas parcialmente substituídas por clinopiroxênio e hornblenda e levemente orientado segundo a foliação principal da rocha. Já os grãos 05 e 06 ( $En_{50}$ - $En_{52}$ ) estão na interface leucossoma – granada granulito máfico e são semelhantes aos encontrados na matriz, de granulação muito fina e xenoblásticos.

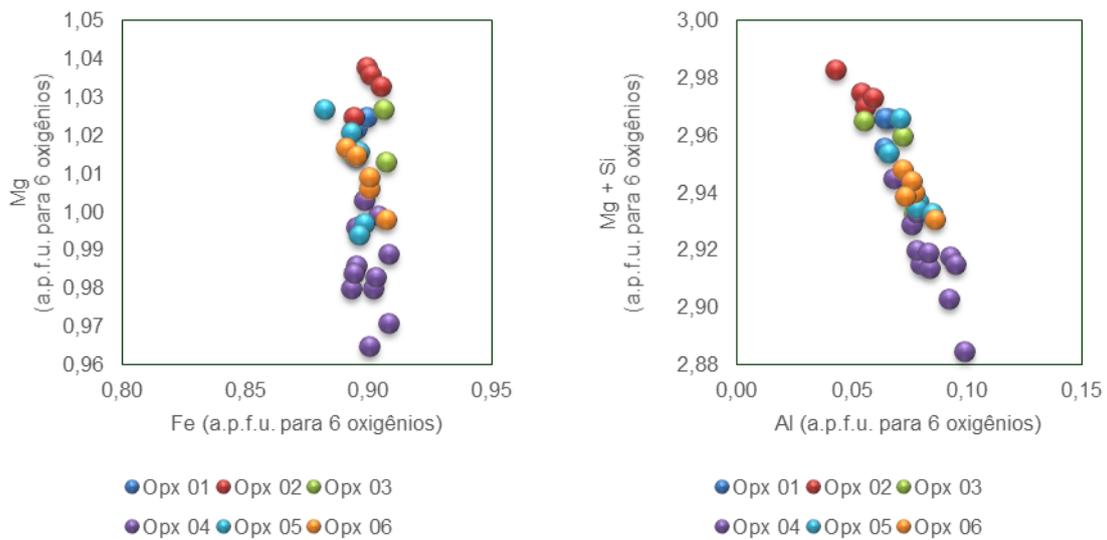
Todos os grãos analisados apresentam perfis sem variações significativas em relação a  $Al^{IV}$ ,  $Al^{VI}$  e  $X_{Mg}$ . O que se pode observar a partir desses gráficos é que o grão 04 (do leucossoma) apresenta valores de  $Al^{IV}$  levemente mais altos (0,006 a 0,030) que os grãos da matriz (0,001 a 0,016) ou da interface leucossoma – granada granulito máfico (0,003 a 0,024), sendo que nesses últimos, os valores de  $Al^{IV}$  vão a zero em diversos pontos. O grão 04 também apresenta valores de  $X_{Mg}$  um pouco mais baixos (0,517 a 0,528) que os demais

grãos (0,524 a 0,538). Em relação às trocas catiônicas, percebe-se através dos gráficos que não há variação significativa de Fe em relação aos diferentes grãos analisados. Por outro lado, pode-se notar no gráfico correspondente à substituição tschermakítica que a quantidade de Al aumenta dos grãos do granulito para os da interface e mais ainda para o grão do leucossoma, seguindo tendência inversamente proporcional com o Mg.





**Figura 21.** Razões Al<sup>IV</sup>, Al<sup>VI</sup> e X<sub>Mg</sub> em grãos de ortopiroxênio da Unidade Granulítica. Amostra ALF 45lb.

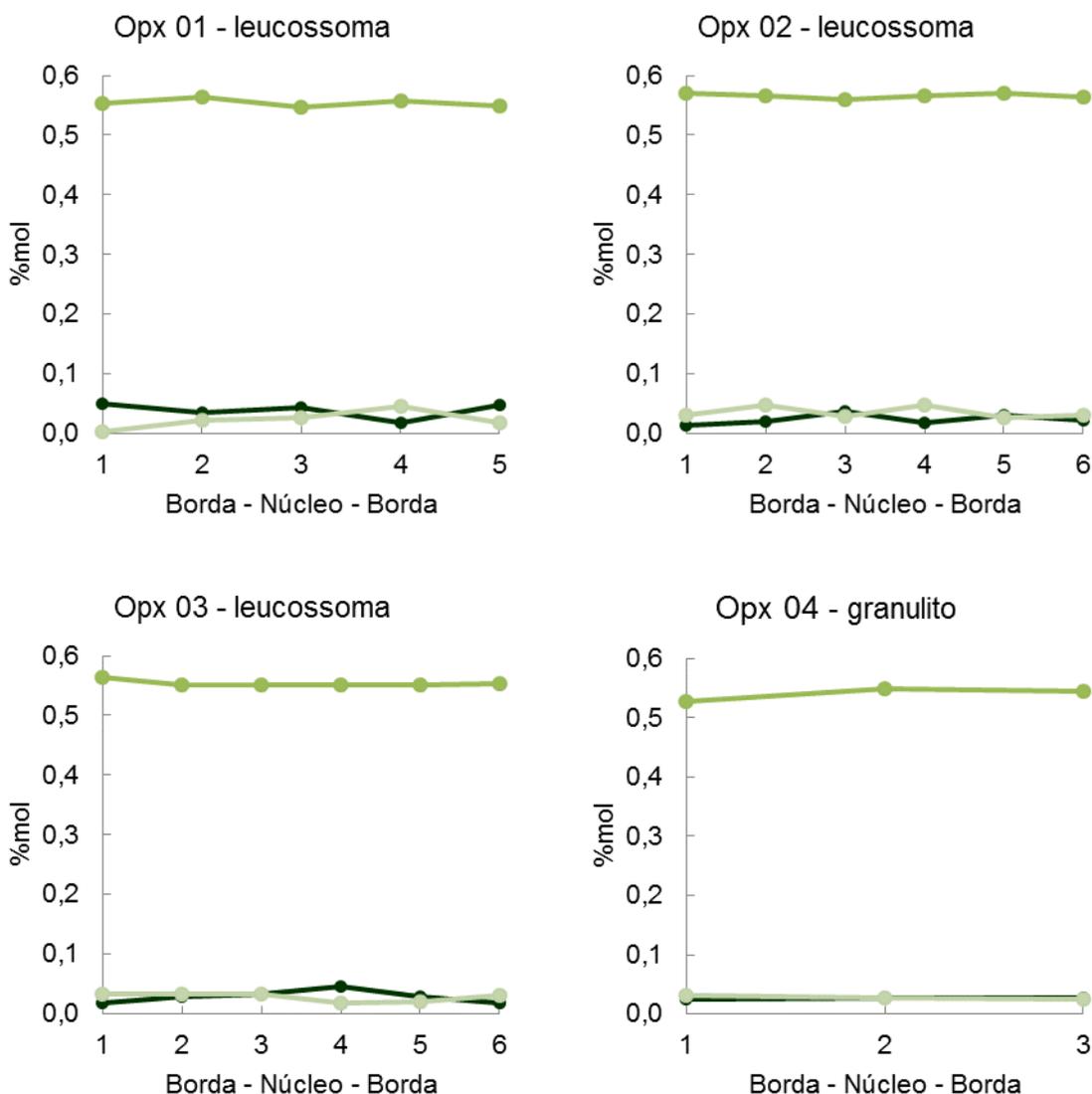


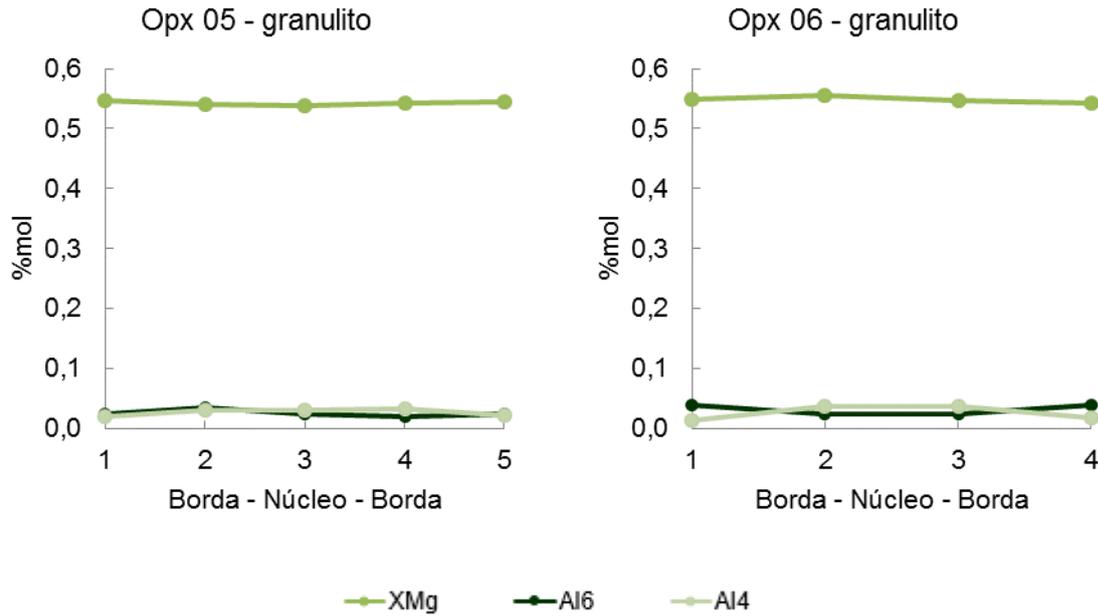
**Figura 22.** Gráficos de substituição catiônica. A esquerda, FeXMg e a direita MgSiAl<sup>IV</sup>Al<sup>VI</sup>. Amostra ALF 45lb.

A terceira amostra (ALF 45N) corresponde ao granulito félsico com porções de leucossoma com porfiroblastos de ortopiroxênio. Nessa amostra foram analisados 6 grãos (figuras 23 e 24), sendo os grãos 01, 02 e 03 pertencentes ao leucossoma (En<sub>53</sub>-En<sub>56</sub>) e os grãos 04, 05 e 06 (En<sub>51</sub>-En<sub>53</sub>) pertencentes à matriz. Os grãos do leucossoma são porfiroblastos subidioblásticos orientados segundo a foliação principal da rocha, apresentam fraturas e bordas substituídas por

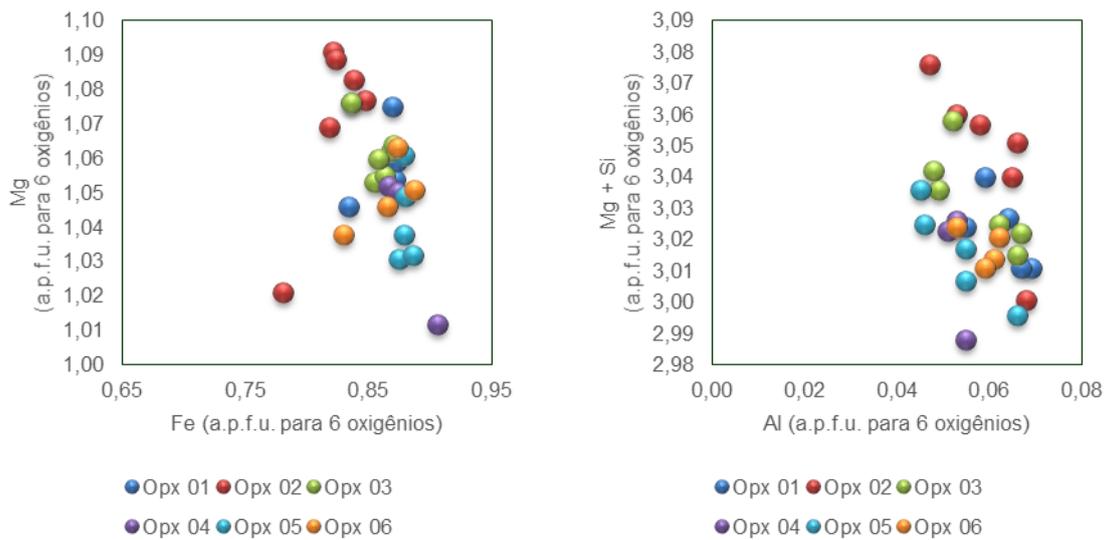
hornblenda. Já os cristais da matriz são subidioblásticos a xenoblásticos, de granulação muito fina, geralmente associados a hornblenda e por vezes alterados.

Através dos gráficos de  $Al^{IV}$ ,  $Al^{VI}$  e  $X_{Mg}$ , pode se notar que os grãos 01, 02 e 03, do leucossoma, apresentam valores de  $Al^{IV}$  e  $Al^{VI}$  inversamente proporcionais, enquanto nos grãos 04, 05 e 06, da matriz, os valores de  $Al^{IV}$ ,  $Al^{VI}$  são constantes. Em relação ao  $X_{Mg}$ , nenhum grão apresenta variação significativa. Em relação aos gráficos de substituições catiônicas, os grãos do leucossoma mostram-se mais ricos em Mg em relação aos grãos da matriz do granulito félsico, porém não é possível estabelecer uma correlação entre Al e Mg, pois os campos onde estão plotados os grãos do leucossoma e os do granulito se sobrepõem.





**Figura 23.** Razões  $Al^{IV}$ ,  $Al^{VI}$  e  $X_{Mg}$  em grãos de ortopiroxênio da Unidade Granulítica. Amostra ALF 45N.

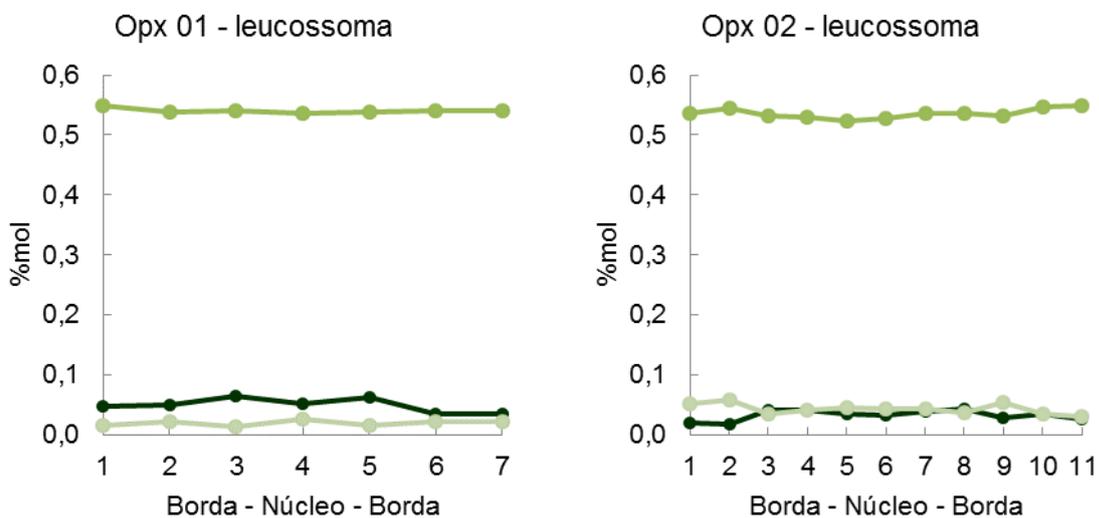


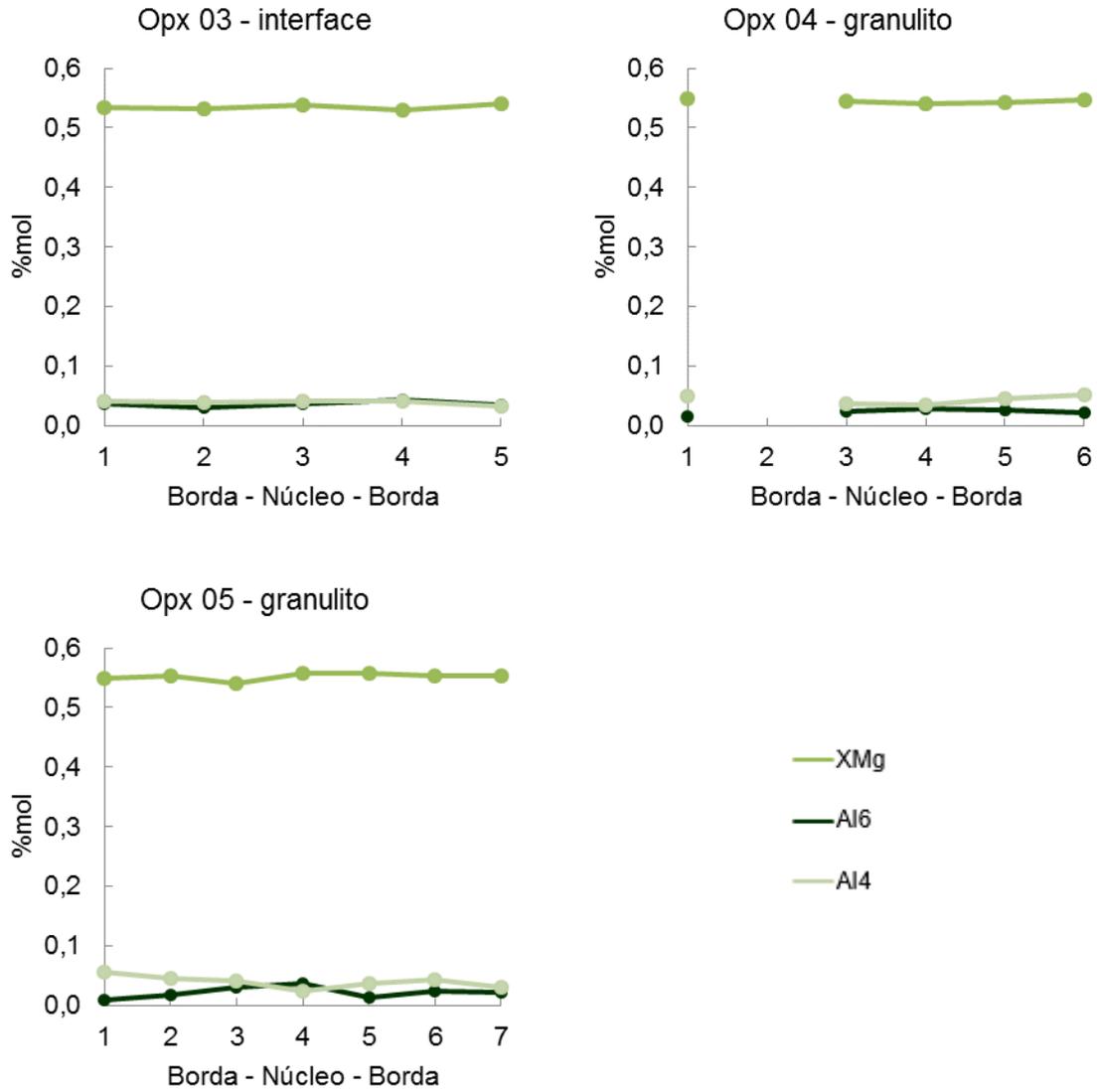
**Figura 24.** Gráficos de substituição catiônica. A esquerda,  $FeX_{Mg}$  e a direita  $MgSiX_{Al^{IV}Al^{VI}}$ . Amostra ALF 45N.

A quarta amostra (ALF 45 V1) corresponde ao granada granulito com porções de leucossoma com porfiroblastos de granada o ortopiroxênio, paralelas ao bandamento. Nessa amostra foram analisados 5 grãos de ortopiroxênio (figuras 25 e 26): grãos 01 e 02 ( $En_{50}$ - $En_{53}$ ) no leucossoma, grãos 03 ( $En_{50}$ - $En_{51}$ ) na interface leucossoma – granada granulito e grãos 04 e 05 ( $En_{52}$ - $En_{54}$ ) no granulito. Os grãos do leucossoma são porfiroblásticos, idioblásticos a

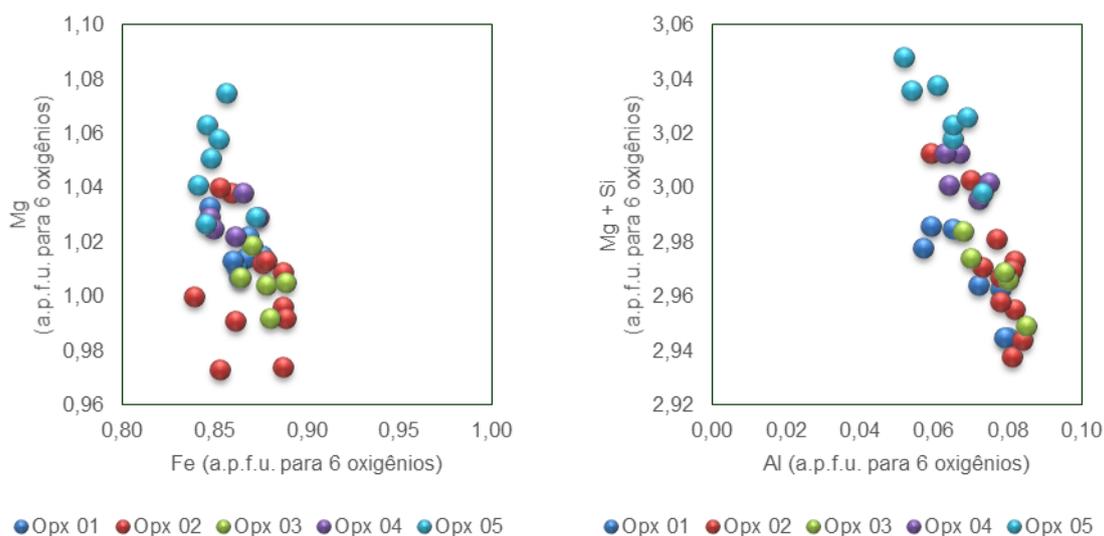
xenoblásticos, com fraturas e bordas irregulares, corroídas e alteradas para hornblenda. O grão 03, da interface, é porfiroblástico, xenoblástico e menos alterado no interior e nas bordas em relação aos do leucossoma. Já os grãos da matriz são xenoblásticos orientados segundo a foliação principal da rocha, apresentam granulação muito fina, muitas fraturas e ocorrem associados à hornblenda.

A partir dos gráficos de  $Al^{IV}$ ,  $Al^{VI}$  e  $X_{Mg}$  nota-se que todos os grãos apresentam razões de alumínio e  $X_{Mg}$  constantes. Pequenas variações em relação ao alumínio ocorrem nos grãos do leucossoma, onde ambos os grãos 01 e 02 apresentam enriquecimento em  $Al^{VI}$  no núcleo em relação à borda, sendo que no grão 01 os valores de  $Al^{IV}$  são menores que os de  $Al^{VI}$  e no grão 02, os valores são similares. No grão 03, localizado na interface, os valores de  $Al^{IV}$ ,  $Al^{VI}$  também são similares. Em relação ao grão 05 da matriz, parece haver enriquecimento de  $Al^{VI}$  das bordas para o núcleo, inversamente proporcional ao  $Al^{IV}$ . Em relação às substituições catiônicas, observa-se que os grãos do leucossoma são levemente mais ricos em Fe e em Al em relação aos grãos do granulito, que são mais ricos em Mg.





**Figura 25.** Razões  $Al^{IV}$ ,  $Al^{VI}$  e  $X_{Mg}$  em grãos de ortopiroxênio da Unidade Granulítica. Amostra ALF 45V1.

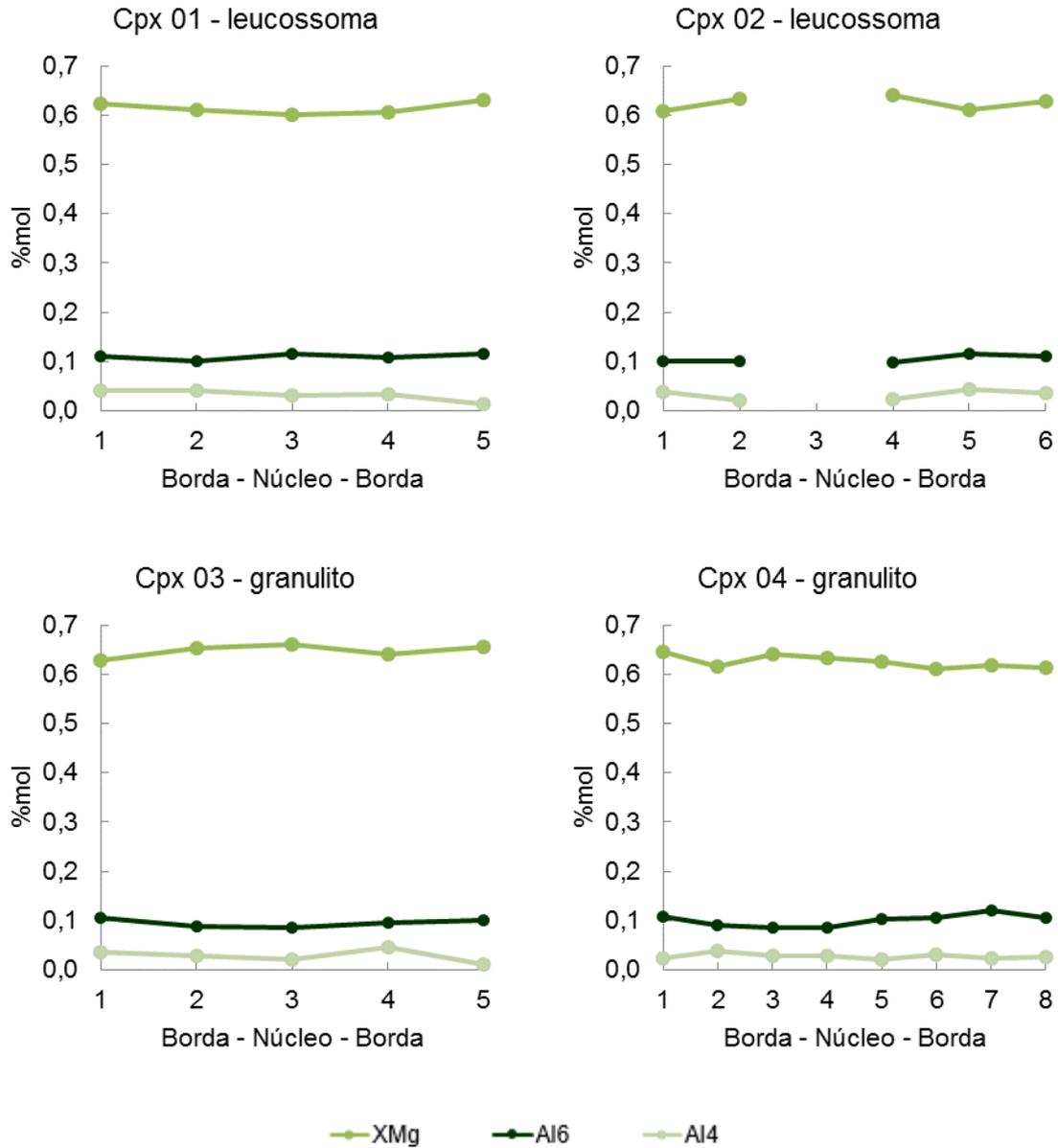


**Figura 26.** Gráficos de substituição catiônica. A esquerda, FeXMg e a direita MgSiXAl<sup>IV</sup>Al<sup>VI</sup>. Amostra ALF 45V1.

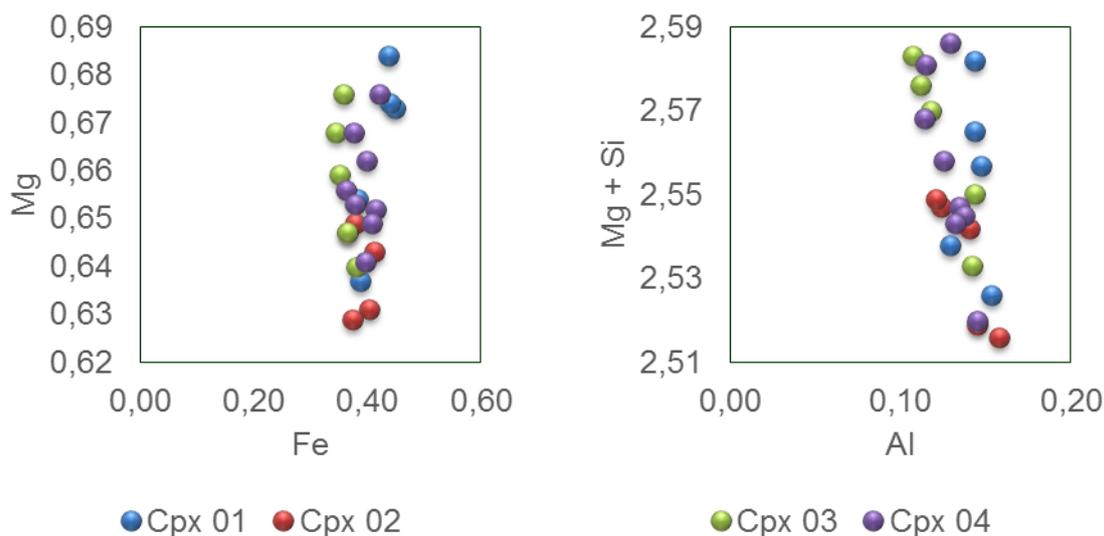
### Clinopiroxênio

Foi selecionada uma amostra (ALF 45N) da Unidade Granulítica para análise de clinopiroxênio. Nessa amostra foram analisados quatro grãos (figuras 27 e 28), grãos 01 (Wo<sub>39-45</sub>–En<sub>33-36</sub>–Fs<sub>19-23</sub>) e 02 (Wo<sub>43-46</sub>–En<sub>33-34</sub>–Fs<sub>19-21</sub>) no leucossoma, porfiroblásticos, subidioblásticos e orientados segundo a foliação principal da rocha e grãos 03 (Wo<sub>45-46</sub>–En<sub>33-35</sub>–Fs<sub>17-20</sub>) e 04 (Wo<sub>41-46</sub>–En<sub>33-35</sub>–Fs<sub>19-22</sub>) na matriz do granulito félsico, subidioblásticos, levemente alterados, com bordas substituídas por hornblenda e também orientados segundo a foliação principal da rocha. A classificação desses grãos com base nos membros finais wollastonita, enstatita e ferrosilita fica entre augita e diopsídio, sendo que o grãos 03 fica apenas no campo do diopsídio.

Tanto os grãos do leucossoma quanto do granulito não apresentam variação expressiva nos valores de X<sub>Mg</sub>, que ficam em entre 0,6 e 0,66. No grãos 01 há sutil queda de X<sub>Mg</sub> no núcleo em relação às bordas e nos grãos 01, 03 e 04 há diminuição de Al<sup>IV</sup> em uma das bordas dos grãos. Em relação aos gráficos de substituição catiônica pode-se perceber que os grãos 01 e 02, do leucossoma, apresentam valores de Fe e Al levemente maiores que os grãos 03 e 04, do granulito.



**Figura 27.** Razões  $Al^{IV}$ ,  $Al^{VI}$  e  $X_{Mg}$  em grãos de clinopiroxênio da Unidade Granulítica. Amostra ALF 45N.



**Figura 28.** Gráficos de substituição catiônica. A esquerda, FeXMg e a direita MgSiXAl<sup>IV</sup>Al<sup>VI</sup>. Amostra ALF 45N.

## 7.2 LA-ICP-MS

Os dados de química mineral *in situ* obtidos através da microsonda eletrônica estão restritos a elementos maiores, menores e alguns pouco traços, pois o limite de detecção da ferramenta fica em torno de centenas de ppm. Devido à essa limitação, o LA-ICP-MS foi usado nesse trabalho para caracterizar os elementos traço, dado que seus limites de detecção são da ordem 1ppm a 1ppb. O emprego dessa técnica para aplicações mineralógicas, petrológicas e geocronológicas está detalhado em Sylvester (2001) e já foi usado em diversos trabalhos (e.g. Martins, 2005).

Foram selecionadas quatro seções delgadas dentre as analisadas na microsonda eletrônica para prosseguir o estudo com o LA-ICP-MS. As amostras da Unidade Granulítica ALF 45 Ib, ALF 45 V1, ALF 45 Va e Alf 45 n foram selecionadas por abrangerem granulito com leucossoma, sendo que ambos apresentam porfiroblastos de granada e piroxênios (anexo 5).

