UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**ESTUDO DA FUSÃO DE ROCHAS MÁFICAS PORTADORAS DE
HORNBLENDAS NA FÁCIES GRANULITO, EXEMPLO DO
ANFIBOLITO CAFELÂNDIA, COMPLEXO BARRO ALTO, GO**

Roberta Pisanelli Lima

Orientador: Prof. Dr. Renato de Moraes

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO
Programa de Pós-Graduação em Mineralogia e Petrologia

SÃO PAULO
2011
(Versão corrigida)

Resumo

O anfibolito Cafelândia faz parte da Sequência Serra da Malacacheta, Complexo Barro Alto, GO. Por ser rocha com bandamento composicional bem definido, o anfibolito tem sido interpretado como produto de metamorfismo de gabro acamadado. Entretanto, uma das feições que esse bandamento composicional apresenta é a presença de veios de leucossoma paralelos à foliação da rocha. O contato transicional entre o anfibolito e alguns dos veios de leucossoma indicam que os veios foram formados por fusão *in situ*. O objetivo do presente trabalho é investigar o processo de fusão que afetou a rocha, utilizando descrições macroscópicas, microscópicas e análises químicas de minerais em diversos contextos texturais.

O bandamento composicional é definido pela variação na proporção modal de hornblenda, plagioclásio, titanita, clinopiroxênio, granada e quartzo. Veios de leucossoma com porfiroblastos de hornblenda, concordantes ou discordantes da foliação são observados reforçando o bandamento. No topo estrutural do anfibolito ocorrem camadas com mais de 70% de hornblenda e outras dominadas por clinopiroxênio e granada. Ortopiroxênio é raro e não é possível ter certeza se os grãos presentes são reliquiares do protolito ígneo ou se são metamórficos. As camadas ricas em granada e clinopiroxênio não ultrapassam espessuras maiores que 5 a 10 cm. Na porção basal do anfibolito a proporção de hornblenda é menor e a proporção de clinopiroxênio e granada maior, ocorrendo ortopiroxênio em alguns afloramentos. Os porfiroblastos de hornblenda do leucossoma são substituídos por clinopiroxênio e rara granada.

Diferenças sutis nas composições dos grãos de hornblenda e clinopiroxênio do anfibolito Cafelândia e do leucossoma ocorrem, mas são mascaradas pela influência da composição da banda na composição dos minerais. De modo geral, a hornblenda no leucossoma é mais rica em Si e Mg do que os grãos da matriz, enquanto o clinopiroxênio do leucossoma é mais rico em Al. Micro-exsoluções no clinopiroxênio do leucossoma também impedem a comparação da sua composição “real” com os grãos da matriz da rocha.

Cálculos termobarométricos foram feitos em amostras do topo e da base estrutural do anfibolito utilizando o termômetro granada-clinopiroxênio e o barômetro granada-clinopiroxênio-plagioclásio-quartzo, além do programa THERMOCALC. A

termobarometria convencional fornece valores P - T menores para temperatura e similares de pressão aqueles calculados com o THERMOCALC e não são muito diferentes dos que já foram calculados previamente, com valores para o topo de 870 °C e 10,9 kbar e para a base de 881 °C e 9,8 kbar. Se quartzo não é usado nos cálculos P - T , acréscimo de 2 a 3 kbar ocorre nos resultados.

Os dados P - T calculados são compatíveis ou algo inferiores aos resultados experimentais de fusão de rochas máficas contendo hornblenda, produção de líquido tonalítico e resíduo contendo clinopiroxênio e granada. A presença de hornblenda dentro do leucossoma do topo da unidade pode estar associada com influxo de H_2O no sistema durante a fusão, diferente do que ocorre na base do corpo. É possível que o líquido que se encontrava na porção basal esvai em direção as porções superiores do anfibolito, reidratando a rocha e formando porfiroblastos de hornblenda dentro do leucossoma do topo.

Uma conclusão importante tirada aqui é que o protolito do anfibolito Cafelândia pode ser o anfibolito da base da sequência Juscelândia, sobreposta, e que o bandamento composicional foi gerado por metamorfismo, fusão e segregação/perda do líquido e não por metamorfismo de gabbro acamadado.

Abstract

The Cafelândia amphibolite is part of the Serra da Malacacheta sequence, Barro Alto Complex, GO. As it is a rock with well-defined compositional banding, the amphibolite has been interpreted as a product of metamorphism of layered gabbro. However, a feature that reinforces the banding is the presence of leucosome veins, which are mainly parallel to the rock foliation. The transitional contact between amphibolite and some of the veins of leucosome indicate that the veins were formed by *in situ* melting. The purpose of this study is to investigate the melting process that affected the rock using macroscopic and microscopic descriptions, as well as chemical analysis of minerals in various textural contexts.

The compositional banding is defined by variation in modal proportion of hornblende, plagioclase, titanite, clinopyroxene, garnet and quartz. Veins of leucosome with porphyroblasts of hornblende, concordant or discordant to foliation are observed, reinforcing the banding. At the structural top, layers of amphibolite occur with more than 70% of hornblende and others are dominated by clinopyroxene and garnet. Orthopyroxene is rare and its metamorphic origin cannot be assured, being possible that these grains are relicts of the igneous protolith. The garnet and clinopyroxene rich layers do not exceeding thicknesses greater than 5 to 10 cm. In the basal portion hornblende proportion is much smaller, but clinopyroxene and garnet are larger. Orthopyroxene occurs in some outcrops. The porphyroblasts of hornblende from the leucosome are replaced by clinopyroxene and rare garnet.

Subtle differences in the composition of the of hornblende and clinopyroxene grains in the Cafelândia amphibolite and leucosome occur, but are masked by the influence of the bulk composition of each band in the composition of minerals. In general, the hornblende in the leucosome is richer in Si and Mg than the matrix grains, whereas the leucosome clinopyroxene is richer in Al. Micro-exsolutions in clinopyroxene in the leucosome also hampers the comparison of its "real" composition with the grains of the rock matrix.

Thermobarometric calculations were done on samples from the structural top and bottom of amphibolite, using the garnet-clinopyroxene thermometer and garnet-clinopyroxene-plagioclase-quartz barometer, besides the THERMOCALC. The

conventional thermobarometry provides lower P - T values for temperature and similar pressure to those calculated with the THERMOCALC, and results are not very different from those that have been previously calculated. Results for the top are 870 °C and 10.9 kbar and for the basis 881 °C and 9.8 kbar. If quartz is not used in the P - T calculations, raise of 2 to 3 kbar occurs in the results.

The calculated P - T data are compatible or something lower than the results of experiments for melting of hornblende-bearing mafic rocks with production tonalitic liquid and clinopyroxene and garnet residue. The hornblende-bearing leucosome of the top of the unit may be associated with influx of H₂O in the system during melting, unlike what occurs at the base of the body. It is also possible that the liquid formed in basal portion oozes toward the upper portions of amphibolite, rehydrating it to form the hornblende porphyroblasts within the leucosome.

An important conclusion drawn here is that the protolith of amphibolite Cafelândia can be bottom amphibolite of the Juscelândia sequence, which overly the Cafelândia amphibolite, and that the banding was generated by metamorphism, melting and segregation / loss of melt and not by metamorphism of layered gabbro.

Agradecimentos

Agradeço à FAPESP pelo financiamento do projeto (04/09682-8) e ao CNPq pela bolsa de estágio (135735/2008 4).

Gostaria de agradecer em especial ao professor Renato que, acredito que como poucos, sempre esteve presente, teve muita paciência, foi compreensivo, companheiro e um grande orientador. Muitíssimo obrigada!

Aos professores Gergely Szabó, Mário da Costa Campos e Lucelene Martins pela atenção e incentivo ao longo de todos esses anos. Devo considerar também a ajuda e os conselhos que me foram dados por Emília Schutesky.

Agradeço a todos que contribuíram para a realização desse projeto, principalmente ao Marcos Mansuetto do Laboratório de Microsonda Eletrônica e ao José Paulo do LTA pela ajuda e orientação. Também agradeço aos funcionários da gráfica do Instituto de Geociências por serem atenciosos e prestativos.

Às amigas que estiveram presentes ao longo deste período e também dos outros: Ana Xup's, Ana Treme, Maira Sica, Talita Xoca, vocês são muito queridas e sei que sempre poderei contar com vocês! Muitíssimo obrigada também à Thais Tchitcho e Brenda Kúp's pela força, incentivo, ajuda e companheirismo de todos os momentos. Adoro vocês!

Sala B-9!!! Adorei conhecer vocês: Diana Did's, Felix GG, Leonardo Harry e Pedro Porra, além do nosso veterano de sala Rafael Vivi. Agradeço por todas as conversas geológicas ou não geológicas que rolaram na sala mais divertida do corredor! Pela prestatividade e atenção! Vocês são 10! Muito obrigada!

À minha família pela compreensão e carinho que só ela pode oferecer e em especial ao Rogério Brandi que esteve ao meu lado em todos os momentos! Muito obrigada!

Índice

1. INTRODUÇÃO	1
1.1 Objetivos	2
1.2 Caracterização do problema.....	2
2. LOCALIZAÇÃO E ACESSO.....	4
3. MATERIAIS E MÉTODOS	4
4. CONTEXTO GEOLÓGICO	6
4.1 Faixa Brasília	6
4.2 Complexos máfico-ultramáficos acamadados	8
5. GEOLOGIA LOCAL E DESCRIÇÃO DOS AFLORAMENTOS	13
5.1 Anfibolito Cafelândia e rochas associadas	13
6. PETROGRAFIA DO ANFIBOLITO CAFELÂNDIA	25
a) Topo do anfibolito:	26
b) Base do anfibolito:.....	42
7. QUÍMICA MINERAL	54
7.1 Introdução	54
7.2 Química mineral do anfibolito Cafelândia.....	57
7.3 Anfibólio – Hornblenda	59
7.4 Granada.....	66
7.5 Piroxênio.....	72
7.6 Plagioclásio	80
8. METAMORFISMO E FUSÃO	87
8.1 Introdução – Geotermobarometria.....	87
8.2 Metamorfismo e fusão de rochas máficas.....	88
9. DISCUSSÕES E CONCLUSÃO.....	98
10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	100

Índice de figuras

Figura 1: Mapa de localização e acesso a Goianésia.....	4
Figura 2: Unidades tectônicas da Faixa Brasília.	7
Figura 3: Mapa geológico do cinturão granulítico.	8
Figura 4: Comparativo das colunas estratigráficas/estruturais dos três complexos.	10
Figura 5: Complexo Barro Alto.....	12
Figura 6: Mapa geológico esquemático da Sequência Juscelândia e parte do Complexo Barro Alto, incluindo o anfibolito Cafelândia, na região de Goianésia.	15
Figura 7a e 7b: Classificação geral dos anfíbólios das análises de hornblenda do anfibolito Cafelândia.	62
Figura 8: Gráfico de troca tschermak dos grãos de hornblenda.	65
Figura 9: Gráfico de Ti vs. Mg dos grãos de hornblenda do anfibolito Cafelândia.	65
Figura 10: Perfis composicionais dos cristais de granada das amostras de topo do anfibolito Cafelândia.	71
Figura 11: Perfis composicionais dos cristais de granada das amostras de base do anfibolito Cafelândia.	72
Figura 12: Perfil composicional do clinopiroxênio do topo envolvendo valores de X_{Mg} , Al^{IV} e Al^{VI}	76
Figura 13: Perfil composicional do clinopiroxênio na base envolvendo valores de X_{Mg} , Al^{IV} e Al^{VI}	77
Figura 14: Gráficos dos vetores de troca mais representativos dos cristais de clinopiroxênio.....	79
Figura 15: Gráficos de perfis composicionais das frações molares do plagioclásio de amostras de topo do anfibolito Cafelândia.	85
Figura 16: Gráficos de perfis composicionais de frações molares dos membros finais de plagioclásio de amostras de base do anfibolito Cafelândia.	86
Figura 17: Diagramas P - T esquemáticos.....	88
Figura 18: Paragênese Hbl-Opx-Cpx-Grt-Líquido.....	97

Índice de tabelas

Tabela 1: Íons mais comuns presentes na crosta da Terra.....	55
Tabela 2: Relação de lâminas e contextos texturais dos grãos de anfíbólio.....	61
Tabela 3: Distribuição dos cristais de granada.	67
Tabela 4: Distribuição dos cristais de clinopiroxênio	74
Tabela 5: Distribuição dos cristais de plagioclásio	82
Tabela 6: Fórmulas estruturais dos principais minerais em equilíbrio.....	94
Tabela 7: Temperaturas calculadas para as amostras selecionadas do anfibolito Cafelândia.....	95
Tabela 8: Pressões calculadas para as amostras do anfibolito Cafelândia.	95
Tabela 9: Pressão e temperatura estimados com o THERMOCALC.....	96

Índice de pranchas

Prancha 1 – Topo do anfibolito Cafelândia	17
Prancha 2 – Topo do anfibolito Cafelândia	19
Prancha 3 – Topo do anfibolito Cafelândia	21
Prancha 4 – Base do anfibolito Cafelândia.....	23
Prancha 5 – Base do anfibolito Cafelândia.....	24
Prancha 6 – Topo / Banda rica em hornblenda.....	28
Prancha 7 – Topo / Banda rica em hornblenda.....	30
Prancha 8 – Topo / Banda rica em hornblenda e banda rica em clinopiroxênio	32
Prancha 9 – Topo / Banda rica em clinopiroxênio	35
Prancha 10 – Topo / Banda rica em clinopiroxênio e leucossoma.....	37
Prancha 11 – Topo / Leucossoma.....	39
Prancha 12 – Leucossoma	41
Prancha 13 – Base / Banda rica em hornblenda	44
Prancha 14 – Base / Banda rica em clinopiroxênio	47
Prancha 15 – Base / Banda rica em clinopiroxênio e leucossoma.....	49
Prancha 16 – Base / Leucossoma	51
Prancha 17 – Base / Leucossoma	53

ANEXOS

ANEXO 1 – Análises de química mineral da hornblenda

ANEXO 2 – Análises de química mineral do clinopiroxênio

ANEXO 3 – Análises de química mineral do plagioclásio

ANEXO 4 – Análises de química mineral da granada

1. INTRODUÇÃO

Os granulitos são rochas residuais, geradas através da fusão de protolito com subsequente separação e extração do material fundido (Fyfe, 1973). As paragêneses dos granulitos são constituídas principalmente por minerais anidros, sendo o ortopiroxênio diagnóstico. Essa definição é especialmente verdadeira para rochas ricas em quartzo e com micas (muscovita e/ou biotita), sejam quartzo-feldspáticas ou pelíticas, mas o quadro é diferente para o caso das rochas máficas portadoras de hornblenda. Para associações iniciais anidras, a mineralogia do granulito máfico nas condições da fácies granulito depende da pressão; sendo ortopiroxênio + plagioclásio + clinopiroxênio $\pm$ granada a paragênese em pressões intermediárias e clinopiroxênio + quartzo + granada em pressões elevadas, paragênese que marca a transição entre os fácies granulito e eclogito (Green & Ringwood, 1967).

Rochas máficas com hornblenda são comuns em terrenos metamórficos, desde a fácies xisto verde superior, passando pela fácies anfibolito até chegar na fácies granulito e eclogito. Entretanto é questionada a coexistência das fases clinopiroxênio, quartzo, granada e plagioclásio em rochas máficas com hornblenda (Pattison, 2003), pois o quartzo ocorre em baixa proporção modal e deve ser consumido em reações de desidratação ou de fusão antes da hornblenda. Deste modo, em condições mais elevadas de temperatura ($T > 800\text{ }^{\circ}\text{C}$), a hornblenda deve entrar em fusão, em presença de água ou não, e produzir resíduo com piroxênio $\pm$ granada + líquido silicático, mas sem quartzo no estado sólido (Woff & Wyllie 1993, 1994; Hartel & Pattison, 1996; Pattison, 2003; Lima *et al.*, 2007). Em virtude da menor proporção modal, o quartzo é consumido antes da hornblenda nas reações de fusão, sendo que a hornblenda sofre fusão em intervalo amplo de temperatura, sobrepondo-se ao da fácies granulito. Assim, a presença de hornblenda em granulitos é comum, seja na matriz da rocha ou no leucossoma. Nesse último caso, a presença da hornblenda implica na fusão em presença de água ou através da cristalização tardia direto do líquido saturado ou sub-saturado em água. Em condições de temperaturas elevadas, junto ao leucossoma ocorrem minerais anidros, tais como granada, clino- e ortopiroxênio.

O presente projeto tem como tema principal o entendimento da fusão em rochas máficas com hornblenda em condições da fácies granulito, apontando as principais texturas da rocha e do leucossoma, assim como a associação mineral e a composição química dos minerais de cada banda e do leucossoma.

1.1 Objetivos

O projeto tem por objetivo a investigação da fusão em rochas máficas com hornblenda em condições da fácies granulito. Para isso será usado como exemplo o anfibolito Cafelândia, pertencente ao Complexo Barro Alto, GO; que atingiu condições de fácies granulito (Moraes, 1997). Os objetivos secundários são:

- 1 – determinar as paragêneses do pico do metamorfismo da fácies granulito no anfibolito Cafelândia, portador de hornblenda e submetido á fusão;
- 2 – estabelecer a composição química dos minerais da rocha que ocorram no leucossoma e na matriz;
- 3 – estabelecer o caráter do leucossoma, ou seja, se representa o líquido gerado, se é cumulático e residual, se houve perda de líquido ou não;

1.2 Caracterização do problema

O presente estudo é baseado na investigação da fusão de rochas com hornblenda na fácies granulito. O alvo de investigação é o anfibolito Cafelândia (Moraes, 1997), parte do Complexo Barro Alto, Goiás (Fuck *et al.*, 1981, Girardi *et al.*, 1981, Moraes, 1997). O anfibolito Cafelândia é bandado, com hornblenda, plagioclásio, clinopiroxênio, granada, quartzo, titanita, ilmenita e raro ortopiroxênio. Apresenta variação composicional e leucossoma em veios concordantes e discordantes ao bandamento. A presença de leucossoma indica que a rocha passou pelo campo de fusão

e embora a quantidade de hornblenda seja elevada, a presença de ortopiroxênio indica condições da fácies granulito.

A formação dessas rochas envolveu o processo de fusão com o cruzamento de reações de fusão de hornblenda, com excesso de água ou não, com produção de líquido silicático e resíduo sólido. Não existe consenso nos resultados experimentais disponíveis na literatura quanto à presença de quartzo como resíduo sólido (Wolff & Wyllie, 1993, 1994; Patiño Douce & Beard, 1995), sendo que o tema tenha sido investigado de forma teórica (Pattison, 2003) e examinado em rochas do Canadá (Hartel & Pattison, 1996) e Brasil (Moraes, 1997; Lima *et al.*, 2007).

A paragênese do pico metamórfico é constituída de clinopiroxênio + granada + plagioclásio + hornblenda $\pm$ ortopiroxênio. Como a proporção da hornblenda é maior do que a de quartzo, quando a rocha entra em fusão o último é consumido antes que a hornblenda. Isso implica que o quartzo presente na rocha foi formado posteriormente, durante o resfriamento, pela cristalização do líquido silicático remanescente e aprisionado na rocha e, portanto, não faz parte da associação do pico metamórfico (Lima *et al.*, 2007).

Os cálculos termobarométricos foram feitos com a associação clinopiroxênio-granada-plagioclásio-hornblenda. Os valores de temperatura e pressão calculados para as amostras estudadas estão em torno de 870° C e 10,9 kbar. As condições calculadas são compatíveis com os resultados experimentais de fusão de rochas máficas contendo hornblenda, produção de líquido granítico e resíduo contendo clinopiroxênio + granada, como observado nos afloramentos do anfibolito Cafelândia (Moraes, 1997; Lima *et al.*, 2007).

Desta forma, com o intuito de estudar o processo de fusão e as relações entre líquido e resíduos sólidos do anfibolito Cafelândia, a investigação da química da hornblenda, piroxênio, granada e plagioclásio pertencentes às diferentes bandas composicionais e leucossoma observados na rocha é essencial.

2. LOCALIZAÇÃO E ACESSO

A rocha estudada encontra-se na porção central de Goiás, a norte da cidade de Goianésia, entre Juscelândia e Santa Rita do Novo Destino. Para o acesso à área mapeada, a partir do Distrito Federal, toma-se a rodovia BR 070 até Pirenópolis. Através da rodovia GO 338, não pavimentada, pode-se chegar à Goianésia. Outra alternativa, de Pirenópolis, pode-se chegar a Jaraguá pela rodovia Belém – Brasília (BR 153), seguindo-se a GO 080 até Goianésia (Fig. 1). Estradas vicinais partem de Goianésia e permitem acesso às localidades da área de trabalho.

Figura 1: Mapa de localização e acesso a Goianésia, cidade próxima à área estudada (extraído e modificado do Mapa Político do IBGE).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Para a investigação da fusão de rochas com hornblenda foram coletadas amostras de campo, feitas descrições detalhadas e realizadas análises pontuais para a determinação de química de minerais com a microsonda eletrônica. Para isso as seguintes etapas foram realizadas para o desenvolvimento do trabalho:

- Revisão bibliográfica – sobre a geologia regional da área investigada, conceitos básicos de termobarometria, estruturas e texturas em migmatitos, química dos principais minerais a serem investigados e trabalhos anteriores sobre fusão de rochas máficas em fácies granulito.
- Trabalho de campo – foi feita uma etapa de trabalho de campo para descrições detalhadas da rocha observada em afloramento, destacando sua relação de contato e mineralogia das diversas bandas do anfibolito e do leucossoma.
- Petrografia – a petrografia foi realizada para o reconhecimento das paragêneses e microestruturas pertinentes à cristalização de minerais direto de líquido silicático. As descrições iniciaram-se com a observação detalhada das amostras de mão coletadas no campo identificando os principais minerais, texturas e estruturas. Cada amostra foi cortada em 4 a 8 fatias para a observação das relações estruturais da rocha com o leucossoma e porfiroblastos. Posteriormente foram confeccionadas 56 seções delgadas para descrição microscópica, destacando as principais texturas e associações minerais. A petrografia foi feita com microscópio Olympus BX40. Além disso, foi utilizado o fotomicroscópio Olympus BXP50 com câmera acoplada Olympus C5050 para a captura das fotomicrografias destacando as principais feições texturais.
- Química mineral e termobarometria – após as descrições petrográficas, foram selecionadas oito amostras para a coleta de dados de química dos minerais. As composições dos minerais foram obtidas usando a microsonda eletrônica JEOL, modelo JXA 8600 do Laboratório de Microsonda Eletrônica da Universidade de São Paulo. As condições de análise foram de 15kV e 20nA.

Para o tratamento dos dados, cálculo de fórmula estrutural e análise dos principais vetores de troca de cada mineral, foi utilizado o programa MINPET® (Richards, 1995) para hornblenda e para clinopiroxênio, plagioclásio e granada, foi utilizado o programa Ax de Tim Holland. Para os cálculos de P e T do metamorfismo, são utilizados termobarômetros convencionais (granada-clinopiroxênio e granada-clinopiroxênio-quartzo-plagioclásio) e o THERMOCALC (Powell & Holland, 1988), este baseado em banco de dados termodinâmicos internamente consistentes.

4. CONTEXTO GEOLÓGICO

4.1 Faixa Brasília

Em 1967, Almeida apresentou uma sistematização da organização tectônica da América do Sul ao ordenar o território brasileiro em antigos fragmentos continentais retrabalhados, separados por faixas orogênicas mais novas. No que diz respeito ao território brasileiro, as faixas orogênicas foram reconhecidas como as províncias estruturais Borborema (nordeste-leste), Tocantins (centro-leste e parte centro-oeste), Pampeano (sudoeste central) e Mantiqueira (sudeste-leste) (Almeida *et al.*, 1977; 1981).

A província Tocantins, assim como as outras, inicia seu desenvolvimento no Neoproterozóico em evento de proporções globais, marcado por rifteamento e dispersão de fragmentos continentais. O evento foi denominado de Tafrogênese Toniana (900-800 Ma), produto da fissão do supercontinente Rodínia, que foi seguido pelo processo de convergência destes fragmentos continentais que resultaram na aglutinação do supercontinente Gondwana (Brito Neves *et al.*, 1996, 1999; Almeida *et al.*, 2000). Os episódios colisionais sucessivos perduraram até aproximadamente 520 Ma no Cambriano (Unrug, 1997), sendo coletivamente referidos, na América do Sul, como ciclo, evento, colagem ou orogênese Brasileira (Trompette, 1994).

A Província Tocantins (Almeida *et al.*, 1977, 1981; Marini *et al.*, 1984) localiza-se na região central do Brasil e constitui um sistema de orógenos brasileiros, caracterizados por cinturões de dobras e empurrões, denominados Faixas Paraguai, Araguaia e Brasília, resultantes da convergência e colisão de três blocos: Cráton Amazônico, a oeste; Cráton São Francisco, a leste; e Cráton Paranapanema, a sudoeste, este encoberto pelas rochas da Bacia do Paraná (Fig. 2; Fuck *et al.*, 1994). A formação dessas faixas de dobramentos é marcada por riftes, margens continentais passivas e ativas, incluindo vulcanismo-plutonismo de arco e restos ofiolíticos.

A Faixa Brasília (Marini *et al.*, 1981; Fuck, 1994; Dardenne, 2000) é uma das zonas colisionais neoproterozóicas que compõe a Província Tocantins, e apresenta extensão de aproximadamente 1000 km, sendo controlada pelo formato da margem continental oeste do paleocontinente São Francisco. A Faixa Brasília pode ser dividida tectonicamente em dois ramos de orientação distinta: a Faixa Brasília Setentrional com

orientação NE e a Faixa Brasília Meridional com orientação NW, ambas em contato com o Cráton São Francisco, formando a Megaflexura dos Pirineus (Araújo Filho, 1999), marcada por lineamentos de orientação EW, com concavidade voltada para leste, em conformidade com a protuberância do contorno original do Cráton São Francisco.

Ao longo da borda ocidental do paleocontinente São Francisco, durante a deriva continental do episódio tafrogenético, desenvolveram-se bacias sedimentares de margem passiva. Nestas bacias depositaram-se as rochas dos grupos Bambuí, Vazante, Canastra, Ibiá, Araxá, Andrelândia e Paranoá (Valeriano *et al.*, 2004). De modo geral, de leste para oeste, a compartimentação tectônica é definida pelos terrenos que se acrescionaram na borda oeste do Cráton São Francisco: metassedimentos parautóctones do Grupo Bambuí (Rimann, 1917), na zona de antepaís; metassedimentos alóctones da margem passiva neoproterozóica e rochas do seu embasamento; o Maciço Goiano, microcontinente de rochas arqueanas e mesoproterozóicas e o Arco Magmático de Goiás, gerando magmatismo pré colisional, quando da sua acreção (Fuck *et al.*, 1994; Valeriano *et al.*, 2004).

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

4.2 Complexos máfico-ultramáficos acamadados

Os complexos máfico-ultramáficos acamadados estão inseridos no Maciço de Goiás, fragmento continental pequeno que colidiu contra a margem ocidental do Cráton São Francisco e apresenta evolução crustal complexa. Ao sul, aflora embasamento granito *greenstone* (Crixás, Pilar de Goiás, Guarinos e outros menores – Queiroz *et al.*, 1998) e ao norte observam-se sequências vulcanossedimentares (Juscelândia, Palmeirópolis e Indaianópolis) de médio grau metamórfico em associação com os complexos máfico-ultramáficos acamadados (Barro Alto, Niquelândia e Cana Brava) (Girardi *et al.*, 1986, 1978; Fuck *et al.*, 1981; Correia, 1994; Ferreira Filho, 1994; Moraes, 1997; Valeriano *et al.*, 2004). As sequências vulcanossedimentares e os complexos acamadados configuram o cinturão granulítico máfico-ultramáfico, acamadado, de idade neoproterozóica (Ferreira Filho *et al.*, 1994; Suita, 1996) que delimita a borda oriental do Maciço de Goiás (Fig. 3, Fuck *et al.*, 1994) e estende-se descontinuamente pelos estados de Goiás e Tocantins, apresentando direção NNE e extensão de cerca de 350 km, e que podem ter constituído um único corpo (Pimentel *et al.*, 2000).

Figura 3: Mapa geológico do cinturão granulítico de idade neoproterozóica (Ferreira Filho *et al.*, 1994, Suita, 1996) composto pelos complexos Barro Alto, Niquelândia e Cana Brava. O cinturão delimita o Maciço de Goiás.

Os complexos de Barro Alto, Niquelândia e Cana Brava são cobertos tectonicamente a oeste pelas sequências vulcanossedimentares de Juscelândia, Indaianópolis e Palmeirópolis (Figura 3, Pimentel *et al.*, 2006). Características petrológicas, geoquímicas e geocronológicas permitem ressaltar alguns aspectos importantes: os complexos sofreram metamorfismo de alto grau e são constituídos por duas associações ígneas distintas e de idades diferentes (sistemas magmáticos petrologicamente distintos); as sequências vulcanossedimentares compreendem rochas vulcânicas bimodais metamorizadas nas condições das fácies xisto verde e anfibolito, contendo depósitos metassedimentares químicos e detríticos (Ferreira Filho, 1994; Ferreira Filho *et al.*, 1998a, 2010). As características litogeoquímicas das rochas vulcânicas máficas são típicas de basaltos de cadeia meso-oceânica (Araujo e Nilson, 1987; Kuyumjian e Danni, 1991), provavelmente representando estágios precoces de desenvolvimento de assoalho oceânico (Moraes *et al.*, 2003).

As duas associações ígneas magmáticas mostram idades distintas de 1,25 Ga e 0,79 Ga, segundo dados U-Pb em zircões (SHRIMP e ID-TIMS, Ferreira Filho *et al.*, 2010) obtidos em diferentes regiões e litotipos do cinturão. O evento de 1,25 Ga equivale às intrusões acamadadas superiores e são constituídas por gabro, olivina gabro, anfibolito, troctolito, leucotroctolito, anortosito e piroxenito (Ferreira Filho, 1994; Ferreira Filho *et al.*, 1994, 1998a). Neste evento foram formadas as sequências vulcanossedimentares Juscelândia, Indaianópolis e Palmeirópolis e as intrusões máficas acamadadas Serra dos Borges e Serra da Malacacheta (Moraes *et al.*, 2006, Ferreira Filho *et al.*, 2010). A série acamadada inferior formou-se no evento mais recente de 0,79 Ga, sendo responsável pela formação das três grandes intrusões acamadadas, os complexos Barro Alto, Niquelândia e Cana Brava. Estes são constituídas por sucessivas camadas de norito, dunito, harzburgito, ortopiroxênito, websterito e gabronorito.

Ambas as associações foram afetadas por metamorfismo de alto grau (Danni *et al.*, 1982) e tectonismo em evento mais recente de 0,76 Ga (Ferreira Filho *et al.*, 2010). O metamorfismo é crescente de oeste para leste, e varia da fácies anfibolito a granulito, com porções isoladas das séries inferiores dos Complexos de Barro Alto (Moraes & Fuck, 2000) e Niquelândia (Ferreira Filho *et al.*, 1998a) que apresentam condições metamórficas de temperatura ultra-alta (> 900°C). Entretanto, apesar da deformação e metamorfismo, ainda observam-se feições ígneas preservadas (Ferreira Filho *et al.*, 1994). Eventos posteriores a 0,63 Ga configuraram as feições atuais deste cinturão, e

provavelmente foram causados pelo fechamento final do oceano e colisão continental entre os continentes São Francisco e Amazônico.

Ferreira Filho *et al.*, (2010) utilizaram os termos complexo Serra dos Borges (rochas gabróicas interacamadas) e complexo Serra da Malacacheta (rochas plutônicas heterogêneas e seus produtos deformados e metamorfizados) para renomear as séries acamadadas superiores (US) dos mesmos autores (1998a). Os mesmos autores (2010) apresentaram resumo atualizado das sequências vulcanossedimentares e consideraram o complexo Serra da Malacacheta como pluton máfico intrusivo na Sequência Juscelândia. Já as associações ígneas neoproterozóicas (0,79 Ga) que constituem os complexos Barro Alto, Niquelândia e Cana Brava (Ferreira Filho *et al.*, 2010) equivalem as séries acamadadas inferiores (LMZ), as zonas ultramáficas (UZ) e as zonas máficas superiores (UMZ) de Ferreira Filho *et al* (1998a), vide figura 4 de comparativo dos três complexos.

Figura 4: Comparativo das colunas estratigráficas/estruturais dos três complexos. Legenda colorida segue a da figura 3 e equivalem – vermelho: granitos e gnaisses paleoproterozóicos e sequencias vulcano-sedimentares; verde: Intrusões acamadadas máfica-ultramáficas Barro Alto, Niquelândia e Cana Brava; beje: Sequências vulcano-sedimentares Juscelândia, Indaiáópolis e Palmeirópolis (Modificado de Pimentel *et al.*, 2006).

A rocha a ser estudada nesta pesquisa é o anfibolito Cafelândia e é considerado por Moraes e Fuck (1994) como rochas plutônicas máficas transformadas. O protolito do anfibolito Cafelândia apresenta idade de cristalização de 1280 ± 14 Ma (U-Pb em

zircão, Suita *et al.*, 1994) e de metamorfismo de 766 Ma (Sm-Nd, Grt – Cpx – rocha total, Moraes *et al.*, 2006), ocorre na Sequência Serra da Malacacheta (Moraes, 1997) e pertence ao Complexo Barro Alto (Fuck *et al.*, 1981; Girardi *et al.*, 1981).

O Complexo Barro Alto é composto por três unidades principais (Fuck *et al.*, 1981): a Sequência granulítica Serra de Santa Bárbara, a Sequência gabro-anortosítica Serra da Malacacheta e a Sequência vulcanossedimentar Juscelândia (Fig. 5, Fuck *et al.*, 1994). A sequência Serra de Santa Bárbara é composta por granulito máfico, félsico e por sillimanita-granada quartzito. A sequência Serra da Malacacheta apresenta anortosito, gabro-anortosito e granada anfibolito bandado, o anfibolito Cafelândia (Fuck *et al.*, 1981; Moraes, 1997). O anfibolito Cafelândia é rocha com bandas ricas em hornblenda e pouco plagioclásio, bandas com clinopiroxênio e granada e leitos intermediários com variações modais entre esses dois tipos (Moraes, 1997). Ocorre leucossoma de composição tonalítica com hornblenda, granada, clinopiroxênio e raro ortopiroxênio. Esta rocha passou por processo de fusão por desidratação que é acompanhada pela formação de minerais anidros (granada e clinopiroxênio) e líquido quartzo-feldspático, em semelhança às rochas descritas por Hartel & Pattison (1996). As condições de metamorfismo foram calculadas em 770 °C e 8,5 kbar (Moraes, 1997).

Uma visão diferente para a origem do Complexo Barro Alto foi apresentada por Girardi *et al.* (1981) que defendem a origem a partir da cristalização de magma basáltico com duas celas de convecção, dando origem a dois sistemas de diferenciação diferentes. Isso deu origem à classificação estratigráfica a seguir: zona superior (gabros ofíticos a blastofíticos), zona anortosítica (metagabros), zona ultramáfica (metaperidotitos serpentinizados) e à zona basal (metagabros e anfibolitos).

Figura 5: Complexo Barro Alto (extraído e modificado de Ferreira Filho *et al.*, 2010).

A idade e origem desses complexos sempre foram matéria de discussão e controvérsia. Diversos autores discutem sobre a origem desses complexos e muitos modelos foram gerados com a finalidade de descobrir o protólito, a formação e a evolução das rochas. Desta forma, os complexos já pertenceram ao Arqueano e ao Paleoproterozóico, e no início dos anos 90, grande quantidade de dados geocronológicos começou a ser obtida por diversos métodos. Para as rochas do Complexo Barro Alto, as idades de cristalização mudaram com o avanço dos métodos geocronológicos aplicados, e mais recentemente idades neoproterozóicas são admitidas como as mais prováveis para a cristalização do magma e o metamorfismo subsequente. A idade de cristalização da unidade basal dos complexos Barro Alto, Niquelândia e Cana Brava é tida como em torno de 0,80 a 0,79 Ga (Correia *et al.*, 1996; Ferreira Filho *et al.*, 2010) e do metamorfismo ca. 0,76 Ga (Moraes *et al.*, 2006; Ferreira Filho *et al.*, 2010). Para a sequência Juscelândia a idade de cristalização das rochas vulcânicas está entre 1,29 e 1,35 Ga (Ferreira Filho e Pimentel, 2000; Correia *et al.*, 1999; Moraes *et al.*, 2006). Idades feitas pelo método U-Pb em zircão indicam idades entre 1,28 e 1,35 Ga para as rochas da sequência Serra da Malacacheta e unidades correlatas (Suita, 1994; Ferreira Filho *et al.*, 2010).

Assim, em função do reduzido tempo entre o evento extensional que resultou na intrusão das séries inferiores e o metamorfismo em fácies granulito, sugere-se que as mesmas representem ambiente de *back-arc* instalado no Maciço de Goiás (Moraes *et al.*, 2006; Pimentel *et al.*, 2004; 2006). Em torno de 630 Ma, houve a exumação dos complexos máficos-ultramáficos até níveis crustais mais rasos, por meio do sistema de Falhas do Rio Maranhão (Pimentel *et al.*, 2004). Especula-se que a colisão com o Cráton Amazônico tenha sido responsável pela individualização dos complexos máfico-ultramáficos nesse momento (Soares *et al.*, 2006).

5. GEOLOGIA LOCAL E DESCRIÇÃO DOS AFLORAMENTOS

5.1 Anfibolito Cafelândia e rochas associadas

Os dados coletados para a descrição da geologia local são provenientes dos trabalhos de campo realizados em duas etapas: no período de 2 a 4 de junho de 2007 e no período de 2 a 4 de agosto de 2009, ambos entre as cidades de Goianésia, Juscelândia, Cafelândia e Santa Rita do Novo Destino (Figura 6). A primeira etapa fez parte do projeto de graduação, entretanto seus dados serão somados aos do projeto de mestrado com o intuito de complementar o trabalho final. O objetivo da atividade de campo foi observar detalhadamente o anfibolito Cafelândia em afloramentos e as relações de contato deste com as outras rochas (granulitos máficos, félsicos, gnaisses e quartzitos) presentes na região. Além disso, foram feitas descrições detalhadas do anfibolito Cafelândia em grandes exposições nos córregos dos Mineiros e afluentes do da Anta, nos quais várias amostras, para petrografia e geoquímica, foram coletadas.

Tanto na primeira quanto na segunda etapa de campo, no primeiro dia observaram-se quartzitos, granulitos máficos e félsicos. Estes foram observados em dois pontos principais, o primeiro ponto localizado ao longo da estrada que liga Goianésia à Cafelândia (figura 6), abrangendo os granulitos e quartzitos e o segundo ponto localizado em afluente do Córrego da Anta, na estrada de terra entre Cafelândia e Juscelândia (figura 6), abrangendo os granulitos máficos e félsicos. O granulito máfico, de um modo geral, apresenta cor preta, acinzentada, granulação fina, textura granonematoblástica e estrutura foliada. Sua composição mineralógica consiste de 35%

de plagioclásio, 35% de ortopiroxênio, 17% de clinopiroxênio, marcando a foliação da rocha, 5% de anfibólio, 5% de biotita e 3% de epidoto. Este pode apresentar localmente granada em sua composição e assim variando de 30% de clinopiroxênio, 20% de ortopiroxênio, 20% de plagioclásio, 15% de hornblenda, 10% de granada e 5% de quartzo. O granulito félsico apresenta cor cinza claro, estrutura foliada e textura granonematoblástica e é composto por ortopiroxênio, plagioclásio, quartzo, granada e biotita, onde podem ocorrer em algumas porções cordierita, sillimanita e espinélio. Entre os granulitos máficos e o anfibolito Cafelândia foi observado granada quartzito com sillimanita e cianita, de cor cinza e milonitizado. No outro afloramento, seguindo a nordeste pela estrada de terra entre Cafelândia e Juscelândia, também são observados os granulitos máficos e félsicos. O granulito félsico predomina na maior parte do afloramento e está geralmente em contato sinuoso e irregular com o granulito máfico (prancha 1a). O granulito félsico apresenta cor branca acinzentada, granulação fina a média, textura granolepidoblástica, e está intensamente foliado; a composição consiste de 25% de granada, 20% de quartzo, 20% de biotita, 25% de feldspato e 10% de ortopiroxênio. O granulito máfico, que ocorre como xenólitos no granulito félsico, apresenta cor preta, granulação fina, textura nematogranoblástica, estrutura foliada a maciça e lentes quartzo-feldspáticas. Apresenta composição mineralógica de 40% de piroxênios, 25% de granada, 25% de plagioclásio e 10% de hornblenda. Estas rochas fazem parte da Sequência Serra de Santa Bárbara, pertencente à porção basal do Complexo Barro Alto (Fuck *et al.*, 1981; Moraes, 1997).

Figura 6: Mapa geológico esquemático da Sequência Juscelândia e parte do Complexo Barro Alto, incluindo o anfibolito Cafelândia, na região de Goianésia. Modificado de Fuck *et al.* (1981) por Moraes (1997). Os pontos indicados no mapa são das amostras estudadas no presente trabalho.

Os outros dias foram dedicados aos afloramentos do anfibolito Cafelândia, localizados em três pontos: no cruzamento do Córrego dos Mineiros com o Rio dos Bois (BAR-04 - figura 6), no afluyente do Córrego Rio da Anta (BAR 10 e 11 - figura 6). Por se tratar de rocha heterogênea, o anfibolito Cafelândia foi descrito minuciosamente em diversos afloramentos, nos quais foram observadas as feições texturais e estruturais e as variações composicionais relacionadas com o topo e a base do corpo do anfibolito. A rocha é caracterizada pelo bandamento composicional dado por bandas ricas em hornblenda e plagioclásio, localmente boudinadas, intercaladas em bandas centimétricas

ricas em clinopiroxênio e granada e lentes de leucossoma que variam de milimétricas à centimétricas, paralelas ou discordantes da foliação (prancha 1b). A rocha apresenta cor preta, granulação que varia de fina-média a grossa, estrutura bandada, que pode estar boudinada ou dobrada, com a foliação principal paralela ao plano axial das dobras e textura granonematoblástica a nematoblástica. A composição mineralógica consiste de 40% de hornblenda, 35% de plagioclásio, 15% de piroxênio, 8% de granada e 2% de quartzo. O quartzo e o plagioclásio na rocha preenchem espaços entre os cristais de hornblenda, na forma de filmes ou aglomerados quartzo-feldspáticos finos, e esta, por sua vez, define a foliação, em que predominam cristais finos e, localmente, médios a grossos. Os cristais de granada e clinopiroxênio variam de finos a grossos e estão associados a presença de quartzo e plagioclásio. A foliação da rocha é marcada tanto pelos cristais de hornblenda quanto pelos veios concordantes de leucossoma.

O afloramento do Córrego dos Mineiros, que foi visitado nas duas etapas de campo, apresenta a maneira mais comum de ocorrência do anfibolito Cafelândia, com variação composicional expressa pela proporção de hornblenda, em que predomina a porção rica em hornblenda e plagioclásio, sobre a porção rica em clinopiroxênio e granada, com intercalações de veios de leucossoma paralelos e/ou difusos à foliação (prancha 1c/c'). A banda rica em hornblenda e plagioclásio é a mais comum e varia de centimétrica a métrica, apresenta cor preta, estrutura foliada, dobras intrafoliais e *boudins* (prancha 1b), textura nematoblástica com porções granonematoblásticas e composição mineralógica de 55 a 70% de hornblenda, 7 a 15% de granada, 10 a 30% de plagioclásio, 5% de quartzo e 5% de titanita, também ocorrendo raros cristais de clinopiroxênio. A banda rica em clinopiroxênio e granada é menos frequente e menos espessa, não chegando a espessura maior do que 5 cm, apresenta cor cinza, estrutura foliada, textura granonematoblástica e composição mineralógica composta de 30% de clinopiroxênio, 20% de granada, 20-35% de plagioclásio, 15-20% de hornblenda e 10-15% de quartzo. É interessante notar que esta variação também pode ser observada tanto em afloramento quanto nas fatias das amostras de mão, como visto na prancha 1d/d', com o predomínio da banda rica em hornblenda intercalada com finos veios de leucossoma, e na prancha 1e/e', em que a banda de clinopiroxênio e granada ocorre milimetricamente intercalada entre as bandas de hornblenda e entre o leucossoma.

Prancha 1 – Topo do anfibolito Cafelândia

a: Granulito félsico predomina na maior parte do afloramento e está em contato sinuoso e irregular com o granulito máfico, este ocorrendo como xenólitos (BAR-09). **b:** Anfibolito Cafelândia típico, com variação composicional definida pela intercalação de bandas mais escuras, ricas em hornblenda e plagioclásio e lentes mais acinzentadas ricas em piroxênio e granada, além de leucossomas concordantes esparsos (BAR-04). **c:** Nesta porção as bandas mais escuras, ricas em hornblenda e plagioclásio, são mais frequentes. As bandas mais acinzentadas ricas em piroxênio e granada são menos frequentes e o leucossoma ocorre esparsos, concordante e pouco espesso (BAR-04). **c':** Banda acinzentada rica em clinopiroxênio e granada pouco espessa, centimétrica, em relação a banda escura rica em hornblenda e plagioclásio (BAR-04). **d/d':** Predomínio da banda enriquecida em hornblenda intercalada entre leucossomas finos a médios, estes com inclusões de cristais de hornblenda (BAR-04 e fatia BAR-4DiII). **e/e':** As bandas enriquecidas em clinopiroxênio e granada ocorrem milimetricamente intercaladas entre as bandas ricas em hornblenda e as finas lentes leucossomáticas (BAR-04 e fatia BAR-4.1BIII). **f:** Cristais euédricos de hornblenda de granulação média a grossa, até muito grossa inclusos no leucossoma e cristais finos de hornblenda envolvendo o leucossoma (BAR-04).