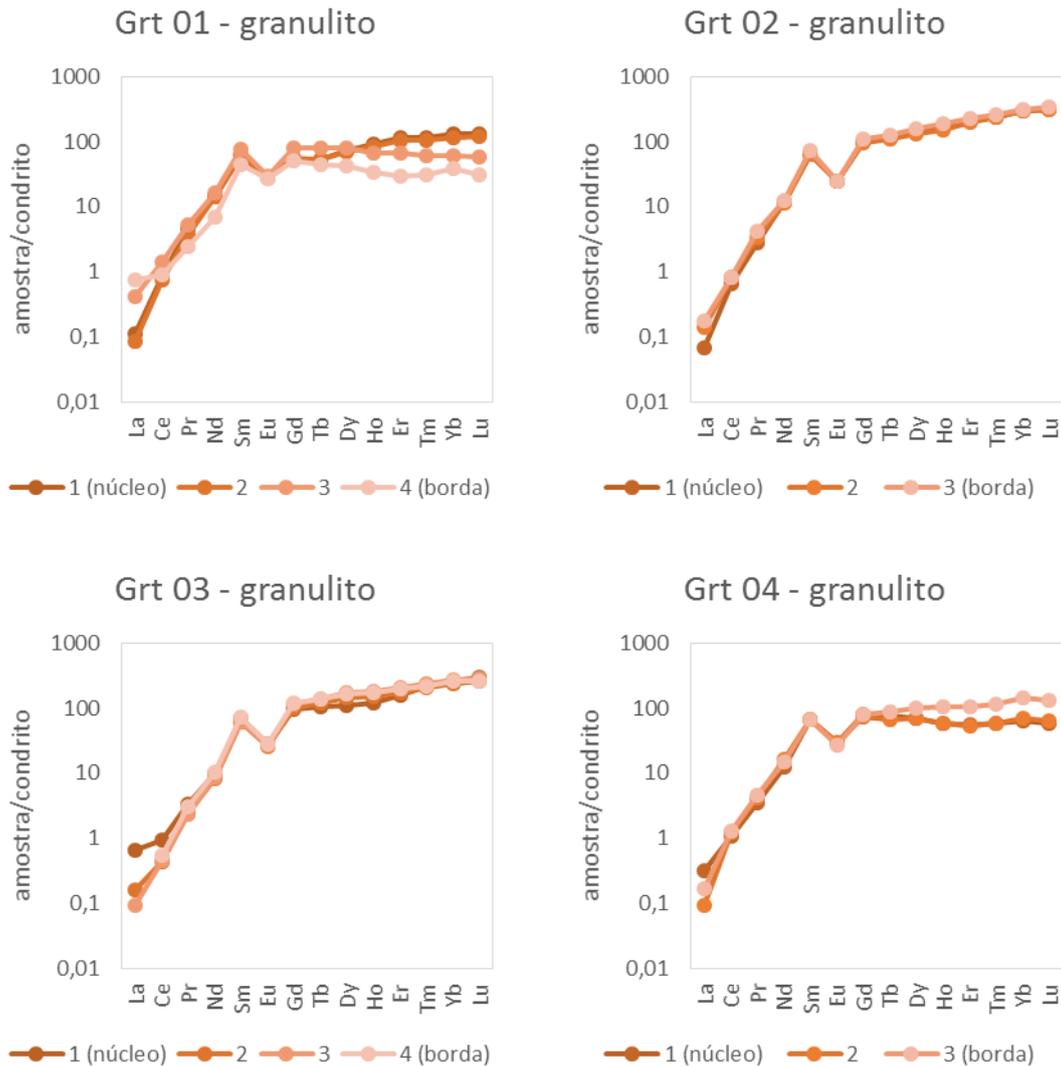
O LA-ICP-MS é a combinação de duas ferramentas: uma de amostragem por *laser* combinado com sistema de espectrômetros de massa acoplados a plasma induzido. O *laser* é o responsável pelo desgaste da superfície da amostra, criando uma cavidade de dezenas a centenas de microns e liberando partículas para serem analisadas pelo espectrômetro de massa.

Os trabalhos foram realizados no espectrômetro de massa com plasma induzido acoplado modelo ELAN-6100DRC da Perkin Elmer/Sciex e Sistema de Laser Ablation modelo UP-213A/F da New Wave Co instalados no Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo. As condições de análise foram: potência do laser: 98–100%, frequência: 10Hz, tamanho do spot: 30–40 $\mu$ , raster: 100–130 $\mu$ , fluência do laser: 10,20–10,32J/cm<sup>2</sup>. Foram usados vidros com valores padronizados para calibração e controle de qualidade (NIST-610, NIST-612, BHVO-2G). Dados da microsonda também foram usados como padrão interno: Ca para granada e Mg para piroxênio.

Para a aquisição foram medidos 60 segundos do branco e 60 segundos de sinal da amostra. Durante o processo, sistema de reprodução de imagens direcionado para a tela do computador permite a visualização da seção delgada. Nele pode-se observar inclusive o trabalho do laser ao desgastar a amostra investigada, se transformando então em controle de qualidade, pois consegue-se visualizar quando o trecho analisado sai do ponto previsto ou atravessa o mineral e chega no vidro. No tratamento de dados, interferências foram excluídas diminuindo o tempo de sinal da amostra de alguns pontos.

### **7.2.1 Granada**

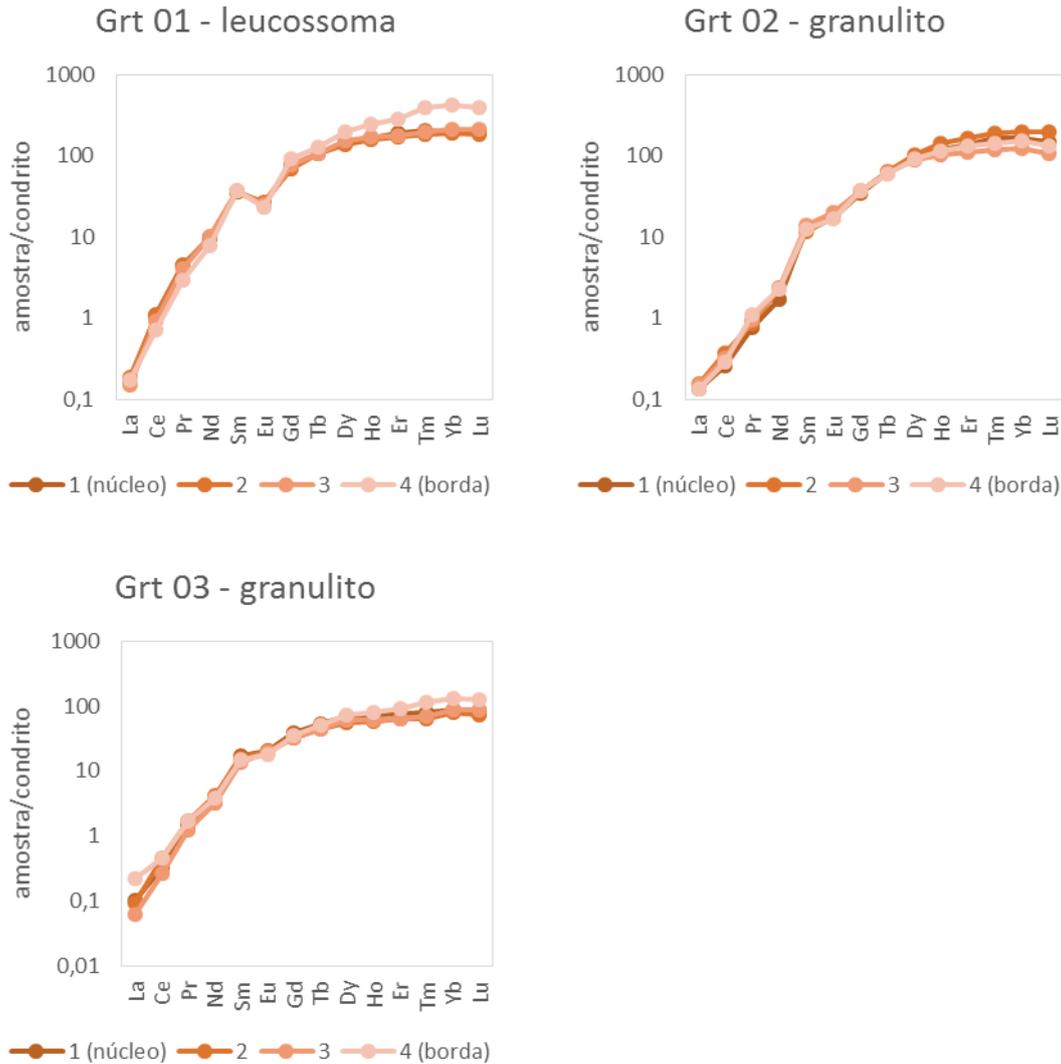
Foram analisados grãos de granada em três amostras da Unidade Granulítica. Na amostra ALF 45 lb, correspondente ao granada granulito, foram feitos perfis núcleo–borda em quatro grãos (figura 29). Nos quatro grãos analisados os perfis são semelhantes, com forte empobrecimento em ETR leves, anomalia negativa de Eu e padrões planos de ETR pesados, com com leve aumento de Ga para Lu, com algumas diferenças entre os grãos e núcleo e borda dos grãos. É possível observar na granada 01 que há diminuição nos concentrações de ETR médios para os pesados do núcleo para a borda. Na granada 02 e 03 não há diferenças entre núcleo e borda, com leve aumento dos médios para os pesados e perfil plano na granada 04, com a borda com enriquecimento em todos os ETR médios e pesados em relação ao núcleo. Em relação aos ETR leves, ocorre empobrecimento progressivo dos médios para os mais leves. Todos os grãos apresentam leve anomalia negativa de Eu.



**Figura 29.** Padrões ETR normalizados para condrito de granada do granada granulito. Amostra ALF 45 lb.

Na amostra ALF 45 V1, também correspondente ao granada granulito, foram analisados um grão de granada no leucossoma e dois no granulito (figura 30). No grão 01, localizado no leucossoma, as concentrações aumentam dos ETR leves para os médios e não há diferença entre núcleo e borda, ocorre anomalia negativa de Eu e aumento constante dos ETR pesados, com maiores concentrações na borda mais externa do grão. Na granada 02 e 03, ambas do granulito, as concentrações aumentam gradativamente entre ETR leves e pesados e praticamente sem anomalia de Eu; há tendência dos ETR mais pesados serem mais ricos no núcleo do que na borda. A granada 03, do granulito, ficou com a análise comprometida devido a interferência de diversos elementos, e

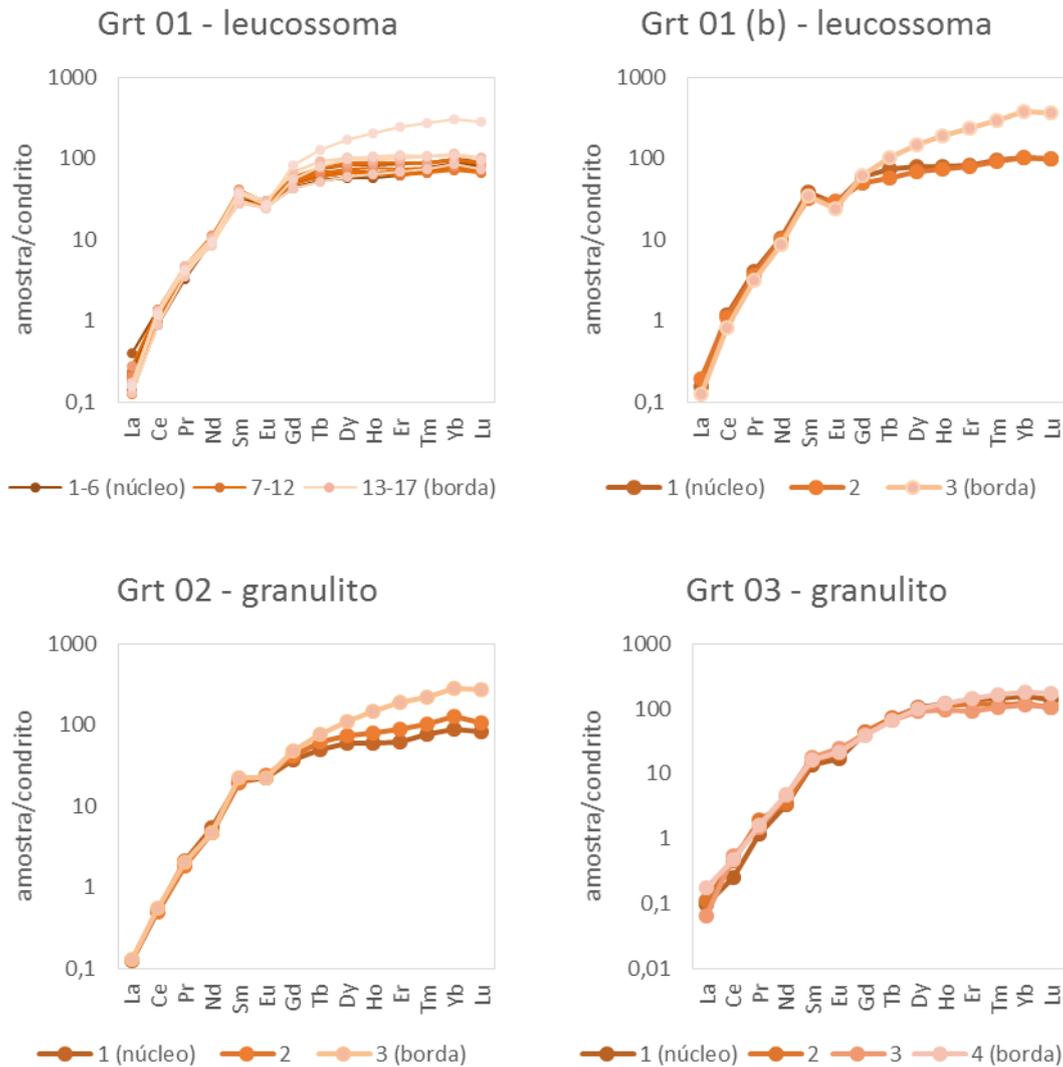
valores próximos ou abaixo dos limites de detecção da ferramenta, resultando em tempo de análise de 30 segundos. Nesse grão, o perfil entre ETR médios e pesados é praticamente constante, com leve aumento dos ETR mais pesados na borda.



**Figura 30.** Padrões ETR normalizados para condrito de granada do leucossoma e matriz de granada granulito. Amostra ALF 45 V1.

Na amostra ALF 45 Va, correspondente ao hornblenda–granada granulito, foram analisados um porfiroblasto de 2 cm no leucossoma em dois perfis núcleo–borda perpendiculares (granada 01 e 01b) e dois grãos no granulito (figura 31). Na granada 01, as concentrações de ETR aumentam dos leves para os médios gradativamente, com anomalia negativa de Eu, sendo que daí até os ETR mais

pesados o aumento na concentração é mais discreto. O perfil é o mesmo independente da direção em que foi feito. A borda mais externa apresenta enriquecimento maior em relação ao núcleo e as partes internas do grão. Nos grãos 02 e 03, o aumento nas concentrações entre ETR leves e pesados é constante, sendo a anomalia negativa de Eu discreta, sendo que o enriquecimento geral dos ETR médios e pesados após o Eu é gradativa e maior na borda mais externa, como no leucossoma.

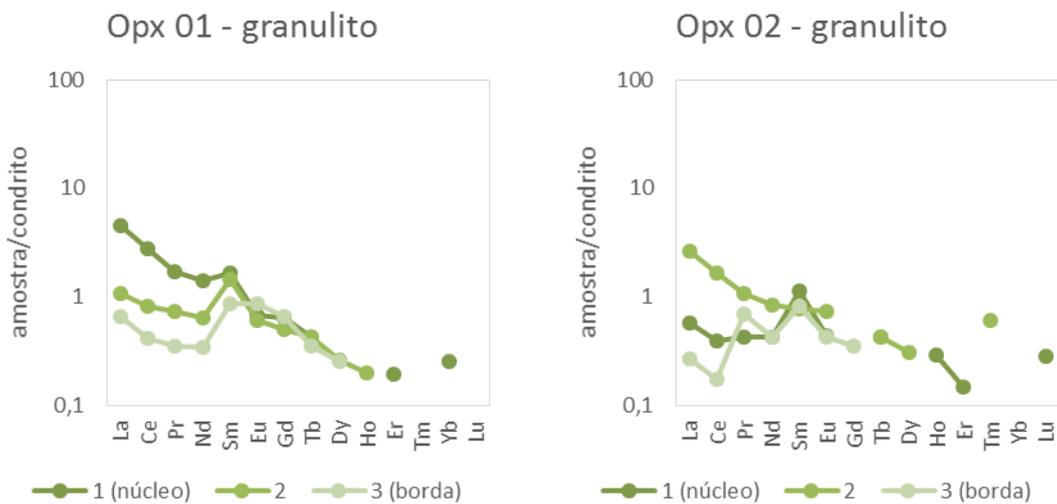


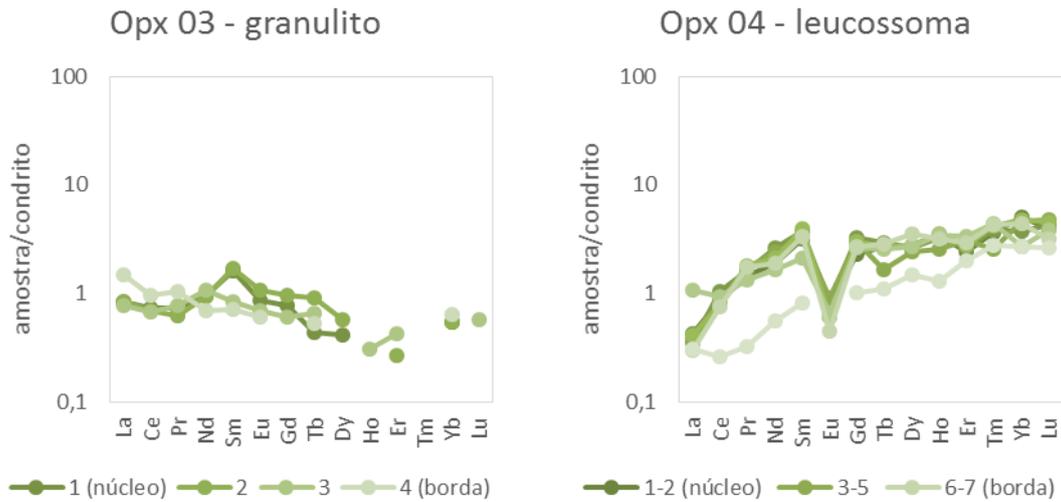
**Figura 31.** Padrões ETR normalizados para condrito de granada do leucossoma e hornblenda–granada granulito. Amostra ALF 45 Va.

### 7.2.2 Ortopiroxênio

Foram analisadas as concentrações de ETR em grãos de ortopiroxênio de três amostras da Unidade Granulítica em perfis núcleo–borda. Na amostra ALF 45

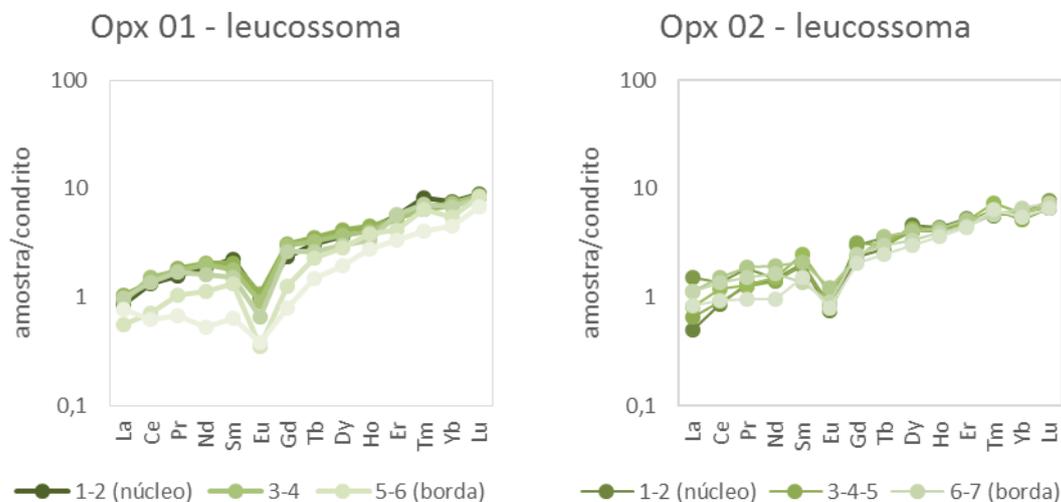
lb, correspondente ao granada granulito, foram analisados três grãos no granulito e um no leucossoma (figura 32). Nos grãos do granulito (01, 02 e 03) os valores analisados dos ETR ficaram próximos ou abaixo dos limites de detecção do laser, dificultando a interpretação dos dados, principalmente no que diz respeito aos ETR pesados. Apesar da dificuldade, é possível notar que nos grãos do granulito ocorre decréscimo dos ETR leves, aproximadamente 10 vezes o condrito, até valores menores que 0,1 vez o condrito, nos ETR pesados. No grão 01 há empobrecimento em ETR leves do núcleo para a borda do grão, enquanto no grão 03 não ocorre diferença significativa entre núcleo e borda. Já no grão 02 ocorreram interferências de Rb, Sr, Zn e Pb que foram excluídas durante o tratamento dos dados, fazendo com que a análise ficasse com apenas 20 segundos e prejudicando a confiabilidade do dado. Já no grão 04, localizado no leucossoma, é possível avaliar melhor os dados obtidos. Nesse caso, percebe-se que os valores de ETR tanto leves quanto pesados são constantes ao longo do perfil núcleo–borda e, apesar desses valores ainda serem bem baixos, eles são maiores dos que do ortopiroxênio da matriz. Além disso, há anomalia negativa de Eu e em uma das análises da borda, os valores de ETR leves e pesados ficaram notavelmente abaixo dos valores do núcleo.

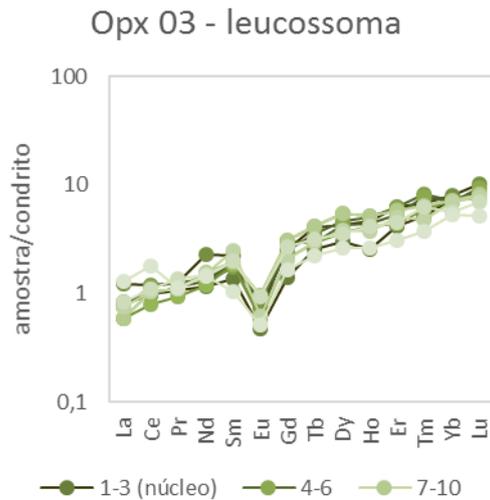




**Figura 32.** Padrões ETR normalizados para condrito de ortopiroxênio do granada granulito. Amostra ALF 45 Ib.

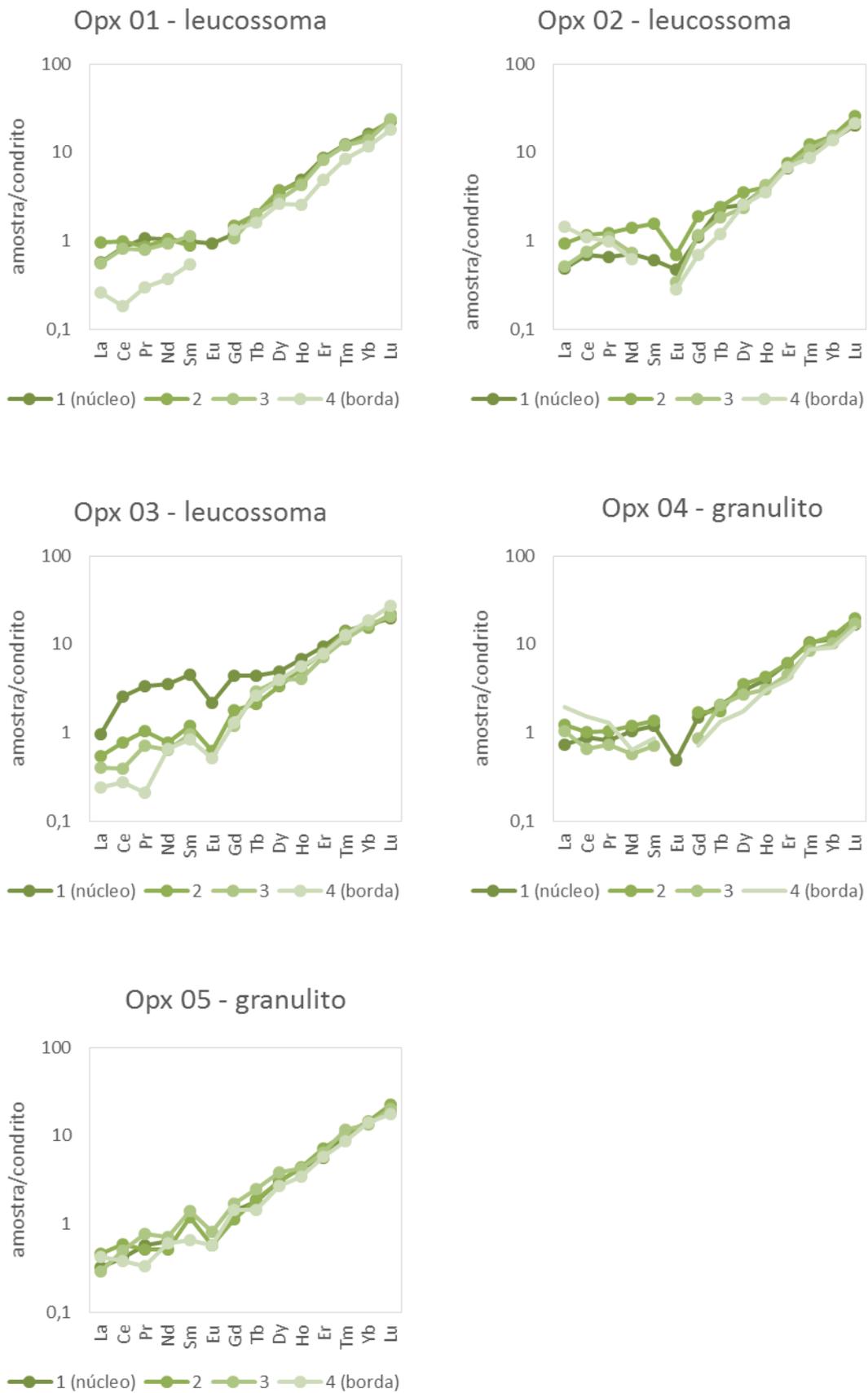
Na amostra ALF 45 V1, também correspondente ao granada granulito, foram analisados três grãos de ortopiroxênio no leucossoma (figura 33). Os grãos 01, 02 e 03, localizados no leucossoma, apresentam padrões com inclinação positiva, anomalia negativa de Eu, com ETR leves com valores próximas do condrito e os pesados com concentrações dez vezes maiores que o do condrito. No grão 01, as bordas são mais pobres na somatória dos ETR como um todo, enquanto nos grãos 02 e 03 não é possível fazer essa distinção.





**Figura 33.** Padrões ETR normalizados para condrito de ortopiroxênio do granada granulito. Amostra ALF 45 V1.

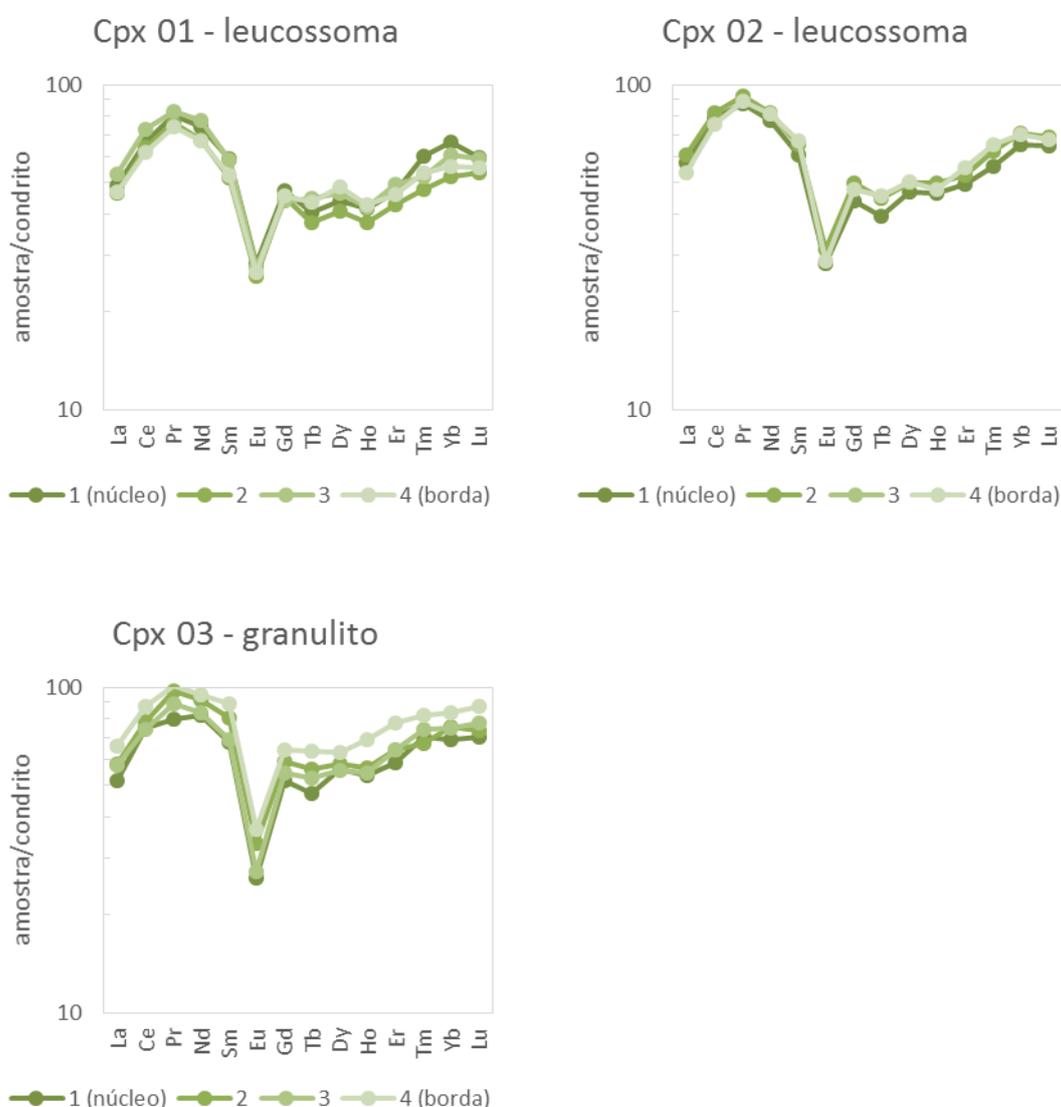
Na amostra ALF 45 N, correspondente ao granulito félsico, foram analisados três grãos no leucossoma e dois no granulito (figura 34). Não há grande diferença entre os padrões de ETR entre os grãos do leucossoma e do granulito como observado na amostra ALF 45 V1. Os padrões são todos com inclinação positiva, com ETR leves com valores próximos ou menores que os do condrito, com anomalias negativas pronunciadas ou não de Eu e ETR médios com concentrações próximas do condrito até os pesados que vão até algo acima de dez vezes as do condrito. Nos grãos do leucossoma (01, 02 e 03) apesar dos valores baixos, pode-se notar uma tendência da borda ser empobrecida em ETR leves em relação ao núcleo. Também nota-se uma anomalia negativa do Eu, que por vezes fica com valores abaixo do limite de detecção do laser. Já em relação aos ETR pesados, os valores apresentam-se mais constantes ao longo do perfil. Em relação aos grãos da matriz (04 e 05) não há distinção entre os valores de ETR leves e pesados ao longo do perfil e o grão 04 apresenta anomalia negativa de Eu tal qual os grãos do leucossoma.



**Figura 34.** Padrões ETR normalizados para condrito de ortopiroxênio do granulito félsico. Amostra ALF 45 N.

### 7.2.3 Clinopiroxênio

Foram analisados três grãos de clinopiroxênio na amostra ALF 45 N, correspondente ao granulito félsico, sendo dois no leucossoma (grãos 01 e 02) e um no granulito (03). A quantidade de ETR presente no clinopiroxênio é bem maior que no ortopiroxênio. La e Ce apresentam empobrecimento em relação aos outros ETR leves e médios, com anomalia negativa de Eu e padrão de ETR médios e pesados praticamente plano. Tanto os padrões dos grãos do leucossoma como o do granulito são semelhantes, com a diferença de que no granulito, pode-se considerar leve enriquecimento dos ETR leves e pesados na borda, embora essa diferença de valores seja muito pequena (figura 35).