O leucossoma apresenta-se deformado e varia quanto forma, continuidade e quantidade nos afloramentos descritos. No topo da unidade, os veios de leucossoma são pouco espessos, bastante frequentes e, em sua maioria paralelos à foliação principal da rocha. Os veios em que as texturas ígneas são observadas sem deformação são raros, sendo mais comum a forte deformação, podendo desenvolver estiramento mineral intenso, paralelo à foliação, textura granoblástica a protomilonítica, granulação média a grossa, quando os veios são espessos, maior que 30 cm, e granulação fina a média quando mais finos, entre 5 a 20 cm. A composição mineralógica do leucossoma pode variar de 65% a 90% de plagioclásio + quartzo e de 10% a 35% de hornblenda. Cristais de hornblenda ocorrem como porfiroblastos euédricos, variando de milimétricos a centimétricos, sendo comum observar grãos de hornblenda de granulação fina contornando as bordas dos veios de leucossoma, desde os mais espessos (prancha 1f) aos mais finos, estes formando estruturas do tipo *pintch and swell* (prancha 2a). Além da hornblenda, também ocorrem cristais de clinopiroxênio, de granulação fina à média, geralmente associados aos cristais de hornblenda (prancha 2b), granada milimétrica e raro ortopiroxênio.

Nos veios mais finos observam-se cristais de granada e clinopiroxênio. Os veios de leucossoma ora são contínuos, com espessura variando de 5 a 80 cm, ora ramificam-se nas extremidades e se coalescem com outras ramificações. Os veios discordantes apresentam-se em forma de vênulas com ramificações e adelgaçamentos e, muitas vezes, quando ramificados, tendem a seguir a foliação (prancha 2c). Nos veios discordantes também se observam porfiroblastos euédricos de hornblenda de granulação média a grossa a muito grossa e no contato com a borda cristais finos de hornblenda (prancha 2d/e/f). Subordinadamente ocorrem bolsões e veios de leucossoma de 35-40 centímetros com características diferentes, pois embora também sejam quartzo-feldspáticos, os grãos de hornblenda são sempre maiores que 1 cm, chegando a 4 cm ou mais, e abundantes, além de alguns “porfiroblastos” de zircão e de mineral do grupo do epidoto (prancha 3a). Os porfiroblastos de hornblenda apresentam deformação e alteração verde, clorita e actinolita. Nas fraturas pode ser observado mineral com hábito radial, provavelmente carbonato. Algumas feições indicam que durante a deformação a rocha encontrava-se parcialmente fundida, por exemplo, a ocorrência de leucossoma em estruturas de Riedel e nos *necks* de *boudins*, zonas de tensão e microdobras (prancha

3b/c/d). Em alguns locais, observa-se que a rocha apresenta falhas sub-paralelas ao bandamento, granulação mais fina e coloração cinza e apresenta textura milonítica.

Prancha 2 – Topo do anfibolito Cafelândia

a: Leucossoma de granulação fina, seguindo paralelamente a orientação da rocha, não possui hornblenda inclusa. Apresentam adelgaçamento e também formam estruturas do tipo *pinch and swell* (BAR-04). **b:** Predomínio da banda enriquecida em hornblenda com intercalação de finos leucossomas, estes apresentando inclusões de cristais de clinopiroxênio, hornblenda e granada (fatia BAR-4DiIV). **c:** Leucossoma em forma de bolsões e veios descontínuos, com lentes ramificadas paralelas à foliação (BAR-04). **d:** Porfiroblastos centimétricos euédricos inclusos no leucossoma (BAR-04). **e:** Nos bolsões nota-se concentração de cristais de hornblenda de granulação média a grossa (BAR-04). **f:** Leucossoma fortemente estirado com porfiroblastos de hornblenda de granulação média a grossa inclusos e cristais de granulação fina concentrados na borda (BAR-04EIV).

No afloramento do afluente do Córrego Rio da Anta, que corre paralelo à estrada de terra entre Cafelândia e Juscelândia, a feição a ser destacada é a relação de contato entre os veios de leucossoma concordantes e discordantes, pois a rocha continua com as mesmas características descritas anteriormente. A rocha apresenta veios de leucossoma milimétricos a centimétricos, concordantes ao bandamento e outros discordantes. Os veios discordantes apresentam borda retilínea e brusca, tendendo ao adelgaçamento. Estes podem ser tardios, cortando veios de leucossoma concordantes, ou contemporâneos, como veio alimentador. Além disso, são observados bolsões de granulação grossa, semelhante às venulações vistas no afloramento do Córrego dos Mineiros. Estes bolsões apresentam cor branca, granulação grossa, textura granonematoblástica, estrutura foliada e recristalizada, e estão encaixados sub-paralelos ao bandamento, pois os cristais dos bolsões estão estirados e seguem a foliação (prancha 3e).

No afloramento localizado ao longo do Córrego Monte Alegre, a rocha apresenta-se composta de aproximadamente 30% de hornblenda, 40% de clinopiroxênio, 15% de plagioclásio, 10% de granada e 5% de quartzo, sendo mais rica em clinopiroxênio do que as rochas do topo da unidade como as descritas no Córrego dos Mineiros. A banda mais escura, de cor preta, enriquecida em hornblenda e plagioclásio apresenta estrutura foliada, textura nematoblástica e composição mineralógica composta de 70% de hornblenda, 10% de plagioclásio, 10% de clinopiroxênio centimétricos, 5% de quartzo e 5% de granada milimétrica. Intercaladas com estas bandas ocorrem camadas ricas em clinopiroxênio e granada, além de finos veios quartzo-feldspáticos paralelos à foliação (prancha 3f). Ao longo do afloramento, a rocha pode apresentar maior número de lentes quartzo-feldspáticas e camadas mais espessas ricas em clinopiroxênio e granada. Esta última apresenta cor cinza, estrutura foliada, textura predominantemente nematoblástica e composição mineralógica que pode variar em porções mais ricas de clinopiroxênio com 70% de clinopiroxênio, 15% de granada, 10% de quartzo e 5% de plagioclásio a porções mais empobrecidas com 30% de clinopiroxênio, 30% de hornblenda, 15% de quartzo, 15% de granada e 10% de plagioclásio (prancha 4a). Descendo o Córrego Monte Alegre, em direção norte, a banda rica em clinopiroxênio e granada é centimétrica a métrica e maior em relação aos

outros locais e nela intercalam-se em menor proporção as bandas ricas em hornblenda (prancha 4b/c/d).

Prancha 3 – Topo do anfibolito Cafelândia

a: Leucossoma de aproximadamente 30 centímetros com porfiroblastos de hornblenda inclusa (BAR-04.1). **b** e **c:** Leucossoma ocupando o *neck* de *boudin* (BAR-04). **d:** Leucossoma ocupando zonas de cisalhamento sub-paralelas à foliação (BAR-04). **e:** Leucossoma de granulação grossa, estirado, encaixado sub-paralelo ao bandamento (BAR-08). **f:** Leucossoma quartzo-feldspático em contato com a banda escura rica em hornblenda, paralelo à foliação e com ramificações oblíquas à foliação (BAR-10).

As bandas intercalam-se ora entre finas lentes de leucossoma e ora em porções mais espessas de leucossoma. O leucossoma apresenta cor que varia de branco à amarelo/rosado, granulação de fina à média, estrutura de granular à foliada e textura nematoblásticas a porções granoblástica. Quanto à composição mineralógica, assim como nos outros veios de leucossoma, sua composição é de 40% de plagioclásio, 35% de quartzo, 13% de clinopiroxênio, 10% de hornblenda e 5% de opacos; granada é rara, mas ocorre. O contato do leucossoma com a rocha varia de brusco a transicional e paralelo à foliação. A sua espessura varia desde mais espessa com cerca de dez centímetros, até mais fina, com adelgaçamento e ramificações, estes se juntando a bolsões que se ramificam novamente, paralelamente à foliação. Observam-se dobras com eixo paralelo à Ln de estiramento afetando os veios de leucossoma, quando o veio está ramificado e em bolsões (prancha 4e). Entretanto, estes são mais ricos em quartzo e feldspato e apresentam porfiroblastos de hornblenda. Quando a espessura do leucossoma é da ordem de 1 a 5 cm, ora estão paralelos à foliação, ora difusos (prancha 4f). Em outras porções observam-se pequenas dobras e lentes com características de injeções (abruptas e discordantes) também contendo porfiroblastos de hornblenda.

De modo geral, nota-se que os veios estão conectados formando uma rede, onde os ramificados encontram-se em bolsões e posteriormente ramificam-se novamente paralelos à foliação. Outros veios, de 3 m de comprimento e 8 cm de espessura, apresentam adelgaçamento nas bordas. Este veio de leucossoma entra no anfibolito como injeção (prancha 5a), englobando algumas porções de anfibolito lenticulares. Além disso, apresenta porfiroblastos de hornblenda que variam de 3 a 4 mm até 3 a 5 cm, esparsas ou próximas à borda (prancha 5a') e nota-se intenso estiramento observado pelas porções quartzosas estiradas e recristalizadas e também pela formação de estruturas do tipo *boudin* (prancha 5b). No leucossoma observam-se cristais de clinopiroxênio inclusos (prancha 5c), porfiroblastos de hornblenda (prancha 5d), por vezes granada, e raramente ortopiroxênio. Nas suas bordas, observam-se concentrações de hornblenda fina e muitas vezes o leucossoma apresenta borda mais abrupta e outra mais dentada/ondulada e ambas com hornblenda fina (prancha 5e/f).

Prancha 4 – Base do anfibolito Cafelândia

a: Bandas acinzentadas ricas em clinopiroxênio e granada, intercalada com finas bandas de hornblenda e finas lentes de leucossoma (BAR-10). **b:** Nesta porção observa-se com maior frequência a presença da banda rica em clinopiroxênio e granada, intercalada, ainda predominante na rocha, com as bandas ricas em hornblenda, apresenta finas lentes quartzo-feldspáticas (BAR-10). **c:** As bandas mais acinzentadas ricas em clinopiroxênio e porfiroblastos de granada são mais espessas do que as bandas ricas em hornblenda, plagioclásio e quartzo e pouco clinopiroxênio, apresentando finas lentes intercaladas (fatia BAR-10AIV). **d:** Observam-se duas bandas distintas e leucossomas que variam de finos a mais espessos. A banda mais escura é rica em hornblenda, clinopiroxênio e granada e a banda mais acinzentada é rica em clinopiroxênio e granada. Os leucossomas apresentam hornblenda estirada inclusa, clinopiroxênio e porfiroblastos de granada (BAR-11FIII). **e:** Leucossoma mais espesso mostra dobra com eixo paralelo à lineação de estiramento em uma das ramificações do leucossoma (BAR-10). **f:** Leucossoma mais fino apresenta adelgaçamentos e ramificações, na maioria das vezes paralelos à foliação, mas também podem ocorrer difusos (BAR-10).

Prancha 5 – Base do anfibolito Cafelândia

a e a': Leucossoma esbranquiçado paralelo à foliação em contato retilíneo com a rocha. Presença de porfiroblastos de hornblenda inclusos (BAR-10). **b**: Predomínio da banda acinzentada rica em clinopiroxênio e granada, intercalada entre bandas centimétricas ricas em hornblenda e finas lentes de leucossoma. Nota-se a formação de estruturas do tipo boudin, indicando forte estiramento, e a presença de porfiroblasto de quartzo ocupando *neck de boudin* (BAR-11). **c**: Porção da rocha onde prevalece a banda rica em clinopiroxênio e granada e nota-se uma fina lente de leucossoma com porfiroblasto de clinopiroxênio incluído (BAR-10). **d**: Porfiroblastos de hornblenda inclusos em finas lentes de leucossoma. Prevalece o bandamento rico em hornblenda intercalado com finas lentes de leucossoma (BAR-11). **e**: Fino leucossoma com concentração de hornblenda na borda no contato com a rocha (BAR-11). **f**: Leucossoma retilíneo fino, com inclusões de hornblenda de granulação fina. Apresenta ao longo do contato com as bandas uma concentração de hornblenda. A banda predominante é rica em clinopiroxênio, com porfiroblastos de granada, quartzo e plagioclásio e pouca hornblenda (BAR-10DII).

6. PETROGRAFIA DO ANFIBOLITO CAFELÂNDIA

Parte significativa das amostras coletadas foram fatiadas, e após a descrição das fatias, foram confeccionadas 56 lâminas petrográficas. Na petrografia foi dado destaque às bandas mais representativas e às feições mais importantes da rocha. Dentre estas feições estão as associações minerais que caracterizam as paragêneses e microestruturas metamórficas e as que são pertinentes à cristalização de minerais direto de líquido silicático. Posteriormente, as descrições serão abordadas na definição e interpretação das condições metamórficas de temperatura e pressão às quais a rocha foi submetida.

A rocha estudada é um anfibolito bandado com granada e clinopiroxênio, apresentando bandamento composicional variado. O bandamento é centimétrico e apresenta variação modal entre minerais máficos, hornblenda, granada, clinopiroxênio e raramente ortopiroxênio, e félsicos, plagioclásio e quartzo. O bandamento composicional é marcado pelas variações nas proporções destes minerais, mas no geral a rocha é chamada de anfibolito, pois o anfíbólio é o mineral mais abundante em quase todas as bandas. Se for tomado maior rigor, migmatito de anfibolito é o nome que expressa melhor a rocha estudada. O contato entre as bandas é brusco, principalmente com os leitos félsicos. O contato torna-se gradacional entre bandas ricas em anfíbólio e ricas em clinopiroxênio e granada. Em trabalho prévio foram definidos cinco tipos principais de bandas (Lima, 2007), para melhor análise e descrição da rocha, entretanto, no trabalho de campo do presente projeto foram feitas novas observações a respeito dessa divisão. Ao invés de divisão por bandas, o anfibolito Cafelândia será dividido em porções de topo e de base. Desta forma, para facilitar a descrição da rocha, temos:

a) topo do anfibolito: ocorre com maior frequência e é mais espessa a banda rica em hornblenda, plagioclásio e titanita intercalada em finas bandas ricas em clinopiroxênio e granada e ao longo de toda a rocha ocorrem os leitos félsicos, ou leucossoma.

b) base do anfibolito: nesta porção a banda rica em clinopiroxênio e granada ocorre mais espessa e com maior frequência do que a rica em hornblenda, plagioclásio e titanita. Intercalados por toda a rocha estão os leitos félsicos, de leucossoma, ora concordantes e ora difusos.

a) Topo do anfibolito:

- Banda rica em hornblenda

O leito máfico mais comum é rico em hornblenda, titanita e plagioclásio e apresenta estrutura foliada, granulação de fina a média, coloração verde a castanha clara e textura nematoblástica, ocorrem intercaladas há porções granoblásticas de quartzo e plagioclásio (prancha 6a). A composição modal é dada por 50 - 75% de hornblenda, 35 - 10% de plagioclásio (andesina An_{42}), 10% de titanita e 5% de quartzo. Os cristais de hornblenda variam de granulação muito fina a média, com forma alongada, definindo a orientação principal da rocha. Apresentam-se desde xenoblásticos até idioblásticos, estes raros. Além de estarem orientados, apresentam forte pleocroísmo, clivagem, alteração, fraturamento e podem conter inclusões de quartzo, plagioclásio e titanita. O contato que prevalece entre os minerais é irregular e curvilíneo, mas podem-se observar alguns contatos retilíneos. A titanita presente ocorre esparsa, mas também está presente nos contatos entre cristais de hornblenda. Em algumas porções da rocha ocorrem palhetas de biotita nas bordas dos cristais de hornblenda ou preenchendo as clivagens. Nestas rochas, a composição mineralógica é de 65% de hornblenda, 15% de plagioclásio (andesina An_{43}), 10% de quartzo, 4% de opacos, 3% de biotita e 3% de titanita. Feição muito importante presente em todas as bandas ricas em hornblenda é a associação do quartzo e plagioclásio no contato entre cristais de hornblenda. Nestes contatos observam-se porções alongadas e filetes de quartzo e plagioclásio intersticiais e ao longo dos contatos (prancha 6b).

Em outras porções, a rocha apresenta em sua composição mineralógica 73% de hornblenda, 7% de plagioclásio, 5% de quartzo, 7% de opacos, 3% de titanita, 3% de epidoto, 2% de zircão e traços de clorita. Nesta porção os cristais de hornblenda apresentam forte pleocroísmo, de verde a marrom-rosado e ocorrem com alteração e bandas de deformação (alongadas e com geminação). Os cristais de plagioclásio estão muito alterados e, assim como o quartzo, ocorrem intersticialmente aos grãos de hornblenda. Os minerais opacos ocorrem esparsos e por vezes associados aos grãos de titanita, estes associados aos cristais de hornblenda. É interessante notar que esta porção ocorre em contato com leucossoma grosso que será descrito mais adiante (prancha 6c).

No leito máfico rico em hornblenda também ocorrem clinopiroxênio e granada. Nestas porções a rocha é semelhante à das porções sem clinopiroxênio e granada; a composição mineralógica apresenta 50% de hornblenda, 15 a 20% de plagioclásio (andesina/labradorita An_{38-61}), 10% de quartzo, 5% de clinopiroxênio, 5% de granada, 5% de titanita, 3% de minerais opacos, 1% de clinozoisita e 1% de mica branca, podendo variar para leitos mais ricos em clinopiroxênio e granada, com composição modal constituída de 50% de hornblenda, 15% de clinopiroxênio, 15% de plagioclásio, 10% de granada, 7% de quartzo e 3% de titanita. Nestes leitos onde predominam cristais de hornblenda, a textura é nematoblástica com intercalações descontínuas de porções granoblásticas félsicas, com granulometria que varia de fina a média. Os cristais de hornblenda são estirados e marcam a orientação preferencial da banda, com alguns cristais de clinopiroxênio associados, apresenta cor verde parda a verde clara, e concentram pequenos grãos de titanita nas bordas. O clinopiroxênio encontra-se com granulometria fina, com formato anedral a subedral, constituindo lentes contínuas, porém não extensas (prancha 6d/e). Os grãos de clinopiroxênio e os leitos félsicos apresentam alteração para clinozoisita, mica branca e actinolita (prancha 6f/f'). A granada, assim como o clinopiroxênio, ocorre sempre manteada por porções quartzo-feldspáticas ou em associação com as lentes félsicas (prancha 7a/a'). Além disso, é geralmente fina, euédrica a sub-euédrica, facetada em contato com cristais de plagioclásio, quartzo, clinopiroxênio e hornblenda. Os cristais intersticiais de plagioclásio e quartzo são mais evidentes e em maior proporção, aumentando a medida que se diminui a quantidade de hornblenda. Além disso, o plagioclásio apresenta alteração para mica branca e clinozoisita mas ocorre também preservado (prancha 7b).

Prancha 6 – Topo / Banda rica em hornblenda

a: Banda rica em hornblenda intercalada entre bandas félsicas de quartzo e plagioclásio. Detalhe para o quartzo e plagioclásio intersticial. A barra mede 0,37 mm. Nicóis descruzados. Lâmina RM-05 (lâmina de trabalhos anteriores equivalente ao ponto BAR-04). **b:** Banda rica em hornblenda com quartzo e plagioclásio intersticial. A barra mede 0,6 mm. Nicóis descruzados. Lâmina BAR-4B. **c:** Contato da banda rica em hornblenda com o leucossoma. Notar que grãos de hornblenda estão estirados apresentam forte pleocroísmo e ocorrem com alteração e marcas de deformação (alongadas e com geminação). A barra mede 2,6 mm. Nicóis descruzados. Lâmina BAR-4EVI. **d:** Matriz rica em hornblenda com clinopiroxênio e granada em contato com lente félsica. Notar que esta lente apresenta feições diferentes se comparada a lente da foto a. A barra mede 2,6 mm. Nicóis descruzados. Lâmina BAR-4.1Bva. **e:** Clinopiroxênio e granada em finas lentes leucossomáticas intercaladas em meio a banda enriquecida em hornblenda. Os cristais de granada estão euédricos e os de clinopiroxênio alongados com hornblenda bordejante. Notar porfiroblasto de clinopiroxênio. A barra mede 2,6 mm. Nicóis descruzados. Lâmina BAR-4B. **f/f':** Alteração de porções félsicas e grãos de clinopiroxênio por sericita, clinozoisita e actinolita. As barras medem 0,32mm. Nicóis respectivamente descruzados e cruzados. Lâmina BAR-4A.

Quando há aumento na concentração de plagioclásio e quartzo, ocorrem com maior frequência cristais de granada. Observa-se que a proporção mineralógica varia quanto à concentração de hornblenda e plagioclásio, deste modo sendo mais comum o aumento da concentração de hornblenda da matriz para a borda do contato com o leucossoma, pois na matriz entra em contato gradacional com a banda rica em clinopiroxênio e granada (prancha 7c). A composição modal enriquecida em hornblenda com granada é de 60% de hornblenda, 20% de plagioclásio (andesina An_{33-38} , também ocorrendo labradorita An_{52-61}), 7% de granada, 5% de quartzo, 3% de titanita, 3% de clinozoisita/epidoto, 2% de opacos e traços de zircão e apatita. A ocorrência dos minerais é semelhante a descrita anteriormente, e vale ressaltar que a granada apresenta cor rosa, mas também pode ocorrer cinza amarronzada, geralmente corroída, fraturada e alterada com inclusões de titanita, quartzo, plagioclásio, hornblenda, opacos e epidoto (prancha 7d), sendo rara a alteração para clorita (prancha 7e). Ocorre com dimensão milimétrica, de granulação fina, entre os grãos de hornblenda, envolta por leitos de quartzo e plagioclásio ou de granulação fina a média, e com maior frequência, próxima as bordas das lentes félsicas (prancha 7f).

Em amostras próximas as zonas de cisalhamento, podem ser identificadas feições de alteração e deformação. Na lâmina BAR-4C podemos observar a borda de um grão de hornblenda sendo deformada ao longo do contato com a zona de cisalhamento, além de fraturas nos outros grãos e nos leitos finos de quartzo e plagioclásio intersticiais observa-se bastante alteração (prancha 8a). Nesta mesma amostra observa-se também grão de hornblenda com fraturamento escalonado (prancha 8b).

Prancha 7 – Topo / Banda rica em hornblenda

a/a': Cristal de granada euédrico em um pequeno bolsão quartzo-feldspático. Nesta porção o plagioclásio tem teor de andesina An_{34} . As barras medem 0,81 mm. Nicóis respectivamente descruzados e cruzados. Lâmina BAR-4B. **b**: Quartzo e plagioclásio intersticial em consequência da fusão de hornblenda, ou seja, quartzo mimetizando o líquido entre hornblenda e lente félsica alterada por sericita e clinozoisita. A barra mede 0,81 mm. Nicóis descruzados. Lâmina BAR-4A. **c**: Geral da matriz enriquecida em hornblenda, plagioclásio e quartzo intersticiais com granada e lentes finas de quartzo e feldspato, não ocorrendo piroxênio. A barra mede 2,08 mm. Nicóis descruzados. Lâmina BAR-4DiIb. **d**: Matriz rica em hornblenda com granada, quartzo e plagioclásio (andesina An_{38}), estes intersticiais e lentes de quartzo finas, esparsas e alongadas. Granada apresenta inclusão de quartzo, plagioclásio, titanita e hornblenda. Observa-se em meio as finas lentes quartzo-feldspáticas grãos muito finos de apatita. A barra mede 1,30 mm. Nicóis descruzados. Lâmina BAR-4DVia. **e**: A granada com alteração por clorita. A barra mede 2,6 mm. Nicóis descruzados. Lâmina 4DiIIa. **f**: Nota-se que os grãos de granada sempre aparecem envoltos por finas lentes de quartzo e plagioclásio. Além disso, observa-se grãos de granada na matriz e na borda, destacando um acréscimo na quantidade e no tamanho de granada a medida que se aproxima das lentes quartzo-feldspáticas. A barra mede 2,6 mm. Nicóis descruzados. Lâmina BAR-4F.

- Banda rica em clinopiroxênio e granada

Nos afloramentos do topo do anfibolito Cafelândia predominam bandas ricas em hornblenda, mas ocorrem bandas subordinadas ricas em clinopiroxênio e granada. O contato entre os dois tipos é gradacional e essas bandas são menos espessas e freqüentes. Observa-se também que, não só ocorrem bandas ricas em clinopiroxênio e granada coexistentes com a hornblenda, mas também bandas ricas em clinopiroxênio coexistentes com hornblenda, mas sem granada. O último tipo apresenta textura nematoblástica com intercalações de porções granoblásticas irregulares. O contato entre essa banda e a rica em hornblenda, plagioclásio e titanita é gradacional e evidenciado por faixa transicional entre elas, caracterizada pela diminuição em hornblenda e aumento em clinopiroxênio (prancha 8c). A composição mineralógica consiste de 30 % de hornblenda, 25% de clinopiroxênio, 40% de plagioclásio e 5% de quartzo, titanita e minerais opacos. Os cristais de hornblenda estão alongados, subidioblásticos a xenoblásticos, com bordas lobadas a retas; faz contato curvilíneo com os cristais de clinopiroxênio, e ambos passam a definir a foliação. Em porções em que o retrometamorfismo foi mais intenso são observados cristais de epidoto e actinolita retrometamórficos (prancha 8d).

Ultrapassando a faixa transicional, a banda se enriquece em clinopiroxênio e plagioclásio, com variações na proporção de hornblenda. A composição mineralógica é 35% de hornblenda, 35% de clinopiroxênio, 20% de plagioclásio, 5% de quartzo e 5% de titanita e minerais opacos. Os cristais de clinopiroxênio são mais abundantes, com grãos de formas irregulares, anédricos a subédricos e muito fraturados. Contudo, ocorrem grãos euédricos em contato estável com a hornblenda, formando arranjo granoblástico (prancha 8e). Além disso, são observadas feições importantes para caracterizar algumas etapas do metamorfismo. A primeira mostra cristal de piroxênio com lamelas de exsolução e a segunda envolve a relação de contato entre a hornblenda que bordeja o clinopiroxênio (prancha 8f).

Prancha 8 – Topo / Banda rica em hornblenda e banda rica em clinopiroxênio

a: Grão de hornblenda deformado devido a presença de uma zona de tensão próxima. Esta causa também fraturamento nos grãos e alteração nas concentrações intersticiais de quartzo e plagioclásio. A barra mede 0,81 mm. Nicóis descruzados. Lâmina BAR-4C. **b:** Grão de hornblenda com fraturamento escalonar e alteração na porção félsica. A barra mede 0,65 mm. Nicóis descruzados. Lâmina BAR-4C. **c:** Visão geral destaca um bandamento rico em hornblenda e outro rico em piroxênio (clinopiroxênio>>ortopiroxênio) e hornblenda. Ambos minerais coexistem com quartzo e plagioclásio. A barra mede 0,12 mm. Nicóis descruzados. Lâmina RM-42 (equivalente ao ponto BAR-04). **d:** Banda rica em hornblenda, com piroxênio (clinopiroxênio>>ortopiroxênio), clinozoisita, quartzo e plagioclásio. Nota-se feição de retrometamorfismo em clinopiroxênio envolto por tremolita, e clinozoisita e carbonato associados. A barra mede 0,6 mm. Nicóis descruzados. Lâmina RM-46B. **e:** Contato estável do cristal de hornblenda com o clinopiroxênio. A barra mede 1,5 mm. Nicóis descruzados. Lâmina BA-4B. **f:** Cristal de clinopiroxênio com lamelas de exsolução e hornblenda na borda. A barra mede 0,94 mm. Nicóis descruzados. Lâmina RM-44 (lâmina de trabalhos anteriores equivalente ao ponto BAR-04).

A banda rica em clinopiroxênio e granada coexistindo com hornblenda, plagioclásio e quartzo apresenta coloração cinza, estrutura foliada, granulação que varia de fina a média e porções granoblásticas intercaladas com leitos nematoblásticos. A composição mineralógica consiste de: 25% de hornblenda, 20% de clinopiroxênio, 20% de plagioclásio, 15% de epidoto e clinozoisita, 8% de titanita, 7% de granada, 5% de quartzo.

Os cristais de hornblenda encontram-se dispersos e somente alguns definem a orientação preferencial da foliação. Além disso, apresentam bordas corroídas e curvilíneas em contato com porções félsicas, e podem estar inclusos no clinopiroxênio em forma de cristais arredondados. Os cristais de clinopiroxênio são subidioblásticos até xenoblásticos e apresentam bordas corroídas em contato com minerais félsicos. Fazem contato também com a hornblenda, pelo qual muitas vezes é possível notar a hornblenda contornando as bordas dos cristais de clinopiroxênio, sugerindo sua substituição (prancha 9a). Os cristais de plagioclásio e quartzo encontram-se em filetes alongados e intersticialmente entre os minerais máficos. Também podem estar inclusos em granada, piroxênio e hornblenda. Os cristais de clinozoisita e epidoto são abundantes e sempre associados aos cristais de plagioclásio. Encontram-se concentrados e aglutinados apresentando individualmente formato prismático. Os cristais de titanita são abundantes por todas as bandas. Encontram-se inclusos ou nos contatos de todos os minerais. Apresentam diversos tamanhos de grãos. Os cristais de granada apresentam-se muito fraturados e corroídos, com preenchimento de minerais félsicos, quartzo e plagioclásio. Ocorre frequentemente intercrescimento de granada e clinopiroxênio, não ocorrendo esta relação entre granada e ortopiroxênio. Quando a granada ocorre intercrescida com o clinopiroxênio, pode haver inclusões de hornblenda (prancha 9b). Comumente a granada apresenta-se euédrica, porém varia conforme a granulometria.

O leito rico em clinopiroxênio e granada apresenta em sua composição mineralógica 50% de clinopiroxênio, menos frequente o ortopiroxênio, 20% de plagioclásio (andesina / labradorita An_{55-48}), 10% de granada, 10% de hornblenda, 5% de quartzo, 3% de titanita e opacos e 2% de epidoto/clinozoisita. Nota-se nesta variação a diminuição na proporção de hornblenda e, em contrapartida, o aumento na quantidade de clinopiroxênio, ocorrendo com maior frequência, simultaneamente ao enriquecimento de granada (prancha 9c/d). Nestes leitos, a textura e a granulometria

continuam sendo as mesmas, porém há maior presença das porções granoblásticas félsicas e dos cristais intersticiais em forma de filetes de plagioclásio e quartzo, os primeiros apresentando alteração para mica branca, epidoto/clinozoisita e óxidos.

A orientação preferencial é definida pelos cristais de piroxênio, principalmente o clinopiroxênio, com alguns cristais de hornblenda associados. Os grãos de clinopiroxênio são subidioblásticos. Os contatos entre os grãos de clinopiroxênio e granada geralmente são retilíneos e contínuos. Ocorre também contato lobado entre os cristais de clinopiroxênio com os de plagioclásio, quartzo e hornblenda. Os grãos de hornblenda, menos abundantes, são menores e subidioblásticos, formando leitos contínuos alternados com leitos contínuos de clinopiroxênio. Os cristais de granada apresentam-se maiores, idioblásticos e em contato com cristais de clinopiroxênio e hornblenda, todos estes manteados por cristais de quartzo e plagioclásio. A granada também apresenta cristais subidioblásticos, corroídos e com inclusões de clinopiroxênio, quartzo, plagioclásio e opacos.

Há porções em que nota-se mudança brusca na granulometria dos cristais de piroxênio, granada e hornblenda. Aqui predominam porfiroblastos de granada e piroxênio, e alguns porfiroblastos de hornblenda. A matriz é constituída por cristais de granulometria fina de plagioclásio, quartzo, piroxênio e hornblenda. A textura é porfiroblástica em meio a matriz que apresenta alternâncias de leitos granoblásticos e nematoblásticos. A hornblenda define a orientação principal da banda, porém esta ocorre intercrecida com cristais de clinopiroxênio. A granada porfiroblástica apresenta inclusões sub-arredondadas de clinopiroxênio, plagioclásio, hornblenda, quartzo e opacos e é manteeda por minerais opacos, quartzo e plagioclásio. Os porfiroblastos de piroxênio, em sua maioria clinopiroxênio, são anédricos e apresentam inclusões de hornblenda, titanita, plagioclásio e quartzo. Suas bordas são irregulares, curvilíneas em contato ao redor por hornblenda, opacos, plagioclásio e quartzo. Na prancha 9e, observa-se um porfiroblasto de ortopiroxênio situado em banda rica em clinopiroxênio, hornblenda, plagioclásio e quartzo.

Prancha 9 – Topo / Banda rica em clinopiroxênio

a: Retrometamorfismo evidenciado por cristal de clinopiroxênio envolto por hornblenda. Associados estão clinozoisita e carbonato. A barra mede 0,94 mm. Nicóis descruzados. Lâmina RM-42 (lâmina de trabalhos anteriores equivalente ao ponto BAR-04). **b:** Banda rica em granada, clinopiroxênio, hornblenda, plagioclásio, $\pm$ quartzo e titanita. Nota-se granada intercrescida com clinopiroxênio. A barra mede 0,3 mm. Nicóis descruzados. Lâmina BA-4B. **c:** Do canto superior esquerdo até o seu lado oposto, observa-se diminuição na proporção de hornblenda, em contraste com o aumento na proporção de granada e clinopiroxênio, o que é indicado pela seta. A barra mede 0,3 mm. Nicóis descruzados. Lâmina 803-055 (lâmina de trabalhos anteriores equivalente ao ponto BAR-04). **d:** Da esquerda para a direita, observa-se um aumento na quantidade de hornblenda até o contato com o leucossoma. A barra mede 2,6 mm. Nicóis descruzados. Lâmina 4.1BVa. **e:** Porfiroblasto de ortopiroxênio inserido em uma banda rica em clinopiroxênio, hornblenda, quartzo e plagioclásio. A barra mede 0,12 mm. Nicóis descruzados. Lâmina RM-322 (lâmina de trabalhos anteriores equivalente ao ponto BAR-04).

- Leucossoma

O leucossoma encontra-se intercalado ao longo de todo o corpo do anfibolito Cafelândia. Ele apresenta granulação que varia de muito fina a grossa, coloração de branca, amarela a rosa, estrutura granular a foliada, textura granoblástica a leitos nematoblásticos e composição mineralógica constituída pela variação de quartzo e plagioclásio. Esses leitos félsicos apresentam diversas formas, sendo a mais frequente paralela a foliação e ao bandamento. Entretanto é comum observar lentes difusas e discordantes, sob a forma de venulações e bolsões, que se ramificam e tendem a seguir a foliação novamente. O leucossoma ocorre com maior frequência próximo às bandas ricas em hornblenda (prancha 10a/a') e podem apresentar variação quanto sua forma e sua composição. O contato do leucossoma com o anfibolito pode ser brusco, retilíneo a sinuoso e muitas vezes nota-se concentração de finos cristais de hornblenda no contato entre leucossoma e matriz (prancha 10b). Na matriz rica em hornblenda, é comum observar leucossoma de coloração branca, granulação fina a média, em contato sinuoso com a matriz e composição mineralógica composta de 55% de plagioclásio (andesina/labradorita An_{40-67}), 30% de quartzo, 10% de hornblenda, 3% de titanita, 2% de opacos e traços de sericita (prancha 10a'/b). Os cristais de plagioclásio apresentam granulação fina e rara alteração para mica branca. O quartzo apresenta granulação fina a média e extinção ondulante, assim como os porfiroblastos de hornblenda (prancha 10a'/b). Cristais de hornblenda no leucossoma são comuns e composição é 35% de plagioclásio (andesina/labradorita An_{45-60}), 30% de quartzo, 12% de hornblenda, 10% de clinopiroxênio, 3% de granada, 5% de titanita, 3% de epidoto, 1% de titanita e rutilo, 1% de opacos e traços de zircão e apatita. Os cristais de plagioclásio podem estar alterados para mica branca, variando quanto ao tamanho de finos à grossos, onde estes apresentam alteração por óxidos, mica branca e alguns mesmo alterados preservam sua geminação. O quartzo ocorre esparsos, geralmente entre os grãos de plagioclásio, em forma de leitos sinuosos variando de finos a grossos. Sua cristalização foi sin à tardi em relação ao plagioclásio, pois preenche espaços deixados pelo plagioclásio cristalizado e apresenta extinção ondulante (prancha 10c). Os cristais de hornblenda, concentrados em finos leitos ou esparsos, de granulação média/fina estão associados aos porfiroblastos de clinopiroxênio e granada (prancha 10d/ee'/ff') e podem apresentar inclusões de quartzo, epidoto, titanita, rutilo e opacos.

Prancha 10 – Topo / Banda rica em clinopiroxênio e leucossoma

a/a': Leucossoma paralelo a foliação em contato com matriz enriquecida em hornblenda com granada. As barras medem 2,6 mm. Nicóis respectivamente descruzados e cruzados. Lâmina BAR-4DiIIa. **b**: Leucossoma entre bandas. Banda enriquecida em hornblenda, plagioclásio e titanita. A barra mede 2,6 mm. Nicóis cruzados. Lâmina BAR-4F(1). **c**: Banda félsica centimétrica, rica em quartzo e plagioclásio, intercalada com banda máfica, rica em hornblenda. A barra mede 0,3 mm. Nicóis cruzados. Lâmina RM-129. **d**: Hornblenda no leucossoma associada com granada, titanita e opacos. A barra mede 0,81 mm. Nicóis descruzados. Lâmina BAR-4DiIIa. **e**: No leucossoma nota-se um leito rico em hornblenda com granada e porfiroblastos de clinopiroxênio com lamelas de maior birrefringência. Ocorrem também associados titanita, opacos e apatita. As barras medem respectivamente 2,08 mm e 2,6 mm. Lâmina BAR-4DiIIa. **f/f'**: Porfiroblasto de hornblenda alterado por clinopiroxênio bordejante, dentro do leucossoma, este em contato com a banda rica em hornblenda e pouca granada. As barras medem 2,6 mm. Nicóis respectivamente descruzados e cruzados. Lâmina BAR-4DiIVa.

Clinopiroxênio ora apresenta grãos finos, associados e intercrescidos com hornblenda (prancha 11a/a') e ora porfiroblastos centimétricos, próximos às bordas do leucossoma (prancha 11bb'/c), apresentando geminação, leve pleocroísmo, cor cinza-esverdeada, com lamelas de exsolução e com hornblenda nas bordas (prancha 11dd'/ee'). A granada é idioblástica, esparsa, fina, de cor rosa escura e quando de granulação mais grossa apresenta alteração nas bordas para hornblenda (prancha 10d). Titanita ocorre esparsa e associada às bordas da hornblenda, minerais opacos e rutilo; epidoto ocorre esparsos, incluso ou nas bordas da hornblenda. Pode apresentar raramente porfiroblastos de ortopiroxênio, intercrescido com clinopiroxênio (prancha 11ff').

Outras variações são observadas nos veios de leucossoma que ocorrem no topo do anfíbolito. Veios de granulação muito grossa, de cor branca a rosa, apresentando grãos de quartzo com extinção ondulante, envolvidos por plagioclásio, estes totalmente saussuritizados (prancha 12aa'). A composição mineralógica é de 50-40% de plagioclásio, 10% de epidoto, 30% de quartzo, grosso e em fitas constituídas por grãos finos a muito finos e 10% de hornblenda. A hornblenda é porfiroblástica, de cor verde acastanhada, com pleocroísmo intenso, granulação grossa, com cristais de até 3 cm, fraturada e com inclusões de quartzo. Apresenta alteração para clorita em suas bordas (prancha 12bb'). Outro tipo de leucossoma é de granulação mais fina que o anterior, retilíneo e apresenta porfiroblastos de hornblenda centimétricos, de 4 cm em média, com grãos de contatos regulares e poligonais. O porfiroblasto de hornblenda encontra-se fraturado e alterado, com mudança em sua composição, pois nota-se borda verde e núcleo castanho. Apresenta alteração para clorita (prancha 12c). Clinozoisita também ocorre dispersa na rocha.

Prancha 11 – Topo / Leucossoma

a/a': Cristais de hornblenda e clinopiroxênio intercrescidos no leucossoma. Notar cristais de quartzo e plagioclásio. As barras medem 2,08 mm. Nicóis respectivamente descruzados e cruzados. Lâmina BAR-4DII. **b/b'**: Leucossoma com porfiroblastos de clinopiroxênio em contato com matriz rica em hornblenda. As barras medem 2,6mm. Nicóis respectivamente descruzados e cruzados. Lâmina BAR-4.1BVIb. **c**: Fino leucossoma entre bandas, concordante a foliação. A esquerda do leucossoma ocorre banda enriquecida em hornblenda com granada e quartzo e plagioclásio interssticiais e a direita banda rica em clinopiroxênio, granada, plagioclásio e quartzo. Notar porfiroblasto de clinopiroxênio no contato entre leucossoma e banda de clinopiroxênio. A barra mede 2,6 mm. Nicóis descruzados. Lâmina BAR-4.1BVIb. **d**: Dentro do leucossoma observa-se porfiroblasto de clinopiroxênio com titanita associada e hornblenda bordejante. Clinopiroxênio apresenta extinção de 88°-85°. As barras medem 2,08 mm. Nicóis respectivamente descruzados e cruzados. Lâmina BAR-4DiIIa. **e/e'**: Leucossoma com um porfiroblasto de clinopiroxênio com lamelas e substituição por hornblenda. As barras medem 1,30 mm. Nicóis respectivamente descruzados e cruzados. Lâmina BAR-4DiIVa. **f/f'**: Leucossoma apresenta grãos de ortopiroxênio, clinopiroxênio e hornblenda. Não apresenta granada e notar plagioclásio muito alterado. As barras medem 0,81 mm. Nicóis respectivamente descruzados e cruzados. Lâmina BAR-4DVIb.

Localmente o leucossoma pode ocorrer intensamente retrometamorfizado, com grande quantidade de epidoto, clorita, mica branca, carbonato, espículas de actinolita e óxidos (prancha 12d). Além disso, na borda do contato do leucossoma com a matriz há maior deformação e retrometamorfismo, com a presença de muita clorita, fitas de quartzo e plagioclásio, parcialmente transformado para mica branca, além de minerais do grupo do epidoto (prancha 12e). Nessas porções, epidoto e óxidos substituíram hornblenda, clinopiroxênio e plagioclásio. Os porfiroblastos de hornblenda variam quanto ao tamanho, onde os maiores apresentam fraturas e alterações, cor castanha escura e pouco pleocroísmo. Nessas porções a textura da rocha varia de milonítica e ultramilonítica. Associados, estão presentes grãos de clorita, de cor verde, de granulação muito fina, fibrosa, e minerais do grupo do epidoto, além de óxidos ao redor das fraturas. Os porfiroblastos de hornblenda milimétricos estão menos alterados. As bordas estão pouco corroídas e os grãos estão fraturados, com alteração somente para óxidos, sem outras alterações e nem irregularidades (prancha 12f).

Prancha 12 – Leucossoma

a/a': Leucossoma rico em quartzo muito fino cominuído e os de granulação maior apresentam extinção ondulante. Além disso, ocorre plagioclásio muito alterado e cristais de granada junto a hornblenda, ambos de granulação fina a média. As barras medem 2,6 mm. Nicóis respectivamente descruzados e cruzados. Lâmina BAR-08. **b/b'**: Hornblenda alterada por actinolita, clorita, clinozoisita/epidoto, dentro do leucossoma. As barras medem 0,81 mm. Nicóis respectivamente descruzados e cruzados. Lâmina BAR-4E₍₁₎. **c**: Porfiroblasto de hornblenda alterado por clorita e outro amph – actinolita. A barra mede 2,6 mm. Nicóis descruzados. Lâmina BAR-4EIII. **d**: Leucossoma tensionado em contato com banda rica em hornblenda. Nota-se porfiroblasto deformado de hornblenda e leucossoma com fitas de quartzo e plagioclásio alterado. Notar diferença com leucossomas das fotos anteriores. A barra mede 2,6 mm. Nicóis cruzados. Lâmina BAR-4E₍₃₎. **e**: Na borda do contato do leucossoma com a matriz observam-se características de tensão. Presença de clorita (MgFe), e outros indícios como fitas de quartzo, plagioclásio sericitizado e com alterações por clinozoisita e epidoto. A barra mede 0,81 mm. Nicóis cruzados. Lâmina BAR-4E₍₃₎. **f**: Porfiroblasto milimétrico subédrico, com alteração por óxidos, fraturado e pouco corroído nas bordas. Assemelha-se aos grãos da matriz. A barra mede 2,6 mm. Nicóis descruzados. Lâmina BAR-4EVI.

b) Base do anfibolito:

A base estrutural do anfibolito Cafelândia é marcadamente diferente da rocha do topo, com quantidade muito subordinada de hornblenda em relação à proporção de clinopiroxênio, o que dá cor mais clara à rocha. O volume de leucossoma é menor.

- Banda rica em hornblenda

A banda rica em hornblenda ocorre com menor espessura e frequência que no topo do anfibolito e apresenta-se próxima a borda do leucossoma (prancha 13a/b), e talvez possa ser interpretada como paleossoma ou *selvage*. Apresenta cor verde escura, estrutura foliada, granulação fina a média, média de 1 mm, textura nematoblástica com porções granoblásticas e composição mineralógica de 55% de hornblenda, 15% de plagioclásio, 5% de quartzo, 5% de minerais opacos, 3% de apatita, 2% de clinozoisita e 1% de titanita. A ocorrência mais comum é a variação com clinopiroxênio e apresenta cor verde clara, estrutura foliada marcada pela hornblenda, textura nematoblástica e composição mineralógica definida por: 50% de hornblenda, 15% de plagioclásio (andesina/labradorita An_{40-55}), 10% de quartzo, 20% de clinopiroxênio, 4% de minerais opacos esparsos e alongados, mas geralmente intersticiais e associados à hornblenda, 2% de clinozoisita, 2% de titanita, em contato com os grãos de hornblenda, clinopiroxênio, plagioclásio e escapolita, 1% de escapolita intersticial, entre os grãos de hornblenda, 1% de carbonato intersticial e traços de apatita esparsa, associada ao plagioclásio (prancha 13cc'). Os grãos de hornblenda apresentam cor verde-parda, granulação maior e pleocroísmo menos intenso se comparados aos grãos da banda sem clinopiroxênio; são estirados e alongados seguindo a foliação. O plagioclásio ocorre com granulação de fina à média e quando está entre os grãos de hornblenda e ou piroxênio, a granulação é mais fina e está junto ao quartzo. O quartzo ocorre intersticial, em formatos lobados e lenticulares ao redor dos grãos e também incluso em hornblenda, clinopiroxênio e granada. Os cristais de clinopiroxênio apresentam cor verde claro a cinza e observa-se hornblenda em suas bordas. A escapolita é rara, mas em algumas amostras chega a ser abundante, podendo chegar até a 15% nas bandas ricas em hornblenda e geralmente associada ao plagioclásio.

Vale ressaltar que nestas rochas, a presença de clinopiroxênio é diretamente associada a ocorrência de granada, sendo mais frequentes do que a hornblenda, que torna-se cada vez menor e em menor volume, entretanto sempre associada aos grãos de piroxênio. Se considerarmos isto na mineralogia, então temos que acrescentar mais 10% de clinopiroxênio fino (prancha 13d) e 5% de granada que varia de fina a grossa (porfiroblástica) (prancha 13e).

Outra variação da banda decorre da presença de porfiroblastos de granada. A granada que geralmente ocorre em meio às bandas, está associada à presença de porções e lentes quartzo-feldspáticas, e como estas são comuns nas bandas máficas ricas em hornblenda, a concentração de granada pode modificar a composição mineralógica da banda. Deste modo, a banda rica em hornblenda apresenta textura granonematoblástica com porfiroblastos de granada e mineralogia composta por 45-50% de hornblenda associada aos opacos e presente na bordas dos cristais de granada; 15% de quartzo, intersticial; 10% de plagioclásio intersticial, com teores entre andesina e labradorita (An_{47-55}), sendo mais frequente na forma de grão do que na forma de lente intersticial, e está mais bem preservado do que nos veios mais espessos de leucossoma; 15% de granada, de cor rosa, corroída nas bordas, e com inclusões de quartzo, plagioclásio, epidoto, hornblenda, minerais opacos e titanita; observa-se que, por vezes as inclusões formam foliação interna e contínua com a foliação externa, mas formando certo ângulo com esta, indicando que a granada foi rotacionada; 5% de minerais opacos esparsos, ora bem formados, ora alongados ao redor dos grãos de granada e hornblenda; 3% de apatita esparsa, mas principalmente junto ao plagioclásio; 2% de epidoto e 1% de titanita completam a mineralogia da banda (prancha 13ff”).

Prancha 13 – Base / Banda rica em hornblenda

a: Intercalação de bandas milimétricas de hornblenda e plagioclásio com bandas ricas em clinopiroxênio com hornblenda bordejante e granada. A primeira envolve o leucossoma (a direita da foto) e está em contato com a segunda, à esquerda. A barra mede 2,6 mm. Nicóis descruzados, Lâmina BAR-10AIVb. **b:** Variação leucossoma, banda composta de hornblenda e banda enriquecida em clinopiroxênio e granada. A barra mede 2,08 mm. Nicóis descruzados. Lâmina BAR-10DIa. **c/c':** Matriz rica em hornblenda e clinopiroxênio com plagioclásio e quartzo intersticiais. Nota-se presença de cristais de epidoto, apatita e carbonato. As barras medem 0,81 mm. Nicóis respectivamente descruzados e cruzados. Lâmina BAR-11Bia. **d:** Banda enriquecida em hornblenda com clinopiroxênio. A barra mede 0,81 mm. Nicóis descruzados. Lâmina BAR-10AIVb. **e:** Porfiroblasto de granada na banda rica em hornblenda. A barra mede 0,81 mm. Nicóis descruzados. Lâmina BAR-10AIVb. **f/f':** Banda rica em hornblenda com porfiroblastos de granada e clinopiroxênio. Notar presença de carbonato intersticial. As barras medem 0,81 mm. Nicóis respectivamente descruzados e cruzados. Lâmina BAR-11FVc.

- Banda rica em clinopiroxênio e granada

A porção rica em clinopiroxênio e granada apresenta cor verde clara a cinza, de granulação muito fina a média, entre 0,5 mm a 1 mm, estrutura foliada, textura nematoblástica a granonematoblástica e mineralogia que varia com as concentrações de clinopiroxênio, granada e hornblenda. Deste modo, observa-se porção com clinopiroxênio muito fino verde, com granada muito fina e pouca hornblenda, e espaços entre eles preenchidos por plagioclásio e quartzo (prancha 14a). A mineralogia consiste de 50% de clinopiroxênio, verde acinzentado, fraturado, com levíssimo pleocroísmo; 17% de plagioclásio (andesina/labradorita – An₄₇₋₆₃), 13% de quartzo, que junto aos grãos de piroxênio marcam a foliação; 10 % de granada variando o tamanho de fina à média, rosadas, apresentam fraturas (prancha 15b) e inclusões de titanita, opacos, quartzo e plagioclásio, apatita e nas suas bordas corroídas clinopiroxênio, entretanto nota-se que ainda preserva bordas euédricas; 3% de hornblenda associada às bordas do clinopiroxênio; 2% de opacos seguindo a foliação junto aos grãos de clinopiroxênio e granada; 2% de titanita; 2% de apatita, 1% de epidoto e clinozoisita e traços de zircão.

Outra variação apresenta composição mineralógica composta por 43% de piroxênio, 40% de clinopiroxênio, na sua maior parte, associado à granada, com hornblenda nas bordas dos grãos, e 3% de ortopiroxênio, castanho e por vezes muito alterado (prancha 16cc'); 10-15% de hornblenda alongada na matriz e também presente nas bordas dos cristais de clinopiroxênio; 10% de granada associada ao clinopiroxênio e ao quartzo quando na matriz e porfiroblástica, corroída e fraturada, associada a hornblenda e clinopiroxênio, nas porções e lentes quartzo-feldspáticas da matriz (prancha 17dd'); 12% de plagioclásio (oligoclásio/andesina An₂₃₋₄₇); 5% de quartzo; 7% de titanita associada aos opacos; 7% de escapolita intersticial, incolor que pode estar associada ao plagioclásio e ao carbonato; 3-5% de titanita associada à granada, clinopiroxênio e hornblenda; 3% de opacos; 3% de carbonato intersticial associado às bordas dos cristais de granada, clinopiroxênio e plagioclásio; 3% de opacos associados a titanita. Eventualmente pode ocorrer clinozoisita e zircão como acessórios.

A escapolita está associada às porções que apresentam plagioclásio e clinopiroxênio e mostra-se fraturada e alterada. A presença de carbonato nas lâminas com escapolita é comum, sugerindo que ambos podem ser minerais tardios de alteração

por influxo de fluido com CO₂. Foi observado um grão de ortopiroxênio com cor castanha e geminação. Apresenta-se em contato irregular com clinopiroxênio e plagioclásio e em sua borda nota-se a presença de titanita e hornblenda. A granada está em sua maior parte alterada, corroída e intercrescida com o clinopiroxênio e pode, por vezes, apresentar-se idioblástica, embora isolada nas lentes quartzo-feldspáticas, tanto de granulação fina a grossa, com bordas corroídas e com inclusões de titanita, minerais opacos, carbonato, hornblenda e clinopiroxênio; próximo a ela se observa titanita, minerais opacos, carbonato, plagioclásio e quartzo (prancha 14e). O carbonato está nas bordas dos grãos, de granulação muito fina, e também intersticial entre clinopiroxênio, hornblenda e plagioclásio. Os cristais de plagioclásio apresentam zonação, geminação albita ou carlsbad e saussuritização.

Observa-se que à medida que a banda fica mais rica em clinopiroxênio e granada, a hornblenda torna-se escassa. Na porção mais a sul descrita neste trabalho, pode-se observar a presença de duas bandas, uma rica em hornblenda com clinopiroxênio e granada e outra rica em clinopiroxênio e granada com pouquíssima hornblenda e porfiroblastos de clinopiroxênio. A primeira foi citada nas descrições acima e a segunda apresenta as mesmas características, entretanto apresenta finas lentes intercaladas. Associadas a estas, concentram-se grãos idioblásticos finos a médios de granada, sem inclusões. A composição mineralógica é semelhante à anterior, mas destacam-se feições como clinopiroxênio alterado com hornblenda nas suas bordas e/ou intercrescida, apresentando epidoto como inclusão ou intercrescido com o clinopiroxênio (prancha 14f e prancha 15a).

A lente quartzo-feldspática rica em clinopiroxênio, por sua vez, segue a orientação da rocha e apresenta cor cinza, granulação média, textura granoblástica, e mineralogia rica em clinopiroxênio, 65-70%, granular, variando de médio a grosso (porfiroblastos) (prancha 15bb'/c); 10% de hornblenda intercrescida junto aos grãos de clinopiroxênio; 10% de plagioclásio em meio aos grãos; 10% de quartzo e 5% de carbonato intersticial; 3% de opacos e titanita esparsos.

Prancha 14 – Base / Banda rica em clinopiroxênio

a: Banda rica em clinopiroxênio e granada com plagioclásio e quartzo intersticiais. Banda típica das porções mais basais do anfibolito Cafelândia. A barra mede 2,6 mm. Nicóis descruzados. Lâmina BAR-10AIVb. **b:** Banda composta por clinopiroxênio e granada, esta de granulação média. A barra mede 2,6 mm. Nicóis descruzados. Lâmina BAR-10AIVa. **c/c':** Restos de ortopiroxênio muito alterado presente na banda rica em clinopiroxênio e granada. Hornblenda ocorre alterando o clinopiroxênio (canto inferior direito da foto), junto ao ortopiroxênio. As barras medem 0,81 mm. Nicóis respectivamente descruzados e cruzados. Lâmina BAR-11CIVa. **d/d':** Porfiroblasto de granada levemente rotacionado em meio à banda rica em clinopiroxênio. As barras medem 0,81 mm. Nicóis respectivamente descruzados e cruzados. Lâmina BAR-10DIb. **e:** Banda rica em clinopiroxênio com hornblenda e porfiroblasto de granada alterado, corroído e com inclusões de hornblenda, opacos e alteração por óxidos. A barra mede 2,08 mm. Nicóis descruzados. Lâmina BAR-10DIb. **f:** Porfiroblasto de clinopiroxênio alterado por hornblenda, em meio a porção de quartzo e plagioclásio (plagioclásio>>>quartzo) associada a grãos de carbonato intersticiais. A barra mede 0,81 mm. Nicóis descruzados. Lâmina BAR-11FVc.

- Leucossoma

Os veios de leucossoma da base do anfibolito podem ocorrer como lentes centimétricas (prancha 15d/ee'), a métricas, com bordas retilíneas a sinuosas, geralmente concordantes com a foliação. Quando discordantes, as bordas são retilíneas, apresentando cristais de hornblenda, clinopiroxênio, ortopiroxênio e granada. Apresenta granulação que varia de fina a média, cor branca a amarelo acinzentado, estrutura de granular à foliada, textura granonematoblástica. Por vezes, no leucossoma a alteração de plagioclásio é intensa, com predomínio de mica branca, seguida de carbonato (prancha 15ff'). A textura milonítica também com quartzo e plagioclásio intensamente cominuídos e deformados, com novos grãos, sub-grãos e bandas de deformação.

A composição mineralógica varia de rica em quartzo e feldspato a rica em minerais máficos. A mineralogia mais comum é composta por 35% de quartzo, de granulação média a grossa com grãos finos intersticiais e ao redor dos porfiroblastos; 35% de plagioclásio (andesina An₃₅) levemente alterado, preservando sua geminação; 12% de hornblenda esparsa, mas conectada entre si, apresentando forte pleocroísmo e cor verde parda escura, também ocorre junto à porfiroblastos de clinopiroxênio e apresenta extinção ondulante e sub-grãos (prancha 16a); 9% de clinopiroxênio de granulação fina (prancha 16b) a porfiroblastos, estes por vezes corroídos e alterados, de cor verde acinzentado claro, fraturados e estirados; 3% de opacos e óxidos; 2% de apatita; 2% titanita esparsa e próxima aos grãos de hornblenda; 2% clinozoisita e epidoto; 1% de zircão. Quartzo e plagioclásio ocorrem deformados e cominuídos, como observado na lâmina 11EIIa, e nesta encontram-se cristais de ortopiroxênio sendo substituídos por clinopiroxênio e hornblenda. Além disso, observam-se cristais de granada com hornblenda inclusa, muito alterada, corroída e com titanita e minerais opacos associados (prancha 16cc'/d).

Prancha 15 – Base / Banda rica em clinopiroxênio e leucossoma

a: Porção rica em clinopiroxênio e granada com hornblenda alterando os grãos pelas bordas. A barra mede 2,08 mm. Nicóis descruzados. Lâmina BAR-11FVc. **b/b'**: Porfiroblasto de clinopiroxênio com alteração por hornblenda na banda rica em clinopiroxênio e hornblenda. As barras medem 2,6 mm. Nicóis respectivamente descruzados e cruzados. Lâmina BAR-11BIa. **c**: Porfiroblasto de clinopiroxênio com hornblenda inclusa e bordejante, presente em meio a porção quartzo-feldspática localizada na matriz rica em clinopiroxênio e hornblenda. A barra mede 2,6 mm. Nicóis descruzados. Lâmina BAR-11BIa. **d**: Lente centimétrica localizada entre bandas de hornblenda – com porfiroblasto de clinopiroxênio alterado e corroído. A barra mede 2,6 mm. Nicóis descruzados. Lâmina BAR-10AIVb. **ee'**: Visão geral da banda rica em clinopiroxênio e hornblenda com granada porfiroblástica e leucossoma com escapolita e porfiroblastos de granada euédricos. As barras medem 2,08 mm. Nicóis respectivamente descruzados e cruzados. Lâmina BAR-11CIVa. **ff'**: Leucossoma alterado por óxidos, sericita ou mica branca, serpentina e carbonato. As barras medem 2,6 mm. Nicóis respectivamente descruzados e cruzados. Lâmina BAR-10EVIII.

O leucossoma pode ocorrer concordante entre bandas do anfibolito (prancha 16ee'). Este leito é constituído por 65-70% de quartzo cominuído ductilmente, poligonizado, sendo os cristais de plagioclásio alterados bem deformados e estirados, principalmente quando em contato com hornblenda ou granada. Este leucossoma é balizado pela rocha rica em hornblenda, granada, quartzo, plagioclásio, opacos e titanita (prancha 16f). Apresenta estiramento mineral e as inclusões de quartzo e plagioclásio no interior da granada formam pequeno ângulo com a foliação externa, indicando que houve pequena rotação do porfiroblasto (prancha 17aa'). Observam-se ainda, cristais de granada bem alterados e com inclusões de quartzo, plagioclásio, hornblenda, biotita e clinozoisita, com hornblenda nas bordas. Em algumas porções observa-se feição de reação – feição simplectítica de clinozoisita mais mineral incolor (quartzo ou plagioclásio), entre plagioclásio e hornblenda.

Em veios de leucossoma com limites sinuosos, observa-se em seu interior porções de quartzo recristalizado, cominuído e coexistindo com cristais de plagioclásio, este com composição de oligoclásio (An_{20}). Além disso, observam-se nas bordas do veio, invasões de cristais hornblenda e granada que o adentram. A granada está alterada e corroída com borda envolvida por hornblenda e inclusões de quartzo, plagioclásio e hornblenda. O clinopiroxênio ocorre alterado e corroído com hornblenda na borda (prancha 17bb').

a: Porfiroblasto de hornblenda estirado dentro do leucossoma. A barra mede 2,6 mm. Nicóis descruzados. Lâmina BAR-10EVIII. **b:** Clinopiroxênio fino alterado e fraturado intercrescido com porfiroblasto de granada. Hornblenda ocorre com menos frequência e junto aos cristais de clinopiroxênio. A barra mede 2,6 mm. Nicóis descruzados. Lâmina BAR-10AIVb. **c/c':** Porfiroblasto de granada alterado e corroído com hornblenda bordejante e inclusa, localizado em fino leucossoma. As barras medem 0,81 mm. Nicóis respectivamente descruzados e cruzados. Lâmina BAR-11FVc. **d:** Porfiroblasto de granada com biotita inclusa. A barra mede 0,32 mm. Nicóis descruzados. Lâmina BAR-11FVc. **e/e':** Leucossoma fortemente estirado com cristais alongados de hornblenda e granada. As barras medem 2,6 mm. Nicóis respectivamente descruzados e cruzados. **f:** Banda rica em hornblenda com porfiroblastos de granada associados as porções e lentes quartzo-feldspáticas. A barra mede 2,6 mm. Nicóis descruzados. Lâmina BAR-11FVa.

Na amostra coletada na porção mais próxima à base do corpo, observam-se dois tipos de leucossoma: o primeiro na forma de lente ondulada composta de 75-80% de quartzo e 20% de plagioclásio e porfiroblastos de granada associados na borda deste com a matriz (prancha 17c); o outro tipo ocorre em contato brusco com a matriz rica em hornblenda em um dos lados estando o outro em contato com a banda máfica rica em clinopiroxênio e granada. Além disso, os cristais de hornblenda e clinopiroxênio estão associados aos grãos de granada e formam corrente de fluxo dentro do fino veio de leucossoma (prancha 17d). Este apresenta em sua borda inferior minerais opacos, grãos de hornblenda e granada deformados e na parte interna há uma fina camada de quartzo granoblástico e recristalizado que se coloca intersticialmente entre os grãos maiores de quartzo, plagioclásio e granada (prancha 17e/f). Em sua borda superior o contato é transicional e marcado pelo contato dos grãos do leucossoma com a porção rica em clinopiroxênio e granada. Este é composto por 75% de quartzo granoblástico com extinção ondulante, 15% de granada e 10% de plagioclásio de composição de labradorita (An_{51}), traços de carbonato e apatita muito fina.

Prancha 17 – Base / Leucossoma

a/a': Porfiroblasto de granada corroído, alterado e levemente rotacionado. Apresenta inclusões de opacos, quartzo, plagioclásio e hornblenda. As barras medem 0,81 mm. Nicóis respectivamente descruzados e cruzados. Lâmina BAR-11FVa. **b/b'**: Leucossoma com porfiroblasto de clinopiroxênio sendo alterado por hornblenda. Observam-se também cristais de granada e hornblenda esparsos. As barras medem 0,81 mm. Nicóis respectivamente descruzados e cruzados. Lâmina BAR-11FVb. **c**: Lente com borda mais ondulada em contato com a matriz rica em hornblenda e granada. Nota-se a presença de porfiroblastos de granada no contato e lente composta por quartzo e plagioclásio. A barra mede 0,81 mm. Nicóis cruzados. Lâmina BAR-11FVc. **d**: Visão geral mostrando banda rica em hornblenda com porfiroblastos de granada acima, intercalada com leucossoma centimétrico com porfiroblastos de granada levemente estiradas (como se formassem um fluxo ao longo desta lente) e abaixo banda rica em clinopiroxênio, hornblenda e porfiroblastos de granada, esta mais espessa. A barra mede 2,6 mm. Nicóis descruzados. Lâmina BAR-11FVc. **e**: Borda mais brusca do leucossoma, com clinopiroxênio associado a hornblenda bordejante no contato. A barra mede 0,81 mm. Nicóis descruzados. Lâmina BAR-11FVc. **f**: Borda do leucossoma composto por plagioclásio e quartzo, este mais abundante. A barra mede 0,81 mm. Nicóis cruzados. Lâmina BAR-11FVc.

7. QUÍMICA MINERAL

7.1 Introdução

Para entender como ocorrem as interações entre os minerais de uma associação mineral, é necessário entender a química cristalina de cada grupo mineral. Para isso, deve-se examinar a organização dos átomos dentro do mineral, descobrir quais são os princípios cristaloquímicos que controlam essa organização, qual é o alcance da composição química de cada grupo mineral, como a composição química afeta o equilíbrio de fase do mineral, e por fim, como tudo isso afeta a estabilidade dos minerais para assim usar todas estas informações para obter a compreensão da história da rocha. As condições de temperatura e pressão podem ser avaliadas pelas associações minerais. Para entender como os minerais interagem entre si na associação mineral, deve-se ter conhecimento da composição química de cada mineral e da relação entre a composição dos mesmos e as condições de temperatura e pressão em que foram formados. Para isso examina-se a composição dos minerais com a microsonda eletrônica.

A organização dos átomos é dada pelo arranjo geométrico dos ânions e cátions dentro da estrutura do mineral. O arranjo é representado por poliedros interconectados de coordenações diferentes. A configuração poliedral dos ânions ao redor dos cátions depende tanto do raio iônico de ambos quanto da quantidade de ânions que irá rodear os cátions. O ânion dominante em rochas formadoras de silicatos é o oxigênio (Spear, 1993). Na tabela 1 observam-se os 11 elementos mais comuns presentes na crosta da Terra, com seus respectivos estados de valência, seus números de coordenação típicos quando em contato com oxigênio e o seus raios iônicos. Em um cristal de estrutura estável, cada cátion irá se acomodar aproximadamente no centro de um poliedro de coordenação de ânions. O número de ânions no poliedro equivale ao número de coordenação do cátion, que é determinado pelos seus tamanhos relativos. O raio dos cátions muda em função do número de coordenação. O aumento do raio catiônico reflete a expansão do cátion no espaço (ou no vácuo) dado pelos ânions circundantes.

O sítio cristalográfico é a posição atômica dentro do cristal e cada sítio catiônico pode ser descrito por um poliedro de coordenação, dependendo do número de coordenação. O mineral pode ter diversos sítios catiônicos, todos com o mesmo número de coordenação, mas devido a estrutura particular do cristal, estes sítios podem ser levemente diferentes em tamanho e/ou forma. Por exemplo, nos silicatos o Si ocupa um tetraédro, constituindo assim poliedro de coordenação 4, pois o Si fica no centro e nos vértices do tetraédro ficam quatro oxigênios. No entanto, se o mesmo tetraedro for ocupado por Al, embora o número de coordenação seja o mesmo, o tamanho e forma do tetraédro é levemente diferente do ocupado pelo Si.

Tabela 1: Íons mais comuns presentes na crosta da Terra, com seus respectivos estados de valência, números de coordenação e raios iônicos. Extraído de Klein, 2002.

Íon	Número de coordenação com Oxigênio	Raio iônico em Å
O ²⁻		1.36 [3]
K ⁺	8 – 12	1.51 [8] – 1.64 [12]
Na ⁺	8 – 6 (cúbico/octaédrico)	1.18 [8] – 1.02 [6]
Ca ²⁺	6 (octaédrico)	1.12 [8] – 1.00 [6]
Mn ²⁺	6 (octaédrico)	0.83 [6]
Fe ²⁺	6 (octaédrico)	0.78 [6]
Mg ²⁺	6 (octaédrico)	0.72 [6]
Fe ³⁺	6 (octaédrico)	0.65 [6]
Ti ⁴⁺	6 (octaédrico)	0.61 [6]
Al ³⁺	6 (octaédrico)	0.54 [6]
Al ³⁺	4 (tetraédrico)	0.39 [4]
Si ⁴⁺	4 (tetraédrico)	0.26 [4]
P ⁵⁺	4 (tetraédrico)	0.17 [4]
S ⁶⁺	4 (tetraédrico)	0.12 [4]
C ⁴⁺	3 (triangular)	-0.08 [3]

A razão para descrever a química mineral em termos de poliedros de coordenação é devido a este método ser mais conveniente pois prevê as substituições químicas que são permitidas no mineral. As substituições químicas podem ser descritas pelos vetores de troca. O vetor de troca é um artifício matemático que representa a diferença entre as fórmulas de dois membros finais e possui direção e módulo como todos os vetores. A direção do vetor indica os átomos envolvidos na substituição e a magnitude reflete o número de átomos que estão sendo trocados (Spear, 1993). Os vetores de troca representam as variações composicionais dentro de cada mineral, ou seja, as substituições químicas que ocorrem nos minerais durante uma reação qualquer. Para obter o vetor entre dois pontos, ocorre a subtração entre duas composições minerais. Por exemplo, o vetor de troca entre ortoclásio e albita (membros finais) será:

$$\frac{\text{KAlSi}_3\text{O}_8 \text{ (ortoclásio)} - \text{NaAlSi}_3\text{O}_8 \text{ (albita)}}{\text{(mecanismo de troca)K-Na} = \text{KNa}_{-1} \text{ (vetores de troca)}}$$

O subscrito -1 para o Na, quer dizer que quando se adiciona um átomo de K (+) deve-se extrair um átomo de Na (-). Da mesma forma, se colocarmos a notação NaK_{-1} , é a mesma troca mas ao contrário, o que entra é o Na (+) e o que sai é o K (-).

A diferença entre fórmula mineral e vetor de troca é que na fórmula mineral há a representação da composição do mineral completa com todos os átomos incluindo o oxigênio, enquanto os vetores de troca mostram a diferença entre as fórmulas dos dois minerais. Mecanismo de troca, por sua vez, refere-se ao processo físico de substituição de um átomo por outro. A notação é K-Na que mostra a substituição física de um átomo de K por um átomo de Na. Desta forma, a diferença entre mecanismos e vetores de troca é que um refere-se a um processo físico e o outro a uma construção matemática. Os vetores de troca são convenientes para descrever as soluções sólidas, pois desta forma eles simplificam algo de compreensão mais complexa e bastante diversificada que atua na formação dos minerais. Existem dois tipos de vetores de troca: simples e acoplado. O vetor de troca simples é caracterizado por substituição de um átomo por outro, assim como o KNa_{-1} descrito acima. O vetor de troca acoplado envolve substituição de dois ou mais átomos, de forma que um átomo está acoplado a outro.

Exemplo:

A razão para esta substituição ser acoplada é que Na^+ e Ca^{2+} tem valências diferentes. Assim elas não podem ser substituídas por troca simples, pois irá destruir a eletroneutralidade do cristal (soma da carga dos vetores de troca para um determinado mecanismo de troca deve ser igual a 0). Desta forma, Na^+ e Si^{4+} se juntam e substituem Ca^{2+} e Al^{3+} assim realizando a troca neutra onde a carga de NaSi e de CaAl é igual a 5. Sendo assim, através da composição das fases são estabelecidas as principais substituições (vetores de troca) atuantes em cada mineral e suas relações com o metamorfismo. Estabelecidas as fases que estiveram em equilíbrio durante o pico metamórfico, são realizadas análises químicas sobre estas fases. A partir dos dados da química do mineral pode ser calculada a fórmula estrutural do mineral. A fórmula estrutural será então utilizada para o cálculo das condições de pressão e temperatura.

7.2 Química mineral do anfibolito Cafelândia

As análises químicas dos minerais foram realizadas na Microsonda Eletrônica JEOL, modelo JXA 8600, no Laboratório de Microsonda do Departamento de Mineralogia e Geotectônica da Universidade de São Paulo. As condições usadas para as análises foram 20nÅ, 15kV e feixe com diâmetro de 5µ. As fases analisadas para este trabalho pertencem ao anfibolito Cafelândia, e estas são: anfibólio – hornblenda, clinopiroxênio - diopsídio, granada e plagioclásio. Foram analisadas 8 lâminas apresentando o bandamento típico do anfibolito Cafelândia. Em cada lâmina, foram analisadas todas as fases, separadas por leitos máficos e félsicos. As análises foram feitas ao longo de todo o cristal, envolvendo núcleo e bordas. Foram feitas no total 603 análises em 107 grãos, sendo destes 36 de hornblenda, 37 de plagioclásio, 17 de clinopiroxênio e 17 de granada. Posteriormente, os dados de química mineral foram tratados e utilizados para o cálculo da fórmula estrutural dos minerais. Para os minerais de clinopiroxênio, granada e plagioclásio foi utilizado o programa Ax – Activity

Composition (Holland & Powell, 1998). Para o tratamento de dados das análises de hornblenda foi utilizado o programa MINPET® (Richard, 1995) para o cálculo da fórmula estrutural. A partir da fórmula estrutural foram feitos gráficos diversos para verificar as variações composicionais e as possíveis substituições químicas ao longo de cada mineral.

Em se tratando do anfibolito Cafelândia, os vetores de troca serão usados para analisar as substituições que ocorrem nos grãos de clinopiroxênio (diopsídio) e anfibólio (hornblenda), a fim de observar as principais mudanças que ocorrem em cada leito. Assim, os principais vetores de troca utilizados são: FeMg_{-1} , $\text{Al}^{\text{VI}}\text{Al}^{\text{IV}}\text{Mg}_{-1}\text{Si}_{-1}$ (troca tschermakítica), $\text{NaAl}^{\text{IV}}\text{O}_{-1}\text{Si}_{-1}$ (troca edenita), $\text{NaAl}^{\text{IV}}\text{Ca}_{-1}\text{Mg}_{-1}$ (troca jadeíta ou glaucofano), $\text{TiAl}_2^{\text{VI}}\text{Mg}_{-1}\text{Si}_{-2}$ (troca titânio-tschermakítica) e $\text{NaAl}^{\text{VI}}\text{Al}_2^{\text{IV}}\text{O}_{-1}\text{Mg}_{-1}\text{Si}_{-2}$ (troca pargasítica). O vetor de troca mais comum é o FeMg_{-1} , que ocorre em quase todos os minerais que incorporam Fe e Mg. Esta substituição é considerada ideal e é frequentemente usada como geotermômetro (Pattison & Newton, 1989). Em geral as espécies ricas em Mg apresentam estabilidade termal maior do que as variações ricas em Fe. A substituição edenita envolve vacância (símbolo “o” indica vacância). Anfibólios e micas podem conter vacâncias no sítio alcalino (K, Na no sítio A). Nos anfibólios e filossilicatos há um hiato de miscibilidade (refere-se a qualquer lacuna composicional ao longo de uma substituição) ao longo da substituição edenítica, por exemplo entre actinolita e edenita, muscovita (ou paragonita) e pirofilita e biotita (ou flogopita) e talco. Nos anfibólios cálcicos a substituição edenítica é quase sempre combinada com a tschermakítica na razão 1:1. Entretanto por vezes pode variar de acordo com o tipo de rocha e condições *P-T*, para realizar a substituição pargasítica. Normalmente, em anfibólios de pressão média, 80-90% da variação química nos anfibólios cálcicos ocorre entre actinolita e hornblenda ao longo da substituição pargasítica. Titânio é raramente um componente volumoso nos silicatos, entretanto as trocas envolvendo Ti (Ti-tschermak) são importantes pois a quantidade de Ti substituída é sensível à temperatura. Estudos mostram que a quantidade de titânio em anfibólios, micas e piroxênios aumenta com o aumento da temperatura (Spear, 1993). Outra importante substituição é a troca glaucofano/jadeíta. Esta é a substituição que ocorre entre diopsídio e jadeíta nos piroxênios e entre tremolita e glaucofano nos anfibólios. Esta é uma importante substituição que mostra o aumento de pressão pois ambos,

glaucofano e jadeíta, são minerais de alta pressão. Resumindo, vetores de troca descrevem a troca composicional ao longo da solução sólida.

7.3 Anfibólio – Hornblenda

O grupo dos anfibólios é de grande importância nas rochas metamórficas. Sua grande flexibilidade composicional permite sua ocorrência em extenso conjunto de rochas e em amplo espectro de condições *P-T* do metamorfismo. Leake (1978) resumiu a fórmula padrão dos anfibólios:

Esta fórmula traduzida em termos de sítios cristalográficos torna-se:

A distribuição dos cátions pelos seus sítios cristalográficos e seus respectivos números de coordenação são:

A – coordenação 12 / Na e K

B (M4) – coordenação 6 ou 8 / Mg, Fe²⁺, Zn, Mn, Ca, Li, Na

C (M1 e M3) – coordenação 6 / Mn, Fe²⁺, Mg

C (M2) – coordenação 6 / Al^{VI}, Ti, Fe³⁺, Mg, Fe²⁺

T (T1) – coordenação 4 / Si, Al^{IV}, Fe³⁺, Ti⁴⁺

T (T2) – coordenação 4 / Si (Al^{IV})

As análises de microsonda são capazes de determinar as proporções da maioria dos átomos mais pesados que o oxigênio com uma certeza satisfatória para as formulações dos minerais. Entretanto, ela não é capaz de distinguir O e (OH), ou Fe²⁺ e Fe³⁺ (ou Mn²⁺ e Mn³⁺). Muitos trabalhos dizem que as fórmulas dos anfibólios podem ser normalizadas para Fe³⁺ usando o critério de balanço de cargas. O fato é que qualquer combinação de óxidos pode ser construída na fórmula do anfibólio. As cargas são

balanceadas para obter o equilíbrio. Por exemplo, se surgir uma vacância no M4, ocorrerá um efeito na carga para evitar esse balanceamento equivocado. Recálculos são feitos até que a vacância no M4 seja equilibrada, assim eliminando a mesma (Robinson *et al*, 1982). Para saber qual recálculo é o mais adequado para a determinação das fórmulas dos minerais, deve-se considerar alguns parâmetros sobre limites cristaloquímicos. O limite cristaloquímico define que o tamanho do sítio deve ser compatível com o tamanho do cátion. Cada sítio cristalográfico tem seu tamanho e esse é o limite para que ocorram as trocas de cátions durante as substituições dos cátions no anfibólio. Estes limites são baseados pelo estudo da difração de raio X realizado em um cristal. Desta forma a lista dos limites cristaloquímicos é possível:

K – somente no sítio A; Na – somente nos sítios A e M4 (Na no M4 deve estar em pequena quantidade mesmo em anfibólios sódicos pois é um cátion pequeno) / Ca – somente no sítio M4 / Mn – sítios M1, M2, M3 ou M4 / Fe^{2+} – sítios M1, M2, M3 ou M4 / Mg – sítios M1, M2, M3 ou M4 / Fe^{3+} – sítios M2, M1 ou M3 / Ti – sítio M2 / Al – sítios M2 e T / e Si – somente sítio T. Vacâncias ocorrem somente no sítio A (Ca, Li, Na e K) (Robinson *et al*, 1982).

Em geral, as fórmulas dos anfibólios podem ser normalizadas para Fe^{3+} usando o critério de recálculo com limites máximos e mínimos que se encaixam dentro dos limites químicos e dentro de possíveis limites cristaloquímicos. Para o recálculo dos anfibólios do anfibólito Cafelândia, foi usado o programa MINPET com a normalização 13CNK, esta mais indicada para anfibólios cálcicos. A classificação dos anfibólios é baseada na ocupação do sítio M4, sendo dividida em quatro grupos:

- Grupo dos anfibólios de Fe – Mg – Mn / $(\text{Ca}+\text{Na})_{\text{M4}} < 1,34$
- Grupo dos anfibólios cálcicos / $(\text{Ca}+\text{Na})_{\text{M4}} \geq 1,34 - \text{Na}_{\text{M4}} \leq 0,67$
- Grupo dos anfibólios sódico-cálcicos / $(\text{Ca}+\text{Na})_{\text{M4}} \geq 1,34 - 0,67 \leq \text{Na}_{\text{M4}} \leq 1,34$
- Grupo dos anfibólios alcalinos / $\text{Na}_{\text{M4}} \geq 1,34$

A classificação depende do modo como a fórmula química do anfibólio é calculada. A melhor forma de calcular a fórmula estrutural é através das análises via úmida, com as quais é possível a determinação de água e a razão $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$. Nesse caso, a fórmula estrutural pode ser normalizada a 24 (O, OH, F, Cl). Nas análises efetuadas

com microsonda eletrônica, não é possível determinar Fe^{3+} e água e a normalização a 23 O, assumindo 2 (OH, F, Cl) é recomendada (Robinson *et al*, 1982).

Anfibólio no anfibolito Cafelândia

Foram analisados 36 cristais de anfibólio (anexo 1), presentes em oito lâminas (tabela 2), que foram diferenciados entre topo e base, e entre leucossoma e matriz da rocha.

Tabela 2: Relação de lâminas e contextos texturais dos grãos de anfibólio analisados no anfibolito Cafelândia.

Lâmina	Quantidade de cristais analisados	Domínio
BAR-4D	1	leucossoma
	5	banda rica em Hbl
BAR-4EVI	2	leucossoma
BAR-4.1BVIb	3	banda rica em Hbl
	4	banda rica em Cpx
BAR-4.1CI	1	leucossoma
BAR-10AIVb	3	leucossoma
	1	banda rica em Hbl
	2	banda rica em Cpx
BAR-10EVIII	2	leucossoma
BAR-11BIa	1	leucossoma
	2	banda rica em Hbl e Cpx
	3	banda rica em Hbl
BAR-11FVc	5	banda rica em Hbl
	2	banda rica em Cpx

A distribuição dos cátions pelos sítios cristalográficos, como já dito anteriormente, foi calculada com o programa MINPET e dele foram gerados gráficos de classificação e dos principais vetores de troca. Os anfibólios foram classificados como cálcicos, nos campos tschermakita (figura 7a). Os pontos que ocorrem no campo magnésio-hornblenda fazem parte de amostras da base e geralmente são pontos de análises de borda (figura 7b). Observa-se que alguns pontos plotaram no diagrama 2 ($ANa+AK \geq 0,50$). Estes foram classificados como ferro-pargasita e são pontos que ocorrem tanto no topo quanto na base. No topo, geralmente, estes pontos estão contidos nos limites da borda da banda rica em hornblenda e a rica em clinopiroxênio.

Figura 7a: Classificação geral das análises de hornblenda do anfibolito Cafelândia.

Banda rica em Cpx:

núcleo: $K_{0.112}, Na_{0.398} (Na_{0.082}, Ca_{1.918})_2 (Fe^{2+}_{2.04}, Mg_{1.807}, Mn_{0.029}, Fe^{3+}_{0.514}, Ti_{0.142}, Al_{0.469})_5 (Al_{1.695}, Si_{6.305})_8 O_{22}$

borda: $K_{0.115}, Na_{0.395} (Na_{0.109}, Ca_{1.891})_2 (Fe^{2+}_{1.959}, Mg_{1.836}, Mn_{0.017}, Fe^{3+}_{0.57}, Ti_{0.132}, Al_{0.486})_5 (Al_{1.721}, Si_{6.279})_8 O_{22}$

- Base do anfibolito Cafelândia:

Leucossoma:

núcleo: $K_{0.146}, Na_{0.23} (Na_{0.218}, Ca_{1.782})_2 (Fe^{2+}_{1.577}, Mg_{2.13}, Mn_{0.025}, Fe^{3+}_{0.67}, Ti_{0.213}, Al_{0.385})_5 (Al_{1.639}, Si_{6.361})_8 O_{22} (OH, F, Cl)_2$

borda: $K_{0.159}, Na_{0.284} (Na_{0.104}, Ca_{1.896})_2 (Fe^{2+}_{1.716}, Mg_{2.123}, Mn_{0.015}, Fe^{3+}_{0.515}, Ti_{0.199}, Al_{0.431})_5 (Al_{1.685}, Si_{6.315})_8 O_{22} (OH, F, Cl)_2$

Banda rica em Hbl:

núcleo: $K_{0.102}, Na_{0.346} (Na_{0.172}, Ca_{1.828})_2 (Fe^{2+}_{1.727}, Mg_{2.071}, Mn_{0.027}, Fe^{3+}_{0.593}, Ti_{0.164}, Al_{0.418})_5 (Al_{1.615}, Si_{6.385})_8 O_{22} (OH, F, Cl)_2$

borda: $K_{0.097}, Na_{0.223} (Na_{0.282}, Ca_{1.718})_2 (Fe^{2+}_{1.366}, Mg_{2.143}, Mn_{0.035}, Fe^{3+}_{0.971}, Ti_{0.211}, Al_{0.274})_5 (Al_{1.705}, Si_{6.295})_8 O_{22} (OH, F, Cl)_2$

Banda rica em Cpx:

núcleo: $K_{0.085}, Na_{0.274} (Na_{0.18}, Ca_{1.82})_2 (Fe^{2+}_{1.789}, Mg_{2.05}, Mn_{0.013}, Fe^{3+}_{0.505}, Ti_{0.15}, Al_{0.493})_5 (Al_{1.477}, Si_{6.523})_8 O_{22}$

borda: $K_{0.043}, Na_{0.247} (Na_{0.12}, Ca_{1.88})_2 (Fe^{2+}_{1.726}, Mg_{2.242}, Mn_{0.015}, Fe^{3+}_{0.536}, Ti_{0.097}, Al_{0.384})_5 (Al_{1.284}, Si_{6.716})_8 O_{22}$

A hornblenda do leucossoma apresenta núcleo mais rico em Mg e Si do que a borda (figura 8). Os outros tipos não formam um padrão claro e a composição é controlada banda a banda. As bordas de todos os grãos apresentam maior variação composicional, abrangendo desde os valores mais ricos em Mg e Si até os mais pobres nesses elementos e, consequentemente, mais ricos em Al (figura 8).

De modo geral, é possível observar as seguintes tendências: o núcleo dos grãos do leucossoma são os mais magnesianos em conjunto com alguns grãos de bandas ricas em hornblenda ou do contato entre as bandas e os grãos da banda com clinopiroxênio são os que apresentam a maior variação composicional, com os menores e os maiores valores de Mg (figura 9). Os valores mais altos de Ti são dos núcleos de alguns grãos do leucossoma, enquanto a maior parte das análises formam uma nuvem entre 0,1 e 0,2 a.p.f.u. (figura 9).

Figura 8: Gráfico de troca tschermak dos grãos de hornblenda do anfibolito Cafelândia. Lente félsica equivale ao leucossoma.

Figura 9: Gráfico de Ti vs. Mg dos grãos de hornblenda do anfibolito Cafelândia. Lente félsica equivale ao leucossoma.

7.4 Granada

O grupo da granada é muito importante para o estudo das rochas metamórficas, pois a granada também apresenta amplo espectro composicional permitindo sua estabilidade em diversas rochas. Devido a sua estabilidade em quase todos os intervalos de temperatura e pressão do metamorfismo, sua participação é muito importante nos geobarômetros e geotermômetros. A fórmula geral da granada é:

Os sítios são ocupados por cátions di, tri e tetravalentes (Fe^{2+} , Mg, Mn, Fe^{3+} , Al, Cr^{3+} , Ti e Si). O sítio cristalográfico X possui coordenação 8 (cúbo distorcido) e incorpora Ca, Mn, Fe^{2+} e Mg; o sítio Y é menor e possui coordenação 6 (octaédrico) e incorpora Al, Fe^{3+} e Cr^{3+} ; o sítio Z é tetraedral e geralmente contem somente Si.

A maioria das granadas metamórficas mais comuns apresentam solução sólida entre os quatro membros finais: almandina, piropo, grossulária e espessartita. Todas as substituições entre os membros finais ocorrem no sítio X de coordenação 8. Soluções sólidas entre almandina e espessartita com baixo teor dos componentes piropo e grossulária são frequentes em xistos de baixo a médio grau. A ocorrência de piropo é favorecida em altas pressões especialmente em fácies eclogito. Grossulária e andradita ($Ca_3Al_2Si_3O_{12}$ e $Ca_3Fe^{3+}_2Si_3O_{12}$) são comuns em rocha calciossilicáticas (ambientes ricos em Ca).

A fração molar de cada membro final foi calculada de acordo com as seguintes expressões (Deer *et al.*, 1992):

- almandina: $Fe/(Fe+Mg+Mn+Ca)*100$
- piropo: $Mg/(Fe+Mg+Mn+Ca)*100$
- espessartita: $Mn/(Fe+Mg+Mn+Ca)*100$
- grossulária: $(Ca/(Fe+Mg+Mn+Ca)*100)$ - andradita
- andradita: $Fe^{3+}/(AlVI+Fe^{3+})*100$

Granada no anfibolito Cafelândia

Foram analisados 17 cristais de granada em bandas distintas da rocha (anexo 2) de três lâminas no total (tabela 3). Por se tratar de anfibolito bandado, a granada irá apresentar variações quanto a sua composição de banda para banda. Além da variação pelo bandamento, a composição da granada pode variar também em relação as condições de temperatura e pressão.

Tabela 3: Distribuição dos cristais de granada analisados por lâminas e domínios.

Lâmina	Quantidade de cristais analisados	Domínio
BAR-4.1BVIb	6	banda rica em Hbl
	2	banda rica em Cpx
BAR-10AIVb	1	banda rica em Hbl
	2	banda rica em Cpx
BAR-11FVc	2	leucossoma
	1	banda rica em Hbl
	3	banda rica em Cpx

Abaixo serão apresentadas as fórmulas estruturais representativas de cada banda separadas por topo e base do anfibolito Cafelândia. O recálculo das fórmulas foi normalizado para 8 cátions e 12 átomos de oxigênio, com ferro total assumido igual a Fe^{2+} . Desta forma, temos:

- Topo do anfibolito Cafelândia:

Banda rica em hornblenda:

borda: $(\text{Fe}^{2+}_{1.685}, \text{Mn}_{0.133}, \text{Mg}_{0.266}, \text{Ca}_{0.888}) \text{Al}_{2.011} \text{Si}_{3.002} \text{O}_{12}$

Alm_{56.696} Sps_{4.475} Pir_{8.950} Grs_{29.879}

núcleo: (Fe²⁺_{1.669}, Mn_{0.133}, Mg_{0.265}, Ca_{0.874}) Al_{2.031} Si_{3.002} O₁₂

Alm_{56.749} Sps_{4.522} Pir_{9.011} Grs_{29.718}

Banda rica em clinopiroxênio:

borda: (Fe²⁺_{1.642}, Mn_{0.143}, Mg_{0.221}, Ca_{0.938}) Al_{2.035} Si_{2.999} O₁₂

Alm_{55.774} Sps_{4.857} Pir_{7.507} Grs_{31.861}

núcleo: (Fe²⁺_{1.657}, Mn_{0.151}, Mg_{0.263}, Ca_{0.886}) Al_{2.029} Si_{2.995} O₁₂

Alm_{56.037} Sps_{5.107} Pir_{8.894} Grs_{29.963}

- Base do anfibolito Cafelândia:

Leucossoma:

borda: (Fe²⁺_{1.753}, Mn_{0.063}, Mg_{0.297}, Ca_{0.867}) Al_{2.033} Si_{2.98} O₁₂

Alm_{58.826} Sps_{2.114} Pir_{9.966} Grs_{29.094}

núcleo: (Fe²⁺_{1.782}, Mn_{0.077}, Mg_{0.347}, Ca_{0.765}) Al_{2.033} Si_{2.97} O₁₂

Alm_{59.980} Sps_{2.592} Pir_{11.680} Grs_{24.582}

Banda rica em hornblenda:

borda: (Fe²⁺_{1.742}, Mn_{0.082}, Mg_{0.327}, Ca_{0.786}) Al_{2.046} Si_{2.997} O₁₂

Alm_{59.312} Sps_{2.792} Pir_{11.134} Grs_{26.762}

núcleo: (Fe²⁺_{1.784}, Mn_{0.089}, Mg_{0.393}, Ca_{0.703}) Al_{2.026} Si_{2.967} O₁₂

Alm_{60.088} Sps_{2.998} Pir_{13.237} Grs_{21.932}

Banda rica em clinopiroxênio:

borda: (Fe²⁺_{1.804}, Mn_{0.072}, Mg_{0.286}, Ca_{0.808}) Al_{2.013} Si_{3.003} O₁₂

Alm_{60.741} Sps_{2.424} Pir_{9.630} Grs_{27.205}

núcleo: $(\text{Fe}^{2+}_{1.762}, \text{Mn}_{0.071}, \text{Mg}_{0.345}, \text{Ca}_{0.79}) \text{Al}_{2.022} \text{Si}_{2.967} \text{O}_{12}$

$\text{Alm}_{59.367} \text{Sps}_{2.392} \text{Pir}_{11.624} \text{GrS}_{24.630}$

Após calcular as fórmulas estruturais, foram feitos perfis composicionais utilizando a fração molar de cada membro final dos grãos de granada analisados. Em sua totalidade, os perfis composicionais são levemente planos (figuras 10 e 11). A maior parte dos grãos analisados não apresenta grande zonação química e as variações entre núcleo e borda são pequenas. De um modo geral, almandina é o membro final mais abundante e praticamente sem diferenças do núcleo para as bordas. Grossulária é o segundo membro final mais abundante e apresenta leve enriquecimento nas bordas, enquanto piropo e espessartita apresentam leve empobrecimento nas bordas (figura 10 e 11).