**Figura 35.** Padrões ETR normalizados para condrito de clinopiroxênio do granulito félsico. Amostra ALF 45 N.

## 8. DISCUSSÃO

O mapeamento da área estudada em escala 1:50.000 permitiu a discriminação de duas unidades. A primeira unidade, na porção norte, corresponde à Unidade Granulítica Basal, composta por granulito félsico, com intercalações de granulito máfico, com veios de leucossoma de charnockito e granito. Já na porção sul da área, aflora a Unidade Diatexítica Intermediária. A unidade é composta por dois litotipos principais: granada migmatito estromático e granada diatexito. Além disso, ainda há intercalações de granulitos, félsico e máfico, com graus variados de retrometamorfismo.

As relações de contato entre os litotipos das unidades indicam tanto contatos transicionais de bolsões e veios centimétricos de leucossoma granítico/charnockítico quanto contatos abruptos de bolsões métricos que cortam a foliação no migmatito e nos granulitos. Essas duas relações de contato indicam que esses bolsões maiores são provenientes de fusão parcial na fonte, apesar de não estarem *in situ*, sendo provenientes da acumulação e coalescência dos bolsões menores. O fato da mineralogia do leucossoma do migmatito e dos bolsões serem análogas também suporta essa hipótese.

### Fusão e Geração de Migmatitos e Granulitos

As análises de elementos maiores e menores em rocha total indicam que o granulito máfico apresenta diferenças significativas em relação aos demais litotipos, com concentração maior de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$  e  $\text{P}_2\text{O}_5$  e menor de  $\text{SiO}_2$  e  $\text{K}_2\text{O}$  em relação às outras amostras, refletindo sua quantidade maior de minerais máficos e menor de quartzo e feldspato potássico. As menores concentrações de Ba, Rb e K, elementos que têm preferência por feldspato potássico, também indicam que granulito máfico contém menor quantidade, ou nada, desse mineral. O enriquecimento em P, elemento presente na apatita, indica a presença de maior quantidade do mineral no granulito máfico, enquanto a menor quantidade de Zr, em relação às demais amostras, indica que o granulito máfico contém menos zircão. O Ti apresentam concentrações com grande

variação, em todos os litotipos, indicando comportamento complexo relacionado à fusão da biotita.

Ao comparar granulito félsico e leucossoma nota-se que o granulito possui maior quantidade de  $K_2O$  e menor quantidade de  $CaO$  e  $Na_2O$ , indicando que maior proporção de plagioclásio do que feldspato potássico foi fundida. A maior quantidade de Ba e Rb no leucossoma também suporta a hipótese de que feldspato potássico não tenha sido totalmente fundido, permanecendo então no resíduo. A variação de  $MgO$  nos veios de leucossoma e nos granulitos reflete a quantidade de piroxênio gerada na rocha, que é variada.

Pelas análises de química de rocha total pode-se perceber que os veios de leucossoma de composição de charnockito formados *in situ* apresentam as maiores variações composicionais, indicando certa heterogeneidade na cristalização do mesmo, além da dificuldade em amostrar de veios de espessura de 10 a 40 cm, mas com cristais de feldspato potássico que podem ultrapassar 10 cm, e proporção diversa de ortopiroxênio e hornblenda. Parte da diferença composicional está associada à diferenciação e segregação de cristais e líquido durante a cristalização dos veios de leucossoma. O comportamento errático de Ti e P sugere que dependendo da amostra houve maior ou menor fusão de biotita, apatita ou segregação/retenção de óxidos de Fe-Ti. Além disso, os valores menores de Zr no leucossoma indicam que zircão ficou preferencialmente no resíduo granulítico.

O comportamento dos elementos maiores e menores em veios e leucossoma de composição de granito e hornblenda granito são similares, sugerindo que a presença de hornblenda não foi determinante para definir o comportamento químico do leucossoma.

A composição de elementos terras raras (ETR) do ortopiroxênio gera padrões, quando normalizados a condrito, com inclinação positiva e distinta anomalia negativa de Eu. Muitos dos grãos não apresentam diferenças significativas na concentração de ETR ao longo de perfil núcleo–borda, mas quando ocorre diferença, percebe-se claramente que a borda dos grãos é empobrecida em ETR pesados em relação ao núcleo. As composições de ETR nos grãos de ortopiroxênio do granulito e do leucossoma são indistinguíveis, assim como as de clinopiroxênio, o que comprova gênese única para ambos, ou

seja por reações de fusão parcial de biotita ou hornblenda, sendo que o ortopiroxênio é o produto peritético dessas reações. O empobrecimento em ETR médios e pesados na borda dos grãos indica que, quando estas foram cristalizadas, havia outros minerais competindo por esses elementos, tais como zircão, clinopiroxênio e apatita, os quais ocorrem em quantidade significativa em todas as amostras, e como é indicado pelos diagramas multielementares. Outra razão para o empobrecimento de ETR pesados nas bordas de ortopiroxênio seria o crescimento concomitante desse mineral com granada, já que esta apresenta em grãos do leucossoma um enriquecimento em ETR pesados. Clinopiroxênio do granulito apresenta enriquecimento em ETR pesados na borda, indicando que seu crescimento foi anterior ao do ortopiroxênio.

As distintas anomalias de Eu indicam que plagioclásio não fundiu totalmente, retendo esse elemento no resíduo granulítico e não fosse disponibilizado para o líquido.

Ao observar o padrão dos ETR em granada, nota-se que as concentrações aumentam dos ETR leves para os pesados e alguns cristais apresentam anomalia negativa de Eu enquanto outros não. Em relação aos perfis núcleo–borda, alguns grãos apresentam empobrecimento em ETR pesados do núcleo para borda e outros têm enriquecimento. A presença ou não da anomalia negativa de Eu nos cristais de granada indica que plagioclásio sofreu fusão parcial, onde, nas porções da rocha contendo granada sem anomalia negativa de Eu provavelmente ocorreu porcentagem maior de fusão de plagioclásio em relação às regiões com cristais de granada que apresentam a anomalia negativa. O empobrecimento em ETR pesados na borda dos cristais sugere que granada competia com zircão por esses elementos durante sua cristalização. Já os cristais que apresentam padrão contrário, com borda enriquecida em ETR pesados indica que a borda foi cristalizada enquanto havia esse material disponível no líquido, ou seja, enquanto o zircão ainda não havia começado a se cristalizar e competir pelos mesmos elementos. Alternativamente a discrepância pode ser aparente e produto das análises tipo *raster*, em que uma linha de análise é feita no mineral, o que pode misturar características de porções algo diferentes do grão.

Os granulitos da Unidade Granulítica Basal apresentam as seguintes paragêneses:

Cpx + Opx + Pl ± Qtz ± Grt + Ilm, para granulito máfico;

Opx + Pl + Kfs + Qtz ± Cpx ± Grt + Ilm, para granulito félsico;

Como descrito, os granulitos ocorrem em relação íntima com veios de leucossoma no campo, confirmando sua gênese associada ao processo de fusão parcial. Possíveis reações de fusão que as rochas possam ter ultrassado, levando em consideração consumo de hornblenda, biotita e parcial de plagioclásio e produção de granada e ortopiroxênio, são:

$$\text{Bt} + \text{Qtz} \pm \text{Pl} = \text{Opx} \pm \text{Grt} \pm \text{Kfs}; + \text{Liq};$$
$$\text{Qtz} + \text{Hbl} + \text{Pl} = \text{Opx} + \text{Cpx} \pm \text{Grt} + \text{Liq}$$

Essas reações provenientes de dados experimentais compilados por Pattinson *et al.* (2003) e de Vielzeuf e Holloway (1988) indicam que temperaturas de 850 a 900 °C em pressões entre 6 e 11 kbar para as rochas da região. O que está de acordo com os cálculos *P-T* feitos previamente para essas rochas, em que condições de pressão de  $11.9 \pm 1.5$  kbar e  $11.8 \pm 1.3$  kbar foram obtidas com grãos de granada e ortopiroxênio de leucossoma e entre 9,5 e 10,5 kbar e temperatura de  $868 \pm 62$  °C para o granulito (Alexandre, 2013).

As rochas da Unidade Diatexitica apresentam a seguinte paragênese de pico metamórfico:

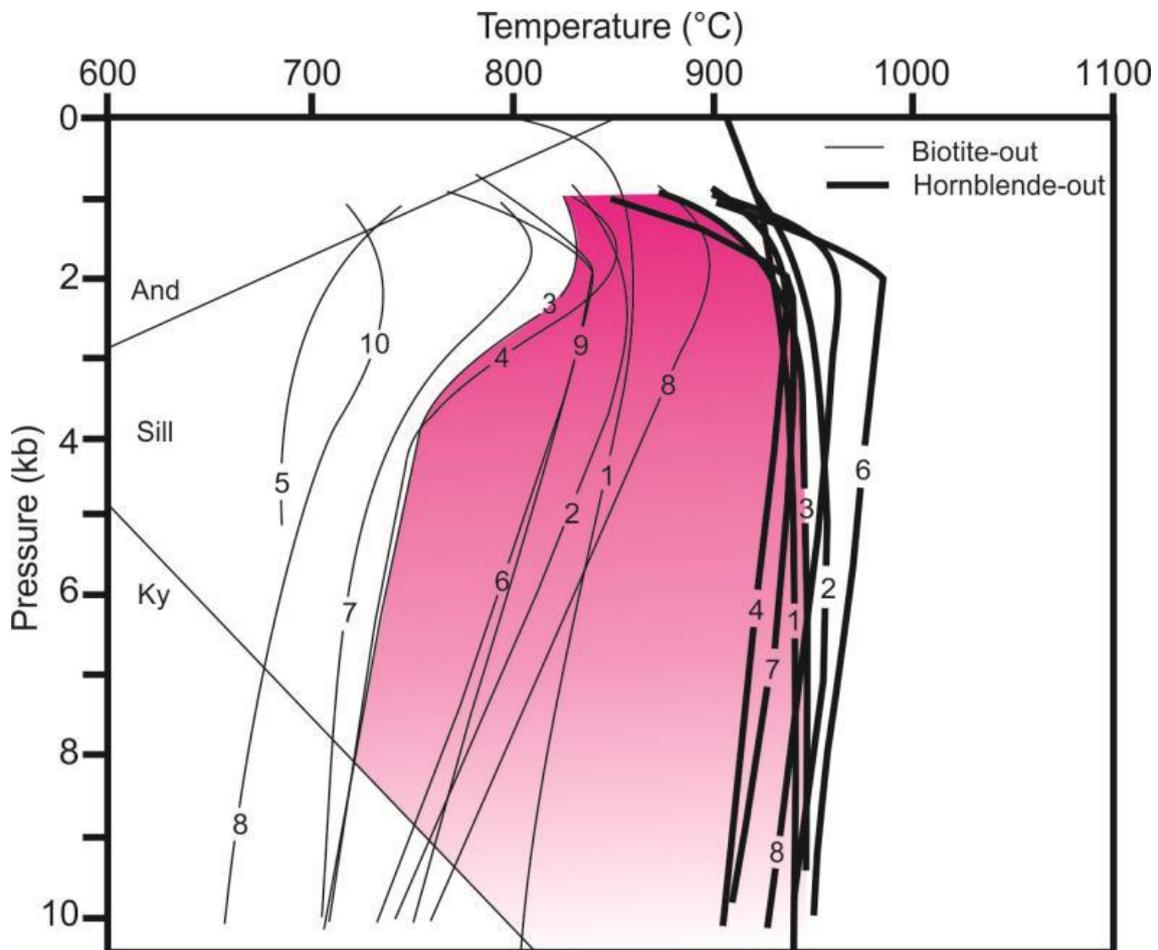
$$\text{Grt} + \text{Pl} + \text{Kfs} + \text{Qtz} \pm \text{Hbl}$$

As reações de fusão que deram origem à paragênese provavelmente são as de quebra da biotita:

$$\text{Bt} + \text{Qtz} + \text{Pl} = \text{Kfs} \pm \text{Grt} \pm \text{Hbl} + \text{Liq};$$

Através dessas reações, é possível estimar o campo de estabilidade da rocha entre 750 a 950 °C, entre a quebra da biotita e o campo de estabilidade da

hornblenda (figura 36), o que é compatível com as condições  $P$ - $T$  calculadas para a unidade sotoposta, indicando que as diferenças nas paragêneses estão provavelmente associadas às variações composicionais dos protólitos e não às condições  $P$ - $T$  do metamorfismo e da fusão.



**Figura 36.** Diagrama experimental  $P$ - $T$  mostrando reações de quebra da biotita e da hornblenda para várias composições graníticas. Em rosa, o campo de estabilidade das rochas da unidade diatexítica da *Nappe Socorro-Guaxupé*, delimitado pelas curvas de número 3, calculadas para granodioritos, por Piwinskii (1973). Extraído de Alexandre (2013).

#### Preservação das Paragêneses dos Granulitos

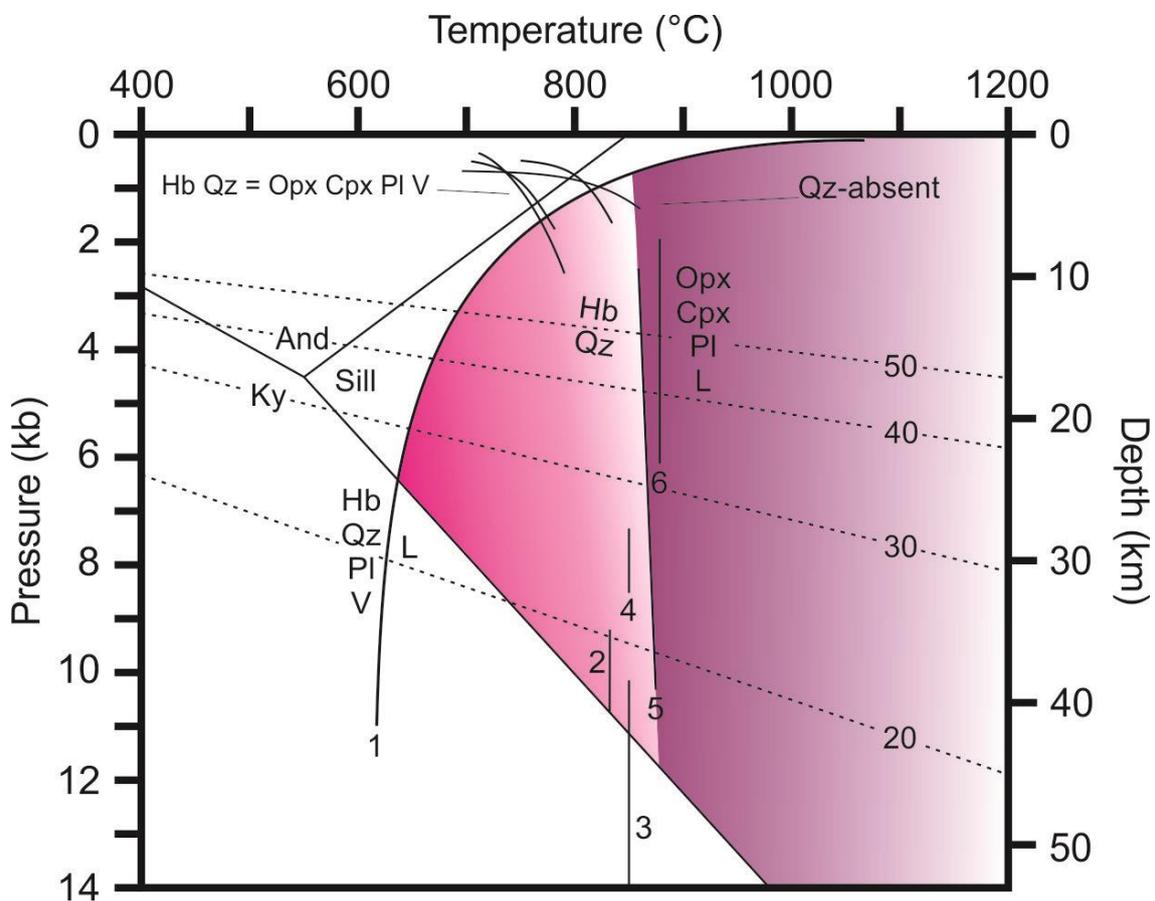
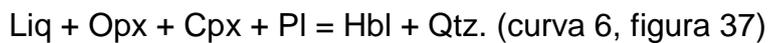
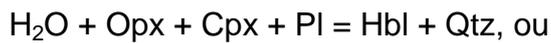
As observações em campo e a análise petrográfica das unidades, incluindo aglomerados de anfibólios, com biotita, quartzo e feldspatos que substituíram porfiroblastos de piroxênio e ou granada, coroa de biotita em torno de granada e coroa de titanita em torno de minerais opacos, levam a conclusão de que as

rochas da área sofreram intenso retrometamorfismo, sendo raramente possível encontrar os litotipos sem a presença de minerais hidratados.

A reação retrometamórfica que deu origem à biotita pode ser:



e a reação que deu origem à hornblenda pode ser:



**Figura 37.** Diagrama *P-T*-profundidade com o campo de estabilidade da rocha delimitado pela curva 5. A cor roxa representa o campo de estabilidade da rocha no pico metamórfico e em rosa o retrometamorfismo. Reações calculadas por Choudhuri and Winkler (1967); Binns (1969); Spear (1993) e Patiño-Douce and Beard (1995). O campo delimitado coincide com as condições *P-T* calculadas para as rochas estudadas. Extraído de Alexandre (2013).

O fato de haver leitos de biotita, entre o granulito máfico e os veios de leucossoma, indica que o contato entre eles funcionou como sistema aberto, envolvendo reação causada pela diminuição da temperatura e mudança de potencial químico da água, possivelmente de outros elementos, que tende a sair do leucossoma e ir para o resíduo granulítico, como demonstrado por modelamentos teóricos (White & Powell, 2010).

Para que reações retrógradas aconteçam de maneira tão intensa, assim como para explicar a existência de vários graus de diferenciação do leucossoma (charnockito, hornblenda granito e granito) é necessário a operação de processo de cristalização fracionada do leucossoma, com diferenciação e perda de fundido de forma concomitante. O leucossoma mais evoluído e diferenciado pode também concentrar boa parte da água, o que facilita o retrometamorfismo nos seus contatos com a porção granulítica residual. A fusão com água abundante no campo da biotita é algo raro acontecer, então o influxo posterior de água não pode ser descartado. A fonte dessa água pode ser os fluidos da zona de subducção (Sawyer, 2010). A água pode ter tido acesso às rochas durante o cisalhamento que as exumaram desde a crosta inferior para a superfície. Isso é compatível com o fato de tanto hornblenda como biotita se encontrarem definindo a foliação principal de alguns granulitos, sendo essa foliação retrometamórfica.

Apesar de todo esse retrometamorfismo, foi facilmente identificada a paragênese de pico metamórfico dessas rochas, o que indica que após a blastese dos minerais peritéticos houve um período em que o líquido foi perdido ou segregado e permaneceu sem contato em sistema aberto com o granulito, preservando então a paragênese da fácies granulito em muitos locais. Após esse evento, água teria entrado no sistema e reequilibrado a rocha, consumindo parte dos minerais peritéticos, não em sua totalidade, e formando grande quantidade de minerais hidratados.

Além da presença de água causando retrometamorfismo intenso na região, também ocorreu um evento hidrotermal posterior, rico em CO<sub>2</sub>, além de outros componentes como Cl e S, evidenciado pela presença de escapolita, epidoto e carbonato nas amostras. Esse evento também deve ser o responsável pela substituição de ortopiroxênio por simplectitos de cummingtonita-antofilita-

carbonato. Nesse caso, deve ter ocorrido a anfibolitização do piroxênio primeiro e depois, a entrada do fluido rico em CO<sub>2</sub>.

## 9. CONCLUSÕES

Na região estudada da *Nappe Socorro–Guaxupé* afloram duas unidades: Unidade Granulítica Basal, composta por granulito félsico intercalado com granulito máfico e veios de leucossoma, e cuja paragênese de pico metamórfico é:

$\text{Cpx} + \text{Opx} + \text{Pl} \pm \text{Qtz} \pm \text{Grt} + \text{Ilm}$ , e

$\text{Opx} + \text{Pl} + \text{Kfs} + \text{Qtz} \pm \text{Cpx} \pm \text{Grt} + \text{Ilm}$ ;

e Unidade Diatexítica Intermediária, composta por granada diatexito e granada migmatito estromático, com paragênese de pico formada por:

$\text{Grt} + \text{Pl} + \text{Kfs} + \text{Qtz} \pm \text{Hbl}$ .

A partir dos dados de química mineral e de rocha total infere-se que:

Mais plagioclásio do que feldspato potássico foi fundido no granulito félsico, enriquecendo o líquido nos componentes do plagioclásio; porém algumas porções da rocha sofreram porcentagem maior de fusão que as outras, indicada pela presença ou ausência de anomalia negativa de Eu nos cristais de granada.

O leucossoma é bastante heterogêneo em sua composição química devido as diferentes quantidades de ortopiroxênio e conseqüente proporção de minerais félsicos presentes, implicando em processo dinâmico para formação e cristalização do leucossoma.

Houve gênese única para os cristais de ortopiroxênio, tanto da matriz quanto do leucossoma, e essa se deu através de reações de fusão parcial de biotita ou hornblenda, dando o caráter peritético para o ortopiroxênio.

A análise dos perfis núcleo–borda em ortopiroxênio sugerem que alguns cristais, devido ao empobrecimento em ETR médios e pesados na borda, tiveram o final de sua cristalização concomitante com a gênese de zircão, apatita e granada, fases que competiam pelos mesmos elementos. Já a análise desses mesmos perfis em granada indicam resultados discrepantes, hora com borda empobrecida em ETR pesados, condizente com a cristalização junto com ortopiroxênio e zircão, hora com borda enriquecida nesses mesmos elementos, indicando cristalização precoce em relação a esses minerais, enquanto o material ainda estava disponível no líquido. Não pode ser descartada a hipótese de problema na aquisição de dados devido a análise tipo *raster*, em que ao fazer uma linha com o laser, possivelmente se misturam porções diferentes do grão.

As relações de contato entre granulito e leucossoma indicam fusão parcial *in situ*. As reações de fusão incluem o consumo de hornblenda, biotita e plagioclásio e a blastese de granada e ortopiroxênio. Tais reações indicam temperaturas entre 850 e 900 °C em pressões entre 6 e 11 kbar para as rochas da Unidade Granulítica e entre 750 e 950 °C para a Unidade Diatexitica, dados compatíveis com cálculos *P-T* realizados por Alexandre (2013) e Benetti (2013). Como ambas unidades encontram-se no mesmo campo *P-T* de pico metamórfico, conclui-se que as diferentes paragêneses tem relação com o protólito da rocha e não com as condições nas quais se deram a fusão e o metamorfismo.

O retrometamorfismo intenso que afetou as rochas da região deixando-as ricas em biotita e hornblenda provavelmente está ligado com a disponibilidade de água no período. Sendo assim, houve metamorfismo progressivo e fusão, seguido de perda de líquido (acumulação em bolsões, ou escape para porções mais rasas da crosta) para preservar regiões com paragênese de pico metamórfico e depois cristalização fracionada do leucossoma ou influxo de água para que as reações retrógradas pudessem gerar minerais hidratados em quantidade tão alta. A última hipótese é favorecida pelo volume de fases retrometamórficas observadas.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alexandre, E. L. 2013. Caracterização dos granulitos e migmatitos da região de Alfenas, MG. Dissertação de mestrado. Instituto de geociências – Universidade de São Paulo. 151p.
- Almeida F.F.M., Hasui Y., Brito Neves B.B. 1976. O Pré-Cambriano Superior da América do Sul. *Boletim IG-USP*. **7**:45-80.
- Almeida, F.F.M.; Hasui Y.; Brito Neves, B.B.; Fuck, R.A. 1977. As províncias estruturais brasileiras. *In*: SBG, Simpósio Geologia do Nordeste, 8, Campina Grande. *Atas...* p.363-391.
- Bard, J.P. 1986. *Microtextures of igneous and metamorphic rocks*. D. Reidel Publishing company, Dordrecht, 261 p.
- Bea, F. 1996. Residence of REE, Y, Th and U in granites and crustal protoliths: implications for chemistry of crustal melts. *Journal of Petrology*.**37**: 521-552.
- Bea, F. & Montero, P. 1999. Behavior of accessory phases and redistribution of Zr, REE, Y, Th, and U during metamorphism and partial melting of metapelites in the lower crust: An example from the Kinzigite Formation of Ivrea-Verbanò, NW Italy. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. **63**: 1133-1153.
- Behr, H.J., Tex, E., Waard, D., Mehnert, K.R., Scharbert, H.G., Sobolev, V.S., Watznauer, A., Winkler, H.G.F., Wynne-Edwards, H.R., Zoubek, V., Zwart, H.J. 1971. Granulites: Results of a discussion. *Neus Jahrbuch fur Mineralogie, Monatshefte*, 97-123
- Benetti, B.Y. 2013. Termobarometria nas rochas da Nappe Socorro-Guaxupé na região de Varginha, Minas Gerais. Trabalho de Formatura, Instituto de Geociências da USP. 36pp.
- Brito Neves, B.B.; Campos Neto, M.C.; Fuck, R.A. 1999. From Rodinia to Western Gondwana: Na approach to the Brasiliano-Pan African Cycle and orogenic collage. *Episodes*. **22 (3)**: 155-166.
- Brown, M. (2002). Retrograde processes in migmatites and granulites revisited. *Journal of Metamorphic Geology*. **20**, 25-40.
- Brown, M. (2008). Granites, migmatites and residual granulites: relationship and processes. *In*: Sawyer, E.D., Working with Migmatites. *Mineralogical Association of Canada Short Course*.**38**: 97-144.
- Bohlen, S.R. 1987. Pressure-temperature time paths and a tectonic model for the evolution of granulites. *J. Geol.* **95**: 617-632.

- Bohlen, S.R. & Mezger, K. 1989. Origin of granulite terranes and the formation of the lowermost continental crust. *Science*. **244**:326 - 329.
- Campos Neto, M.C.; Figueiredo, M.C.H.; Janasi, V.A.; Basei, M.A.S.; Fryer, B.J. 1988. The São José do Rio Pardo Mangeritc-Suite, southeastern Brazil. *Geochimica Brasiliensis*. **2**: 185-199.
- Campos Neto, M.C.; Janasi, V.A.; Caby, R. 1996. Ocorrência de granulitos empobrecidos nas porções basais da Nappe de Empurro Socorro-Guaxupé. *Bol. IG Univ. São Paulo Inst. Geoci.* **18**: 11-14.
- Campos Neto, M.C. & Caby, R. 1999. Tectonic constrain on Neoproterozoic high-pressure metamorphism and nappe system south of São Francisco craton, southeast Brazil. *Precambrian Research*. **97**:3-26.
- Campos Neto, M.C. & Caby, R. 2000. Lower crust extrusion and terrane accretion in the Neoproterozoic nappes of southeast Brazil. *Tectonics*. **19**:669-687.
- Campos Neto, M.C., Basei, M.A.S., Vlach, S.R.F., Caby, R., Szabó, G.A.J. e Vasconcelos, P. 2004. Migração de Orógenos e Superposição de Orogêneses: Um Esboço da Colagem Brasileira no Sul do Cráton do São Francisco, SE - Brasil. *Geologia USP. Série Científica*. **4**(1):13-40.
- Campos Neto, M.C., Janasi, V.A., Basei, M.A.S., Siga Jr, O. 2007. Sistema de nappes Andrelândia, setor oriental: litoestratigrafia e posição estratigráfica. *Revista Brasileira de Geociências*. **37** (4 - suplemento): 47-60.
- Costa L.A.M.; Angeiras, A.G. 1971. Geosynclinal evolution in the Epi-Baikalian Plataform of central Brazil. *Geologische Rundschau*. **60** (3): 1024-1050.
- Coutinho J.M.V., Desmons J., Krautner H., Peinado M., Sassi F., Schmid R., Sem S. 2002. Towards a unified nomenclature in metamorphic rocks – 8. Amphibolite and Granulite. *IUGS Subcomission on the Systematics of Metamorphic Rocks*, 12p.(Web Version).
- Davies, J.H.; von Blanckenburg, F. 1995. Slab brakoff: a model of lithosphere detachment and its test in the magmatism and deformation of collisional orogens. *Earth Planet. Sci. Lett.* **129**: 85-102.
- Del Lama, E.A.; Zanardo, A.; Oliveira, M.A.F; Morales, N. 2000. Exhumation of high-pressure granulites of the Guaxupé Complex, Southeastern Brazil. *Geological Journal*. **35**: 231-249.
- Deer, W.A., Howie, R.A., Zussman, J. 1967. *Rock forming Minerals*. Longman, London.
- Ebert, H.D.; Chemale Jr., F.; Babinsky, M.; Artur, A.C.; Van Schmus, W.R. 1996. Tectonic setting and U/Pb zircon dating of the plutonic Socorro Complex in the transpressive Rio Paraíba do Sul shear belt, SE-Brazil. *Tectonics*. **15**: 688-699.

- England, P.C. 1993. Convective removal of thermal boundary layer of thickened continental lithosphere: a brief summary of causes and consequences with special reference to the Cenozoic tectonics of the Tibetan Plateau and surrounding regions. *Tectonophysics*. **223**: 67-73.
- England, P.C.; Thompson, A.B. 1984. Pressure-temperature-time path of regional metamorphism, I, Heat transfer during evolution of regions of thickened continental crust. *J. Petrol.* **25**: 894-928.
- Eskola, P. 1952. On the granulites of Lapland. *American Journal of Science*, Bowen volume: 133-171.
- Fernandes, J.F.; Iyer, S.S.; Imakuma, K.; Chouhri, A. 1987. Geochemical studies in the Proterozoic metamorphic terrane of the Guaxupé Massife, Minas Gerais, Brazil: A discussion on large ion lithophile element fractionation during high-grade metamorphism. *Precambrian Res.* **36**: 65-79.
- Fitzsimons, I.C.W.; Harley, S.L. 1994. The influence of retrograde cation exchange on granulite P-T estimates and a convergence technique for the recovery of peak metamorphic conditions. *Journal of Petrology*. **35**: 543 - 576.
- Freitas, F.C. 2000. *Geotermobarometria e evolução metamórfica das rochas granulíticas da região de Socorro-SP*. Dissertação de mestrado – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. São Paulo. 175p.
- Fuck, R.A.; Pimentel, M.M.; Silva, L.J.H.D. 1994. Compartimentação tectônica da porção oriental da Província Tocantins. In: SBG, Congr. Bras. Geol. , 38, Baln. Camboriú. *Anais...*, Baln. Camboriú, **1**: 215-216.
- Fyfe, W.S. 1973. The granulite facies, partial melting and the Archaean crust. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*. **273A**: 457-461.
- Garcia, M.G.M.; Campos Neto, M.C. 2003. Constraining metamorphic conditions in the Neoproterozoic collision-related nappes, South of São Francisco Craton, SE Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*. **15 (8)**: 853-870.
- Hadad, R.C. 1995. O batólito Pinhal-Ipuiuna (SP-MG): Um exemplo do magmatismo calico-alcalino-potássico neoproterozóico no sudeste brasileiro. Tese de doutorado. Universidade de São Paulo. 270p.
- Harley, S.L. 1985. Garnet-orthopyroxene bearing granulites from Enderby Land, Antarctica metamorphic pressure-temperature-time evolution of the Archaean Napier Complex. *Journal of Petrology*. **26 (4)**: 819-856
- Harley, S.L. 1989. The origins of granulites: a metamorphic perspective. *Geological Magazine*. **126**: 215 - 247.

- Harley, S.L. 1992. Proterozoic granulite terranes. *In*: K.C. Condie (ed). *Proterozoic Crustal Evolution*. Amsterdam, Elsevier, p. 301-360. (Developments in Precambrian Geology 10)
- Harley, S.L. 1998. On the occurrence and characterization of ultrahigh-temperature crustal metamorphism. *In*: Treloar, P.J. & O'Brien, P.J. (eds.) *What Drives Metamorphism and Metamorphic Reactions?* *Geological Society, London, Special Publication*. **138**: 81-107.
- Harley, S.L. & Kelly, N.M. 2007. The impact of zircon–garnet REE distribution data on the interpretation of zircon U–Pb ages in complex high-grade terrains: An example from the Rauer Islands, East Antarctica. *Chemical Geology*. **241**: 62-87.
- Houseman G.A.; McKenzie, D.P.; Molnar, P. 1981. Convective instability of a thickened boundary layer and its relevance for the thermal evolution of continental convergent belts. *J. Geophys. Res.* **86**: 6115-6132.
- Jackson, S.E., Longerich, H.P., Dunning, G.R. e Fryer, B.J. 1992. The application of laser-ablation microprobe – inductively coupled plasma – mass spectrometry (LA–ICP–MS) to in situ trace-element determinations in minerals. *Canadian Mineralogist*. **30**: 1049 – 1064.
- Janasi, V.A. 1997. Neoproterozoic mangerite-granite magmatism in the southeastern Brazil: the São Pedro de Caldas massif. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*. **69**: 267-294.
- Janasi, V.A.; Haddad, R.C.; Vlach, S.R.F. 1997. Comments on the Sm-Nd isotopic systematics of calc-alkaline granitoids from the Pinhal-Ipuicena batholith (São Paulo an Minas Gerais, Brazil) *In*: South American Symposium on Isotopic Geology. *Extended Abstracts*. Campos do Jordão.
- Janasi, V.A. 1999. *Petrogênese de granitos crustais na Nappe de Empurrão Socorro Guaxupé (SP-MG): uma contribuição da geoquímica elemental e isotópica*. Tese de Livre-Docência – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo. 304p.
- Kelsey, D.E. 2008. On ultrahigh-temperature crustal metamorphism. *Gondwana Research*. **13**: 1-29
- Klein, C. & Hurlbut, C.S.J. 1993. *Manual of Mineralogy (After J. D. Dana)*. John Wiley & Sons, Inc., New York, 681 p.
- Kriegsman, L.M. & Hensen, B.J. 1998. Back reaction between restite and melt: Implications for geothermobarometry and pressure-temperature paths. *Geology*, **26**: 1111 - 1114.
- Kriegsman, L.M. 2001. Partial melting, partial melting extraction and partial back reaction in anatexic migmatites. *Lithos*. **56**: 75 - 96.

- Ledru, P., Courrioux G.; Dallain, C.; Lardeaux, J.M.; Montel, J.M.; Vanderhaeghe, O.; Vitel, G. 2001. The Velay dome (French Massif Central): melt generation and granite emplacement during orogenic evolution. *Tectonophysics*. **342**: 207-237.
- Martins, L. 2005. Geração e migração de magmas graníticos na crosta continental: estudo de detalhe em granitos da região de Nazaré Paulista (SP). Tese de doutorado – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. 159p.
- Mackenzie, W.S. & Adams, A.E. 1994. *A color atlas of rocks and minerals in thin section*. John Wiley & Sons, Inc, New York, 192 p.
- Marchildon, N. & Brown, M. 2002. Grain-scale melt distribution in two contact aureole rocks: implications for controls on melt localization and deformation. *Journal of Metamorphic Geology* 20(4):381-396.
- Mehnert, K.R. 1968. Migmatites and the origin of the granitic rocks. *Elsevier Publishing Company*, Amsterdam, 393 p.
- Mehnert, K.R. 1972. Granulites: Results of a discussion II. *Neus Jahrbuch fur Mineralogie*, Monatshefte, 139-166.
- Molnar, P.; England, P.; Martinod, J. 1993. Mantle dynamics, uplift of the Tibetan Plateau, and the Indian monsoon. *Reviews of Geophysics and Space Physics*. **31**: 357-396.
- Moraes, R & Fuck, R A 2000. Ultra High Temperature Metamorphism in Central Brazil: The Barro Alto Complex. *Journal Of Metamorphic Geology*. **18** (4): 345-358.
- Moraes, R, Brown, M, Fuck, R A, Camargo, M A & Lima, T M. 2002. Characterization and *P-T* evolution of melt-bearing ultrahigh-temperature granulites: an example from the Anápolis-Itaçu Complex of the Brasília Fold Belt, Brazil. *Journal of Petrology*. **43**: 1673 – 1705.
- O'Brien, P.J. 2006. Type-locality granulites: high-pressure rocks formed at eclogite-facies conditions. *Mineralogy and Petrology*. **86**: 161-175.
- Oxburgh, E.R. 1990. Some thermal aspects of granulite history. In: D. Vielzeuf, P. Vidal (eds). *Granulites and Crystal Evolution*. Dordrecht, Kluwer Academic Publ., NATO ASI Series C: Mathematics and Physical Sciences 311, p. 569-580.
- Patiño Douce, A.E. & Beard, J.S. 1995 Dehydration Melting of biotite gneiss and quartz amphibolite from 3 to 15 kbar. *Journal of Petrology*. **36**: 707-738.
- Pattison, D.R.M. & Bégin, N.J. 1994. Zoning patterns in orthopyroxene and garnet in granulites: implications for geothermometry. *Journal of Metamorphic Geology*. **12**: 387-410.

- Pattison, D.R.M; Chacko, T.; Farquhar, J.; McFarlane, C.R.M. 2003. Temperatures of granulite-facies metamorphism; constraints from experimental phase equilibria and thermobarometry corrected for retrograde exchange. *Journal of Petrology*. **44**: 867-900.
- Piwinskii, W.S. 1973. Experimental studies of granitoids from the central and southern Coast Ranges, California. *Tschermaks Mineral. Petrog. Mitt.* **20**:107-130.
- Powell, R. 1983. Processes in granulite facies metamorphism. *In: Migmatites. melting and metamorphism*, (eds. Atherton, M.P., & Gribble, C. D.), p. 127–139. Shiva, London.
- Powell, R. & Downes, J. 1990. Garnet porphyroblast-bearing leucosomes in metapelites: mechanisms, phase diagrams, and an example from Broken Hill, Australia. *In: High Temperature Metamorphism and Crustal Anatexis* (eds Ashworth, J.R. & Brown, M.) p.105-123. Unwin Hyman, London.
- Sandiford, M. 1989. Horizontal structures in granulite terrains: A record of mountain building or mountain collapse? *Geology*. **17**: 449-452.
- Schott, B.; Schmeling, H. 1998. Delamination and detachment of a lithospheric root. *Tectonophysics*. **296**: 225-247.
- Sawyer, E.W. 2001. Melt segregation in the continental crust: distribution and movement of melt in antitaxitic rocks. *Journal of Metamorphic Geology*. **19**: 291 - 309.
- Sawyer, E.W. 2010. Migmatites formed by water-fluxed partial melting of a leucogranodiorite protolith: Microstructures in the residual rocks and source of the fluid. *Lithos*. **116**:276-286.
- Spear, F., 1993. Metamorphic phase equilibria and pressure-temperature-time paths. *Mineralogical Society of America*, Washington, D.C.
- Sylvester, P. 2001. Trace Element Analysis of Fused Whole Rock Glasses by Laser-Ablation ICPMS. *In: Laser-Ablation-ICPMS in the Earth Sciences: Principles and Applications*, edited by P. Sylvester, **29**:147-162. Short Course Series. *Mineralogical Association of Canada*, St. Johns, Newfoundland.
- Thompson, A.B.; Schulmann, K.; Jezek, J. 1997. Thermal evolution and exhumation in obliquely convergent (transpressive) orogens. *Tectonophysics*. **280**: 171-184.
- Tröger, W.E. 1979. *Optical determination of rock-forming minerals*. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart, 188 p.

- Valeriano, C.M.; Dardenne, M.A.; Fonseca, M.A.; Simões, L.S.A., Seer, H.J. 2004. A evolução tectônica da Faixa Brasília. *In: Mantesso-Neto, V.; Bartorelli, A.; Carneiro, C.D.R.; Brito Neves, B.B. (Eds.) Geologia do Continente Sul-Americano: Evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida*. São Paulo, Beca, 32, p.575-592.
- Valeriano, C.M.; Pimentel, M.M.; Heilbron, M.; Almeida, J.C.H.; Trouw, R.A.J. 2008. Tectonic evolution of Brasilia Belt, central Brazil, and early assembly of Gondwana. *In: Pankhurst, R.J.; Trouw, R.A.J.; Brito Neves, B.B.; De Wit, M.J. (eds.) West Gondwana – Pre-cenozoic correlations across the South Atlantic region*. Geological Society of London, Londres, p.97-210.
- Vielzeuf, D. & Holloway, J.R. 1988. Experimental determination of the fluid-absent melting relations in the polytic system. *Contributions to Mineralogy and Petrology*. **98**: 257-276.
- Von Blanckenburg, F.; Davies, J.H. 1995. Slab breakoff: a model for syncollisional magmatism and tectonics in the Alps. *Tectonics*. **14**: 120-131.
- Weiss, C.S. 1803. Über die gebirgsart des sachsichen Erzgebirges, welche unter dem Namen Weiss-stein neuerlich bekannt gemacht worden ist. *Neue Schriften Gesellschaft naturforschender Freunde*. **4**: 342-366.
- Wells, P.R.A. 1980. Thermal models for magmatic accretion and subsequent metamorphism of continental crust. *Earth Planet. Sci. Lett.* **46**:253-265.
- White, R.W. & Powell, R. 2002. Melt loss and the preservation of granulite facies mineral assemblages. *Journal of Metamorphic Geology*. **20**: 621-632.
- White, R.W. & Powell, R. 2010. Retrograde melt–residue interaction and the formation of near-anhydrous leucosomes in migmatites, *Journal of Metamorphic Geology*. **28**: 579–597.

## **ANEXOS**

## **ANEXO 1 – VIDE MAPA**

**Anexo 2.** Tabela de pontos com coordenadas, litotipo, medida de foliação, quantidade de amostras coletadas e unidade geológica.

PONTO	UTM N	UTM E	ROCHA	Sn		le		AMOSTRAS	UNIDADE
ALF01	397369	7628319	Granada granulito félsico					2	GRANULÍTICA
ALF06	401972	7626264	Hornblenda granulito félsico	131	50	206	40	1	GRANULÍTICA
ALF07	402738	7623071	Hornblenda granulito félsico					1	GRANULÍTICA
ALF11	405128	7625671	Granulito félsico	197 165	38 26	110	24	7	GRANULÍTICA
ALFE26	396965	7629109	Hornblenda granulito félsico e hornblenda charnockito	224	55			5	GRANULÍTICA
ALFE27	401854	7626296	Hornblenda granulito félsico	192	36	117 74	8 2		GRANULÍTICA
ALFE28	401811	7625900	Hornblenda granulito félsico					1	GRANULÍTICA
ALFE34	410205	7626442	Hornblenda granulito félsico						GRANULÍTICA
ALFE35	409848	7626593	Hornblenda granulito máfico e hornblenda granulito félsico					1	GRANULÍTICA
ALFE36	410482	7626430	Hornblenda granulito félsico					1	GRANULÍTICA
ALFE37	410159	7626050	Hornblenda granulito félsico					2	GRANULÍTICA
ALFE38	399414	7627626	Sill-Grt-gnaiss migmatítico	208	30			1	GRANULÍTICA
ALFE39	399227	7626611	Hornblenda granulito félsico					1	GRANULÍTICA
ALFE40	399333	7626487	Hornblenda granulito félsico	226	40			1	GRANULÍTICA
ALFE41	399236	7626560	Hornblenda granulito félsico	205	44	294	10		GRANULÍTICA
ALFE42	399181	7626010	Hornblenda granulito félsico						GRANULÍTICA
ALFE43	398832	7625151	Hornblenda granulito félsico						GRANULÍTICA
ALFE44	398941	7624902	Hornblenda granulito félsico	213	27	114	8	2	GRANULÍTICA

<b>ALFE45</b>	398999	7627042	Hornblenda granulito félsico, hornblenda granulito máfico, hornblenda granito e hornblenda charnockito					21	GRANULÍTICA
<b>ALFE60</b>	396929	7627808	Granada granito deformado					2	GRANULÍTICA
<b>ALFE61</b>	397915	7626904	Hornblenda granulito félsico	204 213	48 55	271	10		GRANULÍTICA
<b>ALFE62</b>	397569	7626742	Hornblenda granulito félsico					1	GRANULÍTICA
<b>ALFE63</b>	397150	7626848	Hornblenda granulito félsico, hornblenda granulito máfico e hornblenda granito	198 207	32 27	276	5	2	GRANULÍTICA
<b>ALFE64</b>	397873	7624502	Hornblenda granito deformado						GRANULÍTICA
<b>ALFE65</b>	399811	7623630	Hornblenda granulito félsico						GRANULÍTICA
<b>ALFE66</b>	400681	7624402	Hornblenda granito deformado						GRANULÍTICA
<b>ALFE67</b>	401033	7624610	Hornblenda granulito félsico e hornblenda granulito máfico	219	35				GRANULÍTICA
<b>ALFE68</b>	406397	7625640	Hornblenda granulito félsico e hornblenda granulito máfico	188 187	38 34	97	2	1	GRANULÍTICA
<b>ALFE69</b>	404633	7625618	Hbl granulito félsico/granulito máfico/Hbl granito						GRANULÍTICA
<b>ALFE70</b>	411287	7624153	Hornblenda granulito félsico	211 296	40 8				GRANULÍTICA
<b>ALFE71</b>	402713	7622259	Granada migmatito bandado, granada granito/charnockito, hornblenda - biotita granulito félsico, granulito máfico biotitizado	156 154 188 194	41 45 25 56				DIATEXÍTICA
<b>ALFE72</b>	405319	7621100	Migmatito						DIATEXÍTICA

<b>ALFE73</b>	406093	7621542	Granada migmatito e granada diatexito	118	45				DIATEXÍTICA
<b>ALFE74</b>	409063	7624059	Hornblenda granulito félsico						GRANULÍTICA
<b>ALFE75</b>	408641	7624117	Hornblenda granulito félsico						GRANULÍTICA
<b>ALFE76</b>	408412	7621592	Biotita granito foliado (diatexito)					1	DIATEXÍTICA
<b>ALFE77</b>	407007	7620345	Biotita granito foliado (diatexito)						DIATEXÍTICA
<b>ALFE78</b>	406765	7619864	Biotita granito foliado (diatexito)						DIATEXÍTICA
<b>ALFE79</b>	409785	7613616	Biotita granito foliado (diatexito)						DIATEXÍTICA
<b>ALFE80</b>	398845	7613786	Granulito félsico						DIATEXÍTICA
<b>ALFE81</b>	398724	7613866	Granulito félsico					1	DIATEXÍTICA
<b>ALFE82</b>	397953	7614816	Migmatito	242 231	55 65				DIATEXÍTICA
<b>ALFE83</b>	398598	7620525	Biotita granito (diatexito)						DIATEXÍTICA
<b>ALFE84</b>			Biotita granito foliado (diatexito)						DIATEXÍTICA
<b>ALFE85</b>			Ponto ALFE 45, para colher mais amostras					8	GRANULÍTICA
<b>ALFE86</b>	401968	7622273	Granada migmatito	185	32				DIATEXÍTICA
<b>ALFE87</b>	408018	7619402	Migmatito com granada, hornblenda e ortopiroxênio	80 31 18	21 40 35			2	DIATEXÍTICA
<b>ALFE88</b>	407313	7618382	Granada granito com porções migmatíticas bandadas						DIATEXÍTICA
<b>ALFE89</b>	408221	7619315	Granada migmatito						DIATEXÍTICA
<b>ALFE90</b>	408224	7619397	Granada migmatito	24 115	5 10				DIATEXÍTICA
<b>ALFE91</b>	408248	7619625	Granada migmatito						DIATEXÍTICA

**Anexo 3 – Dados de química de rocha total em %peso para óxidos e em ppm para os elementos.**

	<b>Leucossoma</b>					<b>Hbl granito</b>		<b>Granulito bandado</b>		
	<b>Granito</b>	<b>Charnockito</b>						<b>Granulito félsico</b>		<b>Granulito máfico</b>
	ALF-85A	ALF-85H	ALF-85C	ALF-85D	ALF-85E	ALF-85F	ALF-85G	ALF-85I	ALF-85J	ALF-85K
<b>SiO2</b>	61.49	65.3	53.37	55.07	73.03	61.74	58.47	54.55	60.26	51.29
<b>TiO2</b>	0.536	0.154	2.666	1.528	0.244	0.867	1.473	1.273	0.844	1.369
<b>Al2O3</b>	18.62	15.12	15.93	15	13.34	18.28	14.1	19.18	17.58	16.11
<b>Fe2O3</b>	3.13	4.28	10.32	12.53	1.17	3.64	9.83	7.3	4.41	10.11
<b>MnO</b>	0.067	0.131	0.139	0.209	0.029	0.054	0.146	0.126	0.083	0.232
<b>MgO</b>	0.81	1.97	2.29	2.78	0.28	0.75	2.77	2	1.25	4.8
<b>CaO</b>	2.49	3.58	7.26	2.88	1.52	2.62	2.92	4.74	2.12	6.7
<b>Na2O</b>	4.3	3.81	4.59	3.44	2.95	4.31	2.94	4.48	3.53	3.74
<b>K2O</b>	6.59	3.67	1.14	4.51	5.2	5.9	4.85	4.4	7.51	3.42
<b>P2O5</b>	0.221	0.248	0.541	0.2	0.025	0.134	0.25	0.507	0.252	0.428
<b>Loi</b>	0.06	0.83	0.45	0.29	0.75	0.51	0.5	0.24	0.65	0.46
<b>Total</b>	98.31	99.09	98.7	98.44	98.54	98.81	98.25	98.8	98.49	98.66
<b>Ba</b>	1678	860	159	1341	1703	1840	1381	2208	2320	1214
<b>Ce</b>	45	91	162	99	75	46	35	101	93	86
<b>Co</b>	6	12	10	22	76	6	6	9	6	26
<b>Cr</b>	237	80	68	320	56	166	159	52	75	99
<b>Cu</b>	11	26	16	88	70	5	36	15	8	18
<b>Ga</b>	19	18	24	22	12	19	19	20	19	22

<b>La</b>	48	61	78	37	46	28	28	49	53	43
<b>Nb</b>	9	9	42	21	24	13	9	14	25	35
<b>Nd</b>	17	37	65	45	38	14	14	41	29	55
<b>Ni</b>	7	15	9	37	20	5	6	5	9	34
<b>Pb</b>	10	4	11	20	17	14	4	12	16	11
<b>Rb</b>	150	91	10	110	112	138	126	104	196	106
<b>Sc</b>	14	14	24	14	14	14	14	15	14	22
<b>Sr</b>	480	332	370	375	399	499	388	696	555	503
<b>Th</b>	7	9	8	10	7	7	57	10	12	12
<b>U</b>	3	3	3	5	3	3	51	4	3	7
<b>V</b>	32	18	182	152	131	48	9	86	44	167
<b>Y</b>	7	18	39	16	24	5	2	21	18	62
<b>Zn</b>	33	65	72	124	55	34	33	88	46	108
<b>Zr</b>	521	166	231	365	438	536	189	523	559	156
<b>Cl</b>	50	374	395	185	375	64	50	278	62	539
<b>F</b>	500	803	652	363	1224	500	500	1049	500	1399
<b>S</b>	550	638	550	3157	4953	550	550	550	550	565

**Anexo 4 - Composição química de elementos maiores (%peso, microsonda eletrônica) de granada das rochas da Unidade Granulítica.**

Unidade Granulítica – Amostra ALF 45 lb

Amostra	Granada 01 - Leucossoma						Granada 02 - Leucossoma				
Análise	101	102	103	104	105	106	201	202	203	204	205
SiO <sub>2</sub>	39,01	38,87	38,55	38,93	38,88	38,53	38,77	38,73	38,61	38,95	38,23
TiO <sub>2</sub>	0,01	0,09	0,06	0,07	0,06	0,06	0,04	0,07	0,01	0,05	0,01
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	22,01	21,78	21,7	21,79	22	22,01	21,82	22,09	21,74	22,08	21,51
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FeO	24,92	24,48	24,06	25	24,99	25,33	25,32	24,87	24,82	25,71	25,97
MnO	4,43	4,58	4,49	4,5	4,5	4,43	4,46	4,6	4,41	4,35	4,28
MgO	5,2	5,31	5,19	5,37	5,29	5,07	5,16	5,4	5,26	4,9	4,49
CaO	5,5	5,34	5,46	5,48	5,37	5,54	5,59	5,35	5,54	6,05	5,79
Total	101,08	100,45	99,51	101,14	101,09	100,97	101,16	101,11	100,39	102,09	100,28
Fórmula estrutural baseada em 8 cátions e 12 átomos de oxigênio											
Si	3,016	3,022	3,022	3,012	3,009	2,993	3,005	2,997	3,01	2,995	3,001
Ti	0,001	0,005	0,003	0,004	0,003	0,004	0,002	0,004	0	0,003	0,001
Al	2,006	1,996	2,006	1,988	2,007	2,015	1,994	2,015	1,998	2,002	1,99
Cr	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fe <sup>3+</sup>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,002	0,006
Fe <sup>2+</sup>	1,611	1,591	1,578	1,618	1,617	1,645	1,642	1,61	1,618	1,654	1,705
Mn	0,29	0,302	0,298	0,295	0,295	0,291	0,293	0,301	0,291	0,283	0,284
Mg	0,599	0,615	0,606	0,62	0,609	0,586	0,596	0,622	0,611	0,562	0,525
Ca	0,455	0,444	0,459	0,454	0,445	0,461	0,465	0,444	0,463	0,499	0,487
Total	7,978	7,975	7,972	7,991	7,985	7,995	7,997	7,993	7,991	8	7,999
Componentes Moleculares											
Alm	54,52	53,90	53,66	54,17	54,52	55,15	54,81	54,08	54,24	55,17	56,81
Prp	20,27	20,83	20,61	20,76	20,53	19,64	19,89	20,89	20,48	18,75	17,49
Sps	9,81	10,23	10,13	9,88	9,95	9,76	9,78	10,11	9,76	9,44	9,46
Grs	15,40	15,04	15,61	15,20	15,00	15,45	15,52	14,91	15,52	16,54	15,93

Unidade Granulítica – Amostra ALF 45 lb

Amostra	Granada 04a - Matriz									
Análise	401	402	403	404	405	406	407	408	409	410
SiO <sub>2</sub>	38,76	38,92	38,58	38,77	38,65	38,78	38,76	38,6	38,52	38,7
TiO <sub>2</sub>	0,07	0,06	0,05	0,08	0,03	0,01	0,08	0,11	0,1	0,08
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	21,77	21,98	22,27	22,09	21,92	22,09	21,82	21,81	22,08	21,73
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FeO	25,71	25,2	24,61	24,46	24,76	24,59	25,09	24,83	25,32	26,55
MnO	4,25	4,42	4,32	4,4	4,32	4,31	4,36	4,47	4,39	4,38
MgO	4,99	5,44	5,76	5,63	5,68	5,84	5,54	5,58	5,22	4,59
CaO	5,66	5,39	5,4	5,46	5,45	5,47	5,39	5,43	5,35	5,27
Total	101,21	101,41	100,99	100,89	100,81	101,09	101,04	100,83	100,98	101,3
Fórmula estrutural baseada em 8 cátions e 12 átomos de oxigênio										
Si	3,006	3,004	2,96	2,999	2,992	2,992	3,002	2,983	2,989	3,009
Ti	0,004	0,003	0,003	0,005	0,002	0,001	0,005	0,006	0,006	0,005
Al	1,99	2	2,015	2,014	2	2,009	1,993	1,986	2,02	1,992
Cr	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fe <sup>3+</sup>	0	0	0,058	0	0,012	0,007	0	0,036	0	0
Fe <sup>2+</sup>	1,668	1,627	1,58	1,582	1,604	1,587	1,625	1,605	1,643	1,726
Mn	0,279	0,289	0,281	0,288	0,283	0,281	0,286	0,292	0,288	0,289
Mg	0,576	0,625	0,659	0,649	0,655	0,671	0,639	0,642	0,604	0,532
Ca	0,47	0,445	0,444	0,452	0,452	0,452	0,447	0,449	0,445	0,439
Total	7,993	7,993	8	7,989	8	8	7,997	7,999	7,995	7,992
Componentes Moleculares										
Alm	55,73	54,49	53,31	53,25	53,57	53,06	54,22	53,71	55,13	57,80
Prp	19,24	20,93	22,23	21,84	21,88	22,43	21,32	21,49	20,27	17,82
Sps	9,32	9,68	9,48	9,69	9,45	9,39	9,54	9,77	9,66	9,68
Grs	15,70	14,90	12,18	15,21	14,50	14,76	14,91	13,25	14,93	14,70

**Anexo 4 (continuação) - Composição química de elementos maiores (%peso, microsonda eletrônica) de granada das rochas da Unidade Granulítica**

Unidade Granulítica – Amostra ALF 45 lb

Amostra	Granada 04b - Matriz					Granada 05 - Matriz				
Análise	411	412	413	414	415	501	502	503	504	505
SiO <sub>2</sub>	38,5	38,84	38,62	38,87	37,5	38,47	38,73	38,82	38,59	38,61
TiO <sub>2</sub>	0,04	0,07	0,08	0	0,05	0,06	0	0,07	0,05	0,07
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	21,48	21,92	21,67	22,21	20,9	21,67	21,97	22,01	22,37	22,13
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FeO	26,28	24,84	25,02	25,94	25,58	25,65	24,81	24,95	24,97	24,68
MnO	4,41	4,4	4,4	4,34	4,41	4,55	4,5	4,39	4,4	4,31
MqO	4,74	5,19	5,37	5,13	4,54	5,06	5,33	5,62	5,59	5,71
CaO	5,37	5,53	5,48	5,46	5,26	5,3	5,35	5,51	5,31	5,46
Total	100,82	100,79	100,64	101,95	98,24	100,76	100,69	101,37	101,28	100,97

Fórmula estrutural baseada em 8 cátions e 12 átomos de oxigênio

Si	3,008	3,013	3,006	2,99	2,973	3,001	3,007	2,987	2,971	2,979
Ti	0,003	0,004	0,004	0	0,003	0,004	0	0,004	0,003	0,004
Al	1,979	2,004	1,988	2,014	1,954	1,993	2,011	1,997	2,03	2,014
Cr	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fe <sup>3+</sup>	0	0	0	0,005	0,093	0	0	0,021	0,023	0,02
Fe <sup>2+</sup>	1,716	1,612	1,628	1,669	1,697	1,671	1,611	1,606	1,608	1,593
Mn	0,292	0,289	0,29	0,283	0,296	0,301	0,296	0,286	0,287	0,282
Mq	0,552	0,6	0,622	0,588	0,537	0,588	0,616	0,645	0,641	0,657
Ca	0,45	0,46	0,457	0,45	0,447	0,443	0,445	0,454	0,438	0,452
Total	8	7,982	7,995	7,999	8	8,001	7,986	8	8,001	8,001

Componentes Moleculares

Alm	57,01	54,44	54,32	55,82	57,00	55,64	54,28	53,69	54,07	53,38
Prp	18,34	20,26	20,75	19,67	18,04	19,58	20,75	21,56	21,55	22,02
Sps	9,70	9,76	9,68	9,46	9,94	10,02	9,97	9,56	9,65	9,45
Grs	14,95	15,54	15,25	14,80	10,47	14,75	14,99	14,14	13,61	14,16

Unidade Granulítica – Amostra ALF 45 lb

Amostra	Granada 05 – Matriz (continuação)									
Análise	506	507	508	509	510	511	512	513	514	
SiO <sub>2</sub>	38,69	39,06	39,07	38,29	38,91	38,54	38,73	39,22	38,59	
TiO <sub>2</sub>	0,06	0,06	0,07	0,05	0	0,06	0,05	0,04	0,02	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	22,31	22,16	22,33	21,76	22,05	21,97	21,46	21,83	21,75	
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
FeO	24,7	24,9	25,25	24,24	24,82	25,69	25,95	26,27	25,81	
MnO	4,21	4,23	4,22	4,42	4,39	4,46	4,46	4,4	4,37	
MqO	5,75	5,94	5,72	5,69	5,54	5,06	4,71	4,74	4,73	
CaO	5,54	5,45	5,5	5,43	5,43	5,39	5,54	5,27	5,78	
Total	101,26	101,8	102,16	99,88	101,14	101,17	100,9	101,77	101,05	

Fórmula estrutural baseada em 8 cátions e 12 átomos de oxigênio

Si	2,978	2,986	2,985	2,973	3,006	2,987	3,019	3,027	3,003
Ti	0,003	0,004	0,004	0,003	0	0,003	0,003	0,002	0,001
Al	2,024	1,997	2,011	1,992	2,007	2,008	1,972	1,986	1,995
Cr	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fe <sup>3+</sup>	0,013	0,024	0,01	0,056	0	0,012	0	0	0
Fe <sup>2+</sup>	1,59	1,592	1,614	1,575	1,603	1,666	1,692	1,695	1,68
Mn	0,274	0,274	0,273	0,291	0,287	0,293	0,294	0,287	0,288
Mq	0,66	0,677	0,651	0,658	0,637	0,584	0,547	0,545	0,549
Ca	0,457	0,446	0,451	0,452	0,45	0,447	0,463	0,436	0,482
Total	7,999	8	7,999	8	7,99	8	7,99	7,978	7,998

Componentes Moleculares

Alm	53,34	53,26	54,00	52,92	53,85	55,72	56,48	57,21	56,02
Prp	22,14	22,65	21,78	22,11	21,40	19,53	18,26	18,39	18,31
Sps	9,19	9,17	9,13	9,78	9,64	9,80	9,81	9,69	9,60
Grs	14,69	13,73	14,59	12,45	15,12	14,36	15,45	14,71	16,07

**Anexo 4 (continuação) - Composição química de elementos maiores (%peso, microsonda eletrônica) de granada das rochas da Unidade Granulítica**

Unidade Granulítica – Amostra ALF 45 V1

Amostra	Granada 01 - Matriz								Granada 02	
Análise	101	102	103	104	105	106	107	108	201	202
SiO <sub>2</sub>	39,87	40,13	40,46	40,01	40,34	39,98	40,09	39,97	39,67	40,25
TiO <sub>2</sub>	0,03	0,04	0,03	0,04	0,02	0,01	0,02	0,04	0,02	0,04
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20,47	20,63	20,49	20,63	20,80	20,00	20,66	20,41	20,46	20,42
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
FeO	23,97	23,19	22,00	23,03	23,23	23,59	23,65	22,64	24,16	22,66
MnO	2,38	2,30	2,23	2,27	2,28	2,26	2,27	2,49	2,41	2,15
MqO	6,15	6,60	6,67	6,77	6,51	6,80	6,65	6,48	5,77	6,59
CaO	6,26	6,37	6,57	6,44	6,48	6,03	6,06	6,19	6,33	6,87
Total	99,13	99,25	98,44	99,19	99,65	98,67	99,40	98,22	98,83	98,98

Fórmula estrutural baseada em 8 cátions e 12 átomos de oxigênio

Si	3,108	3,111	3,143	3,103	3,113	3,124	3,107	3,126	3,107	3,124
Ti	0,001	0,002	0,002	0,003	0,001	0,001	0,001	0,002	0,001	0,003
Al	1,882	1,886	1,877	1,886	1,892	1,842	1,888	1,882	1,890	1,868
Cr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Fe <sup>3+</sup>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Fe <sup>2+</sup>	1,563	1,503	1,429	1,494	1,499	1,541	1,532	1,481	1,583	1,470
Mn	0,157	0,151	0,147	0,149	0,149	0,150	0,149	0,165	0,160	0,141
Mq	0,715	0,762	0,772	0,782	0,749	0,792	0,768	0,755	0,674	0,762
Ca	0,523	0,529	0,547	0,535	0,536	0,505	0,503	0,519	0,531	0,571
Total	7,949	7,944	7,917	7,952	7,939	7,955	7,948	7,930	7,946	7,939

Componentes Moleculares

Alm	52,84	51,04	49,36	50,47	51,11	51,57	51,90	50,72	53,70	49,93
Prp	24,17	25,87	26,67	26,42	25,54	26,51	26,02	25,86	22,86	25,88
Sps	5,31	5,13	5,08	5,03	5,08	5,02	5,05	5,65	5,43	4,79
Grs	17,68	17,96	18,89	18,07	18,27	16,90	17,04	17,77	18,01	19,40

Unidade Granulítica – Amostra ALF 45 V1

Amostra	Granada 02 – Matriz (continuação)					Granada 03 - Interface				
Análise	203	204	205	206	207	301	302	303	304	305
SiO <sub>2</sub>	39,91	40,09	39,66	40,11	38,99	39,75	39,72	39,56	40,20	39,94
TiO <sub>2</sub>	0,02	0,05	0,03	0,03	0,05	0,05	0,04	0,05	0,04	0,02
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20,42	20,57	20,40	20,59	19,72	20,37	20,36	20,53	20,37	19,93
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
FeO	22,49	23,18	23,01	23,14	24,15	23,92	24,00	23,49	23,76	23,94
MnO	2,26	2,29	2,33	2,36	2,30	2,20	2,22	2,21	2,17	2,50
MqO	6,33	6,65	6,64	6,75	6,15	6,16	6,37	6,49	6,18	5,57
CaO	6,45	6,07	6,46	6,26	6,06	6,53	6,48	6,53	6,56	6,56
Total	97,89	98,90	98,52	99,24	97,41	98,98	99,19	98,86	99,28	98,46