Ao separarmos as amostras entre topo e base, notamos algumas diferenças. No topo a granada é mais rica em Fe, com teores em média de 57%. Teores de grossulária mostram em média 29%, estes aumentando para a borda. Teores de piropo e espessartita entre 5 e 10%, estes diminuindo para a borda (figura 10a). Em relação aos grãos presentes na banda rica em clinopiroxênio, não existe muita diferença entre a composição destes e da granada da banda rica em hornblenda (figura 10b). Na base, a granada presente no leucossoma apresenta teores de almandina em torno de 60% que diminuem para a borda. Os teores de grossulária são menores se comparados as amostras do topo do anfibolito, mas também aumentam seu teor em direção a borda do grão, variando de 24-29%. Por sua vez, o piropo apresenta teores maiores do que as amostras de topo, com tendências que diminuem para a borda (figura 11a). Os grãos de granada das bandas ricas em hornblenda apresentam índices semelhantes à composição da granada do leucossoma. Entretanto, os teores de grossulária do núcleo do grão são menores (22%) e os de piropo do núcleo são maiores (14%), indicando enriquecimento em Mg nesta porção do corpo de anfibolito (figura 11b). Muitas vezes, as variações da grossulária ocorrem para compensar as variações de piropo e almandina. Na banda rica em clinopiroxênio, a composição da granada apresenta teores de almandina mais elevados que nos outros leitos, em torno de 61% aumentando para a borda. Teores de grossulária variam entre 22 e 27%, geralmente aumentando os teores para a borda. Piropo possui teores maiores de Mg nas amostras de base do que nas amostras de topo,

com teores que diminuem para a borda (figura 11c). Teores de espessartita não apresentam grande variação entre as amostras de topo e base, e entre borda e núcleo de grão, entretanto teores do topo tendem a ser um pouco maiores do que os teores das amostras de base.

A conclusão que pode ser tirada do exposta acima a respeito da granada é que a sua variação composicional está ligada à composição de cada banda. Os perfis composicionais são praticamente planos em todas os contextos texturais. Em cada banda é observado que enquanto em um grão o conteúdo de um elemento tem leve enriquecimento em direção à borda, em outra banda esse comportamento é inverso. Como as diferenças são sutis, isso é atribuído a interação entre os minerais em contato com a granada durante o resfriamento. Contudo, não foram feitas análises em todos os contextos texturais possíveis para que se pudesse traçar padrão geral do comportamento dos elementos na granada durante o resfriamento.

Figura 10: Perfis composicionais dos cristais de granada das amostras de topo do anfibolito Cafelândia. Estes apresentam os perfis dos membros finais em fração molar.

Figura 11: Perfis composicionais dos cristais de granada das amostras de base do anfibolito Cafelândia. Estes apresentam os perfis dos membros finais em fração molar.

7.5 Piroxênio

Os cristais de piroxênio são comuns em rochas metamórficas que atingem as condições das fácies anfibolito superior, eclogito e granulito. A fórmula estrutural geral do piroxênio é expressa por:

Os principais cátions que ocupam os sítios cristalográficos M2 (sítio maior, de coordenação variando entre 6 e 8) e M1 (sítio menor, de coordenação 6) são:

M2: Na, Ca, Mn, Fe e Mg (preferencialmente nesta ordem)

M1: Al, Ti, Fe^{3+} , Mg e Fe^{2+} , onde o Fe entra preferencialmente no M2, por ser o seu raio iônico maior que o do Mg.

Os piroxênios são classificados em função do cátion que ocupa o sítio M2. Clinopiroxênio ocorre quando o sítio é ocupado por Ca. Caso o M2 for ocupado por Fe ou Mg o piroxênio é do grupo dos ortopiroxênios e se for por Na, esse será um piroxênio sódico. As substituições dominantes nos piroxênios metamórficos são FeMg_{-1} , CaMg_{-1} e $\text{Al}^{\text{VI}}\text{Al}^{\text{IV}}\text{Mg}_{-1}\text{Si}_{-1}$ (tschermak).

Em altas pressões, a substituição da jadeíta ($\text{NaAl}^{\text{VI}}\text{Ca}_{-1}\text{Mg}_{-1}$) é importante. A solução sólida entre Fe-Mg reúne diopsídio-hedenbergita e enstatita-ferrosilita. As trocas entre CaMg_{-1} e CaFe_{-1} conectam enstatita-diopsídio e ferrosilita-hedenbergita. As trocas tschermak ocorrem tanto nos piroxênios Fe-Mg quanto nos cálcicos, levando aos membros finais CaAlAlSiO_6 (“Cats”), MgAlAlSiO_6 e FeAlAlSiO_6 . Estas substituições ocorrem somente em uma extensão limite dos piroxênios metamórficos (Spear, 1993).

Piroxênio no anfibolito Cafelândia

Foram analisados no anfibolito Cafelândia 17 cristais de clinopiroxênio (anexo 3) em cinco lâminas (tabela 4). Estes apresentam-se em contato estável com os cristais de granada, hornblenda e plagioclásio. Foram observados também cristais de ortopiroxênio, como já descrito no item Petrografia, porém estes não foram analisados.

Tabela 4: Distribuição dos cristais de clinopiroxênio analisados por lâminas e domínios.

Lâmina	Quantidade de cristais analisados	Domínio
BAR-4D	2	leucossoma
BAR-4.1BVIb	4	leucossoma
	1	banda rica em Hbl
BAR-10AIVb	2	leucossoma
	1	banda rica em Cpx
BAR-11BIa	2	leucossoma
	3	banda rica em Hbl e Cpx
BAR-11FVc	2	banda rica em Cpx

O cálculo das fórmulas estruturais foi feito pela normalização para 4 cátions e 6 oxigênios, com a estimativa Fe^{3+} dada pelo balanço de cargas. A composição é de diopsídio com pequenas quantidades de Na, Al e Ti. De modo representativo, as fórmulas estruturais do núcleo e da borda, separadas por topo e base, podem ser expressas por:

- Topo do anfibolito Cafelândia:

Leucossoma:

borda: $\text{Na}_{0.026} \text{Ca}_{0.907} \text{Mg}_{0.545} \text{Mn}_{0.012} \text{Fe}^{2+}_{0.453} \text{Fe}^{3+}_{0.009} \text{Ti}_{0.005} \text{Al}^{\text{VI}}_{0.042} \text{Al}^{\text{IV}}_{0.034} \text{Si}_{1.966}$

núcleo: $\text{Na}_{0.025} \text{Ca}_{0.87} \text{Mg}_{0.558} \text{Mn}_{0.016} \text{Fe}^{2+}_{0.436} \text{Fe}^{3+}_{0.089} \text{Ti}_{0.004} \text{Al}^{\text{VI}}_{0.003} \text{Al}^{\text{IV}}_{0.074} \text{Si}_{1.926}$

Banda rica em hornblenda:

borda: $\text{Na}_{0.031} \text{Ca}_{0.925} \text{Mg}_{0.576} \text{Mn}_{0.011} \text{Fe}^{2+}_{0.379} \text{Fe}^{3+}_{0.05} \text{Ti}_{0.006} \text{Al}^{\text{VI}}_{0.023} \text{Al}^{\text{IV}}_{0.053} \text{Si}_{1.947}$

núcleo: $\text{Na}_{0.029} \text{Ca}_{0.912} \text{Mg}_{0.551} \text{Mn}_{0.012} \text{Fe}^{2+}_{0.422} \text{Fe}^{3+}_{0.031} \text{Ti}_{0.007} \text{Al}^{\text{VI}}_{0.035} \text{Al}^{\text{IV}}_{0.053} \text{Si}_{1.947}$

- Base do anfibolito Cafelândia:

Leucossoma:

borda: $\text{Na}_{0.027} \text{Ca}_{0.917} \text{Mg}_{0.629} \text{Mn}_{0.009} \text{Fe}^{2+}_{0.338} \text{Fe}^{3+}_{0.071} \text{Ti}_{0.003} \text{Al}^{\text{VI}}_{0.003} \text{Al}^{\text{IV}}_{0.052} \text{Si}_{1.948}$

núcleo: $\text{Na}_{0.03} \text{Ca}_{0.881} \text{Mg}_{0.629} \text{Mn}_{0.013} \text{Fe}^{2+}_{0.367} \text{Fe}^{3+}_{0.065} \text{Ti}_{0.005} \text{Al}^{\text{VI}}_{0.009} \text{Al}^{\text{IV}}_{0.056} \text{Si}_{1.944}$

Banda rica em hornblenda e clinopiroxênio:

borda: $\text{Na}_{0.027} \text{Ca}_{0.93} \text{Mg}_{0.656} \text{Mn}_{0.011} \text{Fe}^{2+}_{0.29} \text{Fe}^{3+}_{0.086} \text{Ti}_{0.003} \text{Al}^{\text{VI}}_{0.057} \text{Al}^{\text{IV}}_{0.693} \text{Si}_{1.939}$

núcleo: $\text{Na}_{0.024} \text{Ca}_{0.918} \text{Mg}_{0.644} \text{Mn}_{0.011} \text{Fe}^{2+}_{0.33} \text{Fe}^{3+}_{0.087} \text{Ti}_{0.001} \text{Al}^{\text{VI}}_{0.035} \text{Al}^{\text{IV}}_{0.661} \text{Si}_{1.949}$

Banda rica em clinopiroxênio:

borda: $\text{Na}_{0.031} \text{Ca}_{0.936} \text{Mg}_{0.558} \text{Mn}_{0.003} \text{Fe}^{2+}_{0.362} \text{Fe}^{3+}_{0.095} \text{Ti}_{0.006} \text{Al}^{\text{VI}}_{0.008} \text{Al}^{\text{IV}}_{0.086} \text{Si}_{1.914}$

núcleo: $\text{Na}_{0.037} \text{Ca}_{0.899} \text{Mg}_{0.51} \text{Mn}_{0.005} \text{Fe}^{2+}_{0.459} \text{Fe}^{3+}_{0.034} \text{Ti}_{0.01} \text{Al}^{\text{VI}}_{0.065} \text{Al}^{\text{IV}}_{0.526} \text{Si}_{1.935}$

A partir das fórmulas estruturais, foram elaborados gráficos de perfis composicionais analisando os valores de X_{Mg} , Al^{VI} e Al^{IV} (figuras 12 e 13) e de vetores de troca mais comuns do clinopiroxênio no anfibolito Cafelândia. Nos gráficos de perfis composicionais nota-se que em todos os perfis feitos, quase não há variação composicional dentro dos grãos, estando essa restrita às bordas de alguns dos grãos analisados. Nas bordas ocorre aumento nos valores de X_{Mg} e Al^{IV} e decréscimo nos valores de Al^{VI} , mantendo o mesmo padrão para as amostras de topo e base. Observando os gráficos individualmente do topo e da base podemos observar que: as análises dos cristais de clinopiroxênio do topo pertencentes ao leucossoma, apresentam teor de Mg menos elevado do que os cristais da banda rica em hornblenda. As variações do Al são sutis, mas geralmente com teores de Al^{VI} maiores no núcleo dos grãos e de Al^{IV} maiores na borda (figura 12a/b). Nas amostras da base, o perfil do clinopiroxênio no leucossoma apresenta valores de X_{Mg} de 0.63 a 0.65 que aumentam para as bordas. Teores de Al^{IV} também aumentam sutilmente para as bordas e variam entre 0,05 e 0,10 a.p.f.u. enquanto o Al^{VI} diminui para as bordas (figura 13a). Na banda rica em hornblenda e clinopiroxênio, os teores de Mg são maiores do que nos grãos do leucossoma, variando de 0,65 a 0,70 a.p.f.u. (figura 13b). Na banda rica em

clinopiroxênio, ocorre o mesmo processo, entretanto com teores de Mg menores que 0,6 a.p.f.u., beirando 0.5 a.p.f.u. e Al maiores que 0.05 a.p.f.u. (figura 13c). Os grãos presentes no leucossoma são mais ricos em Mg e mais pobres em Al. Já os grãos presentes na banda rica em clinopiroxênio apresentam maiores teores de Al e menores teores de Mg, ou seja, há perda de Mg para o sistema.

Figura 12: Perfil composicional do clinopiroxênio do topo envolvendo valores de X_{Mg} , Al^{IV} e Al^{VI} , representam amostras do topo.

Figura 13: Perfil composicional do clinopiroxênio na base envolvendo valores de X_{Mg} , Al^{IV} e Al^{VI} representando análises de amostras da base.

Os gráficos de vetores de troca mais representativos são os de FeMg_{-1} , tschermak e Ti-tschermak. Nos gráficos de vetores de troca tschermak e Ti-tschermak observamos que, nas amostras do topo, os teores de Al no clinopiroxênio são maiores no núcleo em cristais presentes no leucossoma (figura 14b/d). Teores maiores em Al indicam maiores temperatura e teores menores, como ocorre geralmente nas análises da borda, indicam temperaturas menores, o que pode indicar retrometamorfismo ou reequilíbrio do sistema. Nos gráficos de troca de FeMg_{-1} , observamos que nas amostras de topo os teores de Fe são maiores e o de Mg menores (figuras 14a/c). Na amostra BAR-10AIVb notam-se 2 domínios principais: o grão 3 localizado na banda rica em clinopiroxênio e os outros pertencentes ao leucossoma. Em ambos observa-se tendência de núcleo mais rico em Fe^{2+} e borda mais rica em Mg (figura 14c).

Figura 14: Gráficos dos vetores de troca mais representativos dos cristais de clinopiroxênio. Losango – grão de leucossoma. Triângulo – grão na banda rica em clinopiroxênio.

7.6 Plagioclásio

O plagioclásio é um mineral essencial nas rochas máficas metamorfizadas em condições barrovianas, desde a fácies xisto verde até granulito, comum nos xistos pelíticos e nas rochas quartzo feldspáticas. Além disso, feldspatos apresentam importante papel nas paragênese metamórficas, e desta forma fazem parte dos cálculos que envolvem os geobarômetros, pois apresenta um reduzido volume molar (Deer *et al.*, 1992). A maioria dos feldspatos pode ser classificada quimicamente como membros do sistema ternário $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ (albita, Ab) – KAlSi_3O_8 (feldspato potássico, Or) – $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ (anortita, An). A fórmula geral dos feldspatos é:

Quando o sítio cristalográfico M é ocupado pelos cátions Na ou K, o sítio cristalográfico T receberá os cátions 1 Al + 3 Si. Caso M seja igual a Ca, T receberá 2Al + 2Si (Smith & Brown, 1988). Nas rochas metamórficas os feldspatos são divididos em duas soluções sólidas binárias: feldspato alcalino, constituído pelos membros finais $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ – KAlSi_3O_8 (albita – feldspato K) e plagioclásio, que é formado pelos membros finais $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ – $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ (albita – anortita). A variação química da primeira solução sólida está relacionada com a substituição KNa_{-1} , enquanto a segunda pela substituição acoplada $\text{NaSiCa}_{-1}\text{Al}^{\text{IV}}_{-1}$. As duas séries composicionais compartilham a albita, pelo fato de que o raio iônico do Na é intermediário aos do K e Ca, facilitando a ordenação necessária nos dois tipos de solução sólida. Em rochas cálcicas (especialmente aquelas que contêm epidoto e carbonato), o plagioclásio tende a se tornar mais cálcico com o aumento do grau metamórfico e esta característica é usada para inferir o grau metamórfico. Dos feldspatos, o mineral analisado no anfibolito Cafelândia foi o plagioclásio. A fração molar de cada membro final foi calculada de acordo com as seguintes expressões:

- anortita – $\text{Ca}/(\text{Ca}+\text{Na}) \cdot 100$

- albita – $\text{Na}/(\text{Ca}+\text{Na}) \cdot 100$

- ortoclásio – $\text{K}/(\text{Ca}+\text{Na}+\text{K}) \cdot 100$

Plagioclásio no anfibolito Cafelândia

Foram analisados 37 cristais de plagioclásio (anexo 4), pertencentes à oito lâminas, quatro do topo do anfibolito Cafelândia (lâminas BAR-4) e as outras quatro pertencentes a base (BAR-10 e 11) (tabela 5), com respectivas lâminas, quantidade de cristais analisados e domínios a quais pertencem).

Devido à grande quantidade de dados, serão apresentadas fórmulas estruturais representativas de cada domínio separadas por topo e base do anfibolito Cafelândia. As fórmulas foram normalizadas para 8 átomos de oxigênio por fórmula unitária. Desta forma, temos:

Topo do anfibolito Cafelândia:

Leucossoma: núcleo: $\text{An}_{49.169} - \text{Na}_{0.52} \text{Ca}_{0.503} \text{Al}_{1.481} \text{Si}_{2.506} \text{O}_8$

borda: $\text{An}_{44.980} - \text{Na}_{0.548} \text{Ca}_{0.448} \text{Al}_{1.447} \text{Si}_{2.551} \text{O}_8$

Banda rica em hornblenda: núcleo: $\text{An}_{37.351} - \text{Na}_{0.629} \text{Ca}_{0.375} \text{Al}_{1.395} \text{Si}_{2.607} \text{O}_8$

borda: $\text{An}_{41.153} - \text{Na}_{0.602} \text{Ca}_{0.421} \text{Al}_{1.407} \text{Si}_{2.58} \text{O}_8$

Banda rica em clinopiroxênio: núcleo: $\text{An}_{49.442} - \text{Na}_{0.498} \text{Ca}_{0.487} \text{Al}_{1.51} \text{Si}_{2.497} \text{O}_8$

borda: $\text{An}_{41.434} - \text{Na}_{0.588} \text{Ca}_{0.416} \text{Al}_{1.438} \text{Si}_{2.563} \text{O}_8$

Base do anfibolito Cafelândia:

Leucossoma: núcleo: $\text{An}_{45.361} - \text{Na}_{0.53} \text{Ca}_{0.44} \text{Al}_{1.509} \text{Si}_{2.513} \text{O}_8$

borda: $\text{An}_{42.901} - \text{Na}_{0.563} \text{Ca}_{0.423} \text{Al}_{1.445} \text{Si}_{2.56} \text{O}_8$

Banda rica em hornblenda: núcleo: $\text{An}_{52.044} - \text{Na}_{0.481} \text{Ca}_{0.522} \text{Al}_{1.509} \text{Si}_{2.486} \text{O}_8$

borda: $\text{An}_{48.947} - \text{Na}_{0.509} \text{Ca}_{0.488} \text{Al}_{1.476} \text{Si}_{2.519} \text{O}_8$

Banda rica em clinopiroxênio: núcleo: $\text{An}_{65.723} - \text{Na}_{0.339} \text{Ca}_{0.65} \text{Al}_{1.643} \text{Si}_{2.356} \text{O}_8$

borda: $\text{An}_{62.002} - \text{Na}_{0.372} \text{Ca}_{0.607} \text{Al}_{1.59} \text{Si}_{2.406} \text{O}_8$

Tabela 5: Distribuição dos cristais de plagioclásio analisados por lâminas e domínios.

Lâmina	Quantidade de cristais analisados	Domínio
BAR-4D	2	leucossoma
	2	banda rica em Hbl
BAR-4EVI	2	leucossoma
	1	banda rica em Hbl
BAR-4.1BVIb	3	leucossoma
	4	banda rica em Hbl
	1	banda rica em Cpx
BAR-4.1CI	1 (alterado por zoisita)	leucossoma
BAR-10AIVb	3	leucossoma
	1	banda rica em Hbl
	2	banda rica em Cpx
BAR-10EVIII	2	leucossoma
BAR-11BIa	3	leucossoma
	2	banda rica em Hbl e Cpx
BAR-11FVc	4	leucossoma
	2	banda rica em Hbl
	2	banda rica em Cpx

Após calcular as fórmulas estruturais, foram confeccionados gráficos de perfil composicional utilizando a fração molar de cada membro final dos cristais analisados de plagioclásio. Serão apresentados os gráficos mais representativos de cada banda e contexto textural, separados também por topo e base. De um modo geral, observa-se variação entre núcleo e borda em teores de albita e anortita e também variação destes em relação ao topo e a base do anfibolito. No topo, o plagioclásio pertencente ao leucossoma varia sutilmente entre 45 e 48% de anortita, aumentando anortita para o núcleo e albita para as bordas (figura 15a). O plagioclásio da banda rica em hornblenda apresenta teores que variam entre 38 e 48% de anortita, com enriquecimento de albita no núcleo e anortita nas bordas (figura 15b). Na banda rica em clinopiroxênio, o plagioclásio tem núcleo que se enriquece em anortita, com teores que variam entre 41 e 49% e bordas mais ricas em albita (figura 15c). Interessante notar que no leito rico em hornblenda, as variações núcleo e borda são diferentes dos outros leitos, ou seja, borda com enriquecimento em anortita e núcleo em albita.

Nas amostras da base do anfibolito, o plagioclásio do leucossoma tem padrão de variação núcleo e borda semelhante ao da amostra do topo, entretanto observa-se variação maior com teores maiores em albita e que variam de 60% na borda a 55% no núcleo e teores menores de anortita que variam de 40% na borda a 46% no núcleo (figura 16a - BAR-11BIa). Desta forma podemos dizer que este leucossoma da base está mais enriquecido em Na do que o leucossoma do topo. Entretanto, na amostra mais basal (vide tabela 5, BAR-11FVc), observa-se inversão dos teores, onde o plagioclásio do leucossoma ocorre mais rico em anortita do que em albita, com teores daquele entre 48 e 53%, aumentando para o núcleo. Provavelmente esta diferença está relacionada com a localização da amostra e com o tipo de leucossoma. O leucossoma da amostra BAR-11BIa está contido em banda rica em hornblenda e clinopiroxênio, é fino e apresenta porfiroblastos de clinopiroxênio. Por sua vez, o leucossoma da amostra BAR-11FVc ocorre entre bandas, de um lado banda rica em hornblenda com granada e do outro, banda rica em clinopiroxênio e granada com pouca hornblenda, apresenta contato mais retilíneo, granulação mais grossa e porfiroblastos de granada estirados.

Os grãos de plagioclásio da banda rica em hornblenda também apresentam esta inversão dos teores de albita e anortita entre duas amostras descritas acima. Na amostra mais basal (BAR-11FVc), ocorre leve variação do núcleo para a borda, com teores de

anortita maiores que os de albita. O primeiro varia de 50% na borda a 52% no núcleo e o segundo varia de 49% na borda a 47% no núcleo (figura 16b). Na banda rica em clinopiroxênio observam-se dois padrões (figura 16c). O grão 1 ocorre em contato com porfiroblasto de clinopiroxênio em porção rica em quartzo e plagioclásio em meio a banda de clinopiroxênio. Apresenta teores de albita maiores que o de anortita, o primeiro variando em torno de 57% nas bordas e 51% no núcleo e o segundo variando em torno de 49% no núcleo e 41% na borda. O grão 8, por sua vez, está em meio a banda rica em clinopiroxênio e apresenta o teor mais alto de anortita, com 61% nas bordas a 69% no núcleo. Em contrapartida, o teor de albita é o mais baixo e varia de 38% na borda a 31% no núcleo. O ortoclásio, por sua vez, não apresenta uma variação significativa em todos os casos, mas nota-se uma pequena variação em alguns pontos analisados em amostras da base do anfibolito.

Figura 15: Gráficos de perfis composicionais das frações molares do plagioclásio de amostras de topo do anfibolito Cafelândia.

Figura 16: Gráficos de perfis composicionais de frações molares dos membros finais de plagioclásio de amostras de base do anfibolito Cafelândia.

8 METAMORFISMO E FUSÃO

8.1 Introdução – Geotermobarometria

Metamorfismo é o processo de transformação física e química que leva as rochas originalmente formadas em ambiente ígneo ou sedimentar a tornarem-se rochas metamórficas. Os processos metamórficos podem ser vistos como uma combinação de reações químicas entre minerais e entre minerais, gases, líquidos e fluídos (principalmente H_2O) e transporte e troca de substâncias e calor entre domínios onde estas reações ocorrem (Bucher & Frey, 1994). Essas mudanças nas propriedades físicas e químicas das rochas metamórficas são causadas por mudanças nas condições de pressão e temperatura, e estas tendem a reequilibrar a rocha quimicamente. Este reequilíbrio é marcado pelas paragêneses metamórficas, indicadas pelas associações minerais presentes na rocha. Além das novas paragêneses, as rochas metamórficas desenvolvem novas texturas, estruturas, podendo chegar ao equilíbrio químico e físico. Este equilíbrio é marcado por uma associação mineral característica (paragênese) que irá existir enquanto o equilíbrio químico e físico do sistema for mantido e quando da sua mudança, nova paragênese é formada substituindo sua precedente não mais em equilíbrio (Spear, 1993 e Bucher & Frey, 1994). Assim, mudanças nas paragêneses das rochas metamórficas de composição constante são causadas por mudanças nas condições de pressão e temperatura e a geotermobarometria é a ferramenta utilizada para estimar estas condições. As reações minerais que são marcadamente dependentes de pressão e temperatura e que podem ser usadas para determiná-las são denominadas, respectivamente, geobarômetros e geotermômetros.

Reações que fornecem bons indicadores de pressão, geobarômetros, são reações que envolvem grandes variações de volume molar e energia livre de Gibbs, estas relativas a produtos e reagentes (figura 17b). Em contraste, reações com grande variação de entropia (ou entalpia, segundo Philpotts, 1990) e baixa variação de volume são predominantemente sensíveis à temperatura (figura 17a), e estas serão bons geotermômetros (Yardley, 2004). Reações de troca catiônica e de devolatilização são sensíveis à temperatura. A primeira devido à pequena variação de volume que ocorre

durante a reação e a segunda, em virtude do aumento de entropia que acompanha a liberação de voláteis a partir de estruturas ordenadas.

Figura 17: Diagramas P - T esquemáticos de a) Geotermômetro. b) Geobarômetro.

8.2 Metamorfismo e fusão de rochas máficas

As principais paragêneses do anfibolito Cafelândia foram determinadas a partir das descrições petrográficas. As seguintes paragêneses são observadas nas bandas do anfibolito Cafelândia:

Topo do anfibolito:

- hornblenda + plagioclásio + titanita/mineral opaco;
- hornblenda + plagioclásio + granada + titanita/mineral opaco $\pm$ ortopiroxênio;
- hornblenda + plagioclásio + clinopiroxênio + granada + titanita/mineral opaco;
- plagioclásio + clinopiroxênio + granada + titanita/mineral opaco $\pm$ hornblenda;
- leucossoma com porfiroblastos de hornblenda $\pm$ clinopiroxênio $\pm$ granada (rara);

- leucossoma com muitos porfiroblastos de hornblenda + mineral do grupo do epidoto.

Base do anfibolito:

- clinopiroxênio + granada + plagioclásio $\pm$ hornblenda + titanita/mineral opaco.
- clinopiroxênio + ortopiroxênio + plagioclásio $\pm$ hornblenda + titanita/mineral opaco;
- hornblenda + plagioclásio + granada + titanita/mineral opaco.
- leucossoma com porfiroblastos de clinopiroxênio.
- leucossoma com granada.

O anfibolito Cafelândia é descrito como anfibolito bandado e a grande quantidade modal de hornblenda na rocha, principalmente na porção de topo, dificulta a caracterização do metamorfismo granulítico. Entretanto, em algumas de suas bandas observam-se paragêneses de fácies granulito caracterizadas pelas associações clinopiroxênio + granada + quartzo e ortopiroxênio + clinopiroxênio + plagioclásio $\pm$ hornblenda (Yardley, 2004). Além das paragêneses de alto grau, a ocorrência de mobilizados tonalíticos em associação comum com o anfibolito Cafelândia e a presença de lente de granulito félsico alojada em meio à unidade são aspectos de campo que confirmam as condições do metamorfismo de temperatura elevada (Moraes, 1997). No presente trabalho, foi observado ao longo dos afloramentos variação entre topo e base do anfibolito. O topo apresenta o anfibolito Cafelândia típico com bandas espessas ricas em hornblenda intercaladas com finas bandas ricas em clinopiroxênio e granada e veios de leucossoma geralmente concordantes com a foliação (prancha 1b/cc'). A base do pacote apresenta, diferente do topo, bandas espessas contendo principalmente clinopiroxênio como mineral máfico, seguido ou não por granada e menor quantidade de finos veios de leucossoma (prancha 4a e 5b). Esta porção da base apresenta caráter residual e pode levar a designação de migmatito de anfibolito da fácies granulito. Embora o ortopiroxênio seja comumente observado em afloramentos de toda a unidade, nem sempre é possível ter certeza de que os grãos sejam metamórficos ou remanescentes ígneos. Grãos metamórficos são descritos na base estrutural do corpo

(Moraes, 1997) e alguns poucos grãos metamórficos (equigranulares e com contatos retos com clinopiroxênio e plagioclásio) foram observados em algumas poucas lâminas de rocha confeccionadas para esse trabalho.

As condições do metamorfismo que afetaram o anfibolito Cafelândia devem então ser condizentes com a formação de fusão do anfibolito, e formação de líquidos com hornblenda, ou granada, ou clinopiroxênio e paragêneses com clinopiroxênio + granada $\pm$ ortopiroxênio.

Em se tratando dos cristais de granada, piroxênio e hornblenda, o crescimento inicial dos dois primeiros ocorre ao longo de bordas da hornblenda e, com o aumento progressivo da reação, os porfiroblastos de granada e clinopiroxênio se desenvolvem, à semelhança do que foi observado por Hartel & Pattison (1996). Além dessas feições que indicam metamorfismo progressivo, observam-se outras como a granada intercrescida com clinopiroxênio (prancha 9b), inclusões de clinopiroxênio em cristais de granada, a hornblenda em contato estável com o clinopiroxênio (prancha 8e), clinopiroxênio metamórfico com lamelas de exsolução (prancha 8f) e presença de porfiroblasto de ortopiroxênio inserido em uma banda rica em clinopiroxênio com hornblenda (prancha 9e), todas estas indicando que o metamorfismo atingiu altas temperaturas. Assim, estes diferentes tipos texturais são interpretados como representantes de diferentes estágios do crescimento progressivo da granada, do clinopiroxênio e da titanita à medida que a hornblenda e o plagioclásio são consumidos, marcados pela reação:

- (1) hornblenda + plagioclásio + quartzo $\Rightarrow$ granada + clinopiroxênio + titanita + líquido (Hartel e Pattison, 1996), ou
- (2) hornblenda + plagioclásio $\pm$ quartzo $\Rightarrow$ ortopiroxênio + clinopiroxênio + titanita + líquido.

A presença da fusão se faz perceber não só pelos veios de leucossoma, mas também por algumas texturas formadas por cristais de quartzo e plagioclásio, tais como filetes entre os minerais máficos. Neste caso a textura é formada principalmente pelo quartzo, ou por intercrescimentos finos de quartzo e plagioclásio. Essas duas texturas sugerem diferentes modos de origem pela qual o quartzo intersticial e os filmes de plagioclásio + quartzo são remanescentes de textura produzida a partir de produtos da fusão parcial, mostrada em experimentos de Mehnert *et al.* (1973), Paquet & François

(1980), Jurewicz & Watson (1984), Hacker (1990) e Wolf & Wyllie (1991). Consequentemente, o quartzo observado na rocha não constituía fase mineral individualizada no período do pico metamórfico, mas pequenos volumes remanescentes de fusão fracionada. Sendo assim, o quartzo intersticial formou-se após o pico metamórfico, quando da cristalização tardia dos líquidos remanescentes.

Muitas reações metamórficas que ocorrem durante o metamorfismo progressivo são reações de desidratação. A fusão por desidratação ocorre quando há desequilíbrio no sistema causado, por exemplo, por aumento de temperatura. Este desequilíbrio pode ser reajustado através de reações que irão reorganizar a composição química, mantendo assim o estado mínimo de energia livre total. Estas reações irão substituir minerais hidratados (como zeólitas, micas, cloritas, anfibólios) por minerais menos hidratados ou anidros e assim liberando água em fase fluida:

(Bucher & Frey, 1994)

A reação acima é a descrição genérica do processo de desidratação que acontece durante o metamorfismo progressivo. A característica importante dessas reações de desidratação é a liberação de H_2O . Água em sistemas metamórficos de temperatura acima de 374°C é referida como fase fluida ou fluido e esta tem sua origem vinda não só de água armazenada em minerais hidratados mas também de fontes como em formações aquosas reliquias de rochas sedimentares, água meteórica e água magmática liberada pela solidificação de magmas (Bucher & Frey, 1994). Água não é essencial somente nas reações de desidratação, mas também apresenta papel importante como transporte e catalisador das reações químicas nas rochas. Reações metamórficas geralmente requerem a presença de fase fluida aquosa para alcançar progresso significativo da reação (Bucher & Frey, 1994).

O processo de desidratação da rocha irá então prosseguir enquanto o calor estiver sendo produzido e usado nas reações metamórficas e de fusão. A associação do auge metamórfico ou produto das reações de fusão correspondem ao ponto mínimo de estado de hidratação. Neste ponto a rocha irá conter associação progressiva em equilíbrio com fase fluida aquosa saturando os limites do grão mineral e preenchendo os espaços dos poros. Após passar este ponto, a rocha cruza as reações de desidratação e de

fusão no sentido contrário. Nesta situação, as reações consomem água e/ou fundido formando minerais hidratados a partir dos minerais anidros ou menos hidratados. A quantidade de fluido/fusão livre remanescente na rocha será usada rapidamente pelas reações de reidratação. Entretanto, isso ocorrerá somente se a água/fundido estiver disponível para estas reações retrometamórficas (*back reaction* de Kriegsman & Hensen, 1998).

A fusão de desidratação de minerais hidratados, no caso aqui investigada a fusão da hornblenda, gera líquido silicático fundido insaturado em H₂O e minerais residuais desidratados (fases peritéticas). Leucossoma e as texturas de quartzo e plagioclásio em filmes intersticiais e filetes representam a fase fundida no anfibolito Cafelândia (Moraes, 1997; Lima, 2007). Segundo Patiño Douce & Beard (1995), experimentos realizados em quartzo anfibolito sintético descrevem a evolução do metamorfismo e destacam as reações de fusão da hornblenda e as reações progressivas de fusão por desidratação. A reação de fusão da hornblenda inicia-se a $P \leq 10$ kbar, ocorrendo consumo de hornblenda e quartzo (hornblenda $\gg$ quartzo) para a formação de plagioclásio, piroxênio (clinopiroxênio $\gg$ ortopiroxênio), óxidos e líquido. Todo o conteúdo de álcalis é derivado da hornblenda e produz líquido granitóide, que inicialmente varia entre 16% e 25% em volume. Entre 5 e 10 kbar a proporção de plagioclásio produzido pela reação de fusão decresce, enquanto a proporção de clinopiroxênio aumenta. Com o aumento de pressão, ocorre a quebra da hornblenda, que resulta na liberação de Ca e Na no sistema, e a formação de clinopiroxênio, ao invés de plagioclásio, e líquido. O Ca liberado no sistema é consumido na formação do clinopiroxênio, enquanto o Na, permanece no líquido. Em $P \geq 10$ kbar, começa a ser formada a granada, enquanto o plagioclásio passa a ser consumido (Patiño Douce & Beard, 1995).

Considerando a hornblenda como mineral reagente sendo consumido e gerando líquido e fase sólida, porque ainda observamos grande quantidade de hornblenda na rocha e hornblenda porfiroblástica nos leucossomas do topo do anfibolito? E porque nos afloramentos da base do pacote prevalece a banda enriquecida em clinopiroxênio com granada? A presença ou influxo de H₂O pode ser fator a ser investigado, pois baixa o ponto de fusão da rocha e ainda permite a cristalização de leucossoma com fases hidratadas, no caso a hornblenda, em semelhança ao descrito por Sawyer (2010). Na

base do pacote a fusão ocorreu então sem H₂O em excesso, sendo dominada pela fusão por desidratação da hornblenda (Lima, 2007). A retirada de parte significativa desse fundido anidro impede o retrometamorfismo durante o resfriamento preservando o clinopiroxênio e granada no leucossoma, conferindo à rocha caráter residual (White *et al.*, 2002 e White & Powell, 2010).

As condições de pressão e temperatura foram estimadas utilizando os programas PTMAFIC® (Soto & Soto, 1995) e THERMOCALC® (Powell & Holland, 1988). O programa PTMAFIC® várias calibrações de termobarometria convencional e o THERMOCALC® calcula pressão e temperatura com base em banco de dados termodinâmicos internamente consistentes (Powell & Holland, 1985, 1988; Holland & Powell, 1985, 1990). Ao todo foram selecionadas quatro amostras, sendo uma delas extraída de dados levantados por Lima (2007). As lâminas selecionadas foram: BAR-04 (dados de Lima, 2007), 4.1BVIb (topo do anfibolito), 10AIVb e 11FVc (base do anfibolito). As análises químicas e as fórmulas estruturais dos minerais usadas nos cálculos *P-T* do anfibolito Cafelândia estão apresentados na tabela 6.

Os cálculos realizados com o programa PTMAFIC foram feitos a pressões de 10 kbar para o cálculo da temperatura, utilizando o termômetro granada-clinopiroxênio, e temperaturas de 750 e 900 °C para o cálculo da pressão, utilizando o barômetro granada-clinopiroxênio-plagioclásio-quartzo. Os resultados aqui obtidos, quando comparados com os resultados de Lima (2007), que calculou condições mínimas de 9,95 kbar e 662 °C e máximas de 13,2 kbar e 1001 °C são mais baixos para a estimativa da temperatura; para o topo do anfibolito, os resultados de temperatura mais elevados estão entre 600 a 862 °C e, para as amostras de base, os valores são maiores e estão entre 612 a 918 °C, todos obtidos com o termômetro granada-clinopiroxênio com a calibração de Sengupta (1989) (tabela 7). As estimativas de pressão apresentam valores para o topo, em torno de 8 a 10 kbar, calculados para 750 °C, e de 9 a 12 kbar, calculados para 900 °C, e para a base, valores entre 8 a 9 kbar, calculados para 750 °C, e entre 9 a 10 kbar, calculados para 900 °C (tabela 8). As amostras do topo apresentam valores menores de temperatura e maiores de pressão, se comparados com as amostras da base.

Tabela 6: Fórmulas estruturais dos principais minerais em equilíbrio. Cada par representa uma mesma banda. Amostras: Par 1) BAR-04 (extraída de Lima, 2007), Par 2) BAR-4.1BVIb (análises 13N/Grt3, 8Ni/Cpx1, 2Bi/Pl1 e 2N/Hbl1), Par 3) BAR-4.1BVIb (análises 27N/Grt7, 34Ne/Cpx4, 47N/Pl8, 16N/Hbl5), Par 4) BAR-10AIVb (análises 10N/Grt2, 7Ni/Cpx3 e 20Bi/Pl4), Par 5) BAR-11FVc (análises 21Ne/Grt4, 10Ne/Cpx1, 2Bi/Pl1, 22N/Hbl5).

	Par 1				Par 2				Par 3				Par 4			Par 5			
	Grt	Cpx	Pl	Hbl	Grt 3	Cpx 1	Pl 1	Hbl 1	Grt 7	Cpx 4	Pl 8	Hbl 5	Grt 2	Cpx 3	Pl 4	Grt 4	Cpx 1	Pl 1	Hbl 5
SiO ₂	37,22	50,13	54,18	43,22	37,94	50,6	55,04	41,36	37,94	51,17	54,94	41,62	38,1	50,45	54,84	37,99	52,02	56,16	43,33
TiO ₂	0	0,07	0,02	0,95	0,07	0,16	0	1,32	0,08	0,13	0,01	1,25	0,1	0,35	0	0	0,07	0,06	1,32
Al ₂ O ₃	21,29	2,31	27,58	12,75	21,52	1,98	27,51	12,18	21,81	1,75	28,17	12,13	21,73	2,49	28,29	21,66	0,96	27,2	11,11
Cr ₂ O ₃	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fe ₂ O ₃	0,97	2,13	0	1,81	0	1,84	0	7,17	0	1,28	0	3,4	0	1,19	0	0,64	0	0	2,22
FeO	24,04	10,09	0	16,96	24,91	12,79	0	16,08	25,1	12,97	0	17,1	26,58	14,31	0	27,52	12,71	0	16,23
MnO	2,57	0,24	0	0,21	2,3	0,38	0	0,15	2,25	0,24	0,01	0,23	1,11	0,14	0,01	0,89	0,13	0,01	0,1
MgO	2,29	10,6	0,01	8,3	2,32	9,8	0	8,14	2,24	9,95	0	8	2,5	8,91	0	3,42	10,47	0	9,13
CaO	10,75	22,72	9,94	11,79	9,8	21,75	9,4	11,47	10,48	22,27	10	11,82	9,83	21,87	10,77	8,52	22,79	9,69	11,28
Na ₂ O	0	0,34	5,83	1,58	0	0,46	5,94	1,82	0	0,39	5,65	1,63	0	0,49	5,38	0	0,33	6,07	1,55
K ₂ O	0	0,02	0,02	0,35	0	0	0,03	0,52	0	0	0,08	0,58	0	0	0,1	0	0,01	0,03	0,44
Total	99,13	98,65	97,58	97,92	98,86	99,76	97,93	100,2	99,9	100,15	98,84	97,76	99,95	100,21	99,39	100,64	99,48	99,22	96,73
Oxigênio	12	6	8	23	12	6	8	23	12	6	8	23	12	6	8	12	6	8	23
Si	2,97	1,928	2,497	6,473	3,019	1,941	2,522	6,161	2,995	1,953	2,497	6,322	3,004	1,935	2,484	2,98	1,989	2,541	6,559
Ti	0	0,002	0,001	0,107	0,004	0,005	0	0,148	0,005	0,004	0	0,142	0,006	0,01	0	0	0,002	0,002	0,151
Al	2,003	0,105	1,498	2,251	2,019	0,09	1,486	2,138	2,029	0,079	1,51	2,172	2,019	0,112	1,51	2,003	0,043	1,451	1,983
Cr	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fe ₃	0,058	0,062	0,003	0,204	0	0,053	0,001	0,804	0	0,037	0,002	0,389	0	0,034	0,002	0,037	0	0	0,253
Fe ₂	1,604	0,325	0	2,124	1,658	0,41	0	2,003	1,657	0,414	0	2,171	1,753	0,459	0	1,806	0,406	0	2,054
Mn	0,174	0,008	0	0,027	0,155	0,012	0	0,019	0,151	0,008	0	0,029	0,074	0,005	0	0,059	0,004	0	0,013
Mg	0,272	0,608	0,001	1,852	0,275	0,56	0	1,807	0,263	0,566	0	1,811	0,294	0,51	0	0,4	0,597	0	2,061
Ca	0,919	0,936	0,491	1,892	0,836	0,894	0,462	1,83	0,886	0,911	0,487	1,923	0,831	0,899	0,523	0,716	0,934	0,47	1,83
Na	0	0,025	0,521	0,459	0	0,034	0,528	0,524	0	0,029	0,498	0,481	0	0,037	0,472	0	0,024	0,532	0,456
K	0	0,001	0,001	0,067	0	0	0,002	0,098	0	0	0,005	0,113	0	0	0,005	0	0	0,002	0,086
Soma	8	4	5,013	15,456	7,967	4	5	15,809	7,986	4	4,998	15,685	7,981	4	4,998	8	4	4,998	15,529

Tabela 7: Temperaturas calculadas para as amostras selecionadas do anfibolito Cafelândia com os seguintes métodos.

	BAR-04 Par1	4.1BVIb Par1	4.1BVIb Par2	10AIVb Par1	11FVc Par1
Raheim & Green (1974)	567 °C	621 °C	612 °C	667 °C	667 °C
Mori & Green (1978)	507 °C	576 °C	564 °C	636 °C	635 °C
Ganguly (1979)	680 °C	805 °C	800 °C	845 °C	830 °C
Powell (1985)	755 °C	712 °C	712 °C	768 °C	732 °C
Pattison & Newton (1989)	518 °C	603 °C	581 °C	685 °C	612 °C
Sengupta (1989)	711 °C	816 °C	807 °C	919 °C	855 °C

Tabela 8: Pressões calculadas para as amostras selecionadas do anfibolito Cafelândia com os seguintes métodos.

	Powell & Holland (1988)	Eckert et al (1991)
	750 / 900 °C	750 / 900 °C
BAR-04 Par 1	9,14 / 10,11 kbar	9,82 / 10,87 kbar
4.1BVIb Par 1	9,46 / 10,14 kbar	10,14 / 11,24 kbar
4.1BVIb Par 2	9,10 / 10,17 kbar	9,73 / 10,88 kbar
10AIVb Par 1	9,30 / 10,27 kbar	9,86 / 10,93 kbar
11FVc Par 1	8,83 / 9,76 kbar	9,64 / 10,68 kbar

Os cálculos de temperatura e pressão feitos com o THERMOCALC analisaram diferentes situações. As melhores estimativas P - T calculadas apresentam valores em torno de 10,4 kbar e 845 °C, para o topo, e 9,8 kbar e 881 °C, para a base. Estes cálculos foram feitos com todos os minerais presentes e também sem o quartzo (tabela 9). Quando os cálculos são feitos sem hornblenda é possível calcular pressão, mas não a temperatura, pois o programa não consegue determinar número mínimo de reações linearmente independentes. Outros resultados interessantes são obtidos extraindo quartzo e utilizando atividade de H_2O igual a 0,5. Entretanto, apresenta resultados de pressão maiores e de temperatura menores do que os desejáveis. Analisando todos os resultados (tabela 9), nota-se que quando se extrai o quartzo que a temperatura e a pressão tendem a aumentar e quando se utiliza atividade de água igual 0,5, conjuntamente com a ausência de quartzo, os valores de pressão aumentam mas, os de temperatura tendem a diminuir. Ao diferenciar amostras de topo e base da estrutura temos valores de pressão maiores no topo e valores de temperatura maiores na base, mas as diferenças nos valores de pressão são pequenas, normalmente dentro da barra de erro dos cálculos.

Tabela 9: Pressão e temperatura estimados com o THERMOCALC em diversas situações de cálculo. Não há variação significativa entre eles, sendo as melhores estimativas para os cálculos sem quartzo no sistema.

Par 1	P (kbar)	T (°C)
todas as fases	$10,15 \pm 0,95$	853 ± 107
sem Qtz	$13,19 \pm 1,44$	794 ± 59
sem Hbl	$10,51 \pm 1,62$	x
sem Hbl e Qtz	x	x
aH ₂ O =0.5	$9,72 \pm 1,15$	807 ± 101
aH ₂ O =0.5 e sem Qtz	$12,50 \pm 1,58$	746 ± 64
aH ₂ O =0.1	$10,01 \pm 1,87$	756 ± 119
aH ₂ O =0.1 e sem Qtz	$12,52 \pm 2,52$	678 ± 66

Par 2	P (kbar)	T (°C)
todas as fases	$10,43 \pm 1,21$	952 ± 105
sem Qtz	$12,50 \pm 1,93$	845 ± 88
sem Hbl	$9,79 \pm 1,24$	x
sem Hbl e Qtz	x	x
aH ₂ O=0.5	$9,83 \pm 1,17$	924 ± 99
aH ₂ O=0.5 e sem Qtz	$11,86 \pm 1,54$	820 ± 71
aH ₂ O=0.1	$9,12 \pm 1,05$	870 ± 89
aH ₂ O=0.1 e sem Qtz	$10,01 \pm 1,56$	757 ± 80

Par 3	P (kbar)	T (°C)
todas as fases	$9,75 \pm 1,20$	952 ± 106
sem Qtz	$11,74 \pm 1,63$	841 ± 71
sem Hbl	$9,92 \pm 1,25$	x
sem Hbl e Qtz	x	x
aH ₂ O =0.5	$9,37 \pm 0,98$	920 ± 94
aH ₂ O =0.5 e sem Qtz	$11,11 \pm 1,45$	813 ± 65
aH ₂ O =0.1	$8,59 \pm 1,25$	826 ± 99
aH ₂ O =0.1 e sem Qtz	$9,50 \pm 1,9$	735 ± 86

Par 5	P (kbar)	T (°C)
todas as fases	$9,81 \pm 1,05$	922 ± 141
sem Qtz	$13,19 \pm 1,44$	881 ± 82
sem Hbl	$9,32 \pm 1,22$	x
sem Hbl e Qtz	x	x
aH ₂ O =0.5	$8,81 \pm 1,25$	913 ± 126
aH ₂ O =0.5 e sem Qtz	$11,40 \pm 1,50$	841 ± 62
aH ₂ O =0.1	$7,73 \pm 1,38$	792 ± 148
aH ₂ O =0.1 e sem Qtz	$9,65 \pm 1,87$	723 ± 93

Comparando estes resultados com os do PTMAFIC observa-se que os valores de temperatura calculados com o termômetro granada-clinopiroxênio sempre apresentam resultados mais baixos do que os produzidos pelo THERMOCALC (comparar tabelas 7, 8 e 9). Desta forma, com todos os dados reunidos define-se o campo de temperatura e pressão atingido pela rocha durante o metamorfismo como 9,8 kbar e temperaturas em torno de 880 °C. Estes dados são concordantes com as condições experimentais observados nos trabalhos de Patiño Douce & Beard (1995), Wolf & Wyllie (1991) e Vielzeuf & Schmidt (2001), para fusão de rochas máficas com anfibólio e produzindo líquido granítico e resíduo de clinopiroxênio + granada. No diagrama extraído de Patiño Douce & Beard (1995 – Figura 19), ao plotar a paragéneses anfibólio (hornblenda) + ortopiroxênio + clinopiroxênio + líquido + granada, com quartzo, plagioclásio e titanita sempre presentes, estimam-se pressões e temperaturas respectivamente mínimas de 10 kbar e 890° C, bem próximas do que foi aqui estabelecido.

Figura 18: A rocha encontra-se no campo de coloração azulada, marcada pela paragéneses Hbl-Opx-Cpx-Grt-Líquido. Modificado de Patiño Douce & Beard, 1995.

9 DISCUSSÕES E CONCLUSÕES

O anfibolito Cafelândia, como já descrito anteriormente (Fuck *et al.*, 1981; Moraes, 1997), apresenta bandamento composicional marcante e definido pela variação na proporção modal de hornblenda, plagioclásio, titanita, clinopiroxênio, granada e quartzo, além da presença de veios de leucossoma que reforçam o bandamento e indicam que a rocha entrou em fusão.

Das feições observadas em campo, podem-se destacar os mobilizados tonalíticos de diversas formas e espessuras, concordantes e discordantes (prancha 5.1d, 5.2c, 5.3f e 5.4e); uma variação quanto à composição da rocha entre topo do pacote mais rica em hornblenda e base mais rica em clinopiroxênio e granada (prancha 5.1cc', 5.4a e b). Todas estas feições indicam que a rocha passou por mudanças de pressão e temperatura, até a geração da fusão. Quando ocorre fusão em ambiente saturado em água observa-se, em rochas metamáficas, a formação de feições resultantes de fusão parcial – migmatização, com o aparecimento de veios, lentes e mobilizados quartzo-feldspáticos (Bucher & Frey, 1994). Este processo remove quartzo, plagioclásio e minerais hidratados das rochas e os transfere para a fase fundida. Durante a fusão por desidratação, os minerais hidratados entram em fusão na presença de quartzo e feldspatos, gerando líquido granítico insaturado em H₂O e fases peritéticas. Esse processo deve ter sido responsável pela fusão do anfibolito Cafelândia. Além dos veios de leucossoma, a fusão parcial é evidenciada por uma série de texturas envolvendo quartzo e plagioclásio, os quais formam filmes, filetes e intercrescimentos intersticiais aos minerais ferro-magnesianos, principalmente a hornblenda (Lima, 2007). Provavelmente a rocha cruzou uma reação de fusão tal como:

(4) hornblenda + quartzo + plagioclásio = clinopiroxênio ± ortopiroxênio + óxido ± granada + líquido (Patiño Douce & Beard, 1995)

indo, primeiro, da região de baixa temperatura para alta temperatura resultando na fusão e depois a cruzando novamente com conseqüente cristalização do líquido remanescente no leucossoma e a formação das texturas formadas pelo quartzo. Caracterizadas essas microestruturas do quartzo e plagioclásio, interpreta-se que a coexistência das fases de clinopiroxênio, quartzo, granada e plagioclásio em rochas máficas com hornblenda é

acompanhada pela cristalização tardia do quartzo a partir do fundido. De acordo com Patiño Douce & Beard (1995), temperaturas da ordem de 880 °C e mínimo de 10 kbar são condições necessárias para a fusão de anfibolito contendo quartzo e geração de líquido granítico e resíduo contendo piroxênios e granada (Fig. 18).

As análises químicas foram separadas por amostras de topo e base do pacote e foram escolhidos grãos das fases hornblenda, clinopiroxênio, granada e plagioclásio. A intenção foi observar a composição química de cada fase, em cada banda e no leucossoma, em porções tanto do topo quanto da base. A tendência geral das substituições são parcialmente mascaradas pela influência da composição da rocha na definição da composição dos minerais. Dois pontos são importantes, os grãos de hornblenda do leucossoma são mais ricos em Si e Mg dos que os do anfibolito. As análises de borda dos grãos apresentam grande espalhamento nos diagramas e parecem estar bastante re-equilibrados. Os grãos de clinopiroxênio do leucossoma, por sua vez, são mais ricos em Al do que os do anfibolito. No topo estrutural do anfibolito Cafelândia, o leucossoma apresenta hornblenda como a fase predominante ferro-magnesianas, enquanto na base do corpo o leucossoma apresenta clinopiroxênio ao invés de hornblenda. Essa diferença pode ser explicado ou por influxo de H₂O no topo do corpo, ou por migração de fundido da base para o topo do corpo reidratando a rocha e permitindo a formação da hornblenda.

Os cálculos *P-T* feitos com o programa THERMOCALC resultam em valores de pressão e temperatura condizentes com os dados experimentais de fusão de rochas máficas contendo hornblenda, formando líquido granítico e resíduo com clinopiroxênio e granada. Existe pouca variação nos resultados dos cálculos *P-T* quando se muda a atividade de H₂O. Só quando valores de atividade de H₂O são usados, o cálculo *P-T* de algumas amostras não funciona com o THERMOCALC. Os cálculos feitos sem quartzo podem resultar em aumento nos valores de pressão e temperatura. Nos casos de cálculo sem hornblenda e sem quartzo, em geral torna-se impossível obtenção de resultados. Os dados aqui calculados para o topo do anfibolito são da ordem de 880 °C e 9.8 kbar e na base 920 °C 9,8 kbar. Embora os valores de pressão sejam similares aos cálculos anteriores para estas rochas (Moraes, 1997), os valores de temperatura são mais altos e consistentes com os dados experimentais de Patiño-Douce & Beard (1995), como observado por Lima (2007).

Os trabalhos anteriores consideram o anfibolito Cafelândia como fazendo parte da Sequência Serra da Malacacheta, sendo esse o equivalente metamórfico das rochas ígneas reconhecidas a nordeste da área de trabalho, gabro acamadado, troctolito, anortosito, entre outras rochas (Moraes, 1997). Entretanto, se for considerado que o anfibolito Cafelândia é produzido por fusão de rocha homogênea, seguida da separação do líquido do seu resíduo sólido, o anfibolito da base da sequência Juscelândia, sobreposta, é excelente candidato para a rocha pretérita que deu origem ao anfibolito Cafelândia. Esse processo se deu pelo aumento contínuo da temperatura e da pressão durante o evento de metamorfismo regional que afetou todo o Complexo Baro Alto e a Sequência Juscelândia. O aumento de resíduo de norte para sul dá sustentação adicional para essa ideia, com aumento progressivo do metamorfismo como é observado regionalmente (Ferreira Filho *et al.*, 1998; Moraes, 1997, Moraes & Fuck, 2000).

10 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almeida, F.F.M. 1967. Origem e evolução da Plataforma Brasileira. Rio de Janeiro, DNPM-DGM, *Boletim*, 241, 36p.
- Almeida F.F.M.; Brito Neves.B.B.; Carneiro C.D.R. 2000. The origin and evolution of the South American Platform. *Earth Sciences Review*, **50**: 77–111.
- Almeida, F.F.M.; Hasui, Y.; Brito Neves, B.B.; Fuck, R.A. 1977. As províncias estruturais brasileiras. *In*: SBG, Simpósio de Geologia do Nordeste, 8, Campina Grande, 1977. *Atas*, p 363–391.
- Almeida, F.F.M.; Hasui, Y.; Brito Neves, B.B.; Fuck, R.A. 1981. Brazilian structural provinces: an introduction. *Earth Sciences Review*, **17**: 1–29.
- Araújo, S.M. & Nilson, A.A. 1987. Caracterização petroquímica e petrotectônica dos anfibolitos da sequência de Palmeirópolis-Goiás. *In*: SBGq, Congresso Brasileiro de Geoquímica, 1, Porto Alegre, 1987. *Anais*, **1**: 335–348.
- Araújo Filho, J.O. 1999. Structural characteristics and tectonic evolution of the Pirineus syntaxis, central Brazil. DPhil Thesis, University of Illinois, Urbana, Illinois, 325p.
- Brito Neves, B.B.; Winge, M.; Carneiro, C.D.R. 1996. Orogêneses precedendo e tafrogêneses sucedendo Rodínia na América do Sul. *Boletim IG-USP*, **27**: 1–40.
- Brito Neves, B.B.; Almeida, F.F.M.; Carneiro, C.D.R. 1999. The origin and evolution of the South American Platform. *Earth-Science Reviews*, **50**: 77–111.

- Bucher, K. & Frey, M. 1994. Petrogenesis of metamorphic rocks. Springer-Verlag, Berlin and New York. 318p.
- Correia, C.T. 1994. Petrologia do Complexo Máfico-ultramáfico de Cana Brava, Goiás. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 151p.
- Correia, C.T.; Girardi, V.A.V.; Lambert, D.D.; Kinny, P.D.; Reeves, S.J. 1996. 2 Ga U-Pb (SHRIMP-II) and Re-Os ages for the Niquelândia basic-ultrabasic layered intrusion, central Goiás, Brazil. In: SBG Congresso Brasileiro de Geologia, 39. Salvador, 1996. *Anais* 1: 187–189.
- Correia, C.T.; Jost, H.; Tassinari, C.C.G.; Girardi, V.A.V.; Kinni, P.D. 1999. Ectasian Mesoproterozoic U-Pb ages (SHRIMP II) for the metavolcanosedimentary sequence of Juscelândia and Indaianópolis and for high grade metamorphosed rocks of Barro Alto stratiform igneous Complex, Goiás State, central Brazil. In: *South American Symposium on Isotope Geology*, Cordoba, Actas, p 31–33.
- Danni, J.C.M.; Fuck, R.A.; Leonardos, O.H. 1982. Archean and Lower Proterozoic units in Central Brazil. *Geol. Rundschau*, **71** (1): 291–317.
- Dardenne, M.A., 2000. The Brasília Fold Belt. In: U.G. Cordani et al. (Eds.), Tectonic Evolution of South America, *31st International Geological Congress*, Rio de Janeiro, p 231–263.
- Deer, W.A.; Howie, R.A.; Zussman, J. 1992. An introduction to the rock-forming minerals. Harlow, England : Longman Scientific & Technical ; New York, NY : Wiley, 1992, 696p
- Ferreira Filho, C.F. 1994. *The Niquelândia mafic-ultramafic layered Complex, north Goiás, Brazil: petrology, age and potential for PGE ore deposits*. PhD Thesis, Department of Geology, University of Toronto, Toronto, Canadá, 270 p.
- Ferreira Filho, C.F.; Kamo, S.L.; Fuck, R.A.; Krogh, T.E.; Naldrett, A.J. 1994. Zircon and rutile U-Pb geochronology of the Niquelândia layered mafic and ultramafic intrusion, Brazil: constraints for the timing of the magmatism and high grade metamorphism. *Precambrian Research*, **68**: 241–255.
- Ferreira Filho, C.F.; Moraes, R.; Fawcett, J.J.; Naldrett, A.J. 1998. Amphibolite to granulite progressive metamorphism in the Niquelândia Complex, Central Brazil: regional tectonic implication. *Journal of South American Earth Sciences*, **11**: 35–50.
- Ferreira Filho, C.F.; Pimentel, M.M. 2000. Sm-Nd systematics and REE data for leucotroctolites and their amphibolitized equivalents of the Niquelândia Complex upper layered series, central Brazil: further constraints for the timing of magmatism

- and high-grade metamorphism. *Journal of South American Earth Science*, **13**: 647–659.
- Ferreira Filho, C.F.; Pimentel, M.M.; Araujo, S.M.; Laux, J.H. 2010. Layered intrusions and volcanic sequences in Central Brazil: Geological and geochronological constraints for Mesoproterozoic (1.25 Ga) and Neoproterozoic (0.79 Ga) igneous associations; *Precambrian Research* (accepted).
- Fuck, R.A. 1994. A Faixa Brasília e a compartimentação tectônica na Província Tocantins. In: SBG, Simpósio de Geologia do Centro-Oeste, 4, Brasília, 1994. *Atas*, p 184–187.
- Fuck, R.A.; Danni, J.C.M.; Winge, M.; Andrade, G.F.; Barreira, C.F.; Leonardos, O.H.; Kuyumjian, R.M. 1981. Geologia da Região de Goianésia. In: SBG, Simpósio de Geologia do Centro-Oeste, 1, Goiânia, 1981. *Atas*, p 447–467.
- Fuck, R.A.; Pimentel, M.M.; Silva, L.J.H. 1994. Compartimentação tectônica na porção oriental da Província Tocantins. In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 38, Balneário Camboriú, 1994, *Anais* (1): 215–216.
- Fyfe, W.S. 1973. The granulite facies, partial melting and the Archaean crust. *Phil. Trans. R. Soc. London*, **273**(A): 457–461.
- Girardi, V.A.V.; Kawashita, K.; Basei, M.A.S.; Cordani, U.G. 1978. Algumas considerações sobre a evolução geológica da região de Cana Brava, a partir de dados geocronológicos. In: Sociedade Brasileira de Geologia; *Anais do XXX Congresso* (ed Gomes Farias, C.E.), **1**: 337–348.
- Girardi, V.A.V.; Rivalenti, G.; Siena, F.; Sinigoi, S. 1981. Precambrian Barro Alto Complex of Goiás, Brazil: Bulk geochemistry and phase equilibria. *Neues Jahrbuch Fur Mineralogie-Abhandlungen*, **142**(3): 270–291.
- Girardi, V.A.V.; Rivalenti, G.; Sinigoi, S. 1986. The petrogenesis of the Niquelândia layered basic-ultrabasic complex, central Goiás, Brazil. *Journal of Petrology*, **27**: 715–744.
- Green, D.H. & Ringwood, A.E. 1967. An experimental investigation of the gabbro to eclogite transformation and its petrological applications. *Geochimica and Cosmochimica. Acta*, **31**: 767–833.
- Hacker, B.R. 1990. Amphibolite facies-to-granulite facies reactions in experimentally deformed, unpowdered amphibolite. *American Mineralogist*. **75**: 1349–1361.
- Hartel, T.H.D. & Pattison, R.M. 1996. Genesis of the Kapuskasing (Ontario) migmatitic mafic granulites by dehydration melting of amphibolite: the importance of quartz to reaction progress. *Journal of Metamorphic Geology*, **14**: 591–612.

- Holland, T.J.B. & Powell, R. 1985. An internally consistent thermodynamic dataset with uncertainties and correlations: 2. Data and results. *Journal of Metamorphic Geology*, **3**: 343–370.
- Holland, T.J.B. & Powell, R. 1990. An enlarged and updated internally consistent thermodynamic dataset with uncertainties and correlations in the system: K₂O - Na₂O - CaO - MgO - MnO - FeO - Fe₂O₃ - Al₂O₃ - SiO₂ - TiO₂ - C - H₂ - O₂. *Journal of Metamorphic Geology*, **8**: 89–124.
- Holland, T.J.B. and Powell, R. 1998. An internally consistent thermodynamic data set for phases of petrological interest. *Journal of Metamorphic Geology*, **16** (3): 309–343.
- Jurewicz, S.R. & Watson, E.B. 1984. Distribution of partial melt in a felsic system: the importance of surface energy. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **85**: 25–29.
- Klein, C. 2002. The Manual of Mineral Science. New York: John Wiley & Sons, 646p.
- Krogh, E.J. 1988. The garnet-clinopyroxene Fe-Mg geothermometer – a reinterpretation of existing experimental data. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **99**: 44–48.
- Kriegsman, L.M. & Hensen, B.J. 1998. Back reaction between restite and melt: Implications for geothermobarometry and pressure-temperature paths. *Geology*, **26**: 1111 - 1114.
- Kuyumjian, R.M. e Danni, J.C.M. 1991. Geoquímica de anfibolitos da Sequência de Juscelândia, Goiás: implicações geotectônicas. *Revista Brasileira de Geociências*, **21**(3): 218–223.
- Leake, E.B. 1978. Nomenclature of amphiboles. *American Mineralogist*, **63**: 1023–1052.
- Lima, R. P. 2007. O papel do quartzo no metamorfismo e fusão de rochas máficas em fácies granulito: exemplo do anfibolito Cafelândia, Complexo Barro Alto, Goiás. Universidade de São Paulo. Monografia. 60p.
- Lima, R. P.; Moraes, R.; Fuck, R.A. 2007. O papel do quartzo no metamorfismo e fusão de rochas máficas em fácies granulito: exemplo do anfibolito Cafelândia, Complexo Barro Alto, Goiás. 10º Simpósio de Geologia do Centro Oeste. CDROM, resumo 024.
- Marini, O.J.; Fuck, R.A.; Danni, J.C.M.; Dardenne, M.A. 1981. A evolução geotectônica da Faixa Brasília e do seu embasamento. In: Simpósio sobre o Cráton do São Francisco e suas faixas marginais, **1**, Salvador. *Anais*, p 100–105.

- Marini, O.J.; Fuck, R.A.; Dardenne, M.A.; Danni, J.C.M. 1984. Província Tocantins: setores Central e Sudeste. In: Almeida, F.F.M. & Y. Hasui (Eds.) *O Precambriano do Brasil*. Edgard Blucher, São Paulo, p 205–264, 378p.
- Mehnert, K.R.; Busch, W. & Schneider, G. 1973. Initial melting at grain boundaries of quartz and feldspar in gneisses and granulites. *Neues Jahrbuch für Mineralogie Monatshefte*. **1973**: 165-183.
- Moraes, R. 1997. Condições e evolução do metamorfismo no Complexo Barro Alto e litogeoquímica do vulcanismo bimodal da sequência Juscelândia, Goianésia, Goiás. PhD Thesis, Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília, Goiás, 385p.
- Moraes, R. & Fuck, R.A. 1994. Deformação e metamorfismo das sequências Juscelândia e Serra da Malacacheta, Complexo Barro Alto, Goiás. *Revista Brasileira de Geociências*, **24**: 189–197.
- 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.; Fuck, R.A.; Pimentel, M.M.; Gioia, S.M.C.L.; Figueiredo, A.M.G. 2003. Geochemistry and Sm-Nd isotopic characteristics of bimodal volcanic rocks of Juscelândia, Goiás, Brazil: Mezoproterozoic transition from continental rift to ocean basin. *Precambrian Research*, **125**: 317–336.
- Moraes, R.; Fuck, R.A.; Pimentel, M.M.; Gioia, S.M.C.L.; Hollanda, M.H.B.M.; Armstrong, R. 2006. The bimodal rift-related Juscelândia volcano-sedimentary Sequence in Central Brazil: Mesoproterozoic extension and Neoproterozoic metamorphism. *Journal of South America Earth Sciences*, **20**: 287–301.
- Paquet, J. & Francois, P. 1980. Experimental deformation of partially melted granitic rocks at 600° – 900°C and 250 MPa confining pressure. *Tectonophysics*, **68**: 131–146.
- 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. 2003. Petrogenetic significance of orthopyroxene-free garnet+clinopyroxene+plagioclase±quartz-bearing metabasites with respect to the amphibolite and granulite facies. *Journal of Metamorphic Geology*, **21**: 21–34.
- Pattison, D.R.M. & Newton, R.C. 1989. Reversed experimental calibration of the garnet-clinopyroxene Fe-Mg exchange thermometer. *Contribution to Mineralogy and Petrology*, **101**: 87–103.

- Philpotts, A.R. 1990. Principles of Igneous and Metamorphic Petrology. Prentice Hall, New Jersey, 498p.
- Pimentel, M.M.; Fuck, R.A.; Jost, H.; Ferreira Filho, C.F. & Araújo, S.M. 2000. The basement of the Brasília Fold Belt and the Goiás Magmatic Arc. In: Cordani, U.G., Milani, E.J., Thomaz Filho, A. & Campos D.A. (eds.) *Tectonic Evolution of South America*. Rio de Janeiro, 31st International Geological Congress, p195-229.
- Pimentel M.M.; Jost H.; Fuck R.A. 2004. O Embasamento da Faixa Brasília e o Arco Magmático de Goiás. In: Mantesso-Neto V., Bartorelli A., Dal Ré Carneiro, C., Brito Neves, B.B. (Org.). *Geologia do Continente Sul-Americano: Evolução da Obra de Fernando Flávio Marques de Almeida*. 1 ed. São Paulo: Beca, p355-368.
- Pimentel, M.M.; Ferreira Filho, C.F.; Armele, A. 2006. Neoproterozoic age of the Niquelândia Complex: further ID-TIMS U-Pb and Sm-Nd isotopic evidence. *Journal of South American Earth Sciences*, Estados Unidos, **21**(3): 228–238.
- Powell, R. 1985. Regression diagnostics and robust regression in geothermometer/geobarometer calibration: the garnet clinopyroxene geothermometer revisited. *Journal of Metamorphic Geology*, **3**: 231–243.
- Powell, R. & Holland, T.J.B. 1985. An internally consistent thermodynamic dataset with uncertainties and correlations: 1. Methods and a worked example. *Journal of Metamorphic Geology*. **3**: 327–342.
- Powell, R. & Holland, T.J.B. 1988. An internally consistent dataset with uncertainties and correlations: 3 Applications to geobarometry, worked examples and a computer program. *Journal of Metamorphic Geology*, **6**: 173–204.
- Queiroz, C.L. & Jost, H. 1998. Polycyclic deformation on an Archaean crustal segment of the Goiás Masif, Central Brasil. In: International Conference on Basement Tectonics. Ouro Preto (MG). **14**: 166–169.
- Richard, L. R. 1995. *MinPet: Mineralogical and Petrological Data Processing System, Version 2.02*. Québec: MinPet Geological Software.
- Rimann, E. 1917. A kimberlita no Brasil. *Anais Esc. Minas*, **15**: 27–32.
- Robinson, P.; Spear, F.S.; Schumacher, J.C.; Laird, J.; Klein, C.; Evans, B.W. & Doolan, B.L. 1982. Phase relations of metamorphic amphiboles: natural occurrence and theory. In: Amphiboles: Petrology and Experimental Phase Relations. Reviews in Mineralogy, **9B**(Veblen, D. R. & Ribbe, P. H., eds): 1–227.
- 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**: 273–286.

- Sengupta, P.; Dasgupta, S.; Bhattacharya, P.K.; Hariya, Y. 1989. Mixing behavior in quaternary garnet solid solution and an extended Ellis and Green garnet-clinopyroxene geothermometer. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **103** (2): 223–227.
- Smith, J.V. and Brown, W.L. 1988. Feldspar Minerals, vol. 1 (Second edition), 828 p. Springer-Verlag, Berlin.
- Soares, J.E.; Berrocal, J., Fuck, R.A.; Mooney, W.D; Ventura, D.B.R. 2006. Seismic characteristics of central Brazil crust and upper mantle: A deep seismic refraction study. *Journal of Geophysical Research*. 111: B12302. 31pg.
- Soto, J.I. and Soto, V.M. 1995. PTMAFIC: Software package for thermometry, barometry, and activity calculations in mafic rocks using an IBM-compatible computer. *Journal of Computers & Geoscience*. **21**(5): 619–652.
- Spear, F.S. 1993. *Metamorphic Phase Equilibria and Pressure-Temperature-Time Paths*, Mineralogical Society of America, Washington DC, 799p.
- Suita, M.T.F.; Kamo, S.L.; Krough, T.E.; Fyfe, W.S. & Hartmann, L.A. 1994. U-Pb ages from the high-grade Barro Alto mafic-ultramafic Complex (Goiás, central Brazil): Middle Proterozoic continental mafic magmatism and the Upper Proterozoic continental collision. In: Eighth International Conference on Geochronology, Cosmochronology and Isotope Geology. Berkeley, 1994. US *Geological Survey Circular 1107*. 309p.
- Suita, M.T.F. 1996. Geoquímica e metalogenia de elementos do grupo da Platina (EGP + Au) em complexos máfico-ultramáficos do Brasil: critérios e guias com ênfase no Complexo máfico-ultramáfico acamadado de alto grau de Barro Alto (CBA, Goiás). Tese de Doutorado. Instituto de Geociências, IG-UFRGS, 600p.
- Trompette, R. 1994. *Geology of Western Gondwana*. Rotterdam, A. A. Bakelma. 350p.
- Unrug, R., 1997. Rodinia to Gondwana: the geodynamic map of Gondwana supercontinent assembly. *GSA Today* **7**(1):1-6.
- Valeriano, C.M., Dardenne, M.A., Fonseca, M.A., Simões, L.S.A., Seer, H.J. 2004. A Evolução Tectônica da Faixa Brasília. In: V. Mantesso Neto, A. Bartorelli, C.D.R. Carneiro, B.B. Brito Neves (Organizadores), *Geologia do Continente Sul-Americano – Evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida*. Beca Ed, p575-592.
- Vielzeuf, D. 2001. Melting relations in hydrous systems revisited: application to metapelites, metagraywackes and metabasalts. *Contributions to Mineralogy and Petrology*. **141**: 251–267.

- White, R.W., Powell, R. & Clarke, G.L. 2002. The interpretation of reaction textures in Fe-rich metapelitic granulites of the Musgrave Block, central Australia: constraints from mineral equilibria calculations in the system K_2O -FeO-MgO- Al_2O_3 - SiO_2 - H_2O - TiO_2 - Fe_2O_3 . *Journal of Metamorphic Geology*. **20**(1): 41–55.
- White, R & Powell, R. 2010. Retrograde melt-residue interaction and the formation of near-anhydrous leucosomes in migmatites. *Journal of Metamorphic Geology*. **28**: 579-597
- Wolf, M.B. & Wyllie, P.J. 1991. Dehydration-melting of solid amphibolite at 10 kbar: textural development, liquid interconnectivity and applications to the segregation of magmas. *Mineralogy and Petrology*. **44**: 151-179.
- Wolf, M.B. & Wyllie, P.J. 1993. Garnet Growth during amphibolite anatexis: Implications of a garnetiferous restite. *Journal of Geology*, **101**: 357–373.
- Wolf, M.B. & Wyllie, P.J. 1994. Dehydration-melting of amphibolite at 10 kbar: the effects of temperature and time. *Contribution to Mineralogy and Petrology*, **115**: 369-383.
- Yardley, B.W.D. 2004. Introdução à petrologia metamórfica. Editora UnB. Brasília. 340p.

ANEXO 1

Análises de química mineral da hornblenda do anfibolito
Cafelândia

Análise Mineral	1Be Hbl1	2Bi Hbl1	3N Hbl1	4Bi Hbl1	5Be Hbl1	6Be Hbl2	7Be Hbl2	8B Hbl2	9N Hbl2	10N Hbl2	11B Hbl2	12Bi Hbl2	13Be Hbl2	14Be Hbl3	15B Hbl3	16Ne Hbl3	17N Hbl3	18Ne Hbl3	19B Hbl3	20Be Hbl3
SiO2	42,888	42,344	42,647	42,832	42,497	43,201	42,666	42,692	43,183	42,966	42,632	42,99	42,881	43,804	43,045	42,898	42,97	42,909	42,854	43,654
TiO2	1,258	1,519	1,303	1,22	1,259	1,193	1,376	1,498	1,412	1,46	1,342	1,437	1,11	0,958	1,576	1,484	1,454	1,662	1,505	1,669
Al2O3	12,366	12,035	12,858	12,048	12,418	11,926	12,601	12,082	12,339	11,976	12,216	11,916	12,124	11,597	12,176	11,731	11,905	11,779	11,954	11,409
FeO	19,521	18,876	18,738	18,92	18,549	19,924	18,396	18,9	18,747	19,39	19,274	19,126	18,559	18,402	19,262	18,354	17,916	18,779	17,829	17,934
Cr2O3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MnO	0,293	0,338	0,278	0,241	0,262	0,302	0,288	0,277	0,277	0,292	0,374	0,302	0,274	0,107	0,127	0,234	0,273	0,182	0,186	0,094
MgO	8,372	8,545	8,445	8,293	8,352	8,639	8,208	8,374	8,273	8,518	8,564	8,529	8,533	9,159	9,066	8,706	8,882	9,115	9,156	9,341
CaO	11,622	11,571	11,537	11,593	11,745	11,643	11,41	11,63	11,577	11,518	11,706	11,744	11,61	11,881	11,738	11,859	11,744	11,563	11,553	11,524
Na2O	1,433	1,674	1,696	1,543	1,667	1,462	1,41	1,72	1,717	1,736	1,655	1,715	1,729	1,461	1,729	1,481	1,604	1,799	1,741	1,435
K2O	0,648	0,57	0,616	0,547	0,612	0,604	0,643	0,6	0,562	0,55	0,533	0,584	0,598	0,631	0,546	0,527	0,62	0,587	0,614	0,702
F	0,011	0	0	0,004	0,241	0	0	0	0,118	0,182	0	0,183	0	0,18	0,254	0,191	0	0	0,305	0,305
Cl	0,027	0,022	0,014	0	0,019	0,008	0,005	0,027	0,016	0	0	0,024	0,008	0,003	0,011	0,016	0,003	0,014	0,008	0,008
Soma	98,44	97,49	98,13	97,24	97,62	98,9	97	97,8	98,22	98,59	98,3	98,55	97,43	98,18	99,53	97,48	97,37	98,39	97,71	98,07
O_F_Cl	0,01	0	0	0	0,11	0	0	0,01	0,05	0,08	0	0,08	0	0,08	0,11	0,08	0	0	0,13	0,13
O_F	0	0	0	0	0,1	0	0	0	0,05	0,08	0	0,08	0	0,08	0,11	0,08	0	0	0,13	0,13
O_Cl	0,01	0	0	0	0	0	0	0,01	0	0	0	0,01	0	0	0	0	0	0	0	0
H2O																				
Total	98,46	97,49	98,13	97,24	97,83	98,9	97	97,82	98,32	98,75	98,3	98,72	97,43	98,34	99,75	97,64	97,37	98,39	97,97	98,33
TSi	6,375	6,366	6,353	6,45	6,405	6,386	6,419	6,411	6,451	6,396	6,353	6,419	6,447	6,522	6,337	6,458	6,455	6,377	6,42	6,497
TAl	1,625	1,634	1,647	1,55	1,595	1,614	1,581	1,589	1,549	1,604	1,647	1,581	1,553	1,478	1,663	1,542	1,545	1,623	1,58	1,503
Soma_T	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
CAI	0,54	0,497	0,609	0,587	0,609	0,463	0,652	0,547	0,622	0,495	0,497	0,514	0,594	0,555	0,448	0,538	0,561	0,438	0,528	0,497
CCr	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CFe3	0,565	0,469	0,456	0,39	0,302	0,665	0,404	0,345	0,299	0,502	0,53	0,38	0,349	0,377	0,566	0,309	0,289	0,502	0,381	0,41
CTi	0,141	0,172	0,146	0,138	0,143	0,133	0,156	0,169	0,159	0,163	0,15	0,161	0,126	0,107	0,175	0,168	0,164	0,186	0,17	0,187
CMg	1,855	1,915	1,875	1,862	1,877	1,904	1,841	1,875	1,842	1,89	1,903	1,898	1,913	2,033	1,99	1,954	1,989	2,019	2,045	2,072
CFe2	1,862	1,905	1,878	1,992	2,036	1,798	1,911	2,028	2,043	1,912	1,872	2,009	1,984	1,915	1,805	2,001	1,962	1,832	1,852	1,822
CMn	0,037	0,043	0,035	0,031	0,033	0,038	0,037	0,035	0,035	0,037	0,047	0,038	0,035	0,013	0,016	0,03	0,035	0,023	0,024	0,012
Soma_C	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
BMg	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BFe2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BMn	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BCa	1,851	1,864	1,841	1,87	1,897	1,844	1,839	1,871	1,853	1,837	1,869	1,879	1,87	1,895	1,852	1,913	1,89	1,841	1,854	1,838
BNa	0,149	0,136	0,159	0,13	0,103	0,156	0,161	0,129	0,147	0,163	0,131	0,121	0,13	0,105	0,148	0,087	0,11	0,159	0,146	0,162
Soma_B	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
ANa	0,264	0,352	0,331	0,321	0,384	0,263	0,251	0,372	0,35	0,338	0,347	0,375	0,374	0,317	0,345	0,345	0,357	0,359	0,36	0,252
AK	0,123	0,109	0,117	0,105	0,118	0,114	0,123	0,115	0,107	0,104	0,101	0,111	0,115	0,12	0,103	0,101	0,119	0,111	0,117	0,133
Soma_A	0,387	0,461	0,448	0,426	0,501	0,377	0,374	0,487	0,457	0,443	0,449	0,486	0,489	0,437	0,448	0,446	0,476	0,471	0,477	0,385
Cátions	15,387	15,461	15,448	15,426	15,501	15,377	15,374	15,487	15,457	15,443	15,449	15,486	15,489	15,437	15,448	15,446	15,476	15,471	15,477	15,385
CCl	0,007	0,006	0,004	0	0,005	0,002	0,001	0,007	0,004	0	0	0,006	0,002	0,001	0,003	0,004	0,001	0,004	0,002	0,002
CF	0,005	0	0	0,002	0,115	0	0	0	0,056	0,086	0	0,086	0	0,085	0,118	0,091	0	0	0,144	0,144
OH																				
Oxigênios	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23

Amostra BAR-4D

Análise Mineral	21Be Hbl4	22B Hbl4	23N Hbl4	24N Hbl4	25B Hbl4	26Be Hbl4	27Be Hbl5	28Be Hbl5	29B Hbl5	30Ne Hbl5	31N Hbl5	32N Hbl5	33Ne Hbl5	34B Hbl5	35Be Hbl5	36Be Hbl5	37Be Hbl6	38B Hbl6	39N Hbl6	40N Hbl6	41B Hbl6	42Be Hbl6
SiO2	42,012	42,599	42,84	42,688	42,74	43,119	43,102	42,374	42,938	42,822	42,612	42,841	42,254	43,014	42,696	42,902	43,222	41,539	43,285	42,58	43,042	42,508
TiO2	1,638	1,379	1,577	1,446	1,417	1,282	1,235	1,482	1,464	1,311	1,344	1,369	1,633	1,661	1,589	0,941	0,934	1,112	1,526	1,597	1,56	1,386
Al2O3	11,695	11,734	12,063	12,118	12,055	12,082	12,104	12,003	12,033	11,861	12,17	12,111	11,98	12,015	11,936	12,632	12,476	12,3	11,99	12,022	12,002	11,791
FeO	20,784	19,359	18,784	19,297	19,982	19,091	18,208	18,034	18,61	17,731	19,135	18,296	18,546	19,592	18,497	17,575	18,212	21,71	19,671	19,778	18,194	18,555
Cr2O3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MnO	0,258	0,323	0,379	0,25	0,239	0,354	0,075	0,172	0,142	0,265	0,152	0,197	0,226	0,218	0,115	0,208	0,272	0,21	0,18	0,215	0,335	0,169
MgO	8,109	8,302	8,349	8,156	8,431	8,351	9,029	8,733	8,715	8,545	8,624	8,474	8,358	8,534	8,608	8,518	8,55	8,099	8,657	8,407	8,404	8,916
CaO	11,578	11,459	11,393	11,435	11,663	11,534	11,839	12,02	11,827	11,672	11,658	11,635	11,611	11,765	11,755	11,721	11,71	10,793	11,711	11,964	12,094	11,772
Na2O	1,526	1,558	1,543	1,763	1,765	1,669	1,361	1,609	1,709	1,606	1,777	1,632	1,721	1,754	1,68	1,641	1,498	1,284	1,679	1,706	1,564	1,511
K2O	0,572	0,577	0,613	0,527	0,593	0,548	0,596	0,606	0,608	0,624	0,589	0,627	0,565	0,609	0,617	0,601	0,665	0,62	0,525	0,588	0,565	0,596
F	0,186	0,06	0,004	0	0,118	0,125	0,133	0,122	0	0	0	0,241	0	0,064	0	0,244	0	0,052	0,068	0	0,13	0,126
Cl	0,019	0	0	0	0,014	0,005	0	0,005	0,003	0,025	0,005	0,027	0,008	0,019	0,016	0,033	0,008	0,019	0,027	0	0	0,019
Soma	98,38	97,35	97,55	97,68	99,02	98,16	97,68	97,16	98,05	96,46	98,07	97,45	96,9	99,25	97,51	97,02	97,55	97,74	99,32	98,86	97,89	97,35
O_F_Cl	0,08	0,03	0	0	0,05	0,05	0,06	0,05	0	0,01	0	0,11	0	0,03	0	0,11	0	0,03	0,03	0	0,05	0,06
O_F	0,08	0,03	0	0	0,05	0,05	0,06	0,05	0	0	0	0,1	0	0,03	0	0,1	0	0,02	0,03	0	0,05	0,05
O_Cl	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,01	0	0,01	0	0	0	0,01	0	0	0,01	0	0	0
H2O																						
Total	98,54	97,41	97,55	97,68	99,12	98,26	97,8	97,26	98,05	96,48	98,07	97,67	96,9	99,31	97,51	97,24	97,55	97,79	99,39	98,86	97,99	97,46
TSi	6,299	6,417	6,423	6,411	6,351	6,441	6,438	6,415	6,424	6,506	6,371	6,458	6,406	6,376	6,428	6,481	6,472	6,188	6,39	6,348	6,478	6,397
TAI	1,701	1,583	1,577	1,589	1,649	1,559	1,562	1,585	1,576	1,494	1,629	1,542	1,594	1,624	1,572	1,519	1,528	1,812	1,61	1,652	1,522	1,603
Soma_T	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
CAI	0,364	0,499	0,553	0,555	0,461	0,567	0,567	0,555	0,545	0,628	0,514	0,609	0,545	0,473	0,544	0,728	0,671	0,346	0,474	0,459	0,605	0,486
CCr	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CFe3	0,695	0,506	0,443	0,412	0,537	0,424	0,421	0,204	0,298	0,173	0,449	0,266	0,29	0,425	0,266	0,187	0,328	1,283	0,513	0,407	0,098	0,452
CTi	0,185	0,156	0,178	0,163	0,158	0,144	0,139	0,169	0,165	0,15	0,151	0,155	0,186	0,185	0,18	0,107	0,105	0,125	0,169	0,179	0,177	0,157
CMg	1,812	1,864	1,866	1,826	1,868	1,86	2,01	1,971	1,944	1,935	1,922	1,904	1,889	1,886	1,932	1,918	1,908	1,799	1,905	1,869	1,886	2
CFe2	1,911	1,933	1,913	2,012	1,946	1,961	1,854	2,08	2,031	2,08	1,944	2,04	2,061	2,004	2,063	2,033	1,953	1,421	1,916	2,059	2,192	1,883
CMn	0,033	0,041	0,048	0,032	0,03	0,045	0,009	0,022	0,018	0,034	0,019	0,025	0,029	0,027	0,015	0,027	0,034	0,026	0,023	0,027	0,043	0,022
Soma_C	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
BMg	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BFe2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BMn	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BCa	1,86	1,85	1,83	1,84	1,857	1,846	1,895	1,95	1,896	1,9	1,868	1,879	1,886	1,868	1,896	1,897	1,879	1,723	1,852	1,911	1,95	1,898
BNa	0,14	0,15	0,17	0,16	0,143	0,154	0,105	0,05	0,104	0,1	0,132	0,121	0,114	0,132	0,104	0,103	0,121	0,277	0,148	0,089	0,05	0,102
Soma_B	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
ANa	0,304	0,305	0,279	0,354	0,365	0,329	0,289	0,422	0,392	0,373	0,383	0,356	0,392	0,373	0,387	0,378	0,313	0,094	0,333	0,404	0,407	0,339
AK	0,109	0,111	0,117	0,101	0,112	0,104	0,114	0,117	0,116	0,121	0,112	0,121	0,109	0,115	0,119	0,116	0,127	0,118	0,099	0,112	0,108	0,114
Soma_A	0,413	0,416	0,396	0,455	0,478	0,434	0,402	0,539	0,508	0,494	0,495	0,477	0,501	0,488	0,505	0,494	0,44	0,211	0,432	0,516	0,515	0,453
Cátions	15,413	15,416	15,396	15,455	15,478	15,434	15,402	15,539	15,508	15,494	15,495	15,477	15,501	15,488	15,505	15,494	15,44	15,211	15,432	15,516	15,515	15,453
CCl	0,005	0	0	0	0,004	0,001	0	0,001	0,001	0,006	0,001	0,007	0,002	0,005	0,004	0,008	0,002	0,005	0,007	0	0	0,005
CF	0,088	0,029	0,002	0	0,055	0,059	0,063	0,058	0	0	0	0,115	0	0,03	0	0,117	0	0,024	0,032	0	0,062	0,06
OH																						
Oxigénios	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23