Fórmula estrutural baseada em 8 cátions e 12 átomos de oxigênio

Si	3,130	3,117	3,101	3,109	3,104	3,104	3,097	3,089	3,124	3,140
Ti	0,001	0,003	0,002	0,002	0,003	0,003	0,003	0,003	0,002	0,001
Al	1,887	1,885	1,881	1,882	1,851	1,876	1,872	1,890	1,866	1,847
Cr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Fe <sup>3+</sup>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Fe <sup>2+</sup>	1,475	1,507	1,505	1,500	1,608	1,563	1,565	1,534	1,544	1,574
Mn	0,150	0,151	0,154	0,155	0,155	0,146	0,147	0,146	0,143	0,166
Mq	0,739	0,770	0,773	0,780	0,729	0,717	0,740	0,755	0,716	0,652
Ca	0,542	0,506	0,541	0,520	0,517	0,546	0,541	0,546	0,546	0,552
Total	7,924	7,939	7,957	7,948	7,967	7,955	7,965	7,963	7,941	7,932

Componentes Moleculares

Alm	50,76	51,36	50,62	50,76	53,44	52,59	52,29	51,46	52,36	53,46
Prp	25,43	26,24	26,00	26,40	24,23	24,13	24,72	25,33	24,28	22,15
Sps	5,16	5,15	5,18	5,25	5,15	4,91	4,91	4,90	4,85	5,64
Grs	18,65	17,25	18,20	17,60	17,18	18,37	18,08	18,32	18,51	18,75

**Anexo 4 (continuação) - Composição química de elementos maiores (%peso, microsonda eletrônica) de granada das rochas da Unidade Granulítica.**

Unidade Granulítica – Amostra ALF 45 Va

Amostra	Granada 01 - Leucossoma										
Análise	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111
SiO <sub>2</sub>	40,4	40,8	40,3	40,4	40,6	40,6	40,6	40,9	40,3	40,1	40,5
TiO <sub>2</sub>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20,8	20,9	20,7	20,5	20,8	20,7	21,0	20,6	20,9	20,8	20,7
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
FeO	23,6	24,2	23,9	24,0	24,6	24,9	23,9	24,4	24,3	24,2	24,5
MnO	2,0	1,8	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,8	1,8	1,8	1,9
MgO	6,5	6,8	6,9	6,7	6,9	6,9	6,8	6,8	7,0	6,8	7,0
CaO	7,5	6,6	6,4	6,7	6,7	6,7	6,7	6,7	6,8	6,8	6,7
Total	100,8	101,1	100,0	100,3	101,6	101,6	100,8	101,3	101,2	100,6	101,3
Fórmula estrutural baseada em 8 cátions e 12 átomos de oxigênio											
Si	3,093	3,107	3,102	3,107	3,088	3,090	3,099	3,117	3,074	3,078	3,090
Ti	0,002	0,002	0,003	0,002	0,003	0,003	0,003	0,004	0,003	0,002	0,001
Al	1,873	1,875	1,875	1,862	1,868	1,853	1,890	1,846	1,883	1,886	1,864
Cr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Fe <sup>3+</sup>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Fe <sup>2+</sup>	1,513	1,540	1,537	1,544	1,565	1,584	1,523	1,556	1,552	1,555	1,559
Mn	0,127	0,118	0,124	0,125	0,122	0,120	0,121	0,116	0,118	0,119	0,121
Mg	0,746	0,770	0,789	0,767	0,780	0,783	0,773	0,768	0,795	0,778	0,793
Ca	0,614	0,541	0,529	0,554	0,549	0,548	0,544	0,549	0,556	0,557	0,548
Total	7,968	7,954	7,958	7,960	7,976	7,981	7,953	7,956	7,982	7,977	7,977
Componentes Moleculares											
Alm	50,43	51,87	51,59	51,64	51,89	52,19	51,44	52,06	51,37	51,68	51,61
Prp	24,87	25,93	26,49	25,65	25,86	25,80	26,11	25,69	26,32	25,86	26,25
Sps	4,23	3,97	4,16	4,18	4,05	3,95	4,09	3,88	3,91	3,95	4,01
Grs	20,47	18,22	17,76	18,53	18,20	18,06	18,37	18,37	18,40	18,51	18,14

Unidade Granulítica – Amostra ALF 45 Va

Amostra	Granada 01 – Leucossoma (continuação)										
Análise	112	113	114	115	116	117	118	119	120	121	
SiO <sub>2</sub>	40,3	40,4	40,4	40,0	40,6	40,8	40,7	39,0	40,5	40,5	
TiO <sub>2</sub>	0,0	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20,8	21,0	20,7	20,7	20,6	20,5	20,7	20,3	20,7	20,7	
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
FeO	24,8	24,7	24,0	24,2	24,0	23,8	22,9	24,6	24,3	24,6	
MnO	1,9	1,9	1,9	1,8	1,9	1,9	1,8	1,9	1,9	2,1	
MgO	6,7	7,0	6,8	7,0	6,6	7,0	6,8	6,1	6,9	7,1	
CaO	6,8	6,4	6,6	6,6	6,5	6,7	6,7	6,6	6,7	6,7	
Total	101,2	101,4	100,5	100,4	100,2	100,7	99,6	98,6	100,9	101,7	
Fórmula estrutural baseada em 8 cátions e 12 átomos de oxigênio											
Si	3,082	3,077	3,101	3,079	3,116	3,115	3,127	3,069	3,095	3,082	
Ti	0,001	0,002	0,003	0,002	0,003	0,002	0,002	0,002	0,001	0,002	
Al	1,872	1,887	1,873	1,877	1,869	1,851	1,879	1,887	1,867	1,858	
Cr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
Fe <sup>3+</sup>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
Fe <sup>2+</sup>	1,583	1,572	1,541	1,559	1,542	1,523	1,476	1,621	1,553	1,564	
Mn	0,121	0,120	0,122	0,117	0,124	0,120	0,116	0,129	0,120	0,135	
Mg	0,766	0,800	0,778	0,802	0,757	0,796	0,782	0,721	0,785	0,801	
Ca	0,555	0,519	0,541	0,545	0,535	0,551	0,549	0,556	0,550	0,546	
Total	7,981	7,977	7,960	7,981	7,946	7,958	7,932	7,985	7,971	7,988	
Componentes Moleculares											
Alm	52,33	52,21	51,68	51,57	52,13	50,94	50,50	53,55	51,63	51,35	
Prp	25,32	26,57	26,09	26,53	25,59	26,62	26,75	23,82	26,10	26,30	
Sps	4,00	3,99	4,09	3,87	4,19	4,01	3,97	4,26	3,99	4,43	
Grs	18,35	17,24	18,14	18,03	18,09	18,43	18,78	18,37	18,28	17,93	

**Anexo 4 (continuação) - Composição química de elementos maiores (%peso, microsonda eletrônica) de granada das rochas da Unidade Diatexítica.**

Unidade Granulítica – Amostra ALF 71C

Amostra	Granada 01a - Leucossoma						Granada 01b - Leucossoma			
Análise	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110
SiO <sub>2</sub>	38,84	39,00	37,61	39,15	39,25	38,85	39,12	39,30	39,25	39,04
TiO <sub>2</sub>	0,02	0,02	0,04	0,02	0,01	0,03	0,06	0,00	0,05	0,01
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	21,96	22,68	21,05	22,59	22,27	22,17	22,08	22,53	22,35	22,59
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
FeO	29,44	28,28	26,67	28,09	28,15	29,11	27,61	27,66	27,58	27,54
MnO	3,35	2,66	2,52	2,22	2,24	2,54	2,22	2,07	2,09	2,04
MgO	4,96	6,12	5,85	6,97	7,05	6,17	6,62	6,97	7,04	7,16
CaO	2,88	3,72	3,36	2,92	2,73	2,79	3,77	3,76	3,69	3,37
Total	101,45	102,48	97,10	101,96	101,70	101,66	101,48	102,29	102,05	101,75
Fórmula estrutural baseada em 8 cátions e 12 átomos de oxigênio										
Si	3,017	2,969	3,023	2,989	3,004	2,995	3,004	2,990	2,986	2,980
Ti	0,001	0,001	0,002	0,001	0,001	0,002	0,004	0,000	0,003	0,000
Al	2,011	2,035	1,996	2,034	2,009	2,015	1,999	2,021	2,005	2,033
Cr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Fe <sup>3+</sup>	0,000	0,025	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,017	0,006
Fe <sup>2+</sup>	1,913	1,801	1,793	1,794	1,802	1,877	1,773	1,758	1,756	1,759
Mn	0,221	0,171	0,171	0,143	0,145	0,166	0,145	0,134	0,134	0,132
Mg	0,574	0,695	0,701	0,793	0,805	0,709	0,758	0,790	0,798	0,814
Ca	0,240	0,303	0,289	0,239	0,224	0,231	0,310	0,307	0,301	0,276
Total	7,977	8,000	7,975	7,993	7,990	7,995	7,993	8,000	8,000	8,000
Componentes Moleculares										
Alm	64,89	60,64	60,70	60,42	60,55	62,92	59,38	58,82	58,75	59,01
Prp	19,47	23,40	23,73	26,71	27,05	23,77	25,39	26,43	26,70	27,31
Sps	7,50	5,76	5,79	4,82	4,87	5,56	4,86	4,48	4,48	4,43
Grs	8,14	8,99	9,78	8,05	7,53	7,74	10,38	10,27	9,23	8,96

Unidade Granulítica – Amostra ALF 71C

Amostra	Continuação		Granada 02 - Leucossoma							
Análise	111	112	201	202	203	204	205	206	207	208
SiO <sub>2</sub>	39,51	39,31	39,30	39,02	39,26	38,90	39,03	39,15	39,17	38,93
TiO <sub>2</sub>	0,01	0,07	0,04	0,03	0,07	0,01	0,08	0,03	0,04	0,06
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	22,43	22,70	22,56	22,23	22,54	22,55	22,53	22,79	22,54	22,30
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
FeO	27,33	27,66	27,93	27,91	28,25	27,79	27,37	27,82	27,68	27,48
MnO	2,06	2,14	2,08	2,10	1,98	2,00	2,04	2,08	2,14	2,18
MgO	7,13	7,10	7,31	6,80	7,16	7,17	6,72	6,79	6,81	6,94
CaO	3,64	2,96	3,09	3,10	3,12	3,06	3,83	3,76	3,70	3,54
Total	102,11	101,94	102,31	101,19	102,38	101,48	101,60	102,42	102,08	101,43
Fórmula estrutural baseada em 8 cátions e 12 átomos de oxigênio										
Si	3,004	2,994	2,983	3,002	2,979	2,966	2,988	2,977	2,988	2,987
Ti	0,000	0,004	0,002	0,002	0,004	0,001	0,004	0,002	0,002	0,003
Al	2,011	2,038	2,019	2,017	2,016	2,027	2,034	2,043	2,026	2,017
Cr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Fe <sup>3+</sup>	0,000	0,000	0,010	0,000	0,018	0,040	0,000	0,000	0,000	0,002
Fe <sup>2+</sup>	1,738	1,762	1,774	1,796	1,793	1,772	1,752	1,768	1,766	1,764
Mn	0,133	0,138	0,134	0,137	0,128	0,129	0,132	0,134	0,138	0,142
Mg	0,808	0,805	0,827	0,780	0,809	0,815	0,766	0,770	0,774	0,793
Ca	0,296	0,242	0,251	0,255	0,253	0,250	0,314	0,306	0,302	0,291
Total	7,990	7,983	8,000	7,989	8,000	8,000	7,990	8,000	7,996	7,999
Componentes Moleculares										
Alm	58,42	59,79	59,41	60,51	60,11	59,74	59,11	59,37	59,26	59,00
Prp	27,16	27,32	27,70	26,28	27,12	27,48	25,84	25,86	25,97	26,52
Sps	4,47	4,68	4,49	4,62	4,29	4,35	4,45	4,50	4,63	4,75
Grs	9,95	8,21	7,91	8,59	7,60	6,49	10,59	10,28	10,13	9,63

**Anexo 4 (continuação) - Composição química de elementos maiores (%peso, microsonda eletrônica) de granada das rochas da Unidade Diatexítica.**

Unidade Granulítica – Amostra ALF 71C

Amostra	Continuação		Granada 03 - Leucossoma						
	209	210	301	302	303	304	305	306	307
Análise									
SiO <sub>2</sub>	39,24	39,18	38,65	38,71	38,40	39,14	38,94	39,13	39,15
TiO <sub>2</sub>	0,05	0,04	0,03	0,00	0,00	0,03	0,00	0,03	0,00
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	22,37	22,03	21,81	22,20	22,14	22,04	22,26	22,51	22,69
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
FeO	27,63	27,82	29,98	29,63	29,29	27,85	28,06	28,23	27,96
MnO	2,19	2,27	3,44	3,10	2,98	2,63	2,52	2,45	2,35
MgO	7,01	7,01	5,06	5,43	5,39	6,39	6,67	6,81	6,81
CaO	3,28	2,99	2,66	3,00	3,13	3,29	3,16	3,09	2,91
Total	101,77	101,34	101,63	102,07	101,33	101,37	101,61	102,25	101,87

Fórmula estrutural baseada em 8 cátions e 12 átomos de oxigênio

Si	2,998	3,010	3,006	2,982	2,979	3,013	2,990	2,979	2,991
Ti	0,003	0,002	0,002	0,000	0,000	0,002	0,000	0,002	0,000
Al	2,015	1,995	2,000	2,016	2,024	2,000	2,015	2,020	2,043
Cr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Fe <sup>3+</sup>	0,000	0,000	0,000	0,019	0,018	0,000	0,004	0,019	0,000
Fe <sup>2+</sup>	1,766	1,787	1,950	1,910	1,900	1,793	1,803	1,798	1,786
Mn	0,142	0,147	0,226	0,202	0,196	0,171	0,164	0,158	0,152
Mg	0,798	0,803	0,587	0,623	0,623	0,733	0,763	0,772	0,775
Ca	0,269	0,246	0,222	0,247	0,260	0,272	0,260	0,252	0,238
Total	7,991	7,990	7,993	7,999	8,000	7,984	7,999	8,000	7,985

Componentes Moleculares

Alm	59,36	59,91	65,33	64,05	63,78	60,39	60,30	60,34	60,52
Prp	26,82	26,92	19,66	20,89	20,91	24,69	25,52	25,91	26,26
Sps	4,77	4,93	7,57	6,77	6,58	5,76	5,48	5,30	5,15
Grs	9,04	8,25	7,44	7,35	7,85	9,16	8,50	7,52	8,07

Unidade Granulítica – Amostra ALF 71E1

Amostra	Granada 01 - Interface											
	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112
Análise												
SiO <sub>2</sub>	39,07	39,13	39,34	39,29	38,88	39,30	39,16	39,18	38,95	39,27	39,37	38,85
TiO <sub>2</sub>	0,01	0,00	0,01	0,05	0,04	0,06	0,01	0,00	0,05	0,00	0,04	0,02
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	22,26	22,38	22,36	22,40	22,30	22,79	22,63	22,25	22,44	22,71	22,61	22,86
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
FeO	28,17	27,91	28,07	28,03	27,25	27,18	27,59	27,44	28,02	28,29	27,78	27,66
MnO	1,62	1,57	1,53	1,51	1,44	1,44	1,45	1,42	1,47	1,47	1,42	1,52
MgO	7,04	7,14	7,33	7,00	7,14	7,29	7,55	7,81	7,95	8,11	8,20	8,05
CaO	2,91	3,12	3,41	3,66	3,98	3,81	3,28	2,59	2,13	1,81	1,61	1,75
Total	101,080	101,250	102,050	101,940	101,030	101,870	101,670	100,690	101,010	101,660	101,030	100,710

Fórmula estrutural baseada em 8 cátions e 12 átomos de oxigênio

Si	3,004	3,001	2,989	2,996	2,988	2,987	2,985	3,008	2,987	2,990	3,006	2,980
Ti	0,001	0,000	0,001	0,003	0,003	0,003	0,000	0,000	0,003	0,000	0,002	0,001
Al	2,018	2,023	2,002	2,014	2,020	2,042	2,033	2,014	2,029	2,038	2,036	2,067
Cr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Fe <sup>3+</sup>	0,000	0,000	0,019	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Fe <sup>2+</sup>	1,811	1,790	1,783	1,788	1,749	1,728	1,759	1,762	1,797	1,801	1,774	1,774
Mn	0,106	0,102	0,098	0,097	0,094	0,093	0,093	0,093	0,096	0,095	0,092	0,099
Mg	0,807	0,816	0,830	0,796	0,818	0,826	0,858	0,893	0,909	0,920	0,933	0,920
Ca	0,240	0,257	0,278	0,299	0,328	0,310	0,268	0,213	0,175	0,148	0,132	0,144
Total	7,99	7,99	8,00	7,99	8,00	7,99	8,00	7,98	8,00	7,99	7,98	7,99

Componentes Moleculares

Alm	61,10	60,37	59,65	60,00	58,51	58,44	59,07	59,51	60,36	60,76	60,53	60,40
Prp	27,23	27,52	27,77	26,71	27,37	27,93	28,81	30,16	30,53	31,04	31,83	31,32
Sps	3,58	3,44	3,28	3,26	3,14	3,15	3,12	3,14	3,22	3,21	3,14	3,37
Grs	8,10	8,67	8,36	10,03	10,97	10,48	9,00	7,19	5,88	4,99	4,50	4,90

**Anexo 4 (continuação) - Composição química de elementos maiores (%peso, microsonda eletrônica) de granada das rochas da Unidade Diatexitica.**

Unidade Granulítica – Amostra ALF 71E1

Amostra	Granada 01 – Interface (continuação)					Granada 02 - Diatexitico					
	113	114	115	116	117	201	202	203	204	205	206
SiO <sub>2</sub>	39,12	39,38	38,99	39,11	39,19	38,87	38,99	39,33	38,93	39,06	39,01
TiO <sub>2</sub>	0,00	0,00	0,02	0,03	0,02	0,02	0,02	0,00	0,03	0,03	0,04
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	22,51	22,47	22,79	22,87	22,25	22,82	22,53	22,61	22,48	22,45	22,29
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
FeO	27,29	28,37	27,13	28,84	28,78	28,65	29,21	28,29	28,37	28,30	28,29
MnO	1,53	1,50	1,54	1,61	1,70	1,73	1,67	1,60	1,57	1,59	1,64
MgO	8,22	7,94	7,69	7,39	6,30	6,43	6,78	7,26	7,42	7,03	6,94
CaO	1,67	1,81	1,99	2,31	2,81	2,79	2,86	2,65	2,64	2,71	2,87
Total	100,340	101,470	100,150	102,160	101,050	101,310	102,060	101,740	101,440	101,170	01,080

Fórmula estrutural baseada em 8 cátions e 12 átomos de oxigênio

Si	3,005	3,005	3,001	2,976	3,021	2,988	2,979	3,000	2,968	3,000	3,002
Ti	0,000	0,000	0,001	0,002	0,001	0,001	0,001	0,000	0,001	0,002	0,002
Al	2,039	2,021	2,068	2,052	2,022	2,068	2,029	2,033	2,020	2,032	2,022
Cr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Fe <sup>3+</sup>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,010	0,000	0,041	0,000	0,000
Fe <sup>2+</sup>	1,753	1,810	1,747	1,835	1,855	1,842	1,867	1,805	1,809	1,817	1,821
Mn	0,099	0,097	0,100	0,104	0,111	0,112	0,108	0,104	0,102	0,104	0,107
Mg	0,941	0,903	0,882	0,838	0,723	0,737	0,772	0,825	0,843	0,805	0,796
Ca	0,137	0,148	0,164	0,189	0,232	0,230	0,234	0,216	0,215	0,223	0,237
Total	7,97	7,98	7,96	8,00	7,97	7,98	8,00	7,98	8,00	7,98	7,99

Componentes Moleculares

Alm	59,83	61,19	60,39	61,87	63,51	63,06	62,63	61,19	60,93	61,61	61,50
Prp	32,12	30,53	30,49	28,25	24,75	25,23	25,90	27,97	28,39	27,30	26,88
Sps	3,38	3,28	3,46	3,51	3,80	3,83	3,62	3,53	3,44	3,53	3,61
Grs	4,68	5,00	5,67	6,37	7,94	7,87	7,36	7,32	5,25	7,56	8,00

Unidade Granulítica – Amostra ALF 71E1

Amostr a	Continuação		Granada 03 - Diatexitico								
	207	208	301	302	303	304	305	306	307	308	309
SiO <sub>2</sub>	39,42	39,03	38,92	38,79	36,83	38,88	38,99	38,85	39,11	38,75	38,65
TiO <sub>2</sub>	0,01	0,03	0,00	0,01	0,04	0,03	0,03	0,03	0,00	0,01	0,04
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	22,18	22,56	21,98	22,20	22,50	22,30	22,38	22,29	22,37	22,27	22,12
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
FeO	28,39	28,74	28,12	28,26	24,07	28,51	27,32	28,00	28,04	28,31	29,20
MnO	1,57	1,64	1,81	1,86	1,52	1,84	1,76	1,75	1,81	1,81	1,97
MgO	7,20	7,02	6,77	6,60	5,43	6,52	6,86	7,00	6,70	6,59	5,61
CaO	2,76	2,95	3,01	3,41	3,16	3,53	3,12	3,20	3,34	3,48	3,58
Total	101,53	101,97	100,61	101,13	93,55	101,61	100,46	101,12	101,37	101,22	101,16

Fórmula estrutural baseada em 8 cátions e 12 átomos de

Si	3,016	2,972	3,012	2,992	3,019	2,988	3,009	2,990	3,003	2,982	2,997
Ti	0,000	0,001	0,000	0,001	0,002	0,002	0,002	0,002	0,000	0,000	0,003
Al	2,000	2,025	2,005	2,019	2,175	2,020	2,036	2,023	2,024	2,021	2,022
Cr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Fe <sup>3+</sup>	0,000	0,027	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,013	0,000
Fe <sup>2+</sup>	1,817	1,831	1,820	1,823	1,650	1,833	1,763	1,802	1,800	1,823	1,894
Mn	0,102	0,105	0,119	0,121	0,105	0,120	0,115	0,114	0,118	0,118	0,129
Mg	0,821	0,797	0,781	0,759	0,663	0,747	0,789	0,803	0,766	0,755	0,648
Ca	0,226	0,241	0,249	0,282	0,277	0,291	0,258	0,264	0,275	0,287	0,298
Total	7,98	8,00	7,99	8,00	7,89	8,00	7,97	8,00	7,99	8,00	7,99

Componentes Moleculares

Alm	61,26	61,57	61,30	61,07	61,22	61,28	60,27	60,41	60,83	61,11	63,79
Prp	27,68	26,80	26,31	25,43	24,60	24,97	26,97	26,92	25,89	25,31	21,83
Sps	3,44	3,53	4,01	4,05	3,90	4,01	3,93	3,82	3,99	3,96	4,34
Grs	7,62	6,79	8,39	9,45	10,28	9,73	8,82	8,85	9,29	8,98	10,04

**Anexo 4 (continuação) - Composição química de elementos maiores (%peso, microsonda eletrônica) de piroxênio das rochas da Unidade Granulítica.**

Unidade Granulítica – Amostra ALF 11A

Amostra	Opx 1 - Leucossoma						Opx 2 - Matriz				
Análise	101	102	103	104	105	106	201	202	203	204	205
SiO <sub>2</sub>	50.36	51.40	50.52	50.78	51.03	39.06	50.85	50.30	50.85	50.98	51.01
TiO <sub>2</sub>	0,05	0,08	0,09	0,09	0,10	0,01	0,09	0,09	0,09	0,08	0,07
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,17	1,60	2,29	2,05	2,16	3,58	2,00	2,35	2,31	2,03	1,95
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
FeO	27,48	27,06	27,53	27,09	27,52	18,64	26,37	26,75	27,02	26,39	27,01
MnO	0,59	0,60	0,58	0,58	0,58	0,26	0,54	0,55	0,47	0,34	0,55
MgO	19,14	18,94	18,82	18,72	18,74	10,76	19,28	19,06	18,94	19,36	19,52
CaO	0,38	0,46	0,46	0,48	0,49	1,51	0,50	0,56	0,56	0,45	0,49
Na <sub>2</sub> O	0,04	0,04	0,01	0,02	0,02	0,09	0,01	0,01	0,05	0,04	0,00
Total	100,20	100,19	100,30	99,81	100,64	73,92	99,63	99,66	100,29	99,66	100,59
Fórmula estrutural baseada em 4 cátions e 6 átomos de oxigênio											
Si	1,91	1,953	1,918	1,937	1,932	1,986	1,936	1,916	1,927	1,938	1,924
Ti	0,001	0,002	0,003	0,003	0,003	0,001	0,002	0,002	0,003	0,002	0,002
Al <sup>VI</sup>	0,09	0,047	0,082	0,063	0,068	0,014	0,064	0,084	0,073	0,062	0,076
Al <sup>IV</sup>	0,007	0,025	0,02	0,029	0,029	0,2	0,026	0,021	0,03	0,029	0,011
Cr	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fe <sup>3+</sup>	0,082	0,022	0,057	0,031	0,035	0	0,034	0,058	0,041	0,031	0,061
Fe <sup>2+</sup>	0,79	0,838	0,817	0,833	0,836	0,793	0,806	0,794	0,815	0,808	0,791
Mn	0,019	0,019	0,018	0,019	0,019	0,011	0,017	0,018	0,015	0,011	0,018
Mg	1,082	1,072	1,065	1,064	1,058	0,815	1,094	1,082	1,07	1,097	1,098
Ca	0,015	0,019	0,019	0,02	0,02	0,082	0,02	0,023	0,023	0,018	0,02
Na	0,003	0,003	0,001	0,002	0,001	0,009	0,001	0,001	0,004	0,003	0
Total	3,999	4	4	4,001	4,001	3,911	4	3,999	4,001	3,999	4,001
Componentes Moleculares											
En	54,43	54,42	53,90	54,09	53,76	47,91	55,50	54,78	54,48	55,83	55,23
Fs	43,86	43,65	44,23	43,92	44,26	46,62	42,62	43,14	43,58	42,70	42,86
Wo	0,75	0,96	0,96	1,02	1,02	4,82	1,01	1,16	1,17	0,92	1,01

Unidade Granulítica – Amostra ALF 11A

Amostra	Opx 2 – Matriz (continuação)					Opx 3 - Matriz				
Análise	206	207	208	209	210	301	302	303	304	305
SiO <sub>2</sub>	50.66	50.78	51.11	51.15	51.29	50.86	50.16	50.52	51.03	51.03
TiO <sub>2</sub>	0,09	0,09	0,07	0,08	0,06	0,05	0,10	0,09	0,09	0,06
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,97	2,19	1,89	1,86	1,75	2,37	2,40	2,26	2,14	1,78
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
FeO	26,35	26,56	25,91	26,08	26,88	26,70	26,93	26,39	26,82	26,48
MnO	0,51	0,58	0,55	0,60	0,59	0,42	0,65	0,61	0,62	0,43
MgO	19,52	19,03	19,03	19,27	19,48	19,11	18,81	18,98	18,87	18,98
CaO	0,50	0,56	0,55	0,53	0,46	0,46	0,52	0,55	0,49	0,45
Na <sub>2</sub> O	0,02	0,02	0,02	0,01	0,02	0,00	0,00	0,04	0,01	0,02
Total	99,62	99,82	99,13	99,57	100,53	99,97	99,56	99,44	100,07	99,22
Fórmula estrutural baseada em 4 cátions e 6 átomos de oxigênio										
Si	1,927	1,932	1,956	1,948	1,937	1,931	1,916	1,928	1,939	1,954
Ti	0,003	0,003	0,002	0,002	0,002	0,001	0,003	0,002	0,003	0,002
Al <sup>VI</sup>	0,073	0,068	0,044	0,052	0,063	0,069	0,084	0,072	0,061	0,046
Al <sup>IV</sup>	0,015	0,03	0,041	0,031	0,015	0,037	0,024	0,03	0,035	0,034
Cr	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fe <sup>3+</sup>	0,055	0,034	0	0,017	0,047	0,029	0,054	0,039	0,021	0,01
Fe <sup>2+</sup>	0,783	0,811	0,829	0,814	0,802	0,818	0,806	0,803	0,831	0,838
Mn	0,017	0,019	0,018	0,019	0,019	0,013	0,021	0,02	0,02	0,014
Mg	1,106	1,079	1,085	1,094	1,096	1,081	1,071	1,08	1,069	1,083
Ca	0,02	0,023	0,023	0,021	0,019	0,019	0,021	0,022	0,02	0,018
Na	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0	0	0,003	0,001	0,001
Total	4	4	3,999	3,999	4,001	3,998	4	3,999	4	4
Componentes Moleculares										
En	55,83	54,88	55,50	55,67	55,27	55,15	54,28	54,99	54,51	55,17
Fs	42,30	42,98	42,40	42,29	42,81	43,21	43,59	42,87	43,45	43,20
Wo	1,01	1,17	1,18	1,07	0,96	0,97	1,06	1,12	1,02	0,92

**Anexo 4 (continuação) - Composição química de elementos maiores (%peso, microsonda eletrônica) de piroxênio das rochas da Unidade Granulítica.**

Unidade Granulítica – Amostra ALF 45 lb

Amostra	Opx 1 – Matriz			Opx 2 - Matriz				Opx 3 - Matriz		
	101	102	103	201	202	203	204	301	302	303
Análise										
SiO <sub>2</sub>	50,95	51,36	50,74	50,86	51,20	51,23	51,03	50,49	49,87	50,73
TiO <sub>2</sub>	0,07	0,07	0,11	0,06	0,07	0,08	0,07	0,06	0,10	0,03
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,47	1,44	1,43	1,20	0,96	1,26	1,31	1,59	1,71	1,22
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
FeO	28,05	28,17	28,23	28,21	28,34	28,15	28,47	27,73	28,17	28,37
MnO	1,46	1,46	1,56	1,44	1,47	1,55	1,34	1,49	1,54	1,49
MgO	17,96	17,93	18,07	18,28	18,29	18,11	18,22	17,71	17,65	18,04
CaO	0,58	0,63	0,69	0,56	0,59	0,65	0,42	0,59	0,71	0,57
Na <sub>2</sub> O	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,02	0,01	0,00	0,00	0,01
Total	100,54	101,06	100,84	100,62	100,90	101,05	100,87	99,65	99,73	100,45

Fórmula estrutural baseada em 4 cátions e 6 átomos de oxigênio

Si	1,944	1,951	1,931	1,937	1,947	1,945	1,94	1,944	1,92	1,938
Ti	0,002	0,002	0,003	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,003	0,001
Al <sup>VI</sup>	0,056	0,049	0,064	0,054	0,043	0,055	0,059	0,056	0,077	0,055
Al <sup>IV</sup>	0,01	0,015	0	0	0	0,001	0	0,016	0	0
Cr	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fe <sup>3+</sup>	0,041	0,03	0,069	0,07	0,06	0,05	0,057	0,036	0,076	0,068
Fe <sup>2+</sup>	0,854	0,865	0,83	0,829	0,841	0,844	0,848	0,857	0,831	0,838
Mn	0,047	0,047	0,05	0,046	0,047	0,05	0,043	0,049	0,05	0,048
Mg	1,022	1,015	1,025	1,038	1,036	1,025	1,033	1,016	1,013	1,027
Ca	0,024	0,026	0,028	0,023	0,024	0,026	0,017	0,024	0,029	0,023
Na	0	0	0	0,002	0	0,001	0,001	0	0	0,001
Total	3,944	3,951	3,936	3,947	3,957	3,944	3,941	3,944	3,922	3,944

Componentes Moleculares

En	51,41	51,19	51,20	51,74	51,59	51,38	51,70	51,26	50,68	51,25
Fs	45,02	45,13	44,91	44,82	44,87	44,81	45,30	45,06	45,37	45,21
Wo	1,21	1,31	1,40	1,15	1,20	1,30	0,85	1,21	1,45	1,15