Amostra BAR-4D

Análise Mineral	1Be Hbl1	2Be Hbl1	3B Hbl1	4Ne Hbl1	5N Hbl1	6N Hbl1	7Ne Hbl1	8B Hbl1	9Be Hbl1	10Be Hbl1	12Be Hbl2	13Be Hbl2	14Ne Hbl2	15N Hbl2	16Ne Hbl2	17Be Hbl2	18Be Hbl2	19B Hbl3	20N Hbl3	21N Hbl3	22B Hbl3	23B Hbl4	24N Hbl4	25N Hbl4	26B Hbl4
SiO2	43,089	43,826	45,345	43,71	43,207	43,838	44,179	43,74	43,717	43,5	43,515	42,811	43,405	43,61	43,444	41,905	43,447	43,319	43,324	43,458	43,577	42,858	42,991	43,259	43,169
TiO2	1,489	1,752	0,37	1,625	0,887	1,587	1,644	1,589	1,64	0,766	1,773	1,837	1,578	1,664	1,599	1,468	1,508	1,173	1,319	1,246	1,144	0,95	1,293	1,118	0,768
Al2O3	11,526	11,425	11,444	11,305	11,861	11,284	11,007	11,184	11,395	11,42	11,699	11,446	11,656	11,673	11,498	11,418	12,024	12,336	11,925	12,391	13,31	13,394	12,405	12,945	13,878
FeO	16,862	17,668	16,882	17,684	18,359	17,728	17,394	17,472	17,03	18,776	17,39	18,12	18,199	17,646	17,372	18,757	17,983	16,949	16,616	16,924	16,686	16,816	17,431	17,12	16,957
Cr2O3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MnO	0,198	0,217	0,146	0,19	0,221	0,222	0,281	0,235	0,207	0,236	0,29	0,264	0,265	0,258	0,265	0,252	0,178	0,202	0,189	0,178	0,17	0,191	0,249	0,222	0,189
MgO	10,007	10,198	9,995	9,992	9,455	9,725	10,247	9,986	10,229	9,86	10,046	10,219	10,104	9,881	9,953	9,869	10,117	10,273	10,086	10,097	9,895	9,462	9,823	9,78	9,454
CaO	11,89	11,784	11,81	11,605	12,229	11,644	11,657	11,682	11,877	12,072	11,375	11,515	11,264	11,529	11,536	11,717	11,738	12,067	12,002	12,103	11,919	11,889	11,995	11,721	11,918
Na2O	1,512	1,326	1,082	1,285	1,145	1,269	1,352	1,35	1,266	1,329	1,625	1,53	1,558	1,572	1,56	1,567	1,46	1,444	1,313	1,584	1,393	1,367	1,433	1,435	1,361
K2O	0,535	0,501	0,276	0,508	0,499	0,461	0,484	0,527	0,523	0,47	0,507	0,54	0,531	0,534	0,504	0,538	0,544	0,575	0,54	0,55	0,574	0,578	0,508	0,509	0,6
F	0,011	0,007	0,183	0	0	0,308	0	0	0	0,004	0	0,007	0,117	0,064	0,061	0	0,061	0	0	0	0,184	0,248	0,072	0,065	0
Cl	0	0,038	0,027	0,032	0,059	0,011	0,022	0,003	0,054	0,035	0,014	0,038	0,011	0,038	0,022	0,005	0,024	0,019	0,054	0,024	0,003	0,035	0,022	0	0,049
Soma	97,12	98,74	97,56	97,94	97,92	98,08	98,27	97,77	97,94	98,47	98,23	98,33	98,69	98,47	97,81	97,5	99,08	98,36	97,37	98,55	98,85	97,79	98,22	98,17	98,34
O_F_Cl	0	0,01	0,08	0,01	0,01	0,13	0	0	0,01	0,01	0	0,01	0,05	0,04	0,03	0	0,03	0	0,01	0,01	0,08	0,11	0,04	0,03	0,01
O_F	0	0	0,08	0	0	0,13	0	0	0	0	0	0	0,05	0,03	0,03	0	0,03	0	0	0	0,08	0,1	0,03	0,03	0
O_Cl	0	0,01	0,01	0,01	0,01	0	0	0	0,01	0,01	0	0,01	0	0,01	0	0	0,01	0	0,01	0,01	0	0,01	0	0	0,01
H2O																									
Total	97,12	98,76	97,73	97,96	97,94	98,34	98,27	97,77	97,96	98,49	98,23	98,35	98,79	98,55	97,87	97,5	99,15	98,36	97,39	98,57	99,01	98,01	98,29	98,23	98,36
TSi	6,441	6,419	6,68	6,45	6,421	6,488	6,494	6,476	6,456	6,417	6,4	6,304	6,352	6,419	6,434	6,257	6,345	6,371	6,44	6,395	6,368	6,355	6,351	6,359	6,339
TAl	1,559	1,581	1,32	1,55	1,579	1,512	1,506	1,524	1,544	1,583	1,6	1,696	1,648	1,581	1,566	1,743	1,655	1,629	1,56	1,605	1,632	1,645	1,649	1,641	1,661
Soma_T	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
CAI	0,47	0,389	0,666	0,415	0,497	0,455	0,399	0,426	0,437	0,401	0,426	0,289	0,361	0,443	0,44	0,264	0,413	0,508	0,528	0,542	0,658	0,693	0,509	0,601	0,739
CCr	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CFe3	0,406	0,637	0,483	0,64	0,565	0,559	0,595	0,551	0,524	0,728	0,638	0,828	0,865	0,584	0,566	0,844	0,722	0,539	0,433	0,415	0,488	0,46	0,55	0,596	0,501
CTi	0,167	0,193	0,041	0,18	0,099	0,177	0,182	0,177	0,182	0,085	0,196	0,203	0,174	0,184	0,178	0,165	0,166	0,13	0,147	0,138	0,126	0,106	0,144	0,124	0,085
CMg	2,23	2,227	2,195	2,198	2,095	2,146	2,245	2,204	2,252	2,168	2,203	2,243	2,204	2,168	2,197	2,197	2,203	2,252	2,235	2,215	2,156	2,091	2,163	2,143	2,07
CFe2	1,702	1,527	1,597	1,542	1,716	1,636	1,543	1,613	1,579	1,589	1,501	1,403	1,363	1,589	1,586	1,498	1,474	1,546	1,633	1,667	1,551	1,625	1,603	1,509	1,581
CMn	0,025	0,027	0,018	0,024	0,028	0,028	0,035	0,029	0,026	0,029	0,036	0,033	0,033	0,032	0,033	0,032	0,022	0,025	0,024	0,022	0,021	0,024	0,031	0,028	0,024
Soma_C	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
BMg	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BFe2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BMn	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BCa	1,904	1,849	1,864	1,835	1,947	1,847	1,836	1,853	1,879	1,908	1,792	1,817	1,766	1,818	1,831	1,874	1,837	1,902	1,912	1,908	1,866	1,889	1,898	1,846	1,875
BNa	0,096	0,151	0,136	0,165	0,053	0,153	0,164	0,147	0,121	0,092	0,208	0,183	0,234	0,182	0,169	0,126	0,163	0,098	0,088	0,092	0,134	0,111	0,102	0,154	0,125
Soma_B	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
ANa	0,342	0,226	0,173	0,203	0,277	0,211	0,221	0,241	0,242	0,288	0,256	0,254	0,208	0,267	0,279	0,328	0,25	0,313	0,29	0,36	0,261	0,282	0,309	0,255	0,263
AK	0,102	0,094	0,052	0,096	0,095	0,087	0,091	0,1	0,099	0,088	0,095	0,101	0,099	0,1	0,095	0,102	0,101	0,108	0,102	0,103	0,107	0,109	0,096	0,095	0,112
Soma_A	0,444	0,319	0,225	0,298	0,372	0,298	0,312	0,34	0,34	0,377	0,351	0,355	0,308	0,367	0,374	0,431	0,352	0,421	0,392	0,463	0,368	0,391	0,405	0,351	0,375
Cátions	15,444	15,319	15,225	15,298	15,372	15,298	15,312	15,34	15,34	15,377	15,351	15,355	15,308	15,367	15,374	15,431	15,352	15,421	15,392	15,463	15,368	15,391	15,405	15,351	15,375
CCl	0	0,009	0,007	0,008	0,015	0,003	0,005	0,001	0,014	0,009	0,003	0,009	0,003	0,009	0,006	0,001	0,006	0,005	0,014	0,006	0,001	0,009	0,006	0	0,012
CF	0,005	0,003	0,085	0	0	0,144	0	0	0	0,002	0	0,003	0,054	0,03	0,029	0	0,028	0	0	0	0,085	0,116	0,034	0,03	0
OH																									
Oxigênios	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23

Amostra BAR-4EVI

Análise	<u>1B</u>	<u>2N</u>	<u>3B</u>	<u>4B</u>	<u>5N</u>	<u>6B</u>	<u>7B</u>	<u>8N</u>	<u>9N</u>	<u>10B</u>	<u>11B</u>	<u>12N</u>	<u>13B</u>	<u>14B</u>	<u>15N</u>	<u>16N</u>	<u>17B</u>
Mineral	Hbl1	Hbl1	Hbl1	Hbl2	Hbl2	Hbl2	Hbl3	Hbl3	Hbl3	Hbl3	Hbl4	Hbl4	Hbl4	Hbl5	Hbl5	Hbl5	Hbl5
SiO2	41,329	41,36	41,525	41,943	41,702	41,589	41,005	41,292	41,803	41,461	41,367	41,486	41,975	41,716	41,28	41,624	41,481
TiO2	1,316	1,317	1,284	1,328	1,507	1,478	1,49	1,333	1,596	1,559	1,462	1,192	1,354	1,144	1,383	1,246	1,156
Al2O3	12,23	12,177	12,093	11,645	11,964	12,135	11,918	11,824	11,942	12,189	12,27	12,41	11,876	12,154	12,312	12,128	12,382
FeO	20,538	22,535	21,404	20,507	22,51	21,658	21,458	20,305	20,806	21,053	20,774	20,059	19,806	19,679	20,002	20,156	19,984
Cr2O3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MnO	0,188	0,151	0,189	0,272	0,235	0,219	0,247	0,283	0,205	0,199	0,341	0,278	0,23	0,131	0,183	0,228	0,129
MgO	8,07	8,139	8,223	8,037	7,793	7,796	8,24	8,158	8,185	8,032	7,744	7,916	8,103	8,095	7,926	8	8,134
CaO	11,156	11,469	11,579	11,531	11,261	11,429	11,308	11,707	11,428	11,84	11,591	11,703	11,865	11,681	11,634	11,818	11,657
Na2O	1,85	1,816	1,829	1,716	1,798	1,757	1,863	1,824	1,806	1,717	1,712	1,71	1,739	1,634	1,721	1,634	1,718
K2O	0,53	0,516	0,548	0,483	0,557	0,517	0,502	0,518	0,531	0,528	0,558	0,582	0,519	0,534	0,62	0,581	0,597
F	0,007	0,063	0	0,007	0,122	0,362	0,06	0,053	0	0,177	0,127	0,365	0,064	0,192	0,177	0	0
Cl	0	0	0	0,016	0,024	0,024	0,014	0	0	0,005	0	0,022	0,011	0,011	0,016	0	0,014
Soma	97,21	99,54	98,67	97,49	99,47	98,96	98,1	97,3	98,3	98,76	97,95	97,72	97,54	96,97	97,25	97,41	97,25
O_F_Cl	0	0,03	0	0,01	0,06	0,16	0,03	0,02	0	0,08	0,05	0,16	0,03	0,08	0,08	0	0
O_F	0	0,03	0	0	0,05	0,15	0,03	0,02	0	0,07	0,05	0,15	0,03	0,08	0,07	0	0
O_Cl	0	0	0	0	0,01	0,01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
H2O																	
Total	97,21	99,6	98,67	97,5	99,59	99,28	98,16	97,34	98,3	98,91	98,05	98,03	97,6	97,13	97,4	97,41	97,25
TSi	6,241	6,124	6,201	6,339	6,191	6,221	6,156	6,271	6,258	6,214	6,244	6,285	6,359	6,341	6,275	6,305	6,279
TAI	1,759	1,876	1,799	1,661	1,809	1,779	1,844	1,729	1,742	1,786	1,756	1,715	1,641	1,659	1,725	1,695	1,721
Soma_T	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
CAI	0,416	0,247	0,328	0,412	0,283	0,358	0,262	0,386	0,363	0,366	0,425	0,499	0,477	0,516	0,479	0,469	0,486
CCr	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CFe3	0,79	1,077	0,843	0,617	0,984	0,817	0,97	0,592	0,728	0,666	0,641	0,53	0,393	0,491	0,512	0,514	0,57
CTi	0,149	0,147	0,144	0,151	0,168	0,166	0,168	0,152	0,18	0,176	0,166	0,136	0,154	0,131	0,158	0,142	0,132
CMg	1,817	1,797	1,831	1,811	1,725	1,738	1,844	1,847	1,827	1,795	1,743	1,788	1,83	1,834	1,796	1,807	1,836
CFe2	1,804	1,713	1,83	1,975	1,81	1,892	1,724	1,987	1,876	1,973	1,982	2,011	2,116	2,01	2,031	2,04	1,959
CMn	0,024	0,019	0,024	0,035	0,03	0,028	0,031	0,036	0,026	0,025	0,044	0,036	0,03	0,017	0,024	0,029	0,017
Soma_C	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
BMg	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BFe2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BMn	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BCa	1,805	1,819	1,853	1,867	1,791	1,832	1,819	1,905	1,833	1,901	1,875	1,9	1,926	1,902	1,895	1,918	1,891
BNa	0,195	0,181	0,147	0,133	0,209	0,168	0,181	0,095	0,167	0,099	0,125	0,1	0,074	0,098	0,105	0,082	0,109
Soma_B	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
ANa	0,347	0,341	0,382	0,37	0,309	0,341	0,361	0,442	0,357	0,4	0,376	0,402	0,437	0,384	0,402	0,398	0,395
AK	0,102	0,097	0,104	0,093	0,105	0,099	0,096	0,1	0,101	0,101	0,107	0,112	0,1	0,104	0,12	0,112	0,115
Soma_A	0,449	0,438	0,487	0,463	0,414	0,44	0,457	0,542	0,459	0,501	0,483	0,514	0,537	0,487	0,522	0,51	0,51
Cátions	15,449	15,438	15,487	15,463	15,414	15,44	15,457	15,542	15,459	15,501	15,483	15,514	15,537	15,487	15,522	15,51	15,51
CCl	0	0	0	0,004	0,006	0,006	0,004	0	0	0,001	0	0,006	0,003	0,003	0,004	0	0,004
CF	0,003	0,029	0	0,003	0,057	0,171	0,028	0,025	0	0,084	0,061	0,175	0,031	0,092	0,085	0	0
OH																	
Oxigênios	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23

Amostra BAR-4.1BVlb

Análise	1Be	2Be	3Be	4Be	5B	6B	7B	8Ne	9Ne	10N	11N	12N	13N	14Ne	15Ne	16B	17B	18B	19Be	20Be	21Be	22Be
Mineral	Hbl1	Hbl1	Hbl1	Hbl1	Hbl1	Hbl1	Hbl1	Hbl1	Hbl1	Hbl1	Hbl1	Hbl1	Hbl1	Hbl1	Hbl1	Hbl1	Hbl1	Hbl1	Hbl1	Hbl1	Hbl1	Hbl1
SiO2	42,49	42,304	42,46	42,255	42,216	42,351	42,324	42,316	42,24	42,479	42,412	42,484	42,632	42,322	42,137	42,729	42,311	42,096	42,179	42,568	42,505	42,273
TiO2	1,083	1,234	1,441	1,422	1,489	1,728	1,489	1,672	1,542	1,524	1,427	1,84	1,49	1,586	1,382	1,548	1,619	1,621	1,371	1,281	1,535	1,59
Al2O3	12,603	11,894	12,12	11,901	11,82	11,817	11,915	11,923	11,882	11,825	11,831	11,843	11,769	11,752	11,795	11,841	11,85	11,821	12,119	12,037	12,013	11,838
FeO	18,54	18,418	18,498	18,307	18,128	17,901	17,891	17,934	18,357	18,274	18,117	17,665	17,082	19,574	18,992	18,097	18,47	16,805	17,601	16,814	17,649	17,241
Cr2O3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MnO	0,18	0,195	0,205	0,22	0,212	0,172	0,23	0,212	0,207	0,196	0,223	0,169	0,186	0,193	0,197	0,204	0,213	0,203	0,206	0,196	0,198	0,229
MgO	9,602	9,582	9,483	9,601	9,317	9,648	9,574	9,344	9,44	9,365	9,573	9,534	9,387	9,544	9,626	9,504	9,633	9,565	9,448	9,461	9,586	9,729
CaO	11,605	11,263	11,44	10,998	10,998	11,276	11,384	11,277	11,201	11,117	11,12	11,085	11,375	11,381	11,344	11,325	11,21	10,901	11,201	11,074	11,315	11,365
Na2O	1,467	1,584	1,585	1,496	1,525	1,609	1,584	1,577	1,59	1,46	1,704	1,711	1,52	1,619	1,479	1,443	1,526	1,512	1,475	1,573	1,559	1,443
K2O	0,515	0,532	0,587	0,578	0,564	0,552	0,616	0,571	0,589	0,578	0,603	0,603	0,592	0,565	0,594	0,578	0,598	0,567	0,649	0,623	0,595	0,546
F	0,236	0,054	0,115	0	0	0	0	0	0,061	0	0	0	0	0,064	0,011	0,237	0	0	0,119	0	0,004	0,138
Cl	0,046	0,016	0,03	0,041	0,019	0,06	0,06	0,035	0,06	0,033	0,06	0,054	0,057	0,038	0,068	0,049	0,03	0,019	0,046	0,066	0,066	0,046
Soma	98,37	97,08	97,96	96,82	96,29	97,11	97,07	96,86	97,17	96,85	97,07	96,99	96,09	98,64	97,62	97,56	97,46	95,11	96,41	95,69	97,02	96,44
O_F_Cl	0,11	0,03	0,06	0,01	0	0,01	0,01	0,01	0,04	0,01	0,01	0,01	0,01	0,04	0,02	0,11	0,01	0	0,06	0,01	0,02	0,07
O_F	0,1	0,02	0,05	0	0	0	0	0	0,03	0	0	0	0	0,03	0	0,1	0	0	0,05	0	0	0,06
O_Cl	0,01	0	0,01	0,01	0	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0	0,01	0,01	0,01	0,01
H2O																						
Total	98,59	97,13	98,08	96,84	96,29	97,13	97,09	96,88	97,25	96,87	97,09	97,01	96,11	98,72	97,66	97,78	97,48	95,11	96,53	95,71	97,05	96,58
TSi	6,268	6,315	6,301	6,303	6,346	6,323	6,331	6,343	6,312	6,35	6,335	6,352	6,441	6,244	6,263	6,362	6,288	6,384	6,342	6,432	6,35	6,351
TAI	1,732	1,685	1,699	1,697	1,654	1,677	1,669	1,657	1,688	1,65	1,665	1,648	1,559	1,756	1,737	1,638	1,712	1,616	1,658	1,568	1,65	1,649
Soma_T	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
CAI	0,458	0,405	0,42	0,394	0,438	0,401	0,43	0,448	0,403	0,432	0,416	0,438	0,535	0,286	0,327	0,438	0,362	0,495	0,488	0,574	0,463	0,446
CCr	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CFe3	0,848	0,841	0,752	0,926	0,784	0,708	0,678	0,641	0,778	0,78	0,76	0,634	0,444	0,951	0,949	0,714	0,864	0,654	0,697	0,537	0,656	0,66
CTi	0,12	0,139	0,161	0,16	0,168	0,194	0,168	0,189	0,173	0,171	0,16	0,207	0,169	0,176	0,155	0,173	0,181	0,185	0,155	0,146	0,172	0,18
CMg	2,112	2,132	2,098	2,135	2,088	2,148	2,135	2,088	2,103	2,087	2,132	2,125	2,114	2,099	2,133	2,109	2,134	2,162	2,118	2,131	2,135	2,179
CFe2	1,44	1,459	1,544	1,358	1,494	1,527	1,561	1,607	1,516	1,504	1,503	1,575	1,714	1,464	1,411	1,54	1,431	1,477	1,516	1,588	1,549	1,507
CMn	0,022	0,025	0,026	0,028	0,027	0,022	0,029	0,027	0,026	0,025	0,028	0,021	0,024	0,024	0,025	0,026	0,027	0,026	0,026	0,025	0,025	0,029
Soma_C	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
BMg	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BFe2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BMn	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BCa	1,834	1,801	1,819	1,758	1,771	1,804	1,825	1,811	1,793	1,781	1,78	1,776	1,841	1,799	1,806	1,807	1,785	1,771	1,804	1,793	1,811	1,829
BNa	0,166	0,199	0,181	0,242	0,229	0,196	0,175	0,189	0,207	0,219	0,22	0,224	0,159	0,201	0,194	0,193	0,215	0,229	0,196	0,207	0,189	0,171
Soma_B	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
ANa	0,254	0,26	0,275	0,19	0,216	0,27	0,284	0,27	0,254	0,204	0,273	0,272	0,286	0,262	0,233	0,223	0,225	0,216	0,234	0,254	0,263	0,25
AK	0,097	0,101	0,111	0,11	0,108	0,105	0,118	0,109	0,112	0,11	0,115	0,115	0,114	0,106	0,113	0,11	0,113	0,11	0,124	0,12	0,113	0,105
Soma_A	0,351	0,361	0,386	0,3	0,324	0,375	0,402	0,379	0,366	0,314	0,388	0,387	0,401	0,368	0,345	0,333	0,338	0,326	0,359	0,374	0,376	0,355
Cátions	15,351	15,361	15,386	15,3	15,324	15,375	15,402	15,379	15,366	15,314	15,388	15,387	15,401	15,368	15,345	15,333	15,338	15,326	15,359	15,374	15,376	15,355
CCl	0,012	0,004	0,008	0,01	0,005	0,015	0,015	0,009	0,015	0,008	0,015	0,014	0,015	0,01	0,017	0,012	0,008	0,005	0,012	0,017	0,017	0,012
CF	0,11	0,025	0,054	0	0	0	0	0	0,029	0	0	0	0	0,03	0,005	0,112	0	0	0,057	0	0,002	0,066
OH																						
Oxigênios	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23

Amostra BAR-4.1CI

Análise	<u>1Be</u>	<u>2B</u>	<u>3N</u>	<u>4N</u>	<u>5B</u>	<u>6Be</u>	<u>7BE</u>	<u>8B</u>	<u>9Ne</u>	<u>10N</u>	<u>11Ne</u>	<u>12B</u>	<u>13Be</u>	<u>14B</u>	<u>15N</u>	<u>16N</u>	<u>17B</u>
Mineral	Hbl1	Hbl1	Hbl1	Hbl1	Hbl1	Hbl1	Hbl2	Hbl2	Hbl2	Hbl2	Hbl2	Hbl2	Hbl2	Hbl3	Hbl3	Hbl3	Hbl3
SiO2	40,826	42	42,221	42,167	42,099	42,571	42,215	42,013	42,421	42,26	41,99	41,878	42,497	42,003	41,972	43,421	42,699
TiO2	1,702	1,876	1,615	1,983	1,828	1,652	1,75	1,754	1,641	1,63	1,832	2,007	1,347	1,554	1,65	1,422	1,341
Al2O3	13,685	11,715	11,869	11,971	11,789	11,892	11,602	11,705	11,765	11,736	11,492	11,704	11,5	12,194	12,304	10,928	11,558
FeO	18,564	18,989	19,651	18,945	20,312	19,463	18,862	19,255	18,548	18,283	17,871	18,888	18,201	18,936	18,532	18,088	18,33
Cr2O3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MnO	0,153	0,142	0,198	0,174	0,144	0,099	0,156	0,151	0,205	0,223	0,125	0,105	0,173	0,09	0,247	0,154	0,118
MgO	8,308	8,897	8,782	8,79	8,893	8,722	9,038	8,695	8,842	8,973	8,818	8,619	9,219	8,835	8,558	9,373	8,775
CaO	11,544	11,352	11,303	11,243	11,364	11,49	11,591	11,676	11,357	11,447	12,028	11,447	11,598	11,508	11,507	11,528	11,422
Na2O	1,627	1,865	1,703	1,747	1,647	1,628	1,683	1,772	1,689	1,597	1,607	1,803	1,717	1,774	1,714	1,569	1,546
K2O	0,627	0,589	0,57	0,621	0,598	0,663	0,6	0,593	0,551	0,588	0,56	0,634	0,622	0,603	0,569	0,512	0,552
F	0	0	0,117	0,075	0,247	0,057	0,125	0	0,171	0	0,061	0,053	0,053	0,308	0	0	0
Cl	0	0	0	0,027	0,003	0,016	0,043	0	0	0,003	0	0,003	0	0,008	0,016	0	0
Soma	97,04	97,43	98,03	97,74	98,92	98,25	97,67	97,61	97,19	96,74	96,38	97,14	96,93	97,81	97,07	97	96,34
O_F_Cl	0	0	0,05	0,04	0,1	0,03	0,06	0	0,07	0	0,03	0,02	0,02	0,13	0	0	0
O_F	0	0	0,05	0,03	0,1	0,02	0,05	0	0,07	0	0,03	0,02	0,02	0,13	0	0	0
O_Cl	0	0	0	0,01	0	0	0,01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
H2O																	
Total	97,04	97,43	98,13	97,82	99,12	98,3	97,79	97,61	97,33	96,74	96,44	97,18	96,97	98,07	97,07	97	96,34
TSi	6,153	6,314	6,301	6,312	6,239	6,348	6,339	6,328	6,384	6,376	6,415	6,337	6,412	6,304	6,332	6,519	6,467
TAl	1,847	1,686	1,699	1,688	1,761	1,652	1,661	1,672	1,616	1,624	1,585	1,663	1,588	1,696	1,668	1,481	1,533
Soma_T	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
CAl	0,581	0,388	0,387	0,422	0,296	0,436	0,391	0,404	0,47	0,461	0,482	0,423	0,455	0,459	0,518	0,451	0,529
CCr	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CFe3	0,556	0,559	0,733	0,588	0,863	0,577	0,54	0,47	0,513	0,511	0,16	0,419	0,456	0,553	0,444	0,445	0,43
CTi	0,193	0,212	0,181	0,223	0,204	0,185	0,198	0,199	0,186	0,185	0,211	0,228	0,153	0,175	0,187	0,161	0,153
CMg	1,867	1,994	1,954	1,961	1,965	1,939	2,023	1,952	1,984	2,018	2,008	1,944	2,074	1,977	1,925	2,098	1,981
CFe2	1,783	1,828	1,72	1,783	1,655	1,85	1,828	1,955	1,822	1,796	2,123	1,971	1,841	1,824	1,894	1,826	1,891
CMn	0,02	0,018	0,025	0,022	0,018	0,013	0,02	0,019	0,026	0,028	0,016	0,013	0,022	0,011	0,032	0,02	0,015
Soma_C	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
BMg	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BFe2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BMn	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BCa	1,864	1,829	1,807	1,803	1,804	1,836	1,865	1,884	1,831	1,85	1,969	1,856	1,875	1,851	1,86	1,854	1,854
BNa	0,136	0,171	0,193	0,197	0,196	0,164	0,135	0,116	0,169	0,15	0,031	0,144	0,125	0,149	0,14	0,146	0,146
Soma_B	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
ANa	0,339	0,372	0,3	0,31	0,278	0,306	0,355	0,402	0,324	0,318	0,445	0,385	0,377	0,367	0,361	0,311	0,308
AK	0,121	0,113	0,109	0,119	0,113	0,126	0,115	0,114	0,106	0,113	0,109	0,122	0,12	0,115	0,11	0,098	0,107
Sum_A	0,46	0,485	0,409	0,429	0,391	0,433	0,47	0,516	0,43	0,431	0,554	0,507	0,497	0,482	0,471	0,409	0,414
Cátions	15,46	15,485	15,409	15,429	15,391	15,433	15,47	15,516	15,43	15,431	15,554	15,507	15,497	15,482	15,471	15,409	15,414
CCl	0	0	0	0,007	0,001	0,004	0,011	0	0	0,001	0	0,001	0	0,002	0,004	0	0
CF	0	0	0,055	0,036	0,116	0,027	0,059	0	0,081	0	0,029	0,025	0,025	0,146	0	0	0
OH																	
Oxigênio	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23

Amostra BAR-10AIVb

Análise Mineral	18Be Hbl4	19B Hbl4	20B Hbl4	21Ne Hbl4	22N Hbl4	23Ne Hbl4	24B Hbl4	25B Hbl4	26Be Hbl4	27Be Hbl5	28B Hbl5	29Ne Hbl5	30N Hbl5	31Ne Hbl5	32B Hbl5	33Be Hbl5
SiO2	43,189	42,948	43,025	42,552	43,006	42,672	42,437	43,075	43,042	41,738	42,555	41,869	42,883	41,787	42,488	42,972
TiO2	1,923	1,457	1,587	1,735	1,468	1,473	1,67	1,563	1,465	1,564	1,577	1,385	1,27	1,516	1,595	1,691
Al2O3	11,527	11,57	11,681	12,105	11,626	11,559	12,044	11,625	11,574	12,625	12,131	12,884	11,639	11,723	11,605	11,59
FeO	19,172	19,097	19,494	19,674	18,687	18,662	18,322	18,484	19,051	17,956	17,371	16,982	17,352	17,361	17,622	17,668
Cr2O3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MnO	0,281	0,227	0,163	0,283	0,211	0,168	0,245	0,209	0,262	0,242	0,201	0,254	0,185	0,261	0,273	0,176
MgO	9,864	9,554	9,524	9,49	9,356	9,648	9,461	9,458	9,468	9,086	8,933	9,203	9,919	9,337	9,604	9,5
CaO	10,999	11,808	11,529	11,533	11,488	11,301	11,197	11,452	11,328	11,08	11,302	10,75	11,033	10,883	11,388	10,897
Na2O	1,789	1,752	1,69	1,881	1,8	1,659	1,897	1,652	1,736	1,67	1,733	1,715	1,695	1,73	1,792	1,926
K2O	0,519	0,56	0,526	0,533	0,54	0,511	0,551	0,532	0,547	0,613	0,571	0,507	0,487	0,534	0,536	0,513
F	0,123	0	0,007	0,063	0	0,296	0	0	0	0	0,118	0	0	0,179	0	0,371
Cl	0	0,011	0	0,003	0,013	0,019	0,016	0,019	0,027	0	0,016	0,011	0	0,035	0,038	0,008
Soma	99,39	98,98	99,23	99,85	98,2	97,97	97,84	98,07	98,5	96,57	96,51	95,56	96,46	95,35	96,94	97,31
O_F_Cl	0,05	0	0	0,03	0	0,13	0	0	0,01	0	0,05	0	0	0,08	0,01	0,16
O_F	0,05	0	0	0,03	0	0,12	0	0	0	0	0,05	0	0	0,08	0	0,16
O_Cl	0	0	0	0	0	0	0	0	0,01	0	0	0	0	0,01	0,01	0
H2O																
Total	99,49	98,98	99,23	99,91	98,2	98,22	97,84	98,07	98,52	96,57	96,61	95,56	96,46	95,52	96,96	97,63
TSi	6,295	6,339	6,312	6,219	6,385	6,338	6,304	6,387	6,355	6,269	6,43	6,313	6,408	6,362	6,375	6,423
TAI	1,705	1,661	1,688	1,781	1,615	1,662	1,696	1,613	1,645	1,731	1,57	1,687	1,592	1,638	1,625	1,577
Soma_T	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
CAI	0,274	0,35	0,33	0,302	0,418	0,36	0,411	0,417	0,368	0,502	0,588	0,601	0,456	0,463	0,426	0,463
CCr	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CFe3	0,971	0,645	0,804	0,854	0,593	0,801	0,696	0,633	0,767	0,705	0,347	0,7	0,734	0,663	0,554	0,589
CTi	0,211	0,162	0,175	0,191	0,164	0,165	0,187	0,174	0,163	0,177	0,179	0,157	0,143	0,174	0,18	0,19
CMg	2,143	2,102	2,083	2,068	2,071	2,136	2,095	2,091	2,084	2,035	2,012	2,069	2,21	2,119	2,148	2,117
CFe2	1,366	1,712	1,587	1,551	1,727	1,517	1,58	1,659	1,585	1,551	1,848	1,441	1,434	1,547	1,658	1,62
CMn	0,035	0,028	0,02	0,035	0,027	0,021	0,031	0,026	0,033	0,031	0,026	0,032	0,023	0,034	0,035	0,022
Soma_C	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
BMg	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BFe2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BMn	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BCa	1,718	1,867	1,812	1,806	1,828	1,798	1,782	1,819	1,792	1,783	1,83	1,737	1,766	1,775	1,831	1,745
BNa	0,282	0,133	0,188	0,194	0,172	0,202	0,218	0,181	0,208	0,217	0,17	0,263	0,234	0,225	0,169	0,255
Soma_B	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
ANa	0,223	0,369	0,293	0,339	0,346	0,276	0,329	0,294	0,289	0,27	0,337	0,238	0,257	0,286	0,352	0,303
AK	0,097	0,105	0,098	0,099	0,102	0,097	0,104	0,101	0,103	0,117	0,11	0,098	0,093	0,104	0,103	0,098
Sum_A	0,32	0,474	0,391	0,438	0,448	0,373	0,433	0,395	0,392	0,387	0,447	0,336	0,35	0,39	0,455	0,401
Cátions	15,32	15,474	15,391	15,438	15,448	15,373	15,433	15,395	15,392	15,387	15,447	15,336	15,35	15,39	15,455	15,401
CCI	0	0,003	0	0,001	0,003	0,005	0,004	0,005	0,007	0	0,004	0,003	0	0,009	0,01	0,002
CF	0,057	0	0,003	0,029	0	0,139	0	0	0	0	0,056	0	0	0,086	0	0,175
OH																
Oxigênio	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23

Análise	1Be	2Be	3B	4B	5N	6N	7N	8B	9B	10Be	11Be	12Be	13B	14N	15N	16B	17Be
Mineral	Hbl1	Hbl1	Hbl1	Hbl1	Hbl1	Hbl1	Hbl1	Hbl1	Hbl1	Hbl1	Hbl1	Hbl2	Hbl2	Hbl2	Hbl2	Hbl2	Hbl2
SiO2	42,252	41,829	42,468	42,217	42,504	42,759	43,054	41,442	40,816	41,063	41,704	41,936	43,083	42,931	42,773	42,549	42,67
TiO2	1,815	1,854	1,696	2,027	1,856	2,058	1,651	1,445	1,151	2,792	1,654	1,759	2,05	1,911	1,991	1,886	1,777
Al2O3	11,905	11,765	12,268	11,515	11,337	11,866	11,642	11,435	13,27	11,505	12,32	11,933	11,462	11,597	11,423	11,557	11,995
FeO	19,685	18,689	18,951	19,293	18,201	17,512	17,865	19,485	20,205	18,718	18,21	17,72	18,98	18,136	18,308	18,282	18,123
Cr2O3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MnO	0,208	0,168	0,184	0,189	0,22	0,157	0,138	0,197	0,156	0,141	0,16	0,115	0,166	0,199	0,197	0,2	0,116
MgO	9,366	9,344	9,33	9,586	9,608	9,339	9,31	9,61	9,759	9,582	9,124	9,457	9,477	9,643	9,568	9,647	9,314
CaO	11,528	11,333	11,097	10,78	10,716	11,369	11,32	11,333	10,12	11,415	11,528	11,754	11,23	11,228	11,512	11,503	11,631
Na2O	1,584	1,633	1,646	1,525	1,639	1,876	1,858	1,884	1,702	1,886	1,618	1,328	1,642	1,558	1,55	1,61	1,65
K2O	0,735	0,905	0,772	0,724	0,778	0,706	0,683	0,661	0,614	0,697	0,88	0,827	0,756	0,77	0,747	0,73	0,754
F	0	0	0	0,249	0	0,13	0	0	0	0,061	0	0	0,302	0,004	0,426	0,125	
Cl	0,022	0,019	0	0	0,008	0	0	0	0,019	0,038	0,008	0	0	0,016	0	0,011	0
Soma	99,1	97,54	98,41	98,1	96,87	97,77	97,52	97,49	97,81	97,84	97,27	96,83	98,85	98,29	98,07	98,4	98,16
O_F_Cl	0	0	0	0,1	0	0,05	0	0	0	0,01	0,03	0	0	0,13	0	0,18	0,05
O_F	0	0	0	0,1	0	0,05	0	0	0	0	0,03	0	0	0,13	0	0,18	0,05
O_Cl	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,01	0	0	0	0	0	0	0
H2O																	
Total	99,1	97,54	98,41	98,3	96,87	97,87	97,52	97,49	97,81	97,86	97,33	96,83	98,85	98,55	98,07	98,76	98,26
TSi	6,225	6,266	6,266	6,245	6,352	6,391	6,438	6,208	5,969	6,152	6,273	6,315	6,345	6,361	6,357	6,327	6,356
TAI	1,775	1,734	1,734	1,755	1,648	1,609	1,562	1,792	2,031	1,848	1,727	1,685	1,655	1,639	1,643	1,673	1,644
Soma_T	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
CAI	0,29	0,342	0,398	0,25	0,348	0,479	0,488	0,225	0,255	0,182	0,456	0,431	0,334	0,385	0,357	0,351	0,46
CCr	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CFe3	0,852	0,689	0,834	1,063	0,827	0,348	0,407	0,93	1,753	0,691	0,54	0,515	0,712	0,67	0,586	0,631	0,453
CTi	0,201	0,209	0,188	0,226	0,209	0,231	0,186	0,163	0,127	0,315	0,187	0,199	0,227	0,213	0,223	0,211	0,199
CMg	2,057	2,087	2,052	2,114	2,141	2,081	2,075	2,146	2,128	2,14	2,046	2,123	2,081	2,13	2,12	2,139	2,068
CFe2	1,573	1,652	1,504	1,323	1,448	1,841	1,827	1,511	0,718	1,655	1,751	1,716	1,626	1,577	1,69	1,643	1,805
CMn	0,026	0,021	0,023	0,024	0,028	0,02	0,017	0,025	0,019	0,018	0,02	0,015	0,021	0,025	0,025	0,025	0,015
Soma_C	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
BMg	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BFe2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BMn	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BCa	1,82	1,819	1,754	1,708	1,716	1,821	1,814	1,819	1,586	1,832	1,858	1,896	1,772	1,782	1,833	1,833	1,856
BNa	0,18	0,181	0,246	0,292	0,284	0,179	0,186	0,181	0,414	0,168	0,142	0,104	0,228	0,218	0,167	0,167	0,144
Soma_B	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
ANa	0,272	0,293	0,225	0,146	0,191	0,364	0,352	0,366	0,068	0,38	0,33	0,284	0,241	0,23	0,28	0,297	0,333
AK	0,138	0,173	0,145	0,137	0,148	0,135	0,13	0,126	0,115	0,133	0,169	0,159	0,142	0,146	0,142	0,138	0,143
Sum_A	0,41	0,466	0,371	0,282	0,339	0,499	0,482	0,492	0,183	0,513	0,499	0,443	0,383	0,376	0,422	0,436	0,476
Cátions	15,41	15,466	15,371	15,282	15,339	15,499	15,482	15,492	15,183	15,513	15,499	15,443	15,383	15,376	15,422	15,436	15,476
CCl	0,005	0,005	0	0	0,002	0	0	0	0,005	0,01	0,002	0	0	0,004	0	0,003	0
CF	0	0	0	0,116	0	0,061	0	0	0	0	0,029	0	0	0,142	0,002	0,2	0,059
OH																	
Oxigênio	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23

Amostra BAR-10EVIII

Análise	1B	2N	3N	4B	5B	6N	7B	8B	9N	10B	11B	12N	13B	14B	15N	16B	17B	18N	19B
Mineral	Hbl1	Hbl1	Hbl1	Hbl1	Hbl2	Hbl2	Hbl2	Hbl3	Hbl3	Hbl3	Hbl4	Hbl4	Hbl4	Hbl5	Hbl5	Hbl5	Hbl6	Hbl6	Hbl6
SiO2	41,969	41,857	41,605	42,441	41,828	42,004	43,175	43,656	42,534	43,343	44,711	45,221	46,184	46,609	43,974	45,01	42,71	43,927	40,934
TiO2	1,267	1,585	1,695	1,411	1,635	1,545	1,181	1,173	1,319	1,207	0,806	0,87	0,632	0,56	0,621	0,61	1,204	1,094	1,018
Al2O3	11,498	11,266	11,525	11,989	11,803	11,625	11,329	11,716	11,052	11,504	9,338	9,236	9,496	8,209	11,501	10,158	11,626	11,389	14,892
FeO	18,511	19,045	19,282	18,174	19,547	20,524	18,117	17,121	17,699	17,013	16,319	15,591	15,812	18,084	18,327	18,171	19,31	18,935	19,011
Cr2O3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MnO	0,222	0,245	0,244	0,232	0,24	0,238	0,19	0,203	0,212	0,207	0,18	0,25	0,217	0,286	0,241	0,238	0,195	0,226	0,178
MgO	9,376	9,215	9,26	9,367	9,199	9,097	9,621	9,899	10,001	10,046	11,741	11,6	11,108	11,347	9,541	10,335	9,516	9,973	8,8
CaO	11,549	11,563	11,322	11,792	11,712	11,709	11,839	11,449	11,734	11,834	11,971	11,574	11,828	12,177	12,03	11,968	11,158	11,55	11,216
Na2O	1,712	1,724	1,726	1,671	1,728	1,707	1,567	1,595	1,594	1,632	1,321	1,312	1,178	1,134	1,324	1,292	1,591	1,519	1,485
K2O	0,567	0,586	0,615	0,597	0,61	0,641	0,496	0,532	0,528	0,628	0,325	0,34	0,35	0,214	0,434	0,323	0,603	0,421	0,545
F	0,132	0,057	0	0,061	0,121	0	0,293	0	0	0	0	0	0	0,004	0	0,129	0,057	0	0,249
Cl	0	0,003	0,022	0	0	0,014	0	0	0	0	0,019	0,014	0	0	0	0,025	0	0	0,008
Soma	96,8	97,15	97,3	97,74	98,42	99,1	97,81	97,34	96,67	97,41	96,73	96,01	96,8	98,62	97,99	98,26	97,97	99,03	98,34
O_F_Cl	0,06	0,02	0	0,03	0,05	0	0,12	0	0	0	0	0	0	0	0	0,06	0,02	0	0,11
O_F	0,06	0,02	0	0,03	0,05	0	0,12	0	0	0	0	0	0	0	0	0,05	0,02	0	0,1
O_Cl	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,01	0	0	0
H2O																			
Total	96,92	97,19	97,3	97,8	98,52	99,1	98,05	97,34	96,67	97,41	96,73	96,01	96,8	98,62	97,99	98,38	98,01	99,03	98,55
TSi	6,336	6,313	6,246	6,343	6,234	6,22	6,447	6,48	6,397	6,463	6,634	6,734	6,837	6,81	6,515	6,631	6,323	6,412	6,019
TAl	1,664	1,687	1,754	1,657	1,766	1,78	1,553	1,52	1,603	1,537	1,366	1,266	1,163	1,19	1,485	1,369	1,677	1,588	1,981
Soma_T	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
CAI	0,38	0,315	0,284	0,453	0,306	0,248	0,439	0,528	0,355	0,484	0,266	0,354	0,493	0,222	0,522	0,394	0,35	0,37	0,598
CCr	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CFe3	0,649	0,658	0,824	0,512	0,737	0,861	0,512	0,529	0,601	0,41	0,673	0,58	0,372	0,672	0,542	0,631	0,948	0,856	1,097
CTi	0,144	0,18	0,191	0,159	0,183	0,172	0,133	0,131	0,149	0,135	0,09	0,097	0,07	0,062	0,069	0,068	0,134	0,12	0,113
CMg	2,11	2,072	2,073	2,087	2,044	2,008	2,142	2,19	2,242	2,233	2,597	2,575	2,452	2,471	2,107	2,27	2,1	2,17	1,929
CFe2	1,688	1,744	1,597	1,76	1,699	1,681	1,75	1,596	1,625	1,712	1,352	1,362	1,586	1,538	1,729	1,608	1,443	1,455	1,24
CMn	0,028	0,031	0,031	0,029	0,03	0,03	0,024	0,026	0,027	0,026	0,023	0,032	0,027	0,035	0,03	0,03	0,024	0,028	0,022
Soma_C	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
BMg	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BFe2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BMn	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BCa	1,868	1,869	1,821	1,888	1,87	1,858	1,894	1,821	1,891	1,891	1,903	1,847	1,876	1,906	1,91	1,889	1,77	1,806	1,767
BNa	0,132	0,131	0,179	0,112	0,13	0,142	0,106	0,179	0,109	0,109	0,097	0,153	0,124	0,094	0,09	0,111	0,23	0,194	0,233
Soma_B	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
ANa	0,369	0,373	0,324	0,373	0,37	0,348	0,348	0,28	0,356	0,363	0,283	0,226	0,214	0,227	0,29	0,258	0,227	0,236	0,191
AK	0,109	0,113	0,118	0,114	0,116	0,121	0,094	0,101	0,101	0,119	0,062	0,065	0,066	0,04	0,082	0,061	0,114	0,078	0,102
Sum_A	0,478	0,486	0,441	0,486	0,486	0,469	0,442	0,381	0,457	0,482	0,345	0,29	0,28	0,267	0,372	0,319	0,341	0,315	0,293
Cátions	15,478	15,486	15,441	15,486	15,486	15,469	15,442	15,381	15,457	15,482	15,345	15,29	15,28	15,267	15,372	15,319	15,341	15,315	15,293
CCl	0	0,001	0,006	0	0	0,004	0	0	0	0	0,005	0,004	0	0	0	0,006	0	0	0,002
CF	0,063	0,027	0	0,029	0,057	0	0,138	0	0	0	0	0	0	0,002	0	0,06	0,027	0	0,116
OH																			
Oxigênio	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23

Amostra BAR-11BIa

Análise	1Be	2Be	3B	4N	5B	6Be	7B	8N	9N	10B	11Be	12B	13N	14B	15Be	16B	17N	18N	19B
Mineral	Hbl1	Hbl1	Hbl1	Hbl1	Hbl1	Hbl1	Hbl2	Hbl2	Hbl2	Hbl2	Hbl3	Hbl3	Hbl3	Hbl3	Hbl3	Hbl4	Hbl4	Hbl4	Hbl4
SiO2	43,237	42,948	42,889	43,285	43,228	44,417	43,636	43,272	43,463	43,066	43,597	42,954	42,814	48,352	43,445	44,766	44,535	44,106	44,756
TiO2	1,197	1,234	1,22	1,51	1,613	0,938	1,33	1,474	1,617	1,376	1,213	1,661	1,457	1,179	1,416	0,952	0,767	0,882	0,777
Al2O3	11,842	11,598	11,758	11,896	11,698	11,091	11,991	12,134	11,809	12,186	12,011	11,989	11,874	12,193	12,209	10,126	9,758	9,758	8,744
FeO	17,991	17,01	17,749	18,525	18,328	16,567	17,54	18,089	18,598	18,249	18,005	17,782	17,457	15,107	17,066	17,003	17,793	17,863	18,367
Cr2O3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MnO	0,091	0,13	0,058	0,059	0,111	0,046	0,063	0,075	0,117	0,099	0,023	0,136	0,126	0,022	0,095	0,057	0,054	0,106	0,094
MgO	9,339	9,536	9,435	9,31	9,438	10,061	9,97	9,888	9,333	9,599	9,552	9,442	9,465	8,658	9,649	10,836	10,622	10,323	10,701
CaO	11,576	11,593	11,653	11,982	11,893	12,016	11,392	11,713	11,725	11,857	11,744	11,586	11,762	10,641	11,62	11,661	11,723	11,844	11,973
Na2O	1,594	1,638	1,486	1,684	1,462	1,453	1,801	1,674	1,577	1,669	1,589	1,665	1,611	1,504	1,471	1,355	1,458	1,353	1,298
K2O	0,607	0,56	0,59	0,642	0,61	0,473	0,513	0,63	0,618	0,608	0,562	0,637	0,635	0,453	0,593	0,27	0,241	0,299	0,228
F	0	0	0,065	0	0,068	0	0	0,251	0	0	0,361	0,183	0,187	0,128	0	0	0,111	0,057	0,125
Cl	0	0,022	0	0,003	0,019	0	0	0,003	0,003	0	0,019	0	0	0,038	0,022	0,003	0	0,003	0,025
Soma	97,47	96,27	96,9	98,9	98,47	97,06	98,24	99,2	98,86	98,71	98,68	98,04	97,39	98,28	97,59	97,03	97,06	96,59	97,09
O_F_Cl	0	0	0,03	0	0,03	0	0	0,11	0	0	0,16	0,08	0,08	0,06	0	0	0,05	0,02	0,06
O_F	0	0	0,03	0	0,03	0	0	0,11	0	0	0,15	0,08	0,08	0,05	0	0	0,05	0,02	0,05
O_Cl	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,01	0	0	0	0	0,01
H2O																			
Total	97,47	96,27	96,96	98,9	98,53	97,06	98,24	99,42	98,86	98,71	98,99	98,2	97,55	98,4	97,59	97,03	97,16	96,63	97,21
TSi	6,451	6,486	6,437	6,405	6,407	6,631	6,421	6,349	6,41	6,354	6,443	6,39	6,419	7,05	6,445	6,626	6,627	6,615	6,685
TAI	1,549	1,514	1,563	1,595	1,593	1,369	1,579	1,651	1,59	1,646	1,557	1,61	1,581	0,95	1,555	1,374	1,373	1,385	1,315
Soma_T	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
CAI	0,532	0,548	0,516	0,478	0,449	0,581	0,499	0,446	0,46	0,472	0,533	0,491	0,515	1,144	0,579	0,391	0,337	0,338	0,223
CCr	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CFe3	0,47	0,347	0,478	0,377	0,471	0,222	0,583	0,603	0,499	0,528	0,475	0,453	0,369	0	0,43	0,632	0,66	0,59	0,665
CTi	0,134	0,14	0,138	0,168	0,18	0,105	0,147	0,163	0,179	0,153	0,135	0,186	0,164	0,129	0,158	0,106	0,086	0,1	0,087
CMg	2,077	2,147	2,111	2,054	2,085	2,239	2,187	2,163	2,052	2,111	2,104	2,094	2,115	1,882	2,134	2,391	2,356	2,308	2,383
CFe2	1,775	1,801	1,75	1,916	1,8	1,846	1,576	1,616	1,795	1,724	1,75	1,76	1,82	1,842	1,687	1,472	1,554	1,65	1,63
CMn	0,012	0,017	0,007	0,007	0,014	0,006	0,008	0,009	0,015	0,012	0,003	0,017	0,016	0,003	0,012	0,007	0,007	0,013	0,012
Soma_C	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
BMg	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BFe2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BMn	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BCa	1,851	1,876	1,874	1,9	1,889	1,922	1,796	1,841	1,853	1,874	1,859	1,847	1,889	1,662	1,847	1,849	1,869	1,903	1,916
BNa	0,149	0,124	0,126	0,1	0,111	0,078	0,204	0,159	0,147	0,126	0,141	0,153	0,111	0,338	0,153	0,151	0,131	0,097	0,084
Soma_B	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
ANa	0,312	0,355	0,306	0,383	0,309	0,343	0,31	0,318	0,304	0,352	0,315	0,327	0,358	0,088	0,27	0,238	0,29	0,297	0,292
AK	0,116	0,108	0,113	0,121	0,115	0,09	0,096	0,118	0,116	0,114	0,106	0,121	0,121	0,084	0,112	0,051	0,046	0,057	0,043
Sum_A	0,427	0,463	0,419	0,504	0,424	0,433	0,406	0,435	0,42	0,466	0,421	0,448	0,479	0,172	0,382	0,289	0,335	0,354	0,336
Cátions	15,427	15,463	15,419	15,504	15,424	15,433	15,406	15,435	15,42	15,466	15,421	15,448	15,479	15,172	15,382	15,289	15,335	15,354	15,336
CCl	0	0,006	0	0,001	0,005	0	0	0,001	0,001	0	0,005	0	0	0,009	0,006	0,001	0	0,001	0,006
CF	0	0	0,031	0	0,032	0	0	0,116	0	0	0,169	0,086	0,089	0,059	0	0	0,052	0,027	0,059
OH																			
Oxigênio	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23,143	23	23	23	23	23

Amostra BAR-11FVc

Análise	20Be	21B	22N	23B	24Be	25Be	26B	27N	28B	29Be	30Be	31B	32N	33N	34B	35Be
Mineral	Hbl5	Hbl5	Hbl5	Hbl5	Hbl5	Hbl6	Hbl6	Hbl6	Hbl6	Hbl6	Hbl7	Hbl7	Hbl7	Hbl7	Hbl7	Hbl7
SiO2	43,054	42,803	43,333	43,442	44,858	42,702	43,056	43,24	42,924	43,306	43,384	42,996	43,01	42,751	42,769	43,172
TiO2	1,148	1,462	1,323	1,286	0,863	1,682	1,664	1,549	1,659	1,534	1,367	1,638	1,552	1,513	1,506	1,537
Al2O3	11,474	11,174	11,111	11,108	9,462	12,129	11,984	11,885	11,86	11,878	12,651	12,062	12,167	11,887	12,105	12,352
FeO	18,281	18,529	18,223	18,495	18,068	17,78	17,444	17,895	17,656	17,796	17,095	17,188	17,398	17,923	18,235	17,527
Cr2O3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MnO	0,053	0,119	0,1	0,141	0,116	0,072	0,036	0	0,074	0,166	0,074	0,107	0,099	0,163	0,098	0,14
MgO	9,157	9,145	9,135	9,282	10,047	9,526	9,339	9,394	9,409	9,397	9,42	9,171	9,264	9,268	9,181	9,152
CaO	11,877	12,045	11,284	11,397	11,722	11,754	11,413	11,552	11,757	11,618	11,928	12,054	12,112	11,934	11,716	11,753
Na2O	1,595	1,552	1,554	1,444	1,264	1,749	1,566	1,62	1,539	1,616	1,564	1,537	1,587	1,55	1,495	1,676
K2O	0,452	0,52	0,443	0,438	0,225	0,576	0,637	0,644	0,63	0,631	0,513	0,606	0,612	0,613	0,657	0,636
F	0	0,118	0	0,057	0	0,18	0	0,065	0	0,252	0	0,058	0,249	0	0,236	0
Cl	0,008	0	0,019	0,024	0,016	0,014	0,003	0,005	0	0	0	0,035	0,016	0	0	0,011
Soma	97,1	97,47	96,53	97,11	96,64	98,16	97,14	97,85	97,51	98,19	98	97,45	98,07	97,6	98	97,96
O_F_Cl	0	0,05	0	0,03	0	0,08	0	0,03	0	0,11	0	0,03	0,11	0	0,1	0
O_F	0	0,05	0	0,02	0	0,08	0	0,03	0	0,11	0	0,02	0,1	0	0,1	0
O_Cl	0	0	0	0,01	0	0	0	0	0	0	0	0,01	0	0	0	0
H2O																
Total	97,1	97,57	96,53	97,17	96,64	98,32	97,14	97,91	97,51	98,41	98	97,51	98,28	97,6	98,2	97,96
TSi	6,477	6,448	6,523	6,498	6,716	6,353	6,436	6,434	6,414	6,435	6,43	6,457	6,43	6,4	6,378	6,429
TAl	1,523	1,552	1,477	1,502	1,284	1,647	1,564	1,566	1,586	1,565	1,57	1,543	1,57	1,6	1,622	1,571
Soma_T	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
CAI	0,51	0,431	0,493	0,454	0,384	0,478	0,546	0,516	0,502	0,514	0,638	0,59	0,573	0,496	0,504	0,596
CCr	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CFe3	0,373	0,348	0,505	0,603	0,536	0,432	0,412	0,431	0,38	0,422	0,292	0,141	0,19	0,367	0,48	0,276
CTi	0,13	0,166	0,15	0,145	0,097	0,188	0,187	0,173	0,186	0,171	0,152	0,185	0,175	0,17	0,169	0,172
CMg	2,054	2,054	2,05	2,07	2,242	2,113	2,081	2,084	2,096	2,082	2,081	2,053	2,065	2,069	2,041	2,032
CFe2	1,927	1,987	1,789	1,71	1,726	1,78	1,769	1,796	1,826	1,789	1,826	2,017	1,985	1,877	1,794	1,907
CMn	0,007	0,015	0,013	0,018	0,015	0,009	0,005	0	0,009	0,021	0,009	0,014	0,013	0,021	0,012	0,018
Soma_C	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
BMg	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BFe2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BMn	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BCa	1,914	1,944	1,82	1,826	1,88	1,874	1,828	1,842	1,882	1,85	1,894	1,939	1,94	1,914	1,872	1,875
BNa	0,086	0,056	0,18	0,174	0,12	0,126	0,172	0,158	0,118	0,15	0,106	0,061	0,06	0,086	0,128	0,125
Soma_B	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
ANa	0,38	0,398	0,274	0,245	0,247	0,378	0,282	0,309	0,328	0,315	0,344	0,387	0,4	0,364	0,304	0,359
AK	0,087	0,1	0,085	0,084	0,043	0,109	0,121	0,122	0,12	0,12	0,097	0,116	0,117	0,117	0,125	0,121
Sum_A	0,466	0,498	0,359	0,329	0,29	0,487	0,403	0,431	0,448	0,435	0,441	0,503	0,517	0,481	0,429	0,48
Cátions	15,466	15,498	15,359	15,329	15,29	15,487	15,403	15,431	15,448	15,435	15,441	15,503	15,517	15,481	15,429	15,48
CCl	0,002	0	0,005	0,006	0,004	0,004	0,001	0,001	0	0	0	0,009	0,004	0	0	0,003
CF	0	0,056	0	0,027	0	0,085	0	0,031	0	0,118	0	0,028	0,118	0	0,111	0
OH																
Oxigênio	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23

Amostra BAR-11FVc

ANEXO 2

Análises de química mineral do clinopiroxênio do anfibolito
Cafelândia

Análise Mineral	1B Cpx1alt	2N Cpx1alt	3N Cpx1alt	3bB Cpx1alt	5Be Cpx1	6Bi Cpx1	7Ne Cpx1	8Ni Cpx1	9Ni Cpx1	10Ne Cpx1	11Bi Cpx1	12Be Cpx1	13Be Cpx2	14Be Cpx2	15Bi Cpx2	16Ne Cpx2	17Ni Cpx2	18Ni Cpx2	19Ni Cpx2
SiO2	49,66	49,67	50	49,61	51,15	50,6	50,08	50,6	50,78	50,65	50,91	50,63	49,83	50,89	50,31	50,95	50,86	50,96	50,83
TiO2	0,19	0,16	0,15	0,28	0,2	0,21	0,13	0,16	0,16	0,2	0,13	0,21	0,21	0,21	0,09	0,23	0,24	0,19	0,23
Al2O3	1,86	1,73	1,69	1,65	1,91	1,83	1,92	1,98	1,91	1,77	1,67	1,7	1,76	1,66	1,77	1,69	1,69	1,67	1,7
Cr2O3	0,03	0	0	0,01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fe2O3	2,99	1,3	1,04	2,67	1,67	1,51	1,19	1,84	0,5	0,85	0,32	1,4	3,48	2,73	2,82	2,08	1,88	0,31	0,72
FeO	12,53	13,2	13,44	12,1	13,5	12,6	12,51	12,79	13,18	13,23	13,46	12,55	12,82	13,5	13,15	13,82	13,11	14,03	13,92
MnO	0,37	0,37	0,42	0,35	0,38	0,34	0,31	0,38	0,29	0,29	0,33	0,35	0,45	0,31	0,4	0,41	0,48	0,37	0,51
MgO	9,49	9,23	9,28	9,5	9,72	9,53	9,8	9,8	9,92	9,86	9,68	9,78	9,6	9,84	9,6	9,73	9,54	9,47	9,49
CaO	21,72	21,53	21,79	21,77	22,17	22,3	21,63	21,75	21,66	21,74	21,91	22,07	21,61	21,91	21,37	21,56	22,26	21,95	21,73
Na2O	0,41	0,42	0,34	0,49	0,37	0,47	0,43	0,46	0,42	0,39	0,41	0,46	0,36	0,35	0,47	0,41	0,41	0,34	0,39
K2O	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,01	0	0	0	0	0,03	0
Total	99,27	97,61	98,15	98,42	101,07	99,39	98	99,76	98,82	98,96	98,82	99,15	100,13	101,4	99,99	100,88	100,47	99,33	99,51
Oxigênio	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
Si	1,923	1,952	1,954	1,933	1,942	1,948	1,951	1,941	1,96	1,956	1,969	1,952	1,917	1,931	1,934	1,941	1,943	1,966	1,959
Ti	0,006	0,005	0,004	0,008	0,006	0,006	0,004	0,005	0,005	0,006	0,004	0,006	0,006	0,006	0,003	0,007	0,007	0,005	0,007
Al	0,085	0,08	0,078	0,076	0,085	0,083	0,088	0,09	0,087	0,08	0,076	0,077	0,08	0,074	0,08	0,076	0,076	0,076	0,077
Cr	0,001	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fe3	0,087	0,038	0,031	0,078	0,048	0,044	0,035	0,053	0,015	0,025	0,009	0,041	0,101	0,078	0,082	0,06	0,054	0,009	0,021
Fe2	0,406	0,434	0,44	0,395	0,429	0,406	0,408	0,41	0,426	0,427	0,435	0,405	0,412	0,429	0,423	0,44	0,419	0,453	0,449
Mn	0,012	0,012	0,014	0,011	0,012	0,011	0,01	0,012	0,009	0,009	0,011	0,011	0,015	0,01	0,013	0,013	0,016	0,012	0,017
Mg	0,548	0,54	0,54	0,552	0,55	0,547	0,569	0,56	0,571	0,568	0,558	0,562	0,551	0,556	0,55	0,553	0,544	0,545	0,545
Ca	0,901	0,906	0,913	0,909	0,902	0,92	0,903	0,894	0,896	0,9	0,908	0,912	0,891	0,891	0,88	0,88	0,912	0,907	0,897
Na	0,031	0,032	0,026	0,037	0,028	0,035	0,032	0,034	0,032	0,029	0,03	0,034	0,027	0,026	0,035	0,031	0,03	0,026	0,029
K	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,002	0
Soma	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4

Amostra BAR-4.1BV1b

Análise Mineral	20Ne Cpx2	21Bi Cpx2	22Be Cpx2	23Be Cpx2	24Be Cpx3	25Bi Cpx3	26Ne Cpx3	27Ni Cpx3	28Ni Cpx3	29Ne Cpx3	30Bi Cpx3	31Be Cpx3	32Be Cpx4	33Bi Cpx4	34Ne Cpx4	35Ni Cpx4	36Ne Cpx4	37Bi Cpx4	38Be Cpx4
SiO2	50,76	50,44	49,88	51	50,48	50,78	50,98	51,54	50,74	51,32	51,34	51	50,63	50,8	51,17	51,1	51,58	51,51	51
TiO2	0,23	0,18	0,13	0,23	0,14	0,06	0,21	0,16	0,14	0,21	0,15	0,28	0,21	0,25	0,13	0,26	0,15	0,2	0,21
Al2O3	1,77	1,81	1,69	1,69	1,66	1,71	1,71	1,82	1,7	1,66	1,76	1,72	1,68	1,75	1,75	1,97	1,83	1,63	1,96
Cr2O3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fe2O3	0,59	2,68	3,07	2,19	2,33	1,41	1,5	0,64	2,32	0,24	0,87	1,19	1,72	0	1,28	1,1	0	0	0,29
FeO	14,22	13,73	13,49	12,98	12,43	13,17	13,23	14,22	11,89	13,21	13,09	12,58	11,79	13,73	12,97	13,24	13,66	13,91	13,38
MnO	0,34	0,38	0,48	0,45	0,3	0,32	0,34	0,38	0,34	0,36	0,39	0,31	0,33	0,41	0,24	0,38	0,43	0,31	0,3
MgO	9,62	9,79	9,7	9,74	9,89	9,87	9,79	9,79	9,97	9,9	9,97	9,93	10,05	9,61	9,95	9,71	9,96	9,69	9,9
CaO	21,37	21,25	21,03	22,02	21,94	21,68	21,98	21,74	22,42	22,19	22,07	22,27	22,45	21,74	22,27	22,33	21,61	21,84	21,92
Na2O	0,39	0,36	0,33	0,47	0,43	0,41	0,42	0,4	0,44	0,41	0,43	0,45	0,41	0,39	0,39	0,39	0,41	0,4	0,37
K2O	0	0	0	0	0,01	0	0	0,01	0,01	0,01	0	0,01	0	0	0	0	0	0	0,01
Total	99,28	100,62	99,8	100,77	99,61	99,41	100,16	100,71	99,98	99,5	100,06	99,73	99,28	98,66	100,15	100,46	99,63	99,5	99,34
Oxigênio	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
Si	1,959	1,929	1,926	1,942	1,941	1,954	1,95	1,96	1,941	1,968	1,96	1,953	1,947	1,968	1,953	1,947	1,973	1,977	1,959
Ti	0,007	0,005	0,004	0,006	0,004	0,002	0,006	0,005	0,004	0,006	0,004	0,008	0,006	0,007	0,004	0,007	0,004	0,006	0,006
Al	0,08	0,082	0,077	0,076	0,075	0,078	0,077	0,082	0,077	0,075	0,079	0,078	0,076	0,08	0,079	0,088	0,083	0,074	0,089
Cr	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fe3	0,017	0,077	0,089	0,063	0,067	0,041	0,043	0,018	0,067	0,007	0,025	0,034	0,05	0	0,037	0,031	0	0	0,008
Fe2	0,459	0,439	0,436	0,413	0,4	0,424	0,423	0,452	0,38	0,424	0,418	0,403	0,379	0,445	0,414	0,422	0,437	0,447	0,43
Mn	0,011	0,012	0,016	0,015	0,01	0,01	0,011	0,012	0,011	0,012	0,013	0,01	0,011	0,013	0,008	0,012	0,014	0,01	0,01
Mg	0,553	0,558	0,558	0,553	0,566	0,566	0,558	0,555	0,568	0,566	0,567	0,567	0,576	0,555	0,566	0,551	0,568	0,554	0,567
Ca	0,884	0,871	0,87	0,898	0,904	0,894	0,901	0,886	0,919	0,912	0,903	0,914	0,925	0,902	0,911	0,912	0,886	0,898	0,902
Na	0,029	0,027	0,025	0,035	0,032	0,031	0,031	0,029	0,033	0,03	0,032	0,033	0,031	0,029	0,029	0,029	0,031	0,03	0,028
K	0	0	0	0	0,001	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Soma	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3,999	4	4	3,996	3,996	4

Amostra BAR-4.1BV1b

Análise Mineral	1Be Cpx1	2Be Cpx1	3Be Cpx1	4Be Cpx1	5Bi Cpx1	6Bi Cpx1	7Bi Cpx1	8Ne Cpx1	9Ne Cpx1	10Ne Cpx1	11Ni Cpx1	12Ni Cpx1	13Ni Cpx1	14Ni Cpx1	15Ni Cpx1	16Ne Cpx1	17Ne Cpx1	18Ne Cpx1	19Bi Cpx1
SiO2	50,81	50,77	50,96	51,13	50,57	50,51	51,18	49,63	50,5	51,24	49,3	51,08	50,45	50,79	50,92	51,23	50,66	51,04	50,3
TiO2	0,25	0,13	0,11	0,01	0,1	0,2	0,28	0,09	0,18	0,19	0,38	0,29	0,05	0,21	0,1	0,14	0,11	0,08	0,19
Al2O3	1,57	1,38	0,87	0,93	0,9	1,52	1,56	1,07	1,55	1,48	3,66	1,69	1,52	1,58	1,28	1,58	1,7	1,18	1,62
Cr2O3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fe2O3	2,21	1,48	1,66	2,11	4,04	3,22	2,29	3	1,35	2,52	1,8	2,94	2,83	3,31	2,33	1,81	2,87	1,78	2,65
FeO	11,68	11,78	11,96	12,08	11,75	11,89	12,51	10,82	12,84	12,4	14,52	11,73	11,25	12,16	11,01	12,63	11,76	11,98	11,76
MnO	0,43	0,52	0,39	0,35	0,4	0,55	0,44	0,48	0,42	0,4	0,26	0,43	0,55	0,4	0,43	0,46	0,45	0,49	0,42
MgO	10,47	10,21	10,51	10,51	10,58	10,55	10,49	10,47	10,24	10,44	10,18	10,49	10,54	10,51	10,58	10,42	10,52	10,63	10,53
CaO	22,02	22,39	22,38	22,52	22,13	21,73	21,91	21,98	21,49	22,08	18,61	22,44	21,79	21,83	22,89	21,91	21,95	22,07	21,7
Na2O	0,43	0,35	0,28	0,25	0,26	0,32	0,37	0,28	0,32	0,36	0,55	0,37	0,39	0,35	0,29	0,36	0,34	0,3	0,33
K2O	0	0	0	0	0	0	0	0	0,01	0,02	0	0	0,01	0	0	0	0	0	0,01
Total	99,86	99	99,13	99,89	100,72	100,5	101,03	97,83	98,9	101,12	99,26	101,46	99,38	101,16	99,82	100,53	100,35	99,56	99,52
Oxigênio	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
Si	1,942	1,957	1,963	1,957	1,929	1,926	1,938	1,939	1,952	1,94	1,9	1,926	1,938	1,924	1,946	1,948	1,93	1,956	1,932
Ti	0,007	0,004	0,003	0	0,003	0,006	0,008	0,003	0,005	0,005	0,011	0,008	0,001	0,006	0,003	0,004	0,003	0,002	0,005
Al	0,071	0,063	0,04	0,042	0,04	0,068	0,07	0,049	0,071	0,066	0,166	0,075	0,069	0,071	0,058	0,071	0,076	0,054	0,073
Cr	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fe3	0,064	0,043	0,048	0,061	0,116	0,092	0,065	0,088	0,039	0,072	0,052	0,083	0,082	0,094	0,067	0,052	0,082	0,051	0,077
Fe2	0,373	0,38	0,385	0,387	0,375	0,379	0,396	0,354	0,415	0,393	0,468	0,37	0,361	0,385	0,352	0,402	0,375	0,384	0,378
Mn	0,014	0,017	0,013	0,011	0,013	0,018	0,014	0,016	0,014	0,013	0,008	0,014	0,018	0,013	0,014	0,015	0,014	0,016	0,014
Mg	0,597	0,586	0,604	0,599	0,601	0,6	0,592	0,61	0,59	0,589	0,585	0,59	0,603	0,594	0,602	0,59	0,597	0,607	0,603
Ca	0,902	0,925	0,924	0,924	0,904	0,887	0,889	0,92	0,89	0,896	0,769	0,907	0,897	0,886	0,937	0,893	0,896	0,907	0,893
Na	0,032	0,026	0,021	0,018	0,019	0,024	0,027	0,021	0,024	0,026	0,041	0,027	0,029	0,026	0,021	0,026	0,025	0,023	0,025
K	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,001	0	0	0,001	0	0	0	0	0	0
Soma	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4

Amostra BAR-4D

Análise Mineral	20Bi Cpx1	21Bi Cpx1	22Be Cpx1	23Be Cpx1	24Be Cpx1	25Be Cpx1	26Be Cpx2	27Be Cpx2	28Bi Cpx2	29Ne Cpx2	30Ni Cpx2	31Ni Cpx2	32Ne Cpx2	33Bi Cpx2	34Be Cpx2	35Be Cpx2
SiO2	50,84	50,54	51,32	51,01	50,47	50,99	51,27	51,02	49,82	50,74	50,65	51,24	50,65	51,27	50,29	51,19
TiO2	0,16	0,22	0,19	0,17	0,13	0	0,15	0,18	0,16	0,21	0,18	0,23	0,18	0,16	0,08	0,15
Al2O3	1,69	1,17	1,53	1,36	1,21	0,87	1,02	1,57	1,68	1,61	1,68	1,52	1,7	1,62	1,74	1,37
Cr2O3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fe2O3	2,5	2,47	1,3	2,09	4,08	4,13	2,6	3,35	3,94	3,36	4,04	2,98	2,96	2,13	3,1	2,99
FeO	12,6	11,54	13,12	11,98	11,58	11,29	11,9	12,22	11,3	11,78	11,63	12,48	12,02	12,6	11,98	11,85
MnO	0,39	0,45	0,49	0,47	0,42	0,5	0,5	0,38	0,44	0,54	0,56	0,52	0,44	0,5	0,41	0,39
MgO	10,47	10,56	10,46	10,54	10,77	10,76	10,76	10,49	10,56	10,58	10,55	10,46	10,57	10,52	10,49	10,41
CaO	21,51	22,05	21,74	22,28	21,7	22,44	22,27	21,94	21,54	21,79	21,79	22,05	21,71	21,92	21,29	22,49
Na2O	0,37	0,33	0,3	0,29	0,32	0,27	0,29	0,37	0,34	0,38	0,38	0,34	0,34	0,33	0,39	0,36
K2O	0	0,01	0	0	0	0	0	0,01	0	0	0,02	0	0,02	0	0,02	0,01
Total	100,53	99,33	100,46	100,22	100,67	101,25	100,74	101,54	99,78	100,98	101,49	101,82	100,59	101,05	99,79	101,22
Oxigênio	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
Si	1,935	1,944	1,953	1,945	1,922	1,932	1,946	1,926	1,913	1,924	1,914	1,93	1,927	1,941	1,928	1,936
Ti	0,005	0,006	0,005	0,005	0,004	0	0,004	0,005	0,005	0,006	0,005	0,006	0,005	0,005	0,002	0,004
Al	0,076	0,053	0,069	0,061	0,054	0,039	0,046	0,07	0,076	0,072	0,075	0,068	0,076	0,072	0,079	0,061
Cr	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fe3	0,072	0,071	0,037	0,06	0,117	0,118	0,074	0,095	0,114	0,096	0,115	0,084	0,085	0,061	0,09	0,085
Fe2	0,401	0,371	0,418	0,382	0,369	0,358	0,378	0,386	0,363	0,374	0,368	0,393	0,382	0,399	0,384	0,375
Mn	0,012	0,015	0,016	0,015	0,013	0,016	0,016	0,012	0,014	0,017	0,018	0,017	0,014	0,016	0,013	0,013
Mg	0,594	0,605	0,593	0,599	0,611	0,607	0,609	0,59	0,604	0,598	0,594	0,587	0,599	0,593	0,599	0,587
Ca	0,877	0,909	0,886	0,91	0,886	0,911	0,906	0,887	0,886	0,885	0,882	0,89	0,885	0,889	0,875	0,912
Na	0,028	0,025	0,023	0,021	0,023	0,02	0,021	0,027	0,025	0,028	0,028	0,025	0,025	0,024	0,029	0,027
K	0	0	0	0	0	0	0	0,001	0	0	0,001	0	0,001	0	0,001	0,001
Soma	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4

Amostra BAR-4D

Análise Mineral	1B Cpx1	2N Cpx1	3N Cpx1	4B Cpx1	5B Cpx1	6Ne Cpx1	7Ni Cpx1	8Ne Cpx1	9B Cpx1	10B Cpx2	11Ne Cpx2	12Ni Cpx2	13Ne Cpx2	14B Cpx2	15B Cpx3	16Ne Cpx4	17Ni Cpx5	18Ne Cpx6	19B Cpx7
SiO2	52,32	51,21	51,77	51,53	51,71	51,81	51,78	51,7	51,63	50,46	48,66	51,79	51,29	51,81	49,65	50,52	50,45	49,88	50,77
TiO2	0	0,23	0,2	0,25	0,11	0,28	0,16	0,27	0,21	0,12	0,23	0,17	0,2	0,25	0,22	0,32	0,35	0,33	0,31
Al2O3	0,85	2,09	2,1	2,13	1,36	2,18	1,36	1,85	1,66	3,44	6,44	1,89	1,9	1,75	2,08	2,29	2,49	2,4	2,35
Cr2O3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fe2O3	0,96	1,19	1,08	1,24	0,98	0,54	1,12	0	1,95	0,65	0,81	0	1,16	0,5	3,29	1,58	1,19	1,21	1,35
FeO	11,57	11,48	12,2	12,24	12,25	13,37	12,72	13,25	11,97	12,87	11,48	12,96	12	12,07	11,23	13,56	14,31	13,41	13,63
MnO	0,33	0,34	0,33	0,31	0,32	0,26	0,37	0,3	0,38	0,33	0,33	0,28	0,29	0,31	0,1	0,21	0,14	0,23	0,1
MgO	11,14	11,13	10,98	10,99	11,29	10,99	11,08	11,2	11,02	10,46	10,29	10,88	10,8	10,94	9,71	9,04	8,91	9	9,17
CaO	22,7	21,61	21,69	21,61	21,9	21,25	21,57	20,5	21,98	20,93	20,44	21,41	21,83	21,94	22,65	22,48	21,87	22,22	22,32
Na2O	0,36	0,45	0,47	0,43	0,25	0,37	0,33	0,35	0,39	0,39	0,44	0,41	0,41	0,47	0,41	0,43	0,49	0,38	0,5
K2O	0,01	0,01	0	0	0	0,01	0,01	0	0	0	0,01	0,01	0,03	0	0	0	0	0,01	0,01
Total	100,25	99,74	100,81	100,73	100,18	101,07	100,51	99,4	101,19	99,65	99,12	99,78	99,91	100,04	99,35	100,42	100,21	99,08	100,5
Oxigênio	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
Si	1,981	1,946	1,95	1,944	1,962	1,95	1,962	1,971	1,944	1,924	1,854	1,969	1,951	1,964	1,914	1,933	1,935	1,932	1,938
Ti	0	0,007	0,006	0,007	0,003	0,008	0,005	0,008	0,006	0,003	0,007	0,005	0,006	0,007	0,006	0,009	0,01	0,01	0,009
Al	0,038	0,094	0,093	0,095	0,061	0,097	0,061	0,083	0,074	0,155	0,289	0,085	0,085	0,078	0,094	0,103	0,112	0,11	0,106
Cr	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fe3	0,027	0,034	0,031	0,035	0,028	0,015	0,032	0	0,055	0,019	0,023	0	0,033	0,014	0,095	0,045	0,034	0,035	0,039
Fe2	0,366	0,365	0,384	0,386	0,389	0,421	0,403	0,422	0,377	0,41	0,366	0,412	0,382	0,383	0,362	0,434	0,459	0,434	0,435
Mn	0,01	0,011	0,011	0,01	0,01	0,008	0,012	0,01	0,012	0,01	0,011	0,009	0,01	0,01	0,003	0,007	0,005	0,008	0,003
Mg	0,629	0,631	0,617	0,618	0,639	0,616	0,626	0,636	0,618	0,594	0,584	0,616	0,613	0,618	0,558	0,516	0,51	0,52	0,522
Ca	0,921	0,88	0,875	0,874	0,89	0,857	0,876	0,837	0,886	0,855	0,834	0,872	0,89	0,891	0,936	0,921	0,899	0,922	0,912
Na	0,027	0,033	0,034	0,032	0,019	0,027	0,024	0,026	0,028	0,029	0,033	0,03	0,03	0,035	0,031	0,032	0,037	0,029	0,037
K	0,001	0	0	0	0	0	0,001	0	0	0	0	0	0,001	0	0	0	0	0,001	0
Soma	4	4	4	4	4	4	4	3,993	4	4	4	3,999	4	4	4	4	4	4	4

Amostra 10AIVb

Análise Mineral	<u>1Be</u> Cpx1	<u>2Be</u> Cpx1	<u>3Bi</u> Cpx1	<u>4Bi</u> Cpx1	<u>5Ne</u> Cpx1	<u>6Ne</u> Cpx1	<u>7Ni</u> Cpx1	<u>8Ni</u> Cpx1	<u>9Ni</u> Cpx1	<u>10Ne</u> Cpx1	<u>11Ne</u> Cpx1	<u>12Bi</u> Cpx1	<u>13Bi</u> Cpx1	<u>14Be</u> Cpx1	<u>15Be</u> Cpx1	<u>16Be</u> Cpx2	<u>17Be</u> Cpx2	<u>18Bi</u> Cpx2	<u>19Ne</u> Cpx2
SiO2	49,67	51,09	50,74	50,92	50,8	51,05	50,94	50,78	51,31	51,38	51,22	50,92	50,48	49,57	50,81	50,06	51,53	50,75	50,49
TiO2	0,04	0,1	0,1	0,15	0,2	0,18	0,18	0,2	0,19	0,01	0,17	0,06	0,26	0,35	0,17	0,01	0	0,09	0,11
Al2O3	3,77	1,27	1,22	1,59	1,55	1,43	1,3	1,27	1,46	1,33	1,32	1,65	1,69	2,78	1,16	0,81	0,58	0,77	1,02
Cr2O3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fe2O3	2,77	3,06	2,47	2,87	2,2	2,51	2,06	2,44	2,33	2,42	1,87	2,92	2,18	3,44	3,05	2,74	2,55	1,98	3,49
FeO	9,93	10,28	10,52	10,53	11,36	10,72	11,28	10,83	11,57	11,2	10,91	10,47	11,62	11,29	10,67	9,68	9,72	11,06	10,38
MnO	0,37	0,37	0,29	0,35	0,32	0,37	0,31	0,4	0,42	0,36	0,39	0,41	0,44	0,3	0,36	0,43	0,3	0,3	0,32
MgO	11,01	11,23	11	10,94	11,06	10,96	11,02	11,09	11,14	11,07	11,07	10,89	10,96	10,77	11,1	11,06	11,5	11,08	11,13
CaO	22,02	22,45	22,29	22,26	21,68	22,38	21,86	21,99	21,7	22,07	22,12	22,23	21,02	20,36	22,19	22,41	23,18	22,05	21,71
Na2O	0,28	0,38	0,37	0,46	0,37	0,41	0,4	0,37	0,4	0,4	0,44	0,46	0,44	0,58	0,35	0,29	0,29	0,3	0,46
K2O	0	0	0,03	0	0,01	0	0	0	0	0	0	0,01	0,01	0,02	0,01	0	0,02	0	0
Total	99,86	100,22	99,02	100,07	99,54	100,02	99,34	99,37	100,53	100,25	99,52	100,02	99,09	99,43	99,87	97,5	99,68	98,39	99,1
Oxigênio	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
Si	1,885	1,939	1,948	1,936	1,942	1,942	1,951	1,944	1,944	1,95	1,955	1,937	1,939	1,899	1,939	1,952	1,962	1,962	1,94
Ti	0,001	0,003	0,003	0,004	0,006	0,005	0,005	0,006	0,005	0	0,005	0,002	0,008	0,01	0,005	0	0	0,003	0,003
Al	0,168	0,057	0,055	0,071	0,07	0,064	0,059	0,057	0,065	0,059	0,06	0,074	0,076	0,126	0,052	0,037	0,026	0,035	0,046
Cr	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fe3	0,079	0,087	0,071	0,082	0,063	0,072	0,059	0,07	0,067	0,069	0,054	0,083	0,063	0,099	0,088	0,08	0,073	0,058	0,101
Fe2	0,315	0,326	0,338	0,335	0,363	0,341	0,361	0,347	0,367	0,356	0,348	0,333	0,373	0,362	0,34	0,316	0,309	0,358	0,333
Mn	0,012	0,012	0,009	0,011	0,01	0,012	0,01	0,013	0,013	0,012	0,013	0,013	0,014	0,01	0,012	0,014	0,01	0,01	0,01
Mg	0,623	0,635	0,629	0,62	0,63	0,622	0,629	0,633	0,629	0,626	0,629	0,617	0,627	0,615	0,631	0,643	0,652	0,638	0,638
Ca	0,896	0,913	0,917	0,907	0,888	0,912	0,897	0,902	0,881	0,898	0,904	0,906	0,865	0,836	0,907	0,936	0,946	0,914	0,894
Na	0,02	0,028	0,027	0,034	0,028	0,03	0,029	0,028	0,03	0,03	0,032	0,034	0,033	0,043	0,026	0,022	0,022	0,023	0,034
K	0	0	0,001	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,001	0	0	0,001	0	0
Soma	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4

Amostra BAR-11BIa

Análise Mineral	<u>20Ni</u> Cpx2	<u>21Ni</u> Cpx2	<u>22Ne</u> Cpx2	<u>23Bi</u> Cpx2	<u>24Be</u> Cpx2	<u>25Be</u> Cpx2	26B Cpx3	27N Cpx3	28B Cpx3	29B Cpx4	30N Cpx4	31N Cpx4	33B Cpx4	32Ne Cpx4	34B Cpx5	35N Cpx5	36B Cpx5
SiO2	50,64	50,37	50,96	51,33	51,01	51,05	50,81	51,75	51,53	51,49	51,61	51,28	51,89	56,37	51,16	50,98	51,25
TiO2	0,18	0,06	0,11	0,01	0,18	0,06	0,11	0,05	0,15	0,05	0,08	0,12	0,15	0	0,06	0,09	0,08
Al2O3	0,86	1,17	1,16	0,6	0,96	1,24	1,26	0,79	1,2	1,43	1,15	1,41	0,9	27,73	1,09	0,94	0,98
Cr2O3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fe2O3	2,64	2,45	1,79	2,06	1,3	2,62	3,01	3,09	2,34	2,29	2,25	3,3	2,16	0	2,36	2,46	1,28
FeO	10,91	10,67	11,38	10,8	11,4	9,63	9,09	10,49	10,66	10,06	9,73	9,65	10,22	0,27	10,14	9,67	10,31
MnO	0,35	0,31	0,24	0,42	0,26	0,31	0,35	0,36	0,27	0,39	0,3	0,32	0,24	0	0,35	0,26	0,28
MgO	11,11	11,02	11,08	11,28	11,13	11,54	11,53	11,47	11,39	11,34	11,51	11,37	11,69	0	11,37	11,45	11,43
CaO	22,02	21,88	22,21	22,48	22,09	22,57	22,75	22,74	22,54	22,8	23,11	22,89	22,97	9,18	22,48	22,78	22,5
Na2O	0,3	0,35	0,26	0,27	0,3	0,36	0,36	0,32	0,35	0,36	0,34	0,4	0,31	6,42	0,36	0,32	0,33
K2O	0,01	0	0	0	0	0	0,01	0	0,01	0,01	0,02	0	0	0,07	0	0,01	0
Total	99,02	98,27	99,19	99,27	98,63	99,38	99,28	101,06	100,43	100,22	100,09	100,74	100,53	100,03	99,37	98,97	98,45
Oxigênio	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
Si	1,949	1,949	1,954	1,966	1,965	1,946	1,939	1,949	1,949	1,948	1,953	1,933	1,957	1,899	1,953	1,953	1,969
Ti	0,005	0,002	0,003	0	0,005	0,002	0,003	0,001	0,004	0,001	0,002	0,003	0,004	0	0,002	0,003	0,002
Al	0,039	0,053	0,052	0,027	0,044	0,056	0,057	0,035	0,054	0,064	0,051	0,063	0,04	1,101	0,049	0,042	0,045
Cr	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fe3	0,076	0,071	0,052	0,059	0,038	0,075	0,086	0,087	0,067	0,065	0,064	0,093	0,061	0	0,068	0,071	0,037
Fe2	0,351	0,345	0,365	0,346	0,367	0,307	0,29	0,33	0,337	0,318	0,308	0,304	0,322	0,008	0,324	0,31	0,331
Mn	0,012	0,01	0,008	0,014	0,008	0,01	0,011	0,011	0,009	0,012	0,01	0,01	0,008	0	0,011	0,008	0,009
Mg	0,637	0,635	0,633	0,644	0,639	0,656	0,656	0,644	0,642	0,64	0,649	0,639	0,657	0	0,647	0,654	0,655
Ca	0,908	0,907	0,913	0,923	0,912	0,922	0,93	0,918	0,913	0,924	0,937	0,925	0,928	0,331	0,92	0,935	0,927
Na	0,023	0,026	0,019	0,02	0,022	0,026	0,027	0,024	0,026	0,027	0,025	0,029	0,023	0,419	0,027	0,024	0,025
K	0	0	0	0	0	0	0,001	0	0	0,001	0,001	0	0	0,003	0	0	0
Soma	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3,761	4	4	4

Amostra BAR-11B1a

Análise Mineral	1B Cpx1	2N Cpx1	3B Cpx1	4Be Cpx2	5Be Cpx2	6Bi Cpx2	7Ne Cpx2	8Ne Cpx2	9Ni Cpx2	10Ne Cpx2	11Ne Cpx2	12Bi Cpx2	13Be Cpx2	14Be Cpx2
SiO2	50,93	51,24	51,95	51,64	52,03	52,1	52,07	52,29	51,36	52,02	52,15	51,52	51,85	51,68
TiO2	0,21	0,27	0,03	0,17	0,11	0,14	0,08	0,08	0,11	0,07	0,19	0	0,19	0,2
Al2O3	1,78	1,85	0,66	1,05	0,71	1,01	0,77	1,32	1,5	0,96	1,05	1,3	1,2	1,39
Cr2O3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fe2O3	0,57	0,21	1,05	0,5	0,3	0	0	0	0,74	0	0	0,9	0	1,68
FeO	12,63	12,74	11,41	12,01	12,22	12,31	12,51	12,45	11,96	12,71	12,33	12,23	12,55	10,83
MnO	0,2	0,12	0,12	0,11	0,1	0,11	0,09	0,21	0,14	0,13	0,16	0,14	0,14	0,13
MgO	9,98	9,97	11	10,63	10,65	10,8	10,55	10,73	10,37	10,47	10,42	10,51	10,43	10,69
CaO	22,11	22,39	23,27	22,67	23,09	22,59	22,37	21,98	22,66	22,79	22,32	22,41	22,71	23,44
Na2O	0,46	0,47	0,26	0,39	0,31	0,27	0,32	0,29	0,41	0,33	0,33	0,38	0,33	0,41
K2O	0,01	0	0	0	0	0	0	0	0	0,01	0,01	0,01	0	0,01
Total	98,89	99,26	99,75	99,17	99,52	99,33	98,76	99,36	99,26	99,48	98,97	99,41	99,41	100,45
Oxigênio	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
Si	1,962	1,965	1,979	1,979	1,988	1,989	2	1,993	1,968	1,989	1,997	1,972	1,983	1,955
Ti	0,006	0,008	0,001	0,005	0,003	0,004	0,002	0,002	0,003	0,002	0,005	0	0,005	0,006
Al	0,081	0,084	0,03	0,047	0,032	0,045	0,035	0,059	0,068	0,043	0,047	0,059	0,054	0,062
Cr	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fe3	0,017	0,006	0,03	0,014	0,009	0	0	0	0,021	0	0	0,026	0	0,048
Fe2	0,407	0,409	0,364	0,385	0,39	0,393	0,402	0,397	0,383	0,406	0,395	0,392	0,401	0,343
Mn	0,007	0,004	0,004	0,004	0,003	0,004	0,003	0,007	0,005	0,004	0,005	0,005	0,005	0,004
Mg	0,573	0,57	0,624	0,607	0,606	0,614	0,604	0,609	0,592	0,597	0,595	0,599	0,594	0,603
Ca	0,913	0,92	0,95	0,931	0,945	0,924	0,921	0,897	0,93	0,934	0,916	0,919	0,93	0,95
Na	0,034	0,035	0,019	0,029	0,023	0,02	0,024	0,022	0,03	0,024	0,025	0,028	0,025	0,03
K	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,001	0	0
Soma	4	4	4	4	4	3,994	3,992	3,986	4	4	3,986	4	3,997	4

Amostra BAR-11FVc

ANEXO 3

Análises de química mineral do plagioclásio do anfibolito
Cafelândia

Análise Mineral	1Be Pl1	2Bi Pl1	3N Pl1	4Bi Pl1	5Be Pl1	6Be Pl2	7Be Pl2	8Bi Pl2	9Ne Pl2	10Ni Pl2	11Ni Pl2	12Ni Pl2	13Ne Pl2	14Bi Pl2	15Be Pl2	16Be Pl2	17Be Pl3	18Bi Pl3	19N Pl3
SiO2	54,87	55,04	55,37	55,83	55,7	63,48	55,55	55,6	55,82	56,23	55,51	55,9	55,46	55,52	55,64	56,71	56,49	57,46	56,16
TiO2	0	0	0	0,01	0,03	0	0	0,04	0,01	0,01	0	0	0	0,01	0	0	0,01	0,03	0
Al2O3	27,48	27,51	27,26	27,2	26,82	21,48	26,98	27,08	26,59	26,81	27,14	26,94	27,25	27,45	27,44	26,8	27,1	26,58	28,25
Cr2O3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fe2O3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FeO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MnO	0,02	0	0	0	0,01	0	0,02	0	0,02	0	0,05	0	0,03	0,02	0	0,01	0	0	0,02
MgO	0	0	0	0,01	0,01	0,01	0	0,01	0	0,02	0	0	0,01	0	0,01	0	0	0,01	0
CaO	9,43	9,4	8,85	9,06	8,67	2,71	8,67	8,8	8,29	8,57	8,89	8,78	9,04	9,03	8,86	8,51	8,56	8,01	7,49
Na2O	5,99	5,94	6,21	6,25	6,36	9,87	6,54	6,5	6,48	6,51	6,18	6,26	6,15	6,2	6,25	6,69	6,46	6,78	6,75
K2O	0,02	0,03	0,08	0,06	0,03	0,04	0,05	0,1	0,08	0,09	0,1	0,07	0,03	0,07	0,07	0,07	0,04	0,08	0,05
Total	97,81	97,93	97,77	98,41	97,64	97,6	97,81	98,13	97,29	98,23	97,87	97,96	97,97	98,29	98,28	98,79	98,66	98,94	98,72
Oxigênio	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Si	2,518	2,522	2,538	2,543	2,554	2,861	2,547	2,541	2,568	2,562	2,543	2,555	2,536	2,532	2,537	2,569	2,562	2,594	2,539
Ti	0	0	0	0	0,001	0	0	0,002	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,001	0
Al	1,487	1,486	1,473	1,461	1,45	1,141	1,458	1,459	1,442	1,44	1,466	1,452	1,469	1,476	1,475	1,431	1,449	1,415	1,506
Cr	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fe3	0,002	0,001	0,001	0,002	0,002	0,002	0	0,002	0	0,004	0	0,002	0,003	0,002	0	0,004	0	0	0,001
Fe2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mn	0,001	0	0	0	0	0	0,001	0	0,001	0	0,002	0	0,001	0,001	0	0	0	0	0,001
Mg	0	0	0	0,001	0,001	0,001	0	0	0	0,001	0	0	0,001	0	0,001	0	0	0	0
Ca	0,464	0,462	0,435	0,442	0,426	0,131	0,426	0,431	0,409	0,418	0,437	0,43	0,443	0,441	0,433	0,413	0,416	0,388	0,363
Na	0,533	0,528	0,552	0,552	0,565	0,862	0,581	0,576	0,578	0,575	0,549	0,555	0,545	0,548	0,553	0,588	0,568	0,594	0,592
K	0,001	0,002	0,005	0,004	0,002	0,002	0,003	0,006	0,005	0,005	0,006	0,004	0,002	0,004	0,004	0,004	0,002	0,005	0,003
Soma	5,005	5	5,004	5,003	5,002	5	5,016	5,017	5,002	5,005	5,002	4,998	5,001	5,005	5,004	5,009	4,998	4,996	5,005