Unidade Granulítica – Amostra ALF 45 lb

Amostra	Opx 4 – Leucossoma										
	401	402	403	404	405	406	407	408	409	410	411
Análise											
SiO <sub>2</sub>	50,42	50,29	50,22	49,82	50,09	50,39	50,42	50,48	50,57	50,44	50,59
TiO <sub>2</sub>	0,09	0,11	0,10	0,13	0,11	0,12	0,11	0,10	0,10	0,11	0,04
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,76	2,03	2,05	2,18	2,08	1,86	1,73	1,68	1,84	1,72	1,51
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
FeO	28,11	28,24	27,78	27,92	27,61	28,43	28,10	28,27	27,96	27,86	28,00
MnO	1,84	1,86	1,83	1,80	1,80	1,83	1,81	1,81	1,83	1,83	1,81
MgO	17,14	16,96	17,19	16,79	17,01	17,38	17,16	17,53	17,26	17,40	17,53
CaO	0,91	0,81	0,79	1,20	0,86	0,73	0,91	0,73	0,98	0,73	0,66
Na <sub>2</sub> O	0,04	0,00	0,00	0,05	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,02	0,00
Total	100,32	100,30	99,94	99,89	99,56	100,75	100,24	100,58	100,55	100,10	100,15

Fórmula estrutural baseada em 4 cátions e 6 átomos de oxigênio

Si	1,935	1,932	1,932	1,92	1,935	1,925	1,937	1,93	1,935	1,937	1,942
Ti	0,003	0,003	0,003	0,004	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,001
Al <sup>VI</sup>	0,065	0,068	0,068	0,08	0,065	0,075	0,063	0,07	0,065	0,063	0,058
Al <sup>IV</sup>	0,015	0,024	0,025	0,019	0,03	0,009	0,015	0,006	0,018	0,015	0,01
Cr	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fe <sup>3+</sup>	0,048	0,037	0,037	0,057	0,028	0,06	0,042	0,058	0,042	0,043	0,045
Fe <sup>2+</sup>	0,854	0,871	0,858	0,843	0,865	0,848	0,861	0,846	0,852	0,852	0,853
Mn	0,06	0,061	0,06	0,059	0,059	0,059	0,059	0,058	0,059	0,06	0,059
Mg	0,98	0,971	0,986	0,965	0,98	0,989	0,983	0,999	0,984	0,996	1,003
Ca	0,037	0,033	0,032	0,05	0,036	0,03	0,038	0,03	0,04	0,03	0,027
Na	0,003	0	0	0,004	0	0,001	0	0	0,001	0,001	0
Total	3,935	3,932	3,933	3,921	3,936	3,924	3,938	3,93	3,934	3,937	3,94

Componentes Moleculares

En	49,52	49,21	49,97	48,89	49,80	49,80	49,57	50,18	49,77	50,28	50,48
Fs	45,58	46,02	45,36	45,59	45,38	45,72	45,54	45,40	45,22	45,18	45,19
Wo	1,87	1,67	1,62	2,53	1,83	1,51	1,92	1,51	2,02	1,51	1,36

**Anexo 4 (continuação) - Composição química de elementos maiores (%peso, microsonda eletrônica) de piroxênio das rochas da Unidade Granulítica.**

Unidade Granulítica – Amostra ALF 45 Ib

Amostra	Opx 5 – Interface					Opx 6 - Interface				
	501	502	503	504	505	601	602	603	604	605
Análise										
SiO <sub>2</sub>	49.63	50.37	50.45	50.44	50.50	50.62	50.27	50.62	50.43	50.75
TiO <sub>2</sub>	0,09	0,09	0,06	0,09	0,07	0,10	0,11	0,10	0,10	0,10
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,73	1,73	1,47	1,88	1,56	1,71	1,59	1,69	1,91	1,62
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
FeO	27,69	27,92	27,86	27,87	27,46	28,17	27,74	28,06	28,25	28,34
MnO	1,67	1,64	1,70	1,72	1,69	1,64	1,68	1,63	1,62	1,59
MqO	17,62	17,38	17,88	17,36	17,95	17,67	17,77	17,87	17,77	17,50
CaO	0,71	0,72	0,69	0,68	0,57	0,63	0,73	0,71	0,67	0,62
Na <sub>2</sub> O	0,01	0,04	0,02	0,00	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00	0,03
Total	99,13	99,90	100,12	100,03	99,82	100,55	99,90	100,70	100,75	100,53

Fórmula estrutural baseada em 4 cátions e 6 átomos de oxigênio

Si	1,921	1,938	1,933	1,939	1,939	1,934	1,931	1,929	1,922	1,941
Ti	0,003	0,003	0,002	0,002	0,002	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003
Al <sup>VI</sup>	0,079	0,062	0,066	0,061	0,061	0,066	0,069	0,071	0,078	0,059
Al <sup>IV</sup>	0	0,016	0	0,024	0,01	0,011	0,003	0,005	0,008	0,014
Cr	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fe <sup>3+</sup>	0,075	0,043	0,065	0,033	0,049	0,05	0,06	0,061	0,065	0,042
Fe <sup>2+</sup>	0,821	0,855	0,828	0,863	0,833	0,85	0,831	0,834	0,835	0,865
Mn	0,055	0,053	0,055	0,056	0,055	0,053	0,055	0,053	0,052	0,051
Mq	1,016	0,997	1,021	0,994	1,027	1,006	1,017	1,015	1,009	0,998
Ca	0,029	0,03	0,028	0,028	0,023	0,026	0,03	0,029	0,028	0,025
Na	0,001	0,003	0,001	0	0,001	0,001	0,001	0,001	0	0,002
Total	3,921	3,938	3,933	3,939	3,939	3,934	3,931	3,93	3,922	3,941

Componentes Moleculares

En	50,90	50,40	51,13	50,35	51,69	50,68	51,03	50,95	50,73	50,38
Fs	44,89	45,40	44,72	45,39	44,39	45,34	44,71	44,93	45,25	45,78
Wo	1,45	1,52	1,40	1,42	1,16	1,31	1,51	1,46	1,41	1,26

Unidade Granulítica – Amostra ALF 45 V1

Amostra	Opx 1 - Leucossoma							Opx 2 – Leucos.	
	101	102	103	104	105	106	107	201	202
Análise									
SiO <sub>2</sub>	50.75	50.35	50.24	50.61	50.59	51.18	50.92	50.99	50.58
TiO <sub>2</sub>	0,09	0,11	0,11	0,09	0,10	0,08	0,08	0,10	0,10
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,43	1,58	1,75	1,71	1,75	1,27	1,31	1,60	1,67
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
FeO	26,34	26,78	26,78	27,23	26,95	26,76	26,92	26,53	25,63
MnO	1,48	1,52	1,43	1,44	1,51	1,52	1,54	1,08	0,91
MqO	18,02	17,57	17,63	17,68	17,63	17,70	17,79	17,13	17,14
CaO	1,20	1,00	1,42	0,73	1,36	1,24	0,79	0,87	1,11
Na <sub>2</sub> O	0,04	0,03	0,07	0,03	0,08	0,03	0,02	0,02	0,03
Total	99,35	98,94	99,43	99,53	99,97	99,77	99,35	98,32	97,16

Fórmula estrutural baseada em 4 cátions e 6 átomos de oxigênio

Si	1,952	1,95	1,934	1,948	1,938	1,965	1,964	1,98	1,981
Ti	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,002	0,002	0,003	0,003
Al <sup>VI</sup>	0,048	0,05	0,066	0,052	0,062	0,035	0,036	0,02	0,019
Al <sup>IV</sup>	0,017	0,022	0,014	0,026	0,017	0,022	0,023	0,053	0,058
Cr	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fe <sup>3+</sup>	0,029	0,024	0,052	0,022	0,045	0,01	0,01	0	0
Fe <sup>2+</sup>	0,818	0,843	0,81	0,854	0,818	0,85	0,858	0,861	0,839
Mn	0,048	0,05	0,046	0,047	0,049	0,049	0,05	0,036	0,03
Mq	1,033	1,014	1,011	1,015	1,007	1,013	1,022	0,991	1
Ca	0,049	0,041	0,059	0,03	0,056	0,051	0,033	0,036	0,047
Na	0,003	0,002	0,005	0,002	0,006	0,002	0,001	0,001	0,003
Total	4	3,999	4	3,999	4,001	3,999	3,999	3,981	3,98

Componentes Moleculares

En	52,25	51,42	51,11	51,58	50,99	51,34	51,80	51,51	52,19
Fs	42,84	43,97	43,58	44,51	43,70	43,59	43,99	44,75	43,79
Wo	2,48	2,08	2,98	1,52	2,84	2,58	1,67	1,87	2,45

**Anexo 4 (continuação) - Composição química de elementos maiores (%peso, microsonda eletrônica) de piroxênio das rochas da Unidade Granulítica.**

Unidade Granulítica – Amostra ALF 45 V1

Amostra	Opx 2 – Leucossoma (continuação)								
Análise	203	204	205	206	207	208	209	210	211
SiO <sub>2</sub>	50.76	50.22	50.45	50.64	49.61	50.34	50.38	50.84	50.98
TiO <sub>2</sub>	0,10	0,07	0,09	0,09	0,04	0,11	0,09	0,10	0,09
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,73	1,78	1,77	1,71	1,75	1,78	1,81	1,54	1,30
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
FeO	27,49	27,17	27,25	27,36	26,48	27,02	26,08	26,57	26,36
MnO	0,88	0,97	0,90	0,83	0,84	0,77	0,77	0,80	0,86
MgO	17,56	17,13	16,79	17,15	17,18	17,48	16,70	18,01	18,03
CaO	0,80	0,91	1,24	0,89	0,84	0,93	1,72	0,82	0,88
Na <sub>2</sub> O	0,03	0,03	0,06	0,03	0,03	0,04	0,09	0,02	0,03
Total	99,35	98,27	98,55	98,71	96,76	98,47	97,63	98,70	98,53
Fórmula estrutural baseada em 4 cátions e 6 átomos de oxigênio									
Si	1,958	1,959	1,964	1,966	1,961	1,957	1,971	1,965	1,973
Ti	0,003	0,002	0,003	0,003	0,001	0,003	0,003	0,003	0,003
Al <sup>VI</sup>	0,042	0,041	0,036	0,034	0,039	0,043	0,029	0,035	0,027
Al <sup>IV</sup>	0,036	0,041	0,045	0,044	0,043	0,038	0,055	0,035	0,032
Cr	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fe <sup>3+</sup>	0,002	0	0	0	0	0	0	0	0
Fe <sup>2+</sup>	0,885	0,887	0,887	0,888	0,876	0,878	0,853	0,859	0,853
Mn	0,029	0,032	0,03	0,027	0,028	0,025	0,026	0,026	0,028
Mg	1,009	0,996	0,974	0,992	1,012	1,013	0,973	1,038	1,04
Ca	0,033	0,038	0,052	0,037	0,035	0,039	0,072	0,034	0,036
Na	0,003	0,003	0,005	0,002	0,002	0,003	0,007	0,002	0,002
Total	4	3,999	3,996	3,993	3,997	3,999	3,989	3,997	3,994
Componentes Moleculares									
En	51,53	51,00	50,13	51,03	51,87	51,82	50,57	53,04	53,14
Fs	45,30	45,42	45,65	45,68	44,90	44,91	44,33	43,89	43,59
Wo	1,69	1,95	2,68	1,90	1,79	1,99	3,74	1,74	1,84

Unidade Granulítica – Amostra ALF 45 V1

Amostra	Opx 3 - Interface					Opx 4 - Matriz			
Análise	301	302	303	304	305	401	402	403	404
SiO <sub>2</sub>	50,51	50,49	49,92	50,59	51,35	51,53	0,16	51,33	51,57
TiO <sub>2</sub>	0,08	0,09	0,11	0,10	0,07	0,05	0,00	0,05	0,04
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,74	1,53	1,71	1,86	1,51	1,48	0,02	1,39	1,41
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
FeO	27,01	27,22	26,28	27,21	27,19	26,30	0,67	26,89	27,33
MnO	0,73	0,76	0,71	0,75	0,82	0,97	0,08	0,82	0,93
MgO	17,35	17,29	17,19	17,21	17,87	17,93	0,00	18,11	18,06
CaO	1,06	0,75	1,31	1,32	1,20	0,52	53,94	0,55	0,58
Na <sub>2</sub> O	0,06	0,03	0,05	0,04	0,01	0,01	0,04	0,00	0,03
Total	98,53	98,17	97,27	99,07	100,02	98,80	54,90	99,15	99,95
Fórmula estrutural baseada em 4 cátions e 6 átomos de oxigênio									
Si	1,962	1,969	1,962	1,957	1,965	1,984		1,975	1,972
Ti	0,002	0,003	0,003	0,003	0,002	0,001		0,002	0,001
Al <sup>VI</sup>	0,038	0,031	0,038	0,043	0,035	0,016		0,025	0,028
Al <sup>IV</sup>	0,042	0,039	0,041	0,042	0,033	0,051		0,038	0,036
Cr	0	0	0	0	0	0		0	0
Fe <sup>3+</sup>	0	0	0	0	0	0		0	0
Fe <sup>2+</sup>	0,878	0,888	0,864	0,88	0,87	0,847		0,865	0,874
Mn	0,024	0,025	0,024	0,025	0,027	0,032		0,027	0,03
Mg	1,004	1,005	1,007	0,992	1,019	1,029		1,038	1,029
Ca	0,044	0,031	0,055	0,055	0,049	0,021		0,023	0,024
Na	0,005	0,002	0,004	0,003	0,001	0,001		0	0,002
Total	3,999	3,993	3,998	4	4,001	3,982		3,993	3,996
Componentes Moleculares									
En	51,49	51,56	51,64	50,82	51,86	53,34		53,15	52,58
Fs	45,03	45,56	44,31	45,08	44,27	43,91		44,29	44,66
Wo	2,26	1,59	2,82	2,82	2,49	1,09		1,18	1,23

**Anexo 4 (continuação) - Composição química de elementos maiores (%peso, microsonda eletrônica) de piroxênio das rochas da Unidade Granulítica.**

Unidade Granulítica – Amostra ALF 45 V1

Amostra	Opx 4 - (cont.)		Opx 5 - Matriz						
	405	406	501	502	503	504	505	506	507
Análise									
SiO <sub>2</sub>	51,35	51,12	51,30	51,45	51,22	51,48	52,00	51,31	50,21
TiO <sub>2</sub>	0,07	0,05	0,01	0,05	0,04	0,05	0,06	0,09	0,12
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,59	1,63	1,41	1,44	1,61	1,35	1,16	1,51	1,17
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
FeO	26,78	26,26	26,04	26,12	27,12	26,82	26,51	26,33	25,86
MnO	0,89	0,96	0,72	0,73	0,70	0,67	0,63	0,73	0,71
MgO	17,84	17,78	17,75	18,14	17,96	18,92	18,68	18,32	18,03
CaO	0,69	0,60	0,62	0,70	0,66	0,50	0,45	0,44	0,51
Na <sub>2</sub> O	0,02	0,01	0,01	0,03	0,01	0,03	0,02	0,01	0,00
Total	99,23	98,41	97,85	98,64	99,31	99,82	99,52	98,74	96,62

Fórmula estrutural baseada em 4 cátions e 6 átomos de oxigênio

Si	1,974	1,977	1,991	1,982	1,969	1,963	1,985	1,975	1,978
Ti	0,002	0,001	0	0,001	0,001	0,002	0,002	0,002	0,004
Al <sup>VI</sup>	0,026	0,023	0,009	0,018	0,031	0,037	0,015	0,025	0,022
Al <sup>IV</sup>	0,046	0,052	0,056	0,047	0,042	0,024	0,037	0,044	0,032
Cr	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fe <sup>3+</sup>	0	0	0	0	0	0,012	0	0	0
Fe <sup>2+</sup>	0,861	0,849	0,845	0,841	0,872	0,844	0,846	0,848	0,852
Mn	0,029	0,032	0,024	0,024	0,023	0,022	0,02	0,024	0,024
Mg	1,022	1,025	1,027	1,041	1,029	1,075	1,063	1,051	1,058
Ca	0,028	0,025	0,026	0,029	0,027	0,02	0,018	0,018	0,022
Na	0,001	0,001	0	0,002	0,001	0,002	0,001	0,001	0
Total	3,989	3,985	3,978	3,985	3,995	4,001	3,987	3,988	3,992

Componentes Moleculares

En	52,68	53,08	53,43	53,80	52,74	54,49	54,60	54,15	54,09
Fs	44,38	43,97	43,96	43,46	44,70	43,39	43,45	43,69	43,56
Wo	1,44	1,29	1,35	1,50	1,38	1,01	0,92	0,93	1,12

Unidade Granulítica – Amostra ALF 45 N

Amostra	Opx 1 - Leucossoma					Opx 2 – Leucossoma					
	101	102	103	104	105	201	202	203	204	205	206
Análise											
SiO <sub>2</sub>	50,96	51,58	51,18	51,88	51,41	51,80	51,92	51,63	51,79	51,89	51,92
TiO <sub>2</sub>	0,09	0,09	0,10	0,08	0,10	0,08	0,06	0,09	0,08	0,10	0,09
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,23	1,32	1,52	1,43	1,49	1,04	1,52	1,44	1,45	1,30	1,18
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
FeO	27,18	26,28	27,22	26,12	27,49	25,63	24,47	26,60	25,56	25,96	26,33
MnO	0,54	0,52	0,52	0,53	0,52	0,51	0,50	0,47	0,49	0,52	0,50
MgO	18,86	18,96	18,50	18,39	18,72	19,11	17,96	19,00	18,74	19,27	19,09
CaO	0,75	1,05	0,71	0,93	0,68	0,65	2,74	0,73	0,74	1,03	0,60
Na <sub>2</sub> O	0,01	0,03	0,00	0,03	0,03	0,01	0,13	0,03	0,01	0,00	0,01
Total	99,61	99,84	99,75	99,38	100,43	98,81	99,30	99,98	98,86	100,07	99,73

Fórmula estrutural baseada em 4 cátions e 6 átomos de oxigênio

Si	1,949	1,964	1,957	1,981	1,952	1,985	1,98	1,963	1,982	1,968	1,977
Ti	0,003	0,003	0,003	0,002	0,003	0,002	0,002	0,003	0,002	0,003	0,003
Al <sup>VI</sup>	0,051	0,036	0,043	0,019	0,048	0,015	0,02	0,037	0,018	0,032	0,023
Al <sup>IV</sup>	0,004	0,023	0,026	0,045	0,019	0,032	0,048	0,028	0,048	0,026	0,03
Cr	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fe <sup>3+</sup>	0,042	0,01	0,011	0	0,025	0	0	0,006	0	0	0
Fe <sup>2+</sup>	0,827	0,826	0,86	0,834	0,847	0,821	0,78	0,841	0,818	0,823	0,838
Mn	0,018	0,017	0,017	0,017	0,017	0,016	0,016	0,015	0,016	0,017	0,016
Mg	1,075	1,076	1,054	1,046	1,059	1,091	1,021	1,077	1,069	1,089	1,083
Ca	0,031	0,043	0,029	0,038	0,028	0,027	0,112	0,03	0,03	0,042	0,024
Na	0,001	0,002	0	0,002	0,002	0,001	0,01	0,002	0,001	0	0,001
Total	4,001	4	4	3,984	4	3,99	3,989	4,002	3,984	4	3,995

Componentes Moleculares

En	53,94	54,56	53,48	54,06	53,59	55,81	52,93	54,70	55,30	55,25	55,23
Fs	43,60	42,39	44,19	43,10	44,13	41,99	40,44	43,02	42,32	41,76	42,73
Wo	1,56	2,18	1,47	1,96	1,42	1,38	5,81	1,52	1,55	2,13	1,22

**Anexo 4 (continuação) - Composição química de elementos maiores (%peso, microsonda eletrônica) de piroxênio das rochas da Unidade Granulítica.**

Unidade Granulítica – Amostra ALF 45 N

Amostra	Opx 3 - Leucossoma						Opx 4 - Matriz		
	301	302	303	304	305	306	401	402	403
Análise									
SiO <sub>2</sub>	52.11	51.82	51.60	51.69	52.18	52.10	51.81	51.99	51.98
TiO <sub>2</sub>	0,07	0,10	0,09	0,10	0,09	0,09	0,07	0,08	0,07
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,16	1,39	1,49	1,48	1,09	1,06	1,23	1,19	1,14
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
FeO	26,29	26,87	27,07	27,49	27,53	26,98	28,39	27,26	27,50
MnO	0,51	0,50	0,51	0,53	0,41	0,50	0,56	0,49	0,51
MgO	18,99	18,56	18,56	18,85	18,88	18,71	17,81	18,59	18,56
CaO	0,61	0,79	0,63	0,76	0,69	0,61	0,62	0,83	0,82
Na <sub>2</sub> O	0,03	0,02	0,00	0,01	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00
Total	99,76	100,05	99,96	100,91	100,89	100,05	100,48	100,42	100,58

Fórmula estrutural baseada em 4 cátions e 6 átomos de oxigênio

Si	1,982	1,972	1,967	1,953	1,972	1,982	1,976	1,974	1,973
Ti	0,002	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,002	0,002	0,002
Al <sup>VI</sup>	0,018	0,028	0,033	0,047	0,028	0,018	0,024	0,026	0,027
Al <sup>IV</sup>	0,034	0,034	0,034	0,019	0,021	0,03	0,031	0,027	0,024
Cr	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fe <sup>3+</sup>	0	0	0	0,023	0,003	0	0	0	0
Fe <sup>2+</sup>	0,836	0,855	0,863	0,845	0,867	0,858	0,906	0,866	0,873
Mn	0,016	0,016	0,017	0,017	0,013	0,016	0,018	0,016	0,016
Mg	1,076	1,053	1,055	1,062	1,064	1,06	1,012	1,052	1,05
Ca	0,025	0,032	0,026	0,031	0,028	0,025	0,025	0,034	0,033
Na	0,002	0,001	0	0,001	0,001	0,001	0	0	0
Total	3,991	3,994	3,998	4,001	4	3,993	3,994	3,997	3,998

Componentes Moleculares

En	55,09	53,83	53,80	53,69	53,87	54,11	51,61	53,46	53,25
Fs	42,81	43,71	44,01	43,88	44,05	43,80	46,20	44,00	44,27
Wo	1,28	1,64	1,33	1,57	1,42	1,28	1,27	1,73	1,67

Unidade Granulítica – Amostra ALF 45 N

Amostra	Opx 5 - Matriz					Opx 6 - Matriz			
	501	502	503	504	505	601	602	603	604
Análise									
SiO <sub>2</sub>	52.07	51.70	51.90	52.08	52.26	52.17	52.11	52.03	52.04
TiO <sub>2</sub>	0,00	0,07	0,09	0,06	0,05	0,07	0,07	0,00	0,07
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,02	1,48	1,22	1,22	1,04	1,19	1,36	1,39	1,32
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
FeO	27,69	27,55	27,82	27,67	27,84	27,77	26,19	27,26	28,18
MnO	0,52	0,50	0,48	0,50	0,51	0,50	0,49	0,53	0,49
MgO	18,76	18,20	18,19	18,32	18,62	18,98	18,38	18,49	18,73
CaO	0,57	1,09	0,69	0,57	0,72	0,76	1,66	0,73	0,59
Na <sub>2</sub> O	0,00	0,01	0,02	0,01	0,00	0,02	0,05	0,00	0,01
Total	100,62	100,58	100,41	100,44	101,05	101,45	100,32	100,42	101,42

Fórmula estrutural baseada em 4 cátions e 6 átomos de oxigênio

Si	1,975	1,965	1,975	1,979	1,976	1,961	1,975	1,96
Ti	0	0,002	0,003	0,002	0,001	0,002	0,002	0,002
Al <sup>VI</sup>	0,025	0,035	0,025	0,021	0,024	0,039	0,024	0,025
Al <sup>IV</sup>	0,02	0,031	0,03	0,034	0,022	0,014	0,037	0,037
Cr	0	0	0	0	0	0	0	0
Fe <sup>3+</sup>	0,004	0,001	0	0	0	0,022	0	0
Fe <sup>2+</sup>	0,875	0,874	0,886	0,879	0,88	0,851	0,83	0,865
Mn	0,017	0,016	0,015	0,016	0,016	0,016	0,016	0,017
Mg	1,061	1,031	1,032	1,038	1,049	1,063	1,038	1,046
Ca	0,023	0,044	0,028	0,023	0,029	0,031	0,067	0,03
Na	0	0,001	0,001	0,001	0	0,001	0,004	0
Total	4	4	3,995	3,993	3,997	4	3,994	3,995

Componentes Moleculares

En	53,59	52,44	52,63	53,07	53,14	53,61	53,20	53,42
Fs	44,39	44,51	45,18	44,94	44,58	44,02	42,54	44,18
Wo	1,16	2,24	1,43	1,18	1,47	1,56	3,43	1,53

**Anexo 4 (continuação) - Composição química de elementos maiores (%peso, microsonda eletrônica) de piroxênio das rochas da Unidade Granulítica.**

Unidade Granulítica – Amostra ALF 45 N

Amostra	Cpx 1 - Leucossoma					Cpx 2 - Leucossoma					Cpx 3 - Inter.	
	101	102	103	104	105	201	202	204	205	206	301	302
Análise												
SiO <sub>2</sub>	49,89	50,11	50,08	50,04	50,28	49,93	50,32	50,19	49,71	49,84	50,06	50,73
TiO <sub>2</sub>	0,33	0,29	0,31	0,31	0,24	0,30	0,23	0,25	0,35	0,32	0,31	0,21
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,43	3,20	3,32	3,20	2,92	3,12	2,79	2,70	3,53	3,25	3,19	2,65
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
FeO	12,19	13,79	14,24	13,89	12,18	13,00	11,95	11,55	12,75	11,76	12,06	11,12
MnO	0,47	0,52	0,54	0,51	0,45	0,49	0,45	0,44	0,48	0,48	0,47	0,42
MgO	11,28	12,12	12,01	11,97	11,71	11,34	11,55	11,46	11,16	11,13	11,35	11,73
CaO	20,83	18,55	18,79	18,94	21,63	20,12	21,49	21,80	20,50	21,41	21,10	21,86
Na <sub>2</sub> O	0,89	0,80	0,87	0,83	0,85	0,82	0,84	0,80	0,87	0,93	0,88	0,83
Total	99,31	99,39	100,15	99,69	100,26	99,11	99,62	99,19	99,34	99,13	99,42	99,55

Fórmula estrutural baseada em 4 cátions e 6 átomos de oxigênio

Si	1,889	1,898	1,884	1,891	1,884	1,899	1,898	1,902	1,885	1,89	1,893	1,911
Ti	0,009	0,008	0,009	0,009	0,007	0,009	0,006	0,007	0,01	0,009	0,009	0,006
Al <sup>VI</sup>	0,111	0,102	0,116	0,109	0,116	0,101	0,102	0,098	0,115	0,11	0,107	0,089
Al <sup>IV</sup>	0,042	0,041	0,031	0,034	0,013	0,039	0,022	0,023	0,043	0,035	0,035	0,029
Cr	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fe <sup>3+</sup>	0,115	0,103	0,131	0,118	0,151	0,105	0,127	0,12	0,116	0,125	0,118	0,109
Fe <sup>2+</sup>	0,271	0,334	0,317	0,321	0,231	0,308	0,25	0,245	0,288	0,248	0,263	0,242
Mn	0,015	0,017	0,017	0,016	0,014	0,016	0,014	0,014	0,015	0,015	0,015	0,013
Mg	0,637	0,684	0,673	0,674	0,654	0,643	0,649	0,647	0,631	0,629	0,64	0,659
Ca	0,845	0,753	0,757	0,767	0,868	0,82	0,869	0,885	0,833	0,87	0,855	0,882
Na	0,065	0,059	0,064	0,061	0,062	0,061	0,061	0,059	0,064	0,069	0,065	0,06
Total	3,999	3,999	3,999	4	4	4,001	3,998	4	4	4	4	4

Componentes Moleculares

En	33,83	36,17	35,51	35,55	34,10	33,99	34,00	33,86	33,51	33,33	33,84	34,59
Fs	20,50	23,11	23,64	23,15	19,92	21,83	19,75	19,10	21,46	19,77	20,15	18,43
Wo	44,88	39,82	39,95	40,45	45,26	43,34	45,52	46,31	44,24	46,10	45,21	46,30

Unidade Granulítica – Amostra ALF 45 N

Amostra	Cpx 3 – Interface (cont.)			Cpx 4 - Matriz							
	303	304	305	401	402	403	404	405	406	407	408
Análise											
SiO <sub>2</sub>	50,41	50,27	50,16	50,05	50,11	50,71	50,61	50,07	49,49	49,37	49,75
TiO <sub>2</sub>	0,18	0,33	0,21	0,26	0,26	0,20	0,24	0,27	0,31	0,31	0,31
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,39	3,21	2,51	3,01	2,87	2,59	2,56	2,81	3,04	3,23	2,94
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
FeO	10,85	11,50	11,26	11,45	13,19	11,92	11,99	12,58	12,99	12,40	12,81
MnO	0,38	0,45	0,44	0,33	0,26	0,45	0,22	0,22	0,34	0,24	0,22
MgO	11,80	11,48	11,97	11,65	11,90	11,88	11,59	11,73	11,45	11,30	11,44
CaO	21,96	21,05	21,64	21,59	19,37	20,97	21,38	20,80	20,09	21,17	20,68
Na <sub>2</sub> O	0,74	0,88	0,78	0,88	0,79	0,83	0,79	0,81	0,80	0,81	0,77
Total	98,71	99,17	98,97	99,22	98,74	99,55	99,38	99,29	98,51	98,83	98,93

Fórmula estrutural baseada em 4 cátions e 6 átomos de oxigênio

Si	1,915	1,903	1,9	1,891	1,91	1,913	1,915	1,896	1,893	1,879	1,894
Ti	0,005	0,009	0,006	0,007	0,007	0,006	0,007	0,008	0,009	0,009	0,009
Al <sup>VI</sup>	0,085	0,097	0,1	0,109	0,09	0,087	0,085	0,104	0,107	0,121	0,106
Al <sup>IV</sup>	0,022	0,046	0,012	0,025	0,039	0,028	0,029	0,021	0,03	0,024	0,026
Cr	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fe <sup>3+</sup>	0,108	0,096	0,134	0,133	0,096	0,109	0,1	0,126	0,119	0,138	0,119
Fe <sup>2+</sup>	0,236	0,268	0,223	0,229	0,325	0,267	0,279	0,272	0,296	0,257	0,289
Mn	0,012	0,014	0,014	0,01	0,008	0,014	0,007	0,007	0,011	0,008	0,007
Mg	0,668	0,647	0,676	0,656	0,676	0,668	0,653	0,662	0,652	0,641	0,649
Ca	0,894	0,854	0,878	0,874	0,791	0,847	0,867	0,844	0,823	0,864	0,844
Na	0,055	0,064	0,057	0,064	0,058	0,061	0,058	0,059	0,059	0,06	0,057
Total	4	3,998	4	3,998	4	4	4	3,999	3,999	4,001	4

Componentes Moleculares

En	34,83	34,43	35,12	34,49	35,65	35,07	34,26	34,64	34,30	33,60	34,01
Fs	17,94	19,37	18,55	19,03	22,20	19,74	19,88	20,83	21,83	20,70	21,38
Wo	46,61	45,45	45,61	45,95	41,72	44,46	45,49	44,17	43,29	45,28	44,23