Amostra BAR-4.1BVIb

Análise Mineral	20Bi Pl3	21Be Pl3	22B Pl4	23N Pl4	24N Pl4	25B Pl4	26Be Pl5	27Bi Pl5	28N Pl5	29Bi Pl5	30Be Pl5	31Be Pl6	32Be Pl6	33Bi Pl6	34Ne Pl6	35Ni Pl6	36Ni Pl6	37Ne Pl6	38Bi Pl6
SiO2	56,37	57,16	56,7	55,92	56,14	56,04	55,9	55,81	55,88	56,35	55,51	56,17	55,93	55,38	55,45	56,26	55,75	55,51	56,47
TiO2	0	0	0,03	0,01	0	0	0,04	0	0	0	0	0	0,02	0,04	0,06	0	0	0,04	0
Al2O3	27,37	26,65	27,22	27,63	27,93	28,07	27,35	27,36	27,51	27,32	27,83	26,63	26,9	27,06	27,28	27,32	27,29	27,38	26,99
Cr2O3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fe2O3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FeO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MnO	0	0	0	0	0,01	0	0,03	0	0	0,03	0	0	0	0,05	0,01	0,05	0,03	0	0
MgO	0	0,01	0,02	0	0	0	0,01	0,01	0	0	0	0,01	0	0	0	0	0	0,01	0
CaO	8,99	8,29	8,83	9,27	9,2	9,78	8,74	9,02	8,63	9,05	9,39	8,29	8,66	8,71	8,96	8,76	8,89	8,79	8,84
Na2O	6,39	6,72	6,55	6,26	6,07	5,75	6,59	6,39	6,48	6,36	6,05	6,8	6,48	6,33	6,17	6,39	6,27	6,44	6,42
K2O	0,04	0,01	0,03	0,04	0,06	0,02	0,04	0,04	0	0,03	0,03	0,03	0,08	0,11	0,1	0,1	0,09	0,09	0,07
Total	99,16	98,85	99,38	99,14	99,41	99,66	98,69	98,63	98,5	99,14	98,83	97,93	98,06	97,67	98,02	98,87	98,32	98,24	98,79
Oxigênio	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Si	2,548	2,584	2,555	2,531	2,53	2,521	2,54	2,538	2,541	2,547	2,519	2,565	2,556	2,542	2,535	2,549	2,541	2,534	2,56
Ti	0	0	0,001	0	0	0	0,001	0	0	0	0	0	0,001	0,001	0,002	0	0	0,001	0
Al	1,458	1,42	1,446	1,474	1,484	1,489	1,465	1,467	1,474	1,456	1,489	1,433	1,449	1,464	1,47	1,459	1,466	1,473	1,443
Cr	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fe3	0	0,003	0,002	0,001	0,001	0,001	0,002	0	0,001	0,002	0,002	0,009	0	0,002	0,004	0,001	0,002	0,002	0,001
Fe2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mn	0	0	0	0	0	0	0,001	0	0	0,001	0	0	0	0,002	0	0,002	0,001	0	0
Mg	0	0	0,001	0	0	0	0	0	0	0	0	0,001	0	0	0	0	0	0	0
Ca	0,435	0,402	0,426	0,45	0,444	0,471	0,426	0,44	0,421	0,438	0,457	0,406	0,424	0,429	0,439	0,425	0,434	0,43	0,429
Na	0,56	0,589	0,573	0,549	0,531	0,502	0,58	0,563	0,571	0,557	0,532	0,602	0,574	0,563	0,547	0,562	0,554	0,57	0,564
K	0,002	0,001	0,002	0,003	0,003	0,001	0,002	0,002	0	0,002	0,002	0,002	0,004	0,007	0,006	0,005	0,005	0,005	0,004
Soma	5,004	4,999	5,007	5,007	4,994	4,985	5,017	5,011	5,007	5,004	5,002	5,016	5,008	5,009	5,002	5,004	5,004	5,015	5,002

Amostra BAR-4.1BVib

Análise Mineral	39Be Pl6	40Be Pl6	41B Pl7	42B Pl7	43B Pl7	44N Pl7	45B Pl7	46B Pl8	47N Pl8	48B Pl8	1B Pl1alt	2N Pl1alt	3B Pl1alt
SiO2	55,47	55,49	56,77	56,79	56,24	55,28	55,3	56,92	54,94	54,78	38,49	38,66	38,92
TiO2	0	0	0,02	0	0	0	0	0,01	0,01	0	0,07	0,07	0
Al2O3	27,09	27,39	27,32	26,94	27,39	27,64	27,93	27,1	28,17	27,94	32,96	32,26	32,91
Cr2O3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fe2O3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FeO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MnO	0,03	0	0,02	0	0	0	0	0	0,01	0	0	0,03	0,01
MgO	0	0,01	0	0	0	0	0	0,01	0	0	0	0,02	0,01
CaO	8,84	8,91	8,96	8,26	8,69	9,6	9,54	8,63	10	9,8	24,82	25,07	24,48
Na2O	6,5	6,31	6,46	6,89	6,61	6	6,05	6,74	5,65	5,77	0,02	0	0,01
K2O	0,1	0,05	0,01	0,07	0,09	0,09	0,02	0,06	0,08	0,11	0	0	0,01
Total	98,04	98,16	99,55	98,94	99,02	98,61	98,84	99,46	98,84	98,41	96,36	96,12	96,35
Oxigênio	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Si	2,539	2,535	2,552	2,57	2,546	2,519	2,511	2,563	2,497	2,502	1,893	1,899	1,909
Ti	0	0	0,001	0	0	0	0	0	0	0	0,003	0,003	0
Al	1,462	1,475	1,448	1,437	1,462	1,484	1,495	1,438	1,51	1,504	1,911	1,868	1,903
Cr	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fe3	0,002	0,001	0,007	0	0,001	0	0,003	0,002	0,002	0	0,023	0,049	0,027
Fe2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mn	0,001	0	0,001	0	0	0	0	0	0	0	0	0,001	0,001
Mg	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,001	0,001
Ca	0,434	0,436	0,432	0,401	0,421	0,469	0,464	0,416	0,487	0,48	1,308	1,319	1,286
Na	0,576	0,559	0,563	0,604	0,58	0,53	0,532	0,588	0,498	0,511	0,002	0	0,001
K	0,006	0,003	0,001	0,004	0,005	0,005	0,001	0,003	0,005	0,006	0	0	0
Soma	5,02	5,008	5,002	5,016	5,015	5,007	5,007	5,012	4,998	5,004	5,138	5,139	5,126

Amostra BAR-4.1BVib

Amostra BAR-4.1CI

Análise Mineral	1B P11	2Ne P11	3Ni P11	4Ne P11	5B P11	6B P12	7Ne P12	8Ni P12	9Ne P12	10B P12	11B P13	12Ne P13	13Ni P13	14Ne P13	15B P13	16Be P14	17Bi P14	18N P14	19N P14	20Bi P14	21Be P14
SiO2	56,06	55,44	55,13	55,61	54,45	56,15	55,61	55,78	55,52	56,02	56,31	55,59	57,08	57,21	57,13	55,75	54,66	56,14	57,2	57,09	57,95
TiO2	0,01	0	0	0	0,01	0	0,01	0	0	0	0	0,01	0,03	0	0	0	0,02	0	0,03	0	0,01
Al2O3	27,42	28,41	28,19	28,06	27,87	27,81	28,09	27,7	28,17	28,08	28,09	28,15	27,29	27,59	27,4	28,09	28,41	28,37	27,6	27,07	26,95
Cr2O3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fe2O3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FeO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MnO	0	0	0	0,04	0	0,01	0	0,02	0	0	0	0,02	0	0,01	0,01	0	0	0,03	0	0,07	0,01
MgO	0	0	0	0	0	0	0,01	0,01	0	0,01	0	0	0,01	0	0,01	0,01	0,01	0	0,01	0	0
CaO	9,73	10,18	10,08	9,91	9,9	9,47	9,45	9,7	10,01	9,79	9,69	9,32	9,17	9,22	8,79	9,97	9,56	9,99	8,9	8,6	8,4
Na2O	6,46	6,03	5,85	6,21	5,92	6,33	6,28	6,19	6,05	6,11	6,26	6,21	6,58	6,57	6,66	6,09	5,52	6,09	6,73	6,63	6,93
K2O	0,03	0,05	0,05	0,04	0,04	0,06	0,05	0,04	0,08	0,05	0,05	0,05	0,05	0,06	0,09	0,05	0,57	0,05	0,06	0,08	0,05
Total	99,7	100,11	99,3	99,88	98,19	99,84	99,49	99,44	99,84	100,06	100,4	99,35	100,21	100,67	100,08	99,95	98,75	100,67	100,53	99,53	100,31
Oxigênio	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Si	2,527	2,492	2,496	2,506	2,494	2,526	2,511	2,521	2,501	2,514	2,518	2,511	2,554	2,549	2,558	2,508	2,487	2,507	2,55	2,568	2,585
Ti	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,001	0	0	0	0,001	0	0,001	0	0
Al	1,457	1,505	1,505	1,49	1,505	1,475	1,495	1,476	1,496	1,486	1,481	1,499	1,439	1,449	1,446	1,489	1,524	1,494	1,451	1,436	1,417
Cr	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fe3	0,005	0,002	0,002	0	0,004	0	0	0,001	0,003	0,003	0,004	0,003	0,003	0,002	0,001	0,002	0,007	0	0,002	0,001	0,001
Fe2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mn	0	0	0	0,002	0	0	0	0,001	0	0	0	0,001	0	0	0	0	0	0,001	0	0,003	0
Mg	0	0	0	0	0	0	0,001	0,001	0	0,001	0	0	0,001	0	0,001	0	0,001	0	0,001	0	0
Ca	0,47	0,49	0,489	0,478	0,486	0,457	0,457	0,47	0,483	0,471	0,464	0,451	0,44	0,44	0,422	0,481	0,466	0,478	0,425	0,414	0,401
Na	0,564	0,526	0,514	0,543	0,525	0,552	0,55	0,542	0,529	0,532	0,543	0,544	0,57	0,568	0,578	0,531	0,487	0,528	0,582	0,578	0,599
K	0,002	0,003	0,003	0,002	0,002	0,003	0,003	0,002	0,005	0,003	0,003	0,003	0,003	0,004	0,005	0,003	0,033	0,003	0,004	0,005	0,003
Soma	5,025	5,018	5,009	5,022	5,016	5,014	5,017	5,013	5,016	5,009	5,012	5,011	5,011	5,011	5,01	5,014	5,006	5,011	5,015	5,005	5,007

Amostra BAR-4D

Análise Mineral	1Be P11	2Bi P11	3Ne P11	4Ni P11	5Ne P11	6Bi P11	7Be P11	8Be P12	9Bi P12	10N P12	11N P12	12Bi P12	13Be P12	14Be P13	15Bi P13	16N P13	17Bi P13	18Be P13
SiO2	56,07	55,71	56,25	56,3	60,22	56,63	56,49	56,68	54,77	55,49	55,43	56,43	56,74	57,24	55,33	57,85	58,41	57,88
TiO2	0,02	0,02	0	0	0	0	0	0,01	0	0	0	0,01	0,03	0,03	0	0	0	0,01
Al2O3	27,41	27,35	27,03	27,37	25,17	27,3	26,81	27,56	27,62	27,82	28,03	27,7	27,29	26,49	26,55	26,25	25,93	26,64
Cr2O3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fe2O3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FeO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MnO	0	0	0	0,02	0	0	0	0,01	0,02	0,01	0,01	0	0,01	0,02	0,01	0	0	0
MgO	0,02	0,02	0	0	0	0	0	0	0,01	0	0	0	0	0	0,02	0,01	0,01	0,02
CaO	9,42	9,72	9,52	9,99	6,83	9,53	9,35	9,12	9,98	10,4	10,12	9,85	9,29	8,72	8,91	7,77	7,84	8,62
Na2O	6,22	6,36	6,58	6,34	7,95	6,33	6,58	6,33	6,04	5,93	5,93	6,16	6,28	6,88	6,3	7,2	7,33	6,93
K2O	0,05	0,03	0,02	0,03	0,05	0,04	0,03	0,26	0,03	0,04	0,04	0,03	0,04	0,04	0,03	0,04	0,05	0,03
Total	99,21	99,21	99,4	100,05	100,23	99,83	99,27	99,96	98,47	99,69	99,55	100,17	99,68	99,42	97,16	99,13	99,58	100,14
Oxigênio	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Si	2,535	2,526	2,544	2,532	2,676	2,545	2,553	2,544	2,502	2,506	2,504	2,531	2,551	2,58	2,525	2,607	2,62	2,585
Ti	0,001	0,001	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,001	0,001	0	0	0	0
Al	1,461	1,462	1,441	1,451	1,319	1,446	1,429	1,458	1,488	1,481	1,493	1,464	1,447	1,407	1,428	1,395	1,371	1,403
Cr	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fe3	0,003	0	0	0	0	0,003	0,005	0,002	0,003	0,001	0	0	0,001	0,003	0,061	0,001	0,003	0,007
Fe2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mn	0	0	0	0,001	0	0	0	0	0,001	0	0	0	0	0,001	0	0	0	0
Mg	0,001	0,002	0	0	0	0	0	0	0,001	0	0	0	0	0	0,001	0,001	0,001	0,002
Ca	0,457	0,472	0,461	0,482	0,325	0,459	0,453	0,439	0,489	0,503	0,49	0,473	0,448	0,421	0,436	0,375	0,377	0,413
Na	0,545	0,559	0,577	0,553	0,685	0,552	0,577	0,551	0,535	0,52	0,519	0,536	0,548	0,602	0,557	0,629	0,638	0,6
K	0,003	0,001	0,001	0,002	0,003	0,002	0,002	0,015	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,003	0,003	0,002
Soma	5,006	5,023	5,025	5,02	5,009	5,007	5,019	5,009	5,02	5,014	5,01	5,006	4,999	5,016	5,007	5,011	5,013	5,01

Amostra BAR-4EVI

Análise Mineral	1Be P11	2Bi P11	3N P11	4Bi P11	5Be P11	6Be P12	7Bi P12	8N P12	9Bi P12	10Be P12	11Be P13	12Bi P13	13N P13	14N P13	15Bi P13	16Be P13	17Be P14	18Bi P14	19N P14
SiO2	55,84	55,39	55,06	55,8	55,45	55,7	55,62	55,23	55,27	55,66	56,15	55,05	56,27	56,04	56,64	56,23	55,12	55,1	54,72
TiO2	0,05	0	0,01	0	0,01	0	0,02	0,1	0	0,01	0,01	0	0,04	0	0,02	0	0	0	0
Al2O3	26,92	27,16	27,18	27,18	27,14	27,08	27,16	27,2	27,23	27,11	27	27,66	27,09	26,96	26,88	27,06	28,03	28,36	28,35
Cr2O3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fe2O3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FeO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MnO	0,03	0,01	0,03	0	0,01	0,01	0	0,05	0,01	0	0,01	0	0,02	0,03	0	0	0	0	0
MgO	0,02	0	0	0,01	0,02	0	0,01	0	0	0,01	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CaO	9,8	9,85	9,97	10,06	10,08	10,16	9,87	9,91	9,88	9,74	9,68	9,44	9,57	9,65	9,39	9,52	10,75	11	11,09
Na2O	6,06	6,08	5,99	5,9	5,97	5,99	6,34	5,92	5,98	6,23	6,15	6,1	6,03	6,28	6,08	6,02	5,55	5,5	5,18
K2O	0,09	0,09	0,11	0,09	0,07	0,12	0,12	0,11	0,1	0,11	0,14	0,12	0,12	0,1	0,12	0,12	0,12	0,12	0,1
Total	98,81	98,58	98,35	99,03	98,76	99,06	99,13	98,52	98,47	98,87	99,15	98,36	99,13	99,06	99,13	98,94	99,58	100,08	99,43
Oxigênio	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Si	2,539	2,527	2,519	2,533	2,524	2,528	2,524	2,522	2,523	2,532	2,543	2,512	2,548	2,543	2,56	2,549	2,494	2,482	2,479
Ti	0,002	0	0	0	0	0	0,001	0,003	0	0	0	0	0,001	0	0,001	0	0	0	0
Al	1,442	1,461	1,466	1,455	1,457	1,449	1,453	1,464	1,465	1,454	1,442	1,489	1,446	1,442	1,432	1,446	1,495	1,506	1,514
Cr	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fe3	0,004	0,001	0,003	0	0,005	0,006	0,006	0,001	0,003	0	0,004	0,005	0	0	0,003	0,002	0	0,001	0,001
Fe2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mn	0,001	0,001	0,001	0	0	0	0	0,002	0,001	0	0	0	0,001	0,001	0	0	0	0	0
Mg	0,002	0	0	0	0,001	0	0	0	0	0,001	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ca	0,477	0,481	0,489	0,489	0,492	0,494	0,48	0,485	0,483	0,475	0,47	0,461	0,464	0,469	0,455	0,462	0,521	0,531	0,538
Na	0,534	0,538	0,531	0,519	0,527	0,527	0,558	0,524	0,529	0,549	0,54	0,54	0,529	0,552	0,533	0,529	0,487	0,481	0,455
K	0,005	0,005	0,006	0,005	0,004	0,007	0,007	0,006	0,006	0,006	0,008	0,007	0,007	0,006	0,007	0,007	0,007	0,007	0,006
Soma	5,006	5,013	5,015	5,002	5,01	5,012	5,028	5,007	5,01	5,018	5,008	5,014	4,996	5,014	4,991	4,995	5,005	5,008	4,994

Amostra BAR-10AIVb

Análise Mineral	20Bi P14	21Be P14	22Be P15	23Bi P15	24N P15	25Bi P15	26Be P15	27B P16	28N P16	29B P16	1Be P11	2Bi P11	3N P11	4Bi P11	5Be P11	6B P12	7N P12	8B P12
SiO2	54,84	55,17	55,05	54,17	54,28	54,27	55,38	56,2	55,88	56,22	55,55	55,9	56,59	55,88	57,18	61,8	56,29	57,04
TiO2	0	0,01	0,04	0,03	0	0,01	0,01	0,03	0	0,03	0,05	0	0	0	0	0	0	0,01
Al2O3	28,29	28,02	28,29	28,6	28,44	28,29	27,61	27,09	27,26	27,07	27,58	27,66	27,9	27,73	26,67	23,92	27,79	26,65
Cr2O3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fe2O3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FeO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MnO	0,01	0,03	0	0	0,02	0,01	0	0	0,04	0,03	0,01	0	0	0,01	0	0	0	0,01
MgO	0	0	0	0	0	0	0,01	0	0	0	0	0	0,01	0	0	0	0	0
CaO	10,77	10,52	11,28	11,21	11,28	11,02	10,16	9,9	9,91	9,62	9,99	10,07	9,98	9,79	9,57	5,29	9,76	9,15
Na2O	5,38	5,53	5,29	5,18	5,22	5,27	5,74	6,14	5,82	6,04	6	6,13	6,19	6,13	6,21	9,04	6,22	6,99
K2O	0,1	0,09	0,12	0,12	0,1	0,11	0,14	0,07	0,08	0,04	0,03	0,03	0,09	0,13	0,03	0,04	0,03	0,04
Total	99,39	99,37	100,07	99,31	99,34	98,97	99,05	99,42	98,98	99,05	99,22	99,79	100,76	99,66	99,66	100,1	100,09	99,89
Oxigênio	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Si	2,484	2,495	2,48	2,46	2,466	2,472	2,513	2,539	2,534	2,546	2,517	2,52	2,525	2,52	2,572	2,741	2,527	2,566
Ti	0	0	0,001	0,001	0	0	0	0,001	0	0,001	0,002	0	0	0	0	0	0	0
Al	1,51	1,494	1,503	1,531	1,523	1,519	1,477	1,443	1,457	1,445	1,473	1,47	1,467	1,475	1,414	1,251	1,47	1,413
Cr	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fe3	0,002	0,007	0,003	0,004	0	0,002	0,004	0,003	0,004	0,002	0,002	0	0,002	0,002	0,001	0	0	0
Fe2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mn	0	0,001	0	0	0,001	0	0	0	0,002	0,001	0	0	0	0	0	0	0	0
Mg	0	0	0	0	0	0	0,001	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ca	0,523	0,51	0,545	0,545	0,549	0,538	0,494	0,479	0,482	0,467	0,485	0,487	0,477	0,473	0,461	0,251	0,469	0,441
Na	0,472	0,485	0,462	0,456	0,46	0,465	0,505	0,538	0,512	0,53	0,528	0,536	0,535	0,536	0,541	0,777	0,542	0,61
K	0,005	0,005	0,007	0,007	0,006	0,007	0,008	0,004	0,004	0,002	0,002	0,001	0,005	0,007	0,002	0,003	0,002	0,003
Soma	4,998	4,998	5	5,003	5,005	5,003	5,002	5,007	4,994	4,995	5,008	5,014	5,011	5,013	4,992	5,024	5,01	5,033

Amostra BAR-10AIVb

Amostra BAR-10EVIII

Análise Mineral	1B P11	2N P11	3B P11	4B P12	5N P12	6B P12	7B P13	8N P13	9N P13	10B P13	11B P14	12N P14	13B P14	14B P15	15N P15	16B P15
SiO2	55,72	55,02	56,62	56,02	55,79	55,91	55,78	56,23	56,02	56,15	57,07	55,46	56,97	55,82	56,12	56,3
TiO2	0	0	0	0	0,05	0	0	0,03	0	0	0,01	0,03	0	0	0	0,03
Al2O3	27,35	27,65	26,79	27,44	27,89	27,96	27,66	27,25	27,57	27,65	26,78	28,25	27,27	27,44	27,52	27,37
Cr2O3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fe2O3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FeO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MnO	0	0	0,01	0	0	0	0	0	0,01	0,01	0	0	0	0	0	0,08
MgO	0	0,01	0	0,01	0	0,02	0	0,01	0	0	0,01	0	0	0	0	0
CaO	9,22	9,53	8,68	9,24	9,5	9,57	9,6	9,17	9,42	9,01	8,13	9,07	8,79	8,99	9,51	9,2
Na2O	6,19	5,96	6,39	6,29	5,88	5,99	6,2	6,25	6,13	6,08	6,84	6,03	6,46	6,2	6,1	6,25
K2O	0,03	0,07	0,04	0,06	0,09	0,06	0,07	0,07	0,05	0,07	0,06	0,08	0,09	0,18	0,06	0,04
Total	98,5	98,24	98,53	99,05	99,2	99,51	99,31	99,01	99,21	98,98	98,9	98,92	99,57	98,63	99,31	99,29
Oxigênio	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Si	2,536	2,515	2,57	2,537	2,523	2,521	2,523	2,547	2,532	2,54	2,58	2,513	2,56	2,538	2,535	2,541
Ti	0	0	0	0	0,002	0	0	0,001	0	0	0	0,001	0	0	0	0,001
Al	1,467	1,49	1,434	1,465	1,487	1,486	1,475	1,455	1,47	1,475	1,427	1,509	1,445	1,471	1,466	1,457
Cr	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fe3	0,002	0	0,004	0,001	0	0	0,001	0	0,002	0,001	0,002	0,001	0,004	0,001	0,001	0,005
Fe2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mn	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,003
Mg	0	0,001	0	0,001	0	0,001	0	0,001	0	0	0,001	0	0	0	0	0
Ca	0,45	0,467	0,422	0,448	0,46	0,462	0,465	0,445	0,456	0,437	0,394	0,44	0,423	0,438	0,46	0,445
Na	0,547	0,529	0,563	0,552	0,515	0,524	0,544	0,549	0,538	0,534	0,6	0,53	0,563	0,547	0,534	0,547
K	0,002	0,004	0,002	0,003	0,005	0,003	0,004	0,004	0,003	0,004	0,003	0,005	0,005	0,01	0,003	0,003
Soma	5,003	5,006	4,994	5,007	4,992	4,999	5,013	5,002	5,002	4,991	5,007	4,998	4,999	5,005	5	5,002

Amostra BAR-11B1a

Análise Mineral	1Be P11	2Bi P11	3N P11	4Bi P11	5Be P11	6B P12	7N P12	8B P12	9B P13	10B P13	11B P14	12N P14	13N P14	14B P14	15B P15	16N P15	17N P15	18B P15
SiO2	56,59	56,16	55,87	55,88	57,5	57,86	58,74	59,21	52,67	52,49	52,04	55,09	55,47	56,22	55,51	54,89	54,64	55,23
TiO2	0,03	0,06	0	0,04	0,02	0,02	0	0	0,04	0,04	0,03	0	0	0,01	0,02	0,03	0,01	0
Al2O3	26,69	27,2	27,13	27,38	26,72	25,94	25,37	25,22	27,91	27,81	30,17	28,37	28,62	27,93	28,01	28,23	28,13	28,52
Cr2O3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fe2O3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FeO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MnO	0	0,01	0	0	0,02	0	0	0	0,02	0,02	0	0,01	0,01	0,03	0	0	0	0,01
MgO	0,01	0	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0	0	0	0,02	0,01	0	0	0	0,01	0	0,01
CaO	9,08	9,69	9,5	9,83	8,75	8,22	7,67	7,25	10,75	10,49	9,86	10,8	10,7	10,17	10,31	10,53	10,62	10,9
Na2O	6,31	6,07	6,13	5,74	6,65	6,93	7,38	7,63	5,62	5,24	5,23	5,5	5,42	5,86	5,74	5,37	5,47	5,6
K2O	0,04	0,03	0,04	0,02	0,02	0,03	0,03	0,05	0,04	0,04	0,06	0,04	0,06	0,05	0,04	0,06	0,03	0,03
Total	98,75	99,22	98,69	98,9	99,69	99,01	99,21	99,36	97,05	96,12	97,41	99,81	100,28	100,27	99,63	99,11	98,91	100,31
Oxigênio	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Si	2,567	2,541	2,541	2,535	2,581	2,611	2,644	2,657	2,453	2,462	2,402	2,486	2,488	2,519	2,506	2,49	2,485	2,48
Ti	0,001	0,002	0	0,002	0,001	0,001	0	0	0,001	0,001	0,001	0	0	0	0,001	0,001	0	0
Al	1,428	1,451	1,455	1,464	1,415	1,38	1,346	1,334	1,533	1,537	1,642	1,509	1,514	1,476	1,491	1,51	1,509	1,51
Cr	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fe3	0,001	0	0	0	0,001	0,002	0	0,002	0	0,001	0,004	0,001	0,001	0,001	0	0,002	0,004	0,004
Fe2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mn	0	0	0	0	0,001	0	0	0	0,001	0,001	0	0	0	0,001	0	0	0	0
Mg	0	0	0,001	0,001	0,001	0,001	0	0	0	0	0,001	0	0	0	0	0,001	0	0
Ca	0,442	0,47	0,463	0,478	0,421	0,398	0,37	0,348	0,536	0,527	0,488	0,522	0,514	0,488	0,499	0,512	0,518	0,524
Na	0,555	0,532	0,541	0,505	0,579	0,606	0,644	0,664	0,508	0,476	0,468	0,481	0,472	0,509	0,502	0,472	0,483	0,487
K	0,002	0,002	0,003	0,001	0,001	0,001	0,002	0,003	0,002	0,002	0,004	0,002	0,004	0,003	0,002	0,003	0,002	0,002
Soma	4,996	4,998	5,003	4,985	5	5,001	5,006	5,008	5,034	5,007	5,01	5,001	4,992	4,998	5	4,991	5	5,008

Amostra BAR-11FVc

Análise Mineral	19B Pl6	20N Pl6	21B Pl6	22B Pl7	23N Pl7	24N Pl7	25B Pl7	26Be Pl8	27Bi Pl8	28N Pl8	29Bi Pl8	30Be Pl8
SiO2	54,98	55,56	55,96	55,22	55,21	54,42	55,22	52,37	52,13	51,52	50,37	51,2
TiO2	0	0,04	0,04	0	0,03	0	0	0	0	0,02	0	0
Al2O3	28,18	28,11	27,89	28,52	28,68	28,72	28,53	29,35	29,39	30,49	30,85	30,12
Cr2O3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fe2O3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FeO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MnO	0,03	0,02	0,01	0,02	0,01	0	0	0	0,01	0	0	0
MgO	0	0	0	0	0,01	0,01	0	0	0	0	0	0
CaO	10,56	10,55	10,18	11,2	11,16	11,03	10,87	12,32	12,58	13,28	13,77	13,32
Na2O	5,72	5,54	5,95	5,31	5,27	5,29	5,42	4,17	4,41	3,83	3,4	3,99
K2O	0,04	0,07	0,05	0,04	0,05	0,06	0,02	0,02	0,03	0,02	0,01	0,02
Total	99,53	99,91	100,08	100,31	100,41	99,52	100,05	98,24	98,54	99,14	98,4	98,65
Oxigênio	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Si	2,487	2,502	2,514	2,481	2,477	2,464	2,484	2,406	2,396	2,356	2,324	2,356
Ti	0	0,001	0,001	0	0,001	0	0	0	0	0,001	0	0
Al	1,503	1,492	1,477	1,51	1,517	1,533	1,513	1,59	1,592	1,643	1,678	1,634
Cr	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fe3	0,004	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002	0,001	0,006	0,001	0,001	0	0
Fe2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mn	0,001	0,001	0	0,001	0	0	0	0	0	0	0	0
Mg	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ca	0,512	0,509	0,49	0,539	0,536	0,535	0,524	0,607	0,62	0,65	0,681	0,657
Na	0,502	0,484	0,518	0,462	0,459	0,465	0,472	0,372	0,393	0,339	0,304	0,356
K	0,003	0,004	0,003	0,003	0,003	0,003	0,001	0,001	0,002	0,001	0,001	0,001
Soma	5,012	4,994	5,005	4,996	4,994	5,002	4,995	4,982	5,004	4,991	4,989	5,005

ANEXO 4

Análises de química mineral da granada do anfibolito Cafelândia

Análise Mineral	1Be Grt1	2Bi Grt1	3Ne Grt1	4Ni Grt1	5Ne Grt1	6Bi Grt1	7Be Grt1	8B Grt2	9N Grt2	10N Grt2	11B Grt2	12B Grt3	13N Grt3	14B Grt3	15B Grt4	16N Grt4	17B Grt4	18B Grt5	19N Grt5
SiO2	37,15	37,68	37,76	37,34	37,43	37,54	37,68	36,99	36,77	36,7	37,29	37,77	37,94	37,72	37,92	37,54	37,67	37,65	38,42
TiO2	0,04	0	0	0,03	0,04	0,08	0,04	0	0,11	0,13	0	0	0,07	0,06	0,05	0,07	0,05	0	0
Al2O3	21,8	21,92	21,95	22,19	22,33	22,1	22,18	21,92	22,19	22,14	22,03	21,39	21,52	21,55	21,57	21,55	21,41	21,89	22,02
Cr2O3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fe2O3	0,9	0,11	0	0,51	0,12	0,06	0	0,91	1,49	1,3	1,41	0	0	0	0	0	0	0,76	0
FeO	25,47	26,11	25,54	25,1	25,13	25,28	24,73	24,19	24,66	24,42	25,27	25,1	24,91	24,67	24,62	24,96	25,28	25,49	24,76
MnO	2,77	2,53	2,38	2,53	2,4	2,39	2,47	2,44	2,47	2,36	2,36	2,02	2,3	2,15	2,04	1,96	1,97	2,54	2,31
MgO	1,84	1,99	2,04	2,18	2,19	2,21	2,16	2,33	2,19	2,24	2,16	2,22	2,32	2,27	2,19	2,22	2,24	2,1	2,2
CaO	10,05	10,01	10,12	10,23	10,4	10,38	10,27	10,46	10,13	10,29	10,19	10,07	9,8	10,15	10,38	10,2	10,4	10,3	10,31
Na2O	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
K2O	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	100,01	100,35	99,8	100,12	100,03	100,04	99,53	99,25	100,02	99,59	100,71	98,56	98,86	98,58	98,78	98,51	99,01	100,74	100,02
Oxigênio	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
Si	2,951	2,976	2,989	2,95	2,956	2,965	2,982	2,945	2,913	2,917	2,936	3,018	3,019	3,01	3,018	3,002	3,002	2,963	3,018
Ti	0,002	0	0	0,002	0,002	0,005	0,002	0	0,007	0,008	0	0	0,004	0,004	0,003	0,004	0,003	0	0
Al	2,042	2,041	2,049	2,067	2,078	2,058	2,069	2,057	2,073	2,074	2,045	2,015	2,019	2,028	2,024	2,031	2,011	2,031	2,039
Cr	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fe3	0,053	0,006	0	0,029	0,007	0,003	0	0,053	0,088	0,077	0,083	0	0	0	0	0	0	0,044	0
Fe2	1,693	1,726	1,691	1,659	1,66	1,671	1,637	1,611	1,635	1,624	1,665	1,677	1,658	1,646	1,639	1,669	1,685	1,678	1,627
Mn	0,186	0,169	0,16	0,169	0,16	0,16	0,166	0,165	0,166	0,159	0,157	0,137	0,155	0,146	0,138	0,133	0,133	0,169	0,154
Mg	0,218	0,234	0,241	0,257	0,257	0,26	0,255	0,277	0,259	0,265	0,254	0,265	0,275	0,271	0,259	0,265	0,266	0,247	0,257
Ca	0,856	0,847	0,858	0,866	0,88	0,879	0,871	0,892	0,86	0,877	0,86	0,862	0,836	0,868	0,886	0,874	0,888	0,868	0,868
Na	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
K	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Soma	8	8	7,987	8	8	8	7,982	8	8	8	8	7,974	7,967	7,972	7,967	7,979	7,989	8	7,963

Amostra BAR-4.1BVIb

Análise Mineral	20B Grt5	21B Grt6	22Ne Grt6	23Ni Grt6	24Ne Grt6	25B Grt6	26B Grt7	27N Grt7	28N Grt7	29B Grt7	30B Grt8	31N Grt8	32N Grt8	33B Grt8
SiO2	38,13	37,55	37,55	38,04	38,02	37,74	37,58	37,94	38,37	38,08	37,61	37,86	38,1	38,15
TiO2	0,02	0,07	0,01	0,1	0,12	0,07	0,02	0,08	0	0,05	0,05	0,11	0,08	0,06
Al2O3	21,71	21,66	21,61	22,09	21,83	21,84	21,82	21,81	21,95	21,92	21,38	21,95	21,76	21,57
Cr2O3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fe2O3	0	0,45	0	0	0,05	0	0,26	0	0	0	0,85	0,53	0,31	0,32
FeO	25,98	25,58	25,27	25,21	25,92	25,25	25,09	25,1	24,74	24,93	25,43	25,49	25,65	25,62
MnO	2,22	2,53	2,43	2,29	2,43	2,62	2,24	2,25	2,46	2,15	2,27	2,36	2,31	2,25
MgO	2,17	2,23	2,37	2,25	2,2	2,18	2,09	2,24	2,17	1,88	2,18	2,25	2,29	2,2
CaO	10,48	10,01	10,12	10,15	10,35	10,4	10,81	10,48	10,7	11,11	10,45	10,5	10,58	10,8
Na2O	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
K2O	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	100,72	100,08	99,35	100,13	100,92	100,09	99,92	99,9	100,4	100,12	100,22	101,05	101,08	100,97
Oxigênio	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
Si	2,995	2,972	2,987	2,993	2,982	2,981	2,974	2,995	3,009	2,999	2,975	2,965	2,982	2,991
Ti	0,001	0,004	0	0,006	0,007	0,004	0,001	0,005	0	0,003	0,003	0,006	0,005	0,004
Al	2,011	2,021	2,027	2,049	2,018	2,034	2,035	2,029	2,029	2,035	1,994	2,027	2,008	1,994
Cr	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fe3	0	0,026	0	0	0,002	0	0,015	0	0	0	0,05	0,03	0,018	0,018
Fe2	1,707	1,695	1,679	1,658	1,701	1,668	1,661	1,657	1,622	1,642	1,683	1,67	1,68	1,681
Mn	0,148	0,17	0,163	0,153	0,161	0,176	0,15	0,151	0,164	0,143	0,152	0,157	0,153	0,149
Mg	0,254	0,263	0,281	0,263	0,257	0,256	0,246	0,263	0,254	0,221	0,257	0,263	0,267	0,257
Ca	0,882	0,849	0,862	0,856	0,87	0,88	0,917	0,886	0,899	0,938	0,885	0,881	0,887	0,907
Na	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
K	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Soma	7,998	8	8	7,977	8	7,999	8	7,986	7,977	7,981	8	8	8	8

Amostra BAR-4.1BV1b

Análise Mineral	1Be Grt1	2Bi Grt1	3Ne Grt1	4Ni Grt1	5Ni Grt1	6Ne Grt1	7Bi Grt1	8Be Grt1	9B Grt2	10N Grt2	11B Grt2	12B Grt3	13N Grt3	14N Grt3	15B Grt3
SiO2	38,06	38,29	38,01	38,02	38,03	38,49	37,78	38,47	37,94	38,1	38,09	37,67	38,43	37,91	38,02
TiO2	0,02	0,01	0,08	0,03	0,05	0,08	0,04	0	0,05	0,1	0,07	0,17	0,06	0,05	0,05
Al2O3	21,97	21,6	21,75	21,39	21,77	21,91	21,65	22,02	21,7	21,73	21,56	21,28	21,53	21,86	21,43
Cr2O3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fe2O3	0	0,48	0,07	0,31	0	0	0,17	0	0,89	0	0	1,57	0	0,82	0,47
FeO	26,89	27,28	27,25	27,2	26,24	27,11	26,86	27,46	26,67	26,58	26,93	26,36	27,46	27,04	26,82
MnO	1,88	2,1	1,8	1,97	1,85	1,85	1,73	1,95	1,05	1,11	1,01	1,29	1,18	1,16	1,28
MgO	3,44	3,88	4,02	3,98	3,94	3,75	3,6	3,25	2,26	2,5	2,35	2,5	2,44	2,47	2,38
CaO	8,14	7,37	7,23	7,18	7,67	7,68	7,93	7,97	10,64	9,83	10,07	10,21	9,94	9,95	10,26
Na2O	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
K2O	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	100,38	101,02	100,22	100,07	99,54	100,88	99,76	101,11	101,19	99,95	100,07	101,05	101,04	101,26	100,71
Oxigênio	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
Si	2,987	2,991	2,986	2,996	2,998	3,001	2,985	3	2,97	3,004	3,006	2,958	3,009	2,965	2,99
Ti	0,001	0	0,005	0,002	0,003	0,005	0,002	0	0,003	0,006	0,004	0,01	0,004	0,003	0,003
Al	2,033	1,99	2,014	1,987	2,023	2,014	2,017	2,024	2,003	2,019	2,005	1,97	1,987	2,016	1,987
Cr	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fe3	0	0,027	0,004	0,018	0	0	0,009	0	0,052	0	0	0,092	0	0,048	0,027
Fe2	1,765	1,783	1,791	1,793	1,73	1,768	1,776	1,791	1,747	1,753	1,777	1,732	1,798	1,77	1,765
Mn	0,125	0,139	0,12	0,131	0,123	0,122	0,116	0,128	0,069	0,074	0,068	0,086	0,078	0,077	0,085
Mg	0,402	0,452	0,47	0,467	0,463	0,436	0,424	0,378	0,264	0,294	0,276	0,292	0,284	0,288	0,279
Ca	0,684	0,617	0,609	0,606	0,648	0,642	0,671	0,666	0,893	0,831	0,852	0,859	0,834	0,834	0,864
Na	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
K	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Soma	7,996	8	8	8	7,988	7,988	8	7,988	8	7,981	7,988	8	7,994	8	8

Amostra BAR-10AIVb

Análise Mineral	1B Grt1	2Ne Grt1	3Ni Grt1	4Ne Grt1	5B Grt1	6B Grt2	7N Grt2	8N Grt2	9B Grt2	10Be Grt3	11Ne Grt3	12Ni Grt3	13Ni Grt3	14Ne Grt3	15Be Grt3	16Be Grt4	17Bi Grt4	18Ne Grt4	19Ni Grt4
SiO2	37,72	37,87	37,87	38,03	38,05	38,19	37,98	38,06	37,77	37,82	37,86	37,71	38	38,12	38,21	37,92	37,7	38,05	38,36
TiO2	0,07	0,04	0,01	0	0,1	0,02	0,02	0,01	0,04	0	0	0,04	0,04	0,08	0,07	0	0,02	0	0,07
Al2O3	22,12	22,01	21,99	22,33	22,02	21,96	21,97	22,23	22,12	21,89	22,13	22,18	22,01	22,23	21,97	21,79	21,9	22,09	21,78
Cr2O3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fe2O3	0,51	0	0,43	0,12	0	0	0,24	0	0,67	0	0	0,32	0,62	0	0	0	0	0	0
FeO	27,15	26,9	27,15	27,18	26,76	27,02	27,32	27,19	26,97	26,29	26,89	27,13	27,32	27,72	27,14	26,97	26,25	26,68	25,11
MnO	1,21	1,28	1,16	1,12	0,94	1,17	1,13	1,15	1,22	1,23	1,27	1,2	1,34	1,24	1,16	1,05	1,03	1,07	1,05
MgO	2,96	3,04	2,97	2,83	2,54	3,01	3,12	3	2,92	2,77	2,96	3,37	3,38	3,39	3,23	2,82	3,18	3,18	3,12
CaO	8,99	9	9,1	9,45	10,33	8,93	8,89	9,19	9,19	9,26	8,61	8,41	8,41	8	8,2	9,26	9,09	8,56	8,95
Na2O	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
K2O	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	100,74	100,13	100,67	101,06	100,75	100,3	100,66	100,84	100,89	99,25	99,73	100,37	101,11	100,77	99,97	99,81	99,18	99,63	98,44
Oxigênio	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
Si	2,958	2,98	2,97	2,969	2,98	2,998	2,977	2,976	2,958	2,997	2,988	2,961	2,967	2,98	3,004	2,995	2,987	2,998	3,039
Ti	0,004	0,002	0,001	0	0,006	0,001	0,001	0	0,002	0	0	0,002	0,002	0,005	0,004	0	0,001	0	0,004
Al	2,045	2,043	2,033	2,055	2,033	2,032	2,03	2,049	2,042	2,046	2,059	2,054	2,026	2,048	2,036	2,029	2,045	2,052	2,035
Cr	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fe3	0,029	0	0,024	0,006	0	0	0,014	0	0,039	0	0	0,018	0,036	0	0	0	0	0	0
Fe2	1,781	1,77	1,782	1,775	1,753	1,774	1,792	1,778	1,767	1,742	1,775	1,782	1,784	1,812	1,785	1,782	1,739	1,758	1,663
Mn	0,08	0,085	0,077	0,074	0,063	0,078	0,075	0,076	0,081	0,082	0,085	0,08	0,089	0,082	0,077	0,07	0,069	0,071	0,071
Mg	0,346	0,356	0,347	0,329	0,297	0,353	0,365	0,349	0,341	0,327	0,348	0,394	0,393	0,395	0,378	0,332	0,375	0,374	0,368
Ca	0,755	0,759	0,765	0,79	0,867	0,751	0,747	0,77	0,771	0,786	0,728	0,708	0,703	0,67	0,69	0,784	0,772	0,723	0,76
Na	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
K	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Soma	8	7,996	8	8	7,998	7,986	8	7,999	8	7,98	7,983	8	8	7,992	7,975	7,991	7,989	7,976	7,94

Amostra BAR-11FVc

Análise Mineral	20Ni Grt4	21Ne Grt4	22Bi Grt4	23Be Grt4	24Be Grt5	25Bi Grt5	26N Grt5	27Bi Grt5	28Be Grt5	29B Grt6	30N Grt6	31N Grt6	32B Grt6
SiO2	38,29	37,99	38,13	37,69	37,87	37,89	38,13	38,09	37,77	37,99	37,6	38,04	38,2
TiO2	0,1	0	0	0,11	0	0,04	0,09	0,07	0,07	0,02	0,02	0	0,03
Al2O3	21,9	21,66	21,95	21,8	21,93	22,26	21,81	21,86	21,82	22,1	21,74	21,71	21,72
Cr2O3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fe2O3	0,75	0,64	0,62	0,66	0,59	0,98	0,14	0,13	0,79	0,14	0,71	0	0
FeO	28,22	27,52	27,46	27,68	27,62	27,41	27,81	27,98	28,04	26,94	26,69	26,88	27,43
MnO	1,1	0,89	1,08	1,18	0,97	1,03	0,98	0,96	0,95	1,04	1,07	1	1,08
MgO	3,33	3,42	3,32	2,84	3,34	3,23	3,36	3,46	3,17	2,85	2,93	3,02	2,44
CaO	8,26	8,52	8,68	8,75	8,35	8,69	8,49	8,18	8,24	9,64	9,34	8,95	9,6
Na2O	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
K2O	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	101,95	100,64	101,24	100,7	100,68	101,51	100,81	100,71	100,85	100,71	100,09	99,6	100,49
Oxigênio	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
Si	2,971	2,98	2,973	2,964	2,969	2,949	2,984	2,984	2,964	2,975	2,967	3,005	3,003
Ti	0,006	0	0	0,006	0	0,002	0,005	0,004	0,004	0,001	0,001	0	0,002
Al	2,003	2,003	2,018	2,021	2,027	2,042	2,013	2,018	2,019	2,04	2,022	2,022	2,013
Cr	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fe3	0,043	0,037	0,036	0,038	0,034	0,057	0,008	0,007	0,046	0,007	0,041	0	0
Fe2	1,832	1,806	1,791	1,822	1,812	1,784	1,821	1,833	1,841	1,766	1,762	1,776	1,804
Mn	0,072	0,059	0,071	0,079	0,065	0,068	0,065	0,063	0,063	0,069	0,071	0,067	0,072
Mg	0,385	0,4	0,385	0,333	0,391	0,374	0,392	0,404	0,371	0,333	0,345	0,356	0,286
Ca	0,687	0,716	0,725	0,737	0,702	0,724	0,712	0,686	0,693	0,809	0,79	0,758	0,808
Na	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
K	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Soma	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	7,984	7,989

Amostra BAR-11FVc