**Anexo 5 – Dados de LA-ICP-MS em ppm. Granada na amostra ALF 45 IB.**

Elemento	GRT-1L-1	GRT-1L-2	GRT-1L-3	GRT-1L-4	GRT-2L-1	GRT-2L-2	GRT-2L-3	GRT-3L-1	GRT-3L-2	GRT-3L-3	GRT-3L-4	GRT-4L-1	GRT-4L-2	GRT-4L-3	
	Granulito				Granulito			Granulito				Granulito			
Li	3.53	2.85	3.95	2.21	3.74	3.77	3.81	3.27	4.18	3.8	3.15	2.97	3.32	3.73	
Na	51.74	55.54	68.09	40.23	60.01	68.81	64.67	59.35	60.64	62.51	58.49	58.54	50.75	58.04	
Mg	31864.3	32454.2	32409.18	27214.9	30538.34	30886.65	30412.6	31098.47	30244.07	31329.12	29446.18	34235.7	31750.14	32327.14	
Al	101321.2	104869.5	105083	101655	106212.8	110798.2	107763.4	110514	110148.5	118102.9	113394.1	113522.9	111404.9	115613.7	
Si	166443.6	170312.9	174878.1	170121.7	168516.5	180146.1	166009.4	178487.7	179229.7	187691.7	178816.7	184219.6	186703.2	190280.8	
P	16.31	15.47	35.53	15.27	18.19	17.78	34.15	52.23	75.61	18.18	19.91	37.24	43.15	38.74	
Ca	35735.05	35735.05	35735.05	35735.05	35735.05	35735.05	35735.05	35735.05	35735.05	35735.05	35735.05	35735.05	35735.05	35735.05	
Sc	107.15	109.83	137.63	125.74	148.21	158.61	157.76	167.05	160.27	155.24	158.22	151.46	149.03	144.03	
Ti	341.86	351.42	389.75	126.43	278.51	309.53	315.27	280.49	264.22	244.39	274.6	381.93	412.87	383.01	
V	53.07	55.11	55.34	29.8	46.12	49.33	47.22	43.44	44.63	47.59	45.82	54.92	51.41	50.13	
Cr	192.96	189.2	140.52	70.63	249.65	256.56	275.57	220.06	225.99	252.67	239.38	175.87	206.81	173.13	
Mn	30550	31271.46	31597.11	29086.15	33429.63	33910.52	35661.95	34285.32	35184.36	33840.76	34445.29	36832.04	35875.4	35343.37	
Co	26.92	26.2	25.67	22.9	25.9	26.51	27.45	26.08	26.74	24.04	25.78	28.47	27.09	27.41	
Ni	1.13	1.28	2.49	2.25	0.88	0.88	1.2	1.56	1.61	1.74	1.66	2.5	1.26	1.81	
Zn	56.29	55.43	57.45	84.98	52.95	57.86	56.35	57.77	55.11	52.76	57.81	58.37	61.44	53.55	
Rb	0.052	0.05	0.047	0.051	0.052	0.057	0.051	0.058	0.055	0.05	0.04	0.068	0.046	0.059	
Sr	0.06	0.058	0.169	0.264	0.091	0.485	0.068	0.141	0.088	0.084	0.106	0.61	0.061	0.064	
Y	208.62	174.82	165.36	82.18	394.68	327.42	404.76	263.58	332.9	409.64	390.94	138.42	148.94	255.2	
Zr	18.33	16.32	18.54	2.4	15.27	15.44	17.53	37.55	17.47	639.47	18.33	16.26	16.14	14.6	
Nb	0.022	0.018	0.027	0.024	0.031	0.032	0.036	0.028	0.028	0.046	0.024	0.033	0.031	0.031	
Cs	0.0246	0.0151	0.0194	0.0188	0.0221	0.0154	0.0261	0.0179	0.0201	0.0178	0.0269	0.0166	0.0167	0.025	
Ba	0.111	0.102	0.097	0.135	0.101	0.267	0.098	0.124	0.162	0.204	0.169	0.27	0.122	0.136	
La	0.041	0.032	0.153	0.275	0.025	0.051	0.064	0.242	0.058	0.034	0.022	0.115	0.034	0.06	

**Anexo 5 (continuação) – Dados de LA-ICP-MS em ppm. Granada na amostra ALF 45 IB.**

Elemento	GRT-1L-1	GRT-1L-2	GRT-1L-3	GRT-1L-4	GRT-2L-1	GRT-2L-2	GRT-2L-3	GRT-3L-1	GRT-3L-2	GRT-3L-3	GRT-3L-4	GRT-4L-1	GRT-4L-2	GRT-4L-3	
	Granulito				Granulito				Granulito						
Ce	0.81	0.73	1.32	0.85	0.62	0.78	0.79	0.88	0.42	0.43	0.52	1.01	1.16	1.23	
Pr	0.618	0.502	0.74	0.328	0.387	0.462	0.566	0.455	0.332	0.321	0.419	0.482	0.58	0.62	
Nd	10.29	10.29	11.77	4.99	8.39	8.19	8.67	7.19	5.95	6.29	7.5	8.87	11.53	10.8	
Sm	14.13	14.33	18.02	10.26	14.44	14.76	16.5	16.13	14.22	13.92	16.74	15.66	15.63	15.06	
Eu	2.49	2.5	2.53	2.31	2.15	2.18	2.15	2.48	2.19	2.37	2.49	2.58	2.55	2.32	
Gd	15.91	16.92	24.3	15.74	30.69	29.09	33.39	29.88	30.58	34.78	36.69	24.51	22.19	24.49	
Tb	3.07	3.08	4.62	2.61	6.63	6.44	7.41	5.95	6.93	7.91	8.08	4.34	3.79	5.18	
Dy	27.49	26.98	30.96	16.26	54.43	50.45	58.82	42.1	53.87	67.14	63.96	26.59	26.52	38.04	
Ho	7.7	7.04	5.73	2.82	14.2	12.64	15.78	10.2	12.65	15.65	14.51	4.85	4.92	8.79	
Er	28.31	25.85	16.45	7.37	52.11	48.46	55.29	39.96	43.34	51.99	48.32	14.12	13.47	26.31	
Tm	4.17	3.75	2.21	1.1	8.38	8.32	9.32	7.57	7.26	8.32	7.74	2.11	2.1	4.12	
Yb	32.82	28.91	15.29	9.61	73.63	72.14	76.7	65.1	58.68	67.88	64.77	16.05	17.53	35.26	
Lu	5.04	4.5	2.19	1.16	12.09	11.9	12.79	11.47	9.83	10.64	9.83	2.27	2.38	4.96	
Hf	0.258	0.282	0.254	0.075	0.232	0.326	0.362	0.9	0.331	17.95	0.42	0.21	0.269	0.207	
Ta	0.0214	0.0166	0.0192	0.0131	0.0188	0.0242	0.021	0.0197	0.0115	0.0176	0.0187	0.029	0.0147	0.0232	
Pb	0.087	0.08	0.267	0.246	0.114	0.106	0.207	0.243	0.094	0.204	0.204	0.136	0.167	0.104	
Th	0.0237	0.0199	0.0255	0.0203	0.0177	0.026	0.0146	0.138	0.041	0.156	0.025	0.026	0.0237	0.0199	
U	0.032	0.02	0.025	0.0158	0.027	0.024	0.021	0.119	0.052	1.8	0.027	0.023	0.035	0.033	

**Anexo 5 (continuação) – Dados de LA-ICP-MS em ppm. Granada na amostra ALF 45 VI.**

Elemento	GRT-1L-1	GRT-1L-2	GRT-1L-3	GRT-1L-4	GRT-2L-1	GRT-2L-2	GRT-2L-3	GRT-2L-4	GRT-3L-1	GRT-3L-2	GRT-3L-3	GRT-3L-4
	Leucossoma				Granulito				Granulito			
Li	3.27	3.46	4.05	5.02	4.77	3.44	3.54	2.44	2.1	2.97	3.15	3.43
Na	79.97	80.15	78.6	92.03	56.19	63.43	53.91	46.97	49.26	45.17	43.25	55.48
Mg	35232.24	33274.64	34910.06	33134.41	34582.2	33425.46	34950.97	35499.34	31472.42	30750.74	28101.46	28862.8
Al	114997.9	113277.5	117226.2	124496.5	123287.1	120939.7	121899.2	119812.5	111964.6	105962.7	98508.18	111180.3
Si	170241.2	170231.7	176034.7	191969.7	203534.1	201343.6	224662.3	213956.8	191131.5	195958.3	188051	183598.2
P	36.73	45.97	51.08	57.48	30.34	42.93	30.2	43.44	38.25	31.26	37.71	49.5
Ca	46455.56	46455.56	46455.56	46455.56	46455.57	46455.56	46455.56	46455.56	46455.56	46455.56	46455.56	46455.56
Sc	185.24	189.26	211.78	211.67	82.41	86.83	91.16	85.94	87.2	84.31	78.13	85
Ti	587.27	589.14	581.49	555.19	341.18	383.24	479.31	381.53	495.85	475.05	470.9	406.2
V	131.94	123.54	127.45	122.37	89.77	88.38	92.31	91.89	99.96	92.82	93.14	74.68
Cr	286.41	276.89	304.6	333.48	150.68	153.1	121.92	131.89	145.02	85.42	96.2	177.93
Mn	33485.94	31095.8	35757.83	36396.09	33405.9	33976.95	35092.66	34380.18	31456.37	28252.08	28571.94	33651.2
Co	41.67	38.33	41.56	39.38	35	34.42	36.6	35.22	33.21	30.5	30.07	30.84
Ni	3.17	1.67	2.74	1.75	1.62	1.6	1.91	1.26	1.56	2.51	1.27	1.36
Zn	88.55	76.35	78.35	77.39	75.88	69.13	67.67	67.69	67.04	62.31	56.5	71.02
Rb	0.074	0.076	0.081	0.154	0.067	0.089	0.062	0.055	0.076	0.043	0.047	0.129
Sr	0.079	0.104	0.09	0.273	0.08	0.306	0.071	0.065	0.086	0.064	0.076	0.447
Y	416.97	412.58	424.74	670.57	300.94	348.72	264.67	295.77	174.08	162.75	163.29	227.11
Zr	17.22	16.75	18.02	20.58	8.04	12.05	16.48	12.04	19.63	18.53	19.02	17.57
Nb	0.036	0.0196	0.037	0.036	0.027	0.021	0.028	0.03	0.0232	0.035	0.03	0.028
Cs	0.026	0.031	0.028	0.029	0.025	0.028	0.027	0.032	0.0143	0.027	0.0168	0.035
Ba	0.185	0.217	0.126	0.148	0.181	0.238	0.164	0.123	0.146	0.133	0.125	0.129
La	0.059	0.068	0.056	0.065	0.05	0.057	0.054	0.049	0.038	0.034	0.023	0.08
Ce	1.08	1.01	0.88	0.686	0.246	0.349	0.31	0.275	0.322	0.444	0.247	0.443

**Anexo 5 (continuação) – Dados de LA-ICP-MS em ppm. Granada na amostra ALF 45 VI.**

Elemento	GRT-1L-1	GRT-1L-2	GRT-1L-3	GRT-1L-4	GRT-2L-1	GRT-2L-2	GRT-2L-3	GRT-2L-4	GRT-3L-1	GRT-3L-2	GRT-3L-3	GRT-3L-4
	Leucossoma				Granulito				Granulito			
Pr	0.612	0.596	0.555	0.398	0.107	0.116	0.128	0.149	0.2	0.227	0.167	0.232
Nd	6.84	7.07	7.28	5.65	1.21	1.7	1.66	1.62	2.86	2.92	2.29	2.71
Sm	8.17	8.25	8.65	8.61	2.97	2.66	3.17	2.94	3.95	3.63	3.13	3.41
Eu	2.23	2.3	2.16	2.04	1.53	1.53	1.74	1.45	1.79	1.79	1.72	1.57
Gd	23.2	21.36	23.24	27.7	10.71	11	11.3	11.37	11.86	9.76	9.84	10.97
Tb	6.26	6.14	6.24	7.5	3.58	3.72	3.59	3.42	3.11	2.6	2.56	2.95
Dy	56.76	51.92	58.65	75.8	36.3	38.48	34.26	34.91	27.05	21.37	23.23	27.62
Ho	14.16	13.39	14.27	21.15	10.17	12.02	8.87	9.9	6.25	4.92	5.14	6.78
Er	47.97	43.09	44.72	70.49	34.25	41.65	27.96	32.79	18.86	15.93	15.87	22.64
Tm	7.22	6.62	7.01	13.97	5.77	6.82	4.23	5.02	2.87	2.29	2.5	4.15
Yb	48.69	46.78	52.83	104.23	41.11	49.65	30.49	38.32	22.17	19.38	22.14	32.77
Lu	7.6	7.05	8.1	15.17	5.66	7.58	4.01	5.07	3.12	2.76	3.29	4.72
Hf	0.396	0.391	0.319	0.426	0.141	0.241	0.223	0.221	0.221	0.205	0.222	0.217
Ta	0.025	0.021	0.032	0.031	0.029	0.018	0.026	0.025	0.0215	0.0108	0.025	0.03
Pb	0.187	0.195	0.209	0.194	0.212	0.154	0.15	0.101	0.163	0.176	0.181	0.169
Th	0.022	0.026	0.03	0.037	0.045	0.037	0.042	0.065	0.023	0.0169	0.016	0.023
U	0.041	0.023	0.042	0.047	0.02	0.037	0.023	0.028	0.032	0.024	0.042	0.03

**Anexo 5 (continuação) – Dados de LA-ICP-MS em ppm. Granada na amostra ALF 45 VA.**

Elemento	GRT-1L-1	GRT-1L-2	GRT-1L-3	GRT-1L-4	GRT-1L-5	GRT-1L-6	GRT-1L-7	GRT-1L-8	GRT-1L-9	GRT-1L-10	GRT-1L-11	GRT-1L-12	GRT-1L-13	GRT-1L-13b
Leucossoma														
Li	2.62	1.91	1.78	1.63	2.35	2.5	2.21	1.85	2.09	1.29	1.88	2.3	41.37	2.43
Na	73.57	63.75	84.04	66.51	73.51	69.39	66.68	67.32	62.23	55.64	64.63	70.82	92.59	71.02
Mg	35687.14	36000.25	37616.8	34909.63	37889.05	36858.83	37044.24	37017.92	35181.71	37272.83	37893.15	37902.64	189.45	37815.18
Al	113913.5	115897.2	120930.9	109758.6	116829.2	114521.6	116684	115506	112338	116055.8	116492.5	116887.9	115.8	116825.4
Si	187559.3	192772.4	195122.8	180503.9	188039.3	185043.1	185343.4	184970.9	182583.7	186591.5	184272	183566.2	34910.15	181225.4
P	52.38	52.79	45.14	56.8	61.75	46.73	30.16	39.08	59.9	45.55	59.34	45.32	2072.2	39.38
Ca	47884.96	47884.96	47884.96	47884.96	47884.96	47884.96	47884.96	47884.96	47884.96	47884.96	47884.96	47884.96	13454.22	47884.96
Sc	60.29	58.29	58.92	60.48	58.67	60.45	58.58	64.68	62.87	75.01	74.98	67.04	24.14	71.05
Ti	609.27	601.38	560.32	604.98	624.61	624.37	561.67	577.53	625.65	570.9	589.01	589.08	166.56	613.65
V	136.23	136.06	133.29	138.41	146.73	139.21	136.31	134.07	136.26	128.18	133.94	132.31	12.22	143.43
Cr	112.28	112.93	106.11	115.88	113.66	112.17	118.24	127.87	130.33	118.74	126.08	114.97	183.88	129.22
Mn	23263.52	23716.49	23627.17	23991.27	24208.38	24382.1	25100.69	24965.79	25069.57	24699.31	26286.24	23620.52	60.67	24816.76
Co	39.14	39.08	40.67	39.93	41.09	41.53	42.07	40.49	41.77	40.04	42	39.58	7.68	42.06
Ni	4.96	1.75	2.68	3.42	3.31	3.83	2.94	3.69	3.93	1.63	3.45	2.47	280.12	2.57
Zn	104.62	99.1	110.64	102.1	106.64	108.2	100.26	99.93	103.01	97.92	98.47	99.53	104.15	107.43
Rb	0.055	0.054	0.55	0.055	0.05	0.07	0.058	0.069	0.054	0.048	0.054	0.066	5.56	0.057
Sr	0.048	0.03	0.033	0.048	0.037	0.044	0.047	0.055	0.05	0.064	0.052	0.044	2.48	0.063
Y	191.72	136.78	167.94	149.38	153.2	156.64	149.9	158.09	162.33	173.94	199.93	189.29	1.92	229.19
Zr	18.63	17.49	21.17	17.03	19.38	20.91	19.14	18.77	19.15	17.74	18.78	17.72	4.3	19.54
Nb	0.031	0.028	0.066	0.028	0.026	0.038	0.02	0.0221	0.021	0.029	0.033	0.0218	2.38	0.029
Cs	0.042	0.0201	0.048	0.0209	0.024	0.026	0.026	0.028	0.0177	0.031	0.0156	0.033	2.79	0.0236
Ba	0.142	0.118	0.196	0.16	0.175	0.139	0.069	0.173	0.194	0.136	0.184	0.154	17.86	0.16
La	0.054	0.075	0.148	0.062	0.08	0.088	0.067	0.048	0.047	0.075	0.103	0.056	2.42	0.057
Ce	0.85	1.14	1.33	1.18	1.24	1.23	1.22	0.9	1.15	1.14	1.32	1.2	2.5	1.28

**Anexo 5 (continuação) – Dados de LA-ICP-MS em ppm. Granada na amostra ALF 45 VA.**

Elemento	GRT-1L-1	GRT-1L-2	GRT-1L-3	GRT-1L-4	GRT-1L-5	GRT-1L-6	GRT-1L-7	GRT-1L-8	GRT-1L-9	GRT-1L-10	GRT-1L-11	GRT-1L-12	GRT-1L-13	GRT-1L-13b
	Leucossoma													
Pr	0.445	0.505	0.537	0.514	0.582	0.552	0.562	0.55	0.507	0.58	0.653	0.554	2.57	0.643
Nd	6.81	6.7	7.62	6.71	7.08	6.82	7.62	7.57	7.38	7.9	7.84	7.35	17.9	7.52
Sm	7.04	6.6	6.96	6.84	7.44	6.89	6.46	9.48	8.13	8.12	8.78	8.36	17.67	8.45
Eu	2.6	2.2	2.64	2.47	2.23	2.47	2.39	2.53	2.53	2.52	2.58	2.33	2.76	2.63
Gd	17.77	13.83	15.69	15.87	13.01	15.36	14.74	16.88	16.43	15.94	17.76	18.56	16.03	20.9
Tb	4.32	3.11	3.66	3.5	3.14	3.5	3.41	3.96	3.78	3.87	4.41	4.38	2.76	5.29
Dy	31.75	22.18	27.93	25.86	23.08	24.9	25.63	26.57	27.14	28.55	31.51	34.29	14	37.61
Ho	7.11	4.83	5.63	5.57	5.26	5.66	5.37	5.59	5.73	6.65	7.2	7.52	2.66	8.14
Er	21.66	15.52	17.22	17.21	17.16	16.68	15.98	15.41	17.39	18.77	22.33	21.85	7.72	24.33
Tm	3.16	2.47	2.72	2.7	2.75	2.61	2.34	2.38	2.63	2.7	3.19	3.1	2.82	3.75
Yb	24.33	19.82	22.06	20.65	20.77	21.47	18.86	17.97	19.17	19.91	24.19	23.3	10.88	28.1
Lu	3.66	2.97	3.2	3.07	3.05	3.2	2.65	2.49	2.8	2.74	3.35	3.29	1.96	3.89
Hf	0.273	0.321	0.306	0.449	0.382	0.316	0.297	0.226	0.325	0.294	0.247	0.363	11.28	0.32
Ta	0.0146	0.0171	0.0218	0.023	0.0179	0.022	0.0194	0.0137	0.0224	0.0236	0.025	0.0166	3.64	0.01
Pb	0.156	0.072	0.086	0.137	0.081	0.189	0.095	0.084	0.155	0.081	0.097	0.083	10.68	0.111
Th	0.026	0.023	0.11	0.029	0.03	0.027	0.0154	0.025	0.025	0.025	0.028	0.032	2.85	0.033
U	0.032	0.038	0.022	0.03	0.0147	0.02	0.028	0.023	0.04	0.038	0.029	0.019	2.51	0.026

**Anexo 5 (continuação) – Dados de LA-ICP-MS em ppm. Granada na amostra ALF 45 VA.**

Elemento	GRT-1L-14	GRT-1L-15	GRT-1L-16	GRT-1L-17	GRT-2L-1	GRT-2L-2	GRT-2L-3	GRT-3L-1	GRT-3L-2	GRT-3L-3	GRT-3L-4	GRT-1L-18	GRT-1L-19	GRT-1L-20
	Leucossoma				Granulito			Granulito			Leucossoma			
Li	1.55	1.95	2.64	3.67	2.01	2.98	3.06	3.38	3.39	2.82	2.7	2.16	1.29	2.6
Na	72.11	58.06	61.77	73.61	51.72	57.9	63.7	53.76	55.96	49.77	57.23	61.83	62.94	58.92
Mg	38122.3	35811.39	36562	34589.02	35145.91	35863.96	37817.73	37707.66	38491.86	38542.01	36066.79	35570.02	33396.68	33838.7
Al	119239.1	114112	117916.9	116176.4	112774.6	117573.4	128778	124757.5	115317.6	125672.9	125312.3	121466.6	117947	113006.9
Si	185982.5	178275.7	183195.1	175723.9	176459.3	185523.7	199115.3	192981.1	167360.7	186383.6	185132.7	187121.6	185339.3	186097.1
P	62.37	43.29	51.82	52.56	29.75	31.45	35.99	43.05	24.11	37.99	23.11	48.79	54.66	45.97
Ca	47884.96	47884.96	47884.95	47884.95	47884.95	47884.95	47884.95	47884.95	47884.95	47884.95	47884.95	47884.96	47884.95	47884.95
Sc	69.69	77.27	98.28	148.54	101.34	102.54	101.55	100.38	101.13	108.48	88.99	72.79	65.2	132.3
Ti	577.86	513.31	520.51	526.14	506.62	476.65	445.46	394.32	427.68	462.13	459.6	569.92	556.13	441.33
V	136.32	119.16	127.41	137.85	115.58	118.27	108.81	104.42	104.76	99.72	93.73	131.35	126.44	121.17
Cr	135.08	114.08	210.47	227.95	144.94	76.87	117.1	147.73	136.23	132.55	162.58	120.31	120.76	131.94
Mn	24391.01	23152.85	27699.95	33006.02	29843.19	35326.76	37069.01	33543.93	34241.55	34754.59	36940.52	24234.22	23306.15	27380.1
Co	41.01	34.86	38.26	41.78	35.26	40.44	39.79	33.16	35.72	36.2	36.68	38.8	37.35	38.68
Ni	2.78	3.78	3.59	2.19	2.23	3.25	2.31	2.18	2.46	1.4	1.83	1.66	2.37	1.63
Zn	97.24	78.58	80.44	84.36	81.66	83.78	86.62	83.56	81.84	82.94	84.04	96.45	88.68	81.23
Rb	0.067	0.061	0.045	0.076	0.064	0.054	0.066	0.064	0.102	0.325	0.083	0.059	0.055	0.058
Sr	0.037	0.047	0.074	0.181	0.09	0.083	0.88	0.033	0.095	0.035	0.091	0.043	0.084	0.085
Y	250.88	149.26	253.55	561.47	164.29	214.92	371.86	311.79	284.22	227.8	299.51	200.25	169.13	481.32
Zr	18.96	18.35	15.83	20	18.87	18.99	20.61	15.47	21.66	20.18	20.01	22.45	20.15	14.73
Nb	0.022	0.017	0.0107	0.035	0.032	0.031	0.034	0.029	0.029	0.023	0.025	0.025	0.022	0.0212
Cs	0.025	0.0189	0.0225	0.02	0.0244	0.036	0.027	0.029	0.033	0.063	0.021	0.0191	0.0128	0.0141
Ba	0.175	0.121	0.161	0.181	0.165	0.122	0.209	0.156	0.128	0.176	0.174	0.176	0.106	0.15
La	0.06	0.047	0.063	0.057	0.046	0.031	0.048	0.035	0.041	0.024	0.065	0.056	0.07	0.046
Ce	1.25	0.85	1.22	1.12	0.496	0.481	0.52	0.239	0.43	0.51	0.459	1.15	1.06	0.78

**Anexo 5 (continuação) – Dados de LA-ICP-MS em ppm. Granada na amostra ALF 45 VA.**

Elemento	GRT-1L-14	GRT-1L-15	GRT-1L-16	GRT-1L-17	GRT-2L-1	GRT-2L-2	GRT-2L-3	GRT-3L-1	GRT-3L-2	GRT-3L-3	GRT-3L-4	GRT-1L-18	GRT-1L-19	GRT-1L-20
	Leucossoma				Granulito			Granulito			Leucossoma			
Pr	0.633	0.476	0.555	0.587	0.284	0.254	0.284	0.158	0.261	0.205	0.224	0.56	0.51	0.424
Nd	7.54	6.87	6.08	6.68	3.91	3.31	3.29	2.4	2.44	3.24	3.45	7.39	7.07	6.22
Sm	9.22	6.46	7.16	8.66	4.68	4.41	5.13	3.19	3.53	4.07	3.69	8.76	7.47	8
Eu	2.57	2.14	2.1	2.32	1.98	2.12	1.95	1.51	1.82	2.18	1.84	2.39	2.63	2.06
Gd	20.06	13.16	17.21	25.48	11.39	12.84	14.48	13	13.5	12.46	11.87	18.46	15.4	19.02
Tb	5.26	2.97	4.57	7.45	2.91	3.54	4.51	4.07	4.29	3.84	3.84	4.28	3.39	5.91
Dy	38.47	23.11	38.37	65.65	22.59	28.42	42.25	39.43	40.19	34.44	37.32	30.06	26.22	55.8
Ho	8.8	5.36	8.92	17.47	5.02	6.78	12.46	10.43	9.48	8.12	10.16	6.87	6.32	16.12
Er	25.47	17.19	27.34	60.69	15.47	22.07	47.38	34.79	29.96	23.05	35.62	20.42	19.94	58.68
Tm	3.72	2.62	3.75	9.75	2.73	3.68	7.93	5.11	4.1	3.73	5.86	3.34	3.26	10.57
Yb	27.19	21.02	27.18	76.39	21.97	31.19	71.16	39.56	29.66	28.1	44.97	25.49	25.26	92.51
Lu	3.74	2.78	3.6	10.86	3.17	4.11	10.55	5.32	3.92	4.01	6.67	3.8	3.71	13.81
Hf	0.365	0.355	0.126	0.409	0.22	0.237	0.136	0.214	0.108	0.154	0.111	0.44	0.358	0.209
Ta	0.014	0.0175	0.0201	0.027	0.0229	0.028	0.0184	0.025	0.032	0.02	0.0153	0.0219	0.02	0.0144
Pb	0.247	0.288	0.237	0.263	0.106	0.171	0.095	0.115	0.112	0.156	0.11	0.087	0.113	0.079
Th	0.0187	0.0237	0.0181	0.027	0.023	0.031	0.035	0.032	0.025	0.03	0.038	0.0153	0.017	0.029
U	0.022	0.057	0.047	0.053	0.036	0.024	0.033	0.028	0.028	0.022	0.044	0.024	0.0183	0.041

**Anexo 5 (continuação) – Dados de LA-ICP-MS em ppm. Ortopiroxênio na amostra ALF 45 IB.**

Elemento	OPX-1L-1	OPX-1L-2	OPX-1L-3	OPX-2L-1	OPX-2L-2	OPX-2L-3	OPX-3L-1	OPX-3L-2	OPX-3L-3	OPX-3L-4
	Granulito			Granulito			Granulito			
Li	8.01	8.04	8.73	10.38	7.28	9.95	9.58	10.28	11.53	9.94
Na	171.71	135.69	146.6	163.04	121.65	154.55	172.11	186.85	192.2	153.53
Mg	111574.4	111574.4	111574.4	111574.4	111574.4	111574.4	111574.4	111574.4	111574.4	111574.4
Al	8508.48	8313.1	8592.02	7550.54	6915.84	7607.04	9741.99	9977.08	10266.31	9318.44
Si	266812.2	262334.7	252484.3	260805.2	252975.6	276331.1	253699.3	255860.4	252602.3	265345.3
P	17.65	15.95	30.01	18.68	18.27	18.09	20.86	23.32	24.2	20.62
Ca	4675.98	4281.6	4389.66	5174.3	4382.62	4727.68	4935.16	4683.82	5625.22	4443.15
Sc	46.97	43.06	46.77	41.83	40.55	46.4	49.38	50.87	53.89	52.51
Ti	545.44	496.13	479.05	554.2	493.66	598.75	576.44	626.05	639.48	599.6
V	27.61	27.81	24.85	29.67	27.77	30.86	34.18	38.65	39.15	36.69
Cr	27.52	25.28	26.73	27.2	23.69	28.43	31.24	34.97	40.67	40
Cr	29.67	29.24	29.68	29.06	29.22	29.73	35.72	35.84	46.13	43.68
Mn	12300.19	12438.58	11808.24	11903.14	12313.36	11270.79	12517.99	12960.06	13106.03	12434.34
Co	62.84	59.7	60.88	60.25	58.29	62.47	62.98	63.94	64.89	64.17
Ni	22.59	21.31	26.67	23.94	27.99	18.85	28.72	21.06	27.24	25.06
Zn	545.48	546.46	539.45	532.2	567.76	544.08	542.88	551.11	568.6	560.58
Rb	0.045	0.047	0.073	0.044	0.226	0.049	0.052	0.074	0.051	0.051
Sr	0.02	0.0178	0.447	0.0178	1.48	0.018	0.674	0.111	0.057	0.351
Y	0.486	0.397	0.446	0.443	0.365	0.372	0.657	0.665	0.789	0.543
Zr	1.18	1.1	1.1	1.24	0.728	0.93	1.73	2.04	2.06	1.76
Nb	0.035	0.032	0.027	0.021	0.04	0.025	0.02	0.0248	0.029	0.035
Cs	0.018	0.0202	0.0193	0.026	0.0147	0.018	0.0239	0.02	0.0167	0.014
Ba	0.105	0.102	0.155	0.066	0.34	0.104	0.22	0.114	0.152	0.093
La	1.64	0.39	0.242	0.207	0.969	0.099	0.305	0.306	0.28	0.545
Ce	2.64	0.776	0.4	0.37	1.57	0.165	0.7	0.669	0.64	0.91

**Anexo 5 (continuação) – Dados de LA-ICP-MS em ppm. Ortopiroxênio na amostra ALF 45 IB.**

Elemento	OPX-1L-1	OPX-1L-2	OPX-1L-3	OPX-2L-1	OPX-2L-2	OPX-2L-3	OPX-3L-1	OPX-3L-2	OPX-3L-3	OPX-3L-4
	Granulito			Granulito			Granulito			
Pr	0.234	0.101	0.048	0.057	0.145	0.096	0.1	0.085	0.105	0.143
Nd	1.01	0.453	0.245	0.307	0.59	0.3	0.69	0.67	0.76	0.49
Sm	0.38	0.338	0.199	0.259	0.181	0.19	0.37	0.39	0.192	0.167
Eu	0.058	0.053	0.075	0.038	0.063	0.037	0.074	0.093	0.061	0.053
Gd	0.193	0.153	0.201	0.134	0.138	0.108	0.239	0.29	0.182	0.183
Tb	0.025	0.0243	0.0203	0.024	0.024	0.016	0.025	0.053	0.038	0.031
Dy	0.107	0.099	0.096	0.125	0.117	0.097	0.157	0.22	0.121	0.117
Ho	0.0173	0.017	0.023	0.025	0.0197	0.0152	0.019	0.0221	0.026	0.026
Er	0.048	0.046	0.062	0.037	0.053	0.058	0.092	0.067	0.103	0.052
Tm	0.0182	0.0137	0.0136	0.0154	0.0216	0.014	0.027	0.016	0.019	0.0207
Yb	0.061	0.06	0.059	0.055	0.063	0.072	0.135	0.135	0.105	0.157
Lu	0.0166	0.0198	0.022	0.0105	0.012	0.012	0.024	0.021	0.022	0.0166
Hf	0.209	0.136	0.144	0.098	0.1	0.271	0.187	0.217	0.307	0.196
Ta	0.0097	0.0133	0.0196	0.0256	0.0111	0.0165	0.0262	0.0105	0.026	0.0254
Pb	0.099	0.06	0.107	0.056	0.103	0.148	0.108	0.146	0.114	0.137
Th	0.059	0.0216	0.022	0.013	0.038	0.017	0.027	0.038	0.019	0.0204
U	0.04	0.0152	0.018	0.0168	0.02	0.02	0.0187	0.025	0.0148	0.0164

**Anexo 5 (continuação) – Dados de LA-ICP-MS em ppm. Ortopiroxênio na amostra ALF 45 IB.**

Elemento	OPX-4L-1	OPX-4L-2	Opx-4L-3	Opx-4L-4	Opx-4L-5	Opx-4L-6	Opx-4L-7
Leucossoma							
Li	15.44	16.95	15.27	16.07	15.95	14.6	6.53
Na	375.12	391.72	387.07	396.34	332.87	364.28	143.38
Mg	111574.4	111574.4	111574.4	111574.4	111574.4	111574.4	111574.4
Al	13196.66	12496.17	12443.52	12165.83	11583.17	11594.49	8578.28
Si	256411	257878.8	258146.7	261121.6	266472.9	264889.7	253502.7
P	19.73	20.48	20.71	20.13	20.21	21.58	21.65
Ca	7522.45	8108.5	7316.22	7925.58	6856.5	7806.25	5536.6
Sc	48.71	53.86	52.67	54.25	51.31	53.79	47.55
Ti	840.58	880.67	806.97	823.8	782.12	800.02	495.47
V	56.43	52.01	55.19	49.58	47.58	50.23	37.09
Cr	35.82	34.41	32.47	32.26	28.15	27.32	18.04
Cr	39.7	38.76	39.72	35.05	31.82	30.63	21.17
Mn	15311.91	15455.85	16090.31	16131.52	14909.1	17002.03	15650.69
Co	64.3	67.73	65.29	67.05	61.51	66.7	57.89
Ni	29.54	34.79	28.43	25.75	27.96	28.3	17.42
Zn	520.65	527.2	516.82	564.33	514.26	562.15	599.1
Rb	0.051	0.049	0.037	0.046	0.05	0.066	0.281
Sr	0.066	0.047	0.041	0.041	0.031	0.03	1.2
Y	6.73	6.13	6.73	6.97	5.97	6.55	3.31
Zr	9.14	9.87	9.07	9.64	8.9	9.04	1.42
Nb	0.022	0.04	0.022	0.027	0.052	0.04	0.028
Cs	0.0204	0.026	0.027	0.023	0.0134	0.026	0.0118
Ba	0.15	0.119	0.138	0.113	0.14	0.182	0.33
La	0.157	0.129	0.138	0.151	0.39	0.11	0.112
Ce	0.831	0.987	0.759	0.758	0.907	0.71	0.251

**Anexo 5 (continuação) – Dados de LA-ICP-MS em ppm. Ortopiroxênio na amostra ALF 45 IB.**

Elemento	OPX-4L-1	OPX-4L-2	Opx-4L-3	Opx-4L-4	Opx-4L-5	Opx-4L-6	Opx-4L-7
Leucossoma							
Pr	0.195	0.217	0.235	0.245	0.182	0.237	0.044
Nd	1.34	1.88	1.7	1.52	1.19	1.36	0.398
Sm	0.73	0.87	0.75	0.92	0.49	0.78	0.189
Eu	0.069	0.072	0.08	0.052	0.056	0.039	0.039
Gd	0.7	1	0.93	0.91	0.81	0.84	0.31
Tb	0.157	0.171	0.097	0.158	0.15	0.166	0.064
Dy	1.04	1.01	0.91	1.06	1.03	1.35	0.57
Ho	0.3	0.28	0.219	0.3	0.3	0.27	0.11
Er	0.61	0.66	0.78	0.7	0.83	0.73	0.493
Tm	0.129	0.137	0.09	0.15	0.158	0.155	0.098
Yb	1.26	0.93	1.16	1.17	0.68	1.09	0.67
Lu	0.152	0.163	0.184	0.173	0.148	0.12	0.101
Hf	0.46	0.6	0.54	0.52	0.69	0.57	0.185
Ta	0.0213	0.022	0.019	0.0146	0.0171	0.0166	0.015
Pb	0.079	0.071	0.059	0.052	0.097	0.071	0.122
Th	0.023	0.0139	0.023	0.018	0.024	0.0205	0.0161
U	0.019	0.027	0.0191	0.0205	0.027	0.014	0.0139

**Anexo 5 (continuação) – Dados de LA-ICP-MS em ppm. Ortopiroxênio na amostra ALF 45 VI.**

Elemento	opx-1L-1	opx-1L-2	opx-1L-3	opx-1L-4	opx-1L-5	opx-1L-6	opx-4L-1	opx-4L-2	opx-4L-3	opx-4L-4	opx-4L-5	opx-4L-6	opx-4L-7
	Leucossoma						Leucossoma						
Li	11.17	15.89	16.48	15.57	15.33	14.71	15.49	13.92	12.34	14.26	12.86	13.41	10.35
Be	2.36	3.3	2.46	3.36	2.87	2.38	1.63	4.21	2.24	1.73	2.75	2.46	3.85
Na	270.05	727.16	782.5	732.14	735.37	533.03	493.89	523.42	413.98	642.77	505.64	364.67	292.41
Mg	105543.4	105543.4	105543.4	105543.4	105543.4	105543.4	105543.4	105543.3	105543.3	105543.3	105543.3	105543.3	105543.3
Al	7728.6	10624.96	10364.17	10332.45	10110.42	9161.03	10131.84	10078.31	10064.8	9291.9	9311.32	9495.73	9038.78
Si	257771.5	256193.2	242688.2	250237.9	235656.6	225401.4	245023.3	242964	242066.3	245949.7	244343.8	261664.8	242509.3
P	13.28	13.97	13.64	14	16.28	12.54	12.82	12.83	11.51	11.72	12.9	13.84	12.72
Ca	4840.03	8658.35	9538.99	9687.33	8562.96	7520.74	8560.11	8078.41	7724.84	7990.45	8098.06	8478.25	7304.91
Sc	30.66	44.48	40.63	41.38	36.62	39.14	32.42	35.72	31.48	34.04	34.73	37.33	36.48
Ti	447.1	883.5	859.2	821.45	733.8	720.1	730.19	796.91	701.15	757.41	971.43	748.58	650.6
V	53.98	90.74	82.93	79.81	73.14	67	71.88	79.36	68.82	77.78	71.41	71.84	74.9
Cr	78.42	100.59	95.47	104.17	97.97	88.77	94.99	102.46	85.61	100.03	101.56	100.26	97.54
Cr	81.17	99.34	95.65	104.38	91.89	88.93	100.57	103.39	87.87	103.82	108.49	109.25	106.29
Mn	13002.82	13053.48	12697.7	12580.29	12064.13	11903.42	11741.49	11984.19	10785.53	11940.58	11978.61	12066.38	12863.19
Co	89.21	94.01	91.12	96.85	91.39	88.83	85.9	82.9	76.2	88.24	83.76	77.34	84.84
Ni	78.89	78.1	79.86	89.74	75.31	83.15	71.17	70.72	67.82	67.08	65.6	55.89	63.96
Zn	633.66	640.76	570.94	657.13	588.28	610.74	613.18	583.9	620.81	643.56	608.82	602.64	610.74
Rb	0.167	0.083	0.058	0.061	0.05	0.053	0.031	0.686	0.027	0.058	0.028	0.03	0.226
Sr	0.413	0.176	0.214	0.195	0.177	0.152	0.082	6.07	0.314	0.157	0.177	0.169	1.79
Y	6.46	11.44	10.62	10.37	9.46	8.52	9.73	10.51	10.06	10.35	10.39	10.44	9.18
Zr	1.98	9.44	8.88	8.94	7.24	5.53	9.98	10.49	9.46	10	5	5.89	4.15
Nb	0.0152	0.0147	0.014	0.0136	0.0179	0.0164	0.0161	0.0251	0.0217	0.0177	0.177	0.02	0.024
Cs	0.0094	0.0112	0.0088	0.0104	0.0133	0.0095	0.0134	0.0124	0.0117	0.0109	0.0143	0.0104	0.0146
Ba	0.208	0.118	0.082	0.158	0.136	0.183	0.07	1.76	0.052	0.146	0.091	0.103	0.275
La	0.282	0.315	0.382	0.337	0.36	0.207	0.185	0.561	0.243	0.299	0.414	0.413	0.311
Ce	0.588	1.26	1.3	1.47	1.29	0.68	0.82	1.3	0.87	1.14	1.44	1.29	0.9

**Anexo 5 (continuação) – Dados de LA-ICP-MS em ppm. Ortopiroxênio na amostra ALF 45 VI.**

Elemento	opx-1L-1	opx-1L-2	opx-1L-3	opx-1L-4	opx-1L-5	opx-1L-6	opx-4L-1	opx-4L-2	opx-4L-3	opx-4L-4	opx-4L-5	opx-4L-6	opx-4L-7
	Leucossoma						Leucossoma						
Pr	0.091	0.216	0.255	0.243	0.234	0.145	0.18	0.249	0.173	0.18	0.261	0.208	0.131
Nd	0.376	1.34	1.44	1.41	1.14	0.81	1.03	1.05	1.01	1.08	1.38	1.19	0.68
Sm	0.146	0.514	0.479	0.418	0.353	0.308	0.453	0.476	0.467	0.583	0.493	0.317	0.355
Eu	0.033	0.087	0.092	0.079	0.057	0.031	0.065	0.072	0.069	0.096	0.106	0.078	0.069
Gd	0.242	0.72	0.95	0.93	0.8	0.383	0.73	0.93	0.96	0.72	0.7	0.76	0.64
Tb	0.086	0.181	0.207	0.191	0.152	0.133	0.161	0.208	0.174	0.187	0.209	0.172	0.146
Dy	0.75	1.4	1.61	1.42	1.16	1.09	1.75	1.55	1.54	1.62	1.56	1.29	1.16
Ho	0.237	0.366	0.382	0.349	0.287	0.328	0.376	0.343	0.342	0.369	0.367	0.334	0.309
Er	0.83	1.38	1.34	1.31	1.46	1.05	1.32	1.25	1.22	1.26	1.3	1.12	1.1
Tm	0.146	0.293	0.229	0.235	0.257	0.229	0.198	0.204	0.228	0.264	0.208	0.205	0.228
Yb	1.11	1.86	1.73	1.84	1.71	1.37	1.55	1.48	1.28	1.46	1.53	1.64	1.35
Lu	0.261	0.338	0.325	0.336	0.317	0.319	0.256	0.295	0.253	0.265	0.27	0.279	0.254
Hf	0.171	0.493	0.439	0.4	0.388	0.313	0.357	0.362	0.395	0.451	0.319	0.359	0.244
Ta	0.0152	0.0202	0.0106	0.0129	0.0087	0.0083	0.011	0.0181	0.0116	0.0118	0.0162	0.0119	0.0178
Pb	0.061	0.095	0.066	0.11	0.129	0.069	0.105	0.098	0.059	0.165	0.17	0.066	0.067
Th	0.113	0.095	0.143	0.077	0.126	0.059	2.28	0.081	0.092	0.097	0.278	0.182	0.125
U	0.0217	0.0134	0.0185	0.0082	0.0164	0.0114	0.0245	0.0138	0.021	0.0368	0.06	0.045	0.03

**Anexo 5 (continuação) – Dados de LA-ICP-MS em ppm. Ortopiroxênio na amostra ALF 45 VI.**

Elemento	opx-5L-1	opx-5L-2	opx-5L-3	opx-5L-4	opx-5L-5	opx-5L-6	opx-5L-6	opx-5L-7	opx-5L-8	opx-5L-9
Leucossoma										
Li	15.06	20.68	23.79	20.46	17.77	18.41	18.36	15.45	14.67	9.8
Be	3.39	3.28	3.21	2.34	2.01	3.12	3.15	3.14	2.43	3.92
Na	2727.95	1599.18	1397.65	1061.91	572.7	928.95	949.91	881.69	406.28	605.05
Mg	105543.4	105543.3	105543.3	105543.3	105543.3	105543.3	105543.3	105543.3	105543.3	105543.3
Al	11119.88	11746.37	12300.82	10977.9	9461.66	10782.21	10669.07	9722.67	7884.65	7654.99
Si	242676.8	263275	291638.2	268469.2	235616.1	238769.6	237431.5	223069.2	234896.6	214566.2
P	11.97	11.2	13.36	11.32	10.47	14.46	14.4	17.74	13.18	14.16
Ca	7366.17	9738.06	9367.16	7136.88	6975.88	9510.21	9388.5	8049.52	7882.99	7411.94
Sc	31.4	43.34	37.74	37.38	38.34	43.17	42.67	33.08	32.59	30.86
Ti	719.5	763.55	817.14	741.67	671.77	967.29	958.96	724.8	676.17	546.05
V	54.31	71.53	80.19	66.81	53.85	91.7	91	66.56	62.45	57.72
Cr	90.54	107.8	122.47	99.83	92.58	101.48	100.9	87.66	93.36	83.72
Cr	104.23	134	125.88	112.38	113.97	113.24	113.97	109.89	93.69	84.67
Mn	12602.25	13117.38	14369.22	12323.6	11249.61	12404.02	12497.57	12294.92	11330.55	11496.89
Co	88.07	94.35	92.39	83.33	74.34	81.94	81.29	71.04	76.59	70.16
Ni	61.46	81.85	86.63	71.77	66.36	73.48	72.25	53.32	53.47	47.51
Zn	573.14	659.41	690.04	586.95	520.55	663.27	656.78	504.55	483.22	545.98
Rb	0.827	0.304	0.174	0.129	0.067	0.113	0.111	0.095	0.028	0.535
Sr	2.02	0.9	0.413	0.309	0.165	0.27	0.265	0.318	0.128	4.22
Y	9.04	13.09	12.35	11.89	9.03	10.95	10.9	9.38	9.95	6.46
Zr	12.85	10.94	9.29	8.79	8.02	9.88	9.89	6.76	6.53	3.77
Nb	0.052	0.062	0.052	0.0202	0.0149	0.055	0.056	0.0235	0.0143	0.0201
Cs	0.029	0.0136	0.0165	0.0111	0.0146	0.0106	0.0107	0.0103	0.012	0.0117
Ba	0.89	0.6	0.116	0.263	0.177	0.105	0.103	0.062	0.061	1
La	0.29	0.445	0.311	0.277	0.219	0.216	0.213	0.275	0.311	0.474
Ce	0.95	1.15	0.9	1.1	0.77	1	1	1	1.06	1.73

**Anexo 5 (continuação) – Dados de LA-ICP-MS em ppm. Ortopiroxênio na amostra ALF 45 VI.**

Elemento	opx-5L-1	opx-5L-2	opx-5L-3	opx-5L-4	opx-5L-5	opx-5L-6	opx-5L-6	opx-5L-7	opx-5L-8	opx-5L-9
	Leucossoma									
Pr	0.147	0.172	0.159	0.171	0.128	0.15	0.15	0.152	0.187	0.154
Nd	0.83	1.63	0.91	0.97	0.85	1.1	1.1	1.09	1.05	1.04
Sm	0.318	0.52	0.401	0.419	0.428	0.446	0.451	0.58	0.465	0.239
Eu	0.04	0.064	0.077	0.052	0.052	0.083	0.084	0.054	0.082	0.045
Gd	0.43	0.78	0.75	0.91	0.64	0.95	0.94	0.62	0.83	0.51
Tb	0.149	0.236	0.205	0.171	0.171	0.243	0.241	0.174	0.183	0.128
Dy	1.13	1.64	1.76	1.63	1.38	2.1	2.11	1.47	1.36	1
Ho	0.217	0.395	0.43	0.37	0.359	0.443	0.437	0.319	0.356	0.227
Er	1.03	1.58	1.56	1.33	1.11	1.47	1.45	1.25	1.11	0.77
Tm	0.184	0.246	0.297	0.274	0.214	0.23	0.229	0.171	0.222	0.133
Yb	1.83	2	1.79	1.72	1.76	1.79	1.77	1.74	1.39	1.32
Lu	0.327	0.392	0.307	0.36	0.289	0.314	0.312	0.298	0.267	0.199
Hf	0.52	0.46	0.52	0.46	0.45	0.43	0.43	0.48	0.45	0.282
Ta	0.0161	0.0118	0.0123	0.0089	0.0132	0.0135	0.0133	0.0161	0.0114	0.0102
Pb	0.41	0.284	0.266	0.142	0.087	0.165	0.163	0.141	0.072	0.068
Th	0.071	0.086	0.067	0.055	0.077	0.057	0.058	0.057	0.065	0.061
U	0.0212	0.0263	0.0277	0.043	0.0204	0.0145	0.0142	0.0227	0.0335	0.0335

**Anexo 5 (continuação) – Dados de LA-ICP-MS em ppm. Ortopiroxênio na amostra ALF 45 N.**

Elemento	opx1L-1	opx1L-2	opx1L-3	opx1L-4	opx2L-1	opx2L-2	opx2L-3	opx2L-4	opx-3L-1	opx-3L-2	opx-3L-3	opx-3L-4
	Leucossoma				Leucossoma				Leucossoma			
Li	10.09	13.5	11.6	10.81	11.76	11.73	13.27	13.06	13.89	13.12	11.82	11.18
Na	263.49	322.46	231.39	114.6	201.16	270.53	260.8	183.44	521.24	239.12	140.27	128
Mg	102527.8	102527.8	102527.8	102527.8	102527.8	102527.8	102527.8	102527.8	102527.8	102527.8	102527.8	102527.8
Al	7595.95	7358.38	7621.52	6086.18	7327.82	8384.55	7599.94	7824.78	7493.01	7594.79	7143.61	8747.59
Si	226979.9	220216	214530.2	225809.8	224318.8	220822.9	232783.1	203716.5	223123.4	216338.7	231406.1	264220.1
P	19.55	20.16	20.8	20.01	19.16	18.21	18.19	24.51	18.73	17.17	19.61	20.14
Ca	6527.07	7095.34	5951.2	4340.97	5129.76	6132.56	5853.66	4981.13	11810.85	6336.74	4728.57	4552.5
Sc	27.11	24.52	26.32	22.03	25.01	28.27	24.44	22.33	27.64	24.03	24.65	27.81
Ti	709.86	686.85	660.7	466.48	591.31	676.16	637.2	408.57	1235.91	647.99	674.41	729.59
V	68.3	68.28	68.05	47.98	63.51	76	69.2	59.75	67.47	57.47	65.02	70.3
Cr	44.11	42.63	42.7	30.24	38.75	41.25	42.88	38.97	44.37	38.45	40.84	44.53
Cr	45.79	43.66	45.12	34.25	42.66	45.12	49.15	41.06	45.25	40.34	43.98	52.85
Mn	7460.16	7203.43	7100.71	7021.62	6833.1	7114.24	7311.85	6450.25	6281.91	6125.15	7319.88	8465.19
Co	64.37	60.26	61.38	62.92	56.04	57.58	59.68	58.71	58.56	57.61	65.17	64.02
Ni	26.16	25.18	22.34	25.12	19.08	29.48	28.62	20.09	18.76	17.28	27.93	24.44
Zn	511.67	511.68	494.96	507.54	489.25	470.18	478.68	471.97	453.64	444.96	543.85	581.22
Rb	0.047	0.043	0.044	0.043	0.041	0.043	0.036	0.045	0.036	0.038	0.103	0.361
Sr	0.23	0.205	0.172	0.221	0.134	0.224	0.189	0.368	0.77	0.162	0.509	2.7
Y	13.83	13.83	12.98	9.06	11.43	13.97	10.36	9.73	17.96	14.5	13.33	13.51
Zr	5.02	4.75	3.68	2.35	3.14	4.74	3.57	3.63	7.54	4.27	3.27	2.89
Nb	0.025	0.025	0.022	0.0184	0.043	0.021	0.096	0.043	0.441	0.02	0.027	0.026
Cs	0.0173	0.0192	0.0171	0.0142	0.0147	0.0171	0.01	0.0126	0.0154	0.0173	0.0153	0.0171
Ba	0.119	0.059	0.131	0.099	0.154	0.066	0.112	0.114	0.079	0.095	0.41	0.62
La	0.211	0.355	0.205	0.095	0.176	0.343	0.191	0.528	0.35	0.198	0.148	0.089
Ce	0.796	0.96	0.778	0.175	0.659	1.11	0.715	1.04	2.43	0.746	0.379	0.266

**Anexo 5 (continuação) – Dados de LA-ICP-MS em ppm. Ortopiroxênio na amostra ALF 45 N.**

Elemento	opx1L-1	opx1L-2	opx1L-3	opx1L-4	opx2L-1	opx2L-2	opx2L-3	opx2L-4	opx-3L-1	opx-3L-2	opx-3L-3	opx-3L-4
	Leucossoma				Leucossoma				Leucossoma			
Pr	0.147	0.12	0.11	0.041	0.09	0.166	0.152	0.137	0.466	0.142	0.097	0.029
Nd	0.74	0.74	0.66	0.265	0.51	1	0.52	0.44	2.54	0.56	0.46	0.47
Sm	0.225	0.206	0.259	0.125	0.142	0.361	0.114	0.114	1.05	0.274	0.224	0.195
Eu	0.081	0.042	0.041	0.032	0.041	0.06	0.03	0.025	0.188	0.054	0.037	0.044
Gd	0.37	0.45	0.326	0.4	0.336	0.59	0.351	0.21	1.34	0.56	0.37	0.4
Tb	0.114	0.115	0.116	0.093	0.135	0.138	0.107	0.069	0.255	0.123	0.169	0.153
Dy	1.36	1.44	1.12	1	0.97	1.34	0.91	0.98	1.89	1.27	1.49	1.49
Ho	0.421	0.386	0.363	0.218	0.343	0.344	0.368	0.3	0.58	0.459	0.345	0.48
Er	2.16	2.11	2.05	1.23	1.66	1.87	1.67	1.68	2.34	2.01	1.77	1.93
Tm	0.439	0.425	0.425	0.299	0.369	0.44	0.389	0.311	0.51	0.49	0.41	0.45
Yb	4.01	3.8	3.38	2.93	3.51	3.86	3.74	3.43	4.12	3.87	4.16	4.65
Lu	0.87	0.88	0.91	0.7	0.77	0.97	0.81	0.81	0.76	0.83	0.8	1.04
Hf	0.304	0.329	0.248	0.121	0.171	0.285	0.208	0.192	0.271	0.187	0.226	0.168
Ta	0.0233	0.0162	0.0209	0.0138	0.0244	0.0151	0.0152	0.0139	0.052	0.0138	0.0133	0.0193
Pb	0.05	0.067	0.056	0.064	0.053	0.1	0.059	0.042	0.135	0.061	0.065	0.064
Th	0.171	0.162	0.198	0.049	0.106	0.213	0.13	0.521	0.111	0.117	0.0168	0.0131
U	0.047	0.049	0.0169	0.017	0.0264	0.029	0.0171	0.191	0.0132	0.027	0.02	0.052

**Anexo 5 (continuação) – Dados de LA-ICP-MS em ppm. Ortopiroxênio na amostra ALF 45 N.**

Elemento	opx-4L-1	opx-4L-2	opx-4L-3	opx-4L-4	opx-5L-1	opx-5L-2	opx-5L-3	opx-5L-4
	Granulito				Granulito			
Li	11.8	10.15	10.79	10.77	10.19	10.54	9.83	10.28
Na	209.37	204.36	130.01	200.27	164.4	184.81	201.68	121.75
Mg	102527.8	102527.8	102527.8	102527.8	102527.8	102527.8	102527.8	102527.8
Al	7667.12	8018.88	7791.19	9528.74	7556.72	7544.26	8532.82	7700.78
Si	255064.2	272235.1	271435	265949.8	248322	255257.7	261578.8	245917
P	21.4	20.77	20.62	20.2	18.23	18.28	18.93	16.86
Ca	6152.65	6617.82	5021.34	5385.19	6024.12	5833.05	5975.21	5029.54
Sc	27.53	27.06	25.32	23.86	28.88	28.5	32.07	26.81
Ti	600.85	678.05	541.51	490.59	605.4	633.07	687.46	489.11
V	73.23	67.6	70.22	78.74	64.27	67.1	71.06	65.57
Cr	4.18	1.44	1.28	2.56	2.13	2.23	1.44	1.38
Cr	7.13	6.4	7.39	8.2	6.13	4.87	6.68	6.03
Mn	7847.57	7339.57	7365.01	7798.9	7566.21	7102.13	7002.6	6779.24
Co	63.07	56.18	55.03	53.89	64.74	61.61	60.29	55.95
Ni	27.38	29.18	21.48	13.46	24.66	17.95	23.62	14.68
Zn	577.32	499.67	506.83	498.57	538.55	513	505.07	475.88
Rb	0.038	0.05	0.044	2.24	0.043	0.044	0.036	0.255
Sr	0.202	0.172	0.57	30.26	0.061	0.223	0.066	2.25
Y	10.94	10.16	8.07	6.84	11.38	12.07	12.02	9.56
Zr	2.63	2.67	1.45	0.86	2.75	2.91	3.24	2.32
Nb	0.027	0.028	0.047	0.359	0.023	0.028	0.024	0.026
Cs	0.0151	0.0093	0.0165	0.018	0.0104	0.0151	0.0062	0.0079
Ba	0.083	0.14	0.18	8.37	0.099	0.13	0.082	0.28
La	0.269	0.456	0.382	0.708	0.118	0.167	0.105	0.156
Ce	0.86	0.97	0.633	1.44	0.395	0.556	0.476	0.366

**Anexo 5 (continuação) – Dados de LA-ICP-MS em ppm. Ortopiroxênio na amostra ALF 45 N.**

Elemento	opx-4L-1	opx-4L-2	opx-4L-3	opx-4L-4	opx-5L-1	opx-5L-2	opx-5L-3	opx-5L-4
	Granulito				Granulito			
Pr	0.112	0.142	0.101	0.176	0.079	0.072	0.105	0.046
Nd	0.74	0.84	0.41	0.46	0.45	0.37	0.51	0.42
Sm	0.276	0.311	0.166	0.196	0.149	0.274	0.327	0.15
Eu	0.043	0.035	0.048	0.032	0.028	0.05	0.07	0.051
Gd	0.46	0.52	0.266	0.22	0.43	0.343	0.53	0.45
Tb	0.121	0.101	0.12	0.078	0.104	0.109	0.143	0.083
Dy	1.16	1.35	1.03	0.67	1.19	1.14	1.46	1.03
Ho	0.332	0.367	0.266	0.259	0.366	0.38	0.36	0.296
Er	1.52	1.51	1.11	0.97	1.39	1.78	1.6	1.44
Tm	0.37	0.37	0.302	0.31	0.36	0.38	0.42	0.31
Yb	2.84	3.09	2.54	2.27	3.51	3.62	3.36	3.53
Lu	0.64	0.75	0.66	0.59	0.73	0.86	0.76	0.67
Hf	0.127	0.187	0.113	0.129	0.153	0.217	0.22	0.135
Ta	0.016	0.017	0.028	0.0173	0.0141	0.0238	0.0127	0.017
Pb	0.056	0.089	0.102	0.102	0.049	0.15	0.078	0.06
Th	0.119	0.193	0.099	0.236	0.02	0.026	0.026	0.0156
U	0.07	0.068	0.0186	0.293	0.0151	0.029	0.0181	0.0169

**Anexo 5 (continuação) – Dados de LA-ICP-MS em ppm. Clinopiroxênio na amostra ALF 45 N.**

Elemento	cpx-1L-1	cpx-1L-2	cpx-1L-3	cpx-1L-4	cpx-2L-1	cpx-2L-2	cpx-2L-3	cpx-2L-4	cpx-3L-1	cpx-3L-2	cpx-3L-3	cpx-3L-4
	Leucossoma				Leucossoma				Granulito			
Li	36.46	30.48	33.01	33.36	32.05	31.42	33.65	39.12	30.49	35.15	35.48	39.22
Na	5543.52	5034.42	6127.22	5667.2	6219.37	6033.2	5748.27	6062.39	5669.76	5920.69	6114.5	6803.35
Mg	76545.45	80787.23	91581.91	84293.09	83110.4	85517.16	75366.77	79914.16	81037.53	81146.42	79436.91	95533.37
Al	13847.29	12498.45	15695.18	15450.51	19456.59	19781.05	17488.44	16385.77	17467.44	18721.9	16585.95	21950.52
Si	222046.5	251467.7	264455.6	241785.2	210996.8	223082.9	208907.6	210036.3	185778.9	202856.3	181850	235884.7
P	15.74	17.24	15.91	14.65	17.41	26.38	18.21	17.21	16.1	18.33	15.91	18.49
Ca	150087.2	150087.2	150087.2	150087.2	150087.2	150087.2	150087.2	150087.2	150087.2	150087.2	150087.2	150087.2
Sc	97.96	107.75	106.28	102.59	90.43	94.68	91.33	90.9	119.91	123.14	105.7	143.2
Ti	1881.33	1554.39	1722.88	1809.43	2358.22	2456.2	2206	1730.59	2126.28	2481.48	2167.93	2821.39
V	211.18	241.02	214.97	216.81	200.13	208.83	192.89	176.01	175.54	222.27	203.13	243.24
Cr	88.24	113.74	95.55	97.26	85.03	88.38	74.64	74.17	4.48	5.66	4.19	5.23
Cr	89.28	108.96	105.06	100.37	95.62	92.23	75.57	84.72	7.39	8.02	5.74	7.74
Mn	3743.36	3685.73	3902.16	3483.66	4015.06	3895.43	3585.78	3563.2	3297.1	3959.13	3551.32	4187.79
Co	30.24	29.2	30.56	26.47	30.67	29.8	27.45	26.54	28.43	30.89	26.34	32.34
Ni	13.08	16.38	16.17	16.52	21.91	17.43	18.05	11.24	12.12	12.63	14.2	15.05
Zn	149.65	135.8	156.68	127.76	166.07	163.44	151.89	134.95	146.42	169.03	166.83	184.49
Rb	0.033	0.153	0.073	0.309	0.042	0.039	0.039	0.037	0.062	0.033	0.033	0.052
Sr	33.24	31.71	33.9	32.57	34.12	32.47	31.71	28.42	29.88	31.27	29.14	37.02
Y	103.53	90.7	98.96	92.46	115.24	115.47	113.49	106.35	136.36	137.3	138.53	158.74
Zr	63.76	35.32	49.94	45.32	85.61	78.83	75.33	57.19	83.28	89.77	78.88	104.62
Nb	0.249	0.206	0.242	0.252	0.379	0.336	0.302	0.218	0.219	0.404	0.327	0.357
Cs	0.0144	0.0118	0.0119	0.0121	0.0146	0.0168	0.0112	0.0078	0.0139	0.0118	0.015	0.0158
Ba	0.09	0.446	0.197	0.83	0.161	0.126	0.13	0.117	0.131	0.147	0.094	0.112
La	18.05	16.97	19.43	17.22	21.17	22.33	19.74	18.6	19.02	21.44	21.22	24.16
Ce	64	61.78	69.79	59.56	75.46	78.89	72.47	69.15	71.72	74.98	70.85	84.03

**Anexo 5 (continuação) – Dados de LA-ICP-MS em ppm. Clinopiroxênio na amostra ALF 45 N.**

Elemento	cpx-1L-1	cpx-1L-2	cpx-1L-3	cpx-1L-4	cpx-2L-1	cpx-2L-2	cpx-2L-3	cpx-2L-4	cpx-3L-1	cpx-3L-2	cpx-3L-3	cpx-3L-4
	Leucossoma				Leucossoma				Granulito			
Pr	11.1	10.41	11.37	10.21	12.04	12.7	12.15	11.67	10.99	13.38	12.25	13.85
Nd	52.62	48.43	55.34	47.83	55.08	58.32	57.83	56.72	58.18	65.34	59.29	67.2
Sm	13.63	11.92	13.54	12.13	14.11	15.17	15.59	14.11	15.63	18.56	15.91	20.64
Eu	2.45	2.23	2.38	2.3	2.46	2.7	2.51	2.4	2.27	2.88	2.36	3.2
Gd	14.45	13.84	13.39	13.89	13.41	15.31	14.59	14.35	15.8	18.19	16.66	19.72
Tb	2.36	2.19	2.6	2.53	2.29	2.59	2.65	2.48	2.74	3.25	3.04	3.69
Dy	16.79	15.51	17.65	18.47	17.75	19.05	19.19	16.98	21.47	22.23	21.09	23.98
Ho	3.55	3.2	3.56	3.63	3.93	4.24	4.07	3.8	4.57	4.81	4.64	5.88
Er	11.67	10.65	12.34	11.44	12.32	13.15	13.8	12.55	14.55	15.94	15.94	19.33
Tm	2.15	1.7	1.85	1.91	1.99	2.23	2.34	2.04	2.51	2.39	2.64	2.93
Yb	16.58	12.99	15.14	13.93	16.22	17.56	17.51	14.8	17.1	18.69	18.52	20.69
Lu	2.28	2.04	2.26	2.12	2.46	2.63	2.58	2.4	2.69	2.82	2.97	3.34
Hf	3.8	2.29	2.91	3.13	3.86	4.56	3.97	3.65	3.97	4.54	4.3	5.54
Ta	0.06	0.059	0.117	0.097	0.141	0.181	0.106	0.088	0.137	0.161	0.15	0.145
Pb	0.626	0.537	0.585	0.623	0.48	0.585	0.502	0.51	0.518	0.773	0.528	0.815
Th	0.444	0.204	0.643	0.339	0.471	1.004	0.396	0.288	0.843	1.538	0.839	0.588
U	0.183	0.188	0.176	0.185	0.298	0.35	0.224	0.157	0.285	0.347	0.308	0.225