

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

MAPA METAMÓRFICO DAS ROCHAS DO GRUPO CARRANCAS NA
REGIÃO DAS SERRAS DE CARRANCAS, BICAS E MOLEQUE,
SUL DE MINAS GERAIS.

Lígia Liz Sanvezzo Garcia

Orientador: Prof. Dr. Renato de Moraes

MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA
(TF-2010/28)

TF
G216
LLS.m

SÃO PAULO
2010

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

Mapa Metamórfico das Rochas do Grupo Carrancas na região das serras de
Carrancas, Bicas e Moleque, Sul de Minas Gerais

Lígia Liz Sanvezzo Garcia
Lígia Liz Sanvezzo Garcia



Renato de Moraes

Orientador: Prof. Dr. Renato de Moraes

MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA
(TF-2010/28)

DEDALUS - Acervo - IGC



30900028392

SÃO PAULO
2010

TF
6214
LhS.m



Ao papai,
À mamãe,
À irmãzinha,
pelo amor e união em todos os momentos.

Agradecimentos

Hoje eu entendo o verdadeiro significado do orientador do Trabalho de Formatura. Uma pessoa que não apenas orienta, mas ajuda, explica, briga, parabeniza e torce. Foi essa pessoa que escolhi para me ajudar com o mais importante trabalho da minha vida profissional até o momento. Agradeço enormemente ao Prof. Dr. Renato de Moraes pelo incentivo e paciência que proporcionaram a confecção desse trabalho. Um orientador. Um amigo.

Não poderia deixar de agradecer ao meu grupo de Mapeamento Geológico, Fernando Caramello (Caraio) e Gustavo Macedo (Gorda), pois foi com base em nossos "estudos", que continuei a pesquisar a área mapeada. Os assuntos discutidos sob o sol do meio dia, as fugas de animais "selvagens" e comentários totalmente pertinentes sobre a "geologia" serão sempre lembrados com muito carinho.

Agradeço às pessoas que direta ou indiretamente ajudaram nesse relatório: Professores Mário da Costa Campos Neto e Marcos Egydio pelo aprendizado nos campos da área de estudo, nas explicações de lâminas e dobras, muitas vezes sem sentido para mim. Ao Marcos Mansueto e Paulo Roberto (técnicos da microssonda). Aos amigos Erasto Boretti e Francisco Capatto, pela oportunidade e aprendizado. À Fapesp.

Às novas amizades que fiz ao longo desses cinco anos de curso. Pessoas simplesmente maravilhosas, que fizeram diferença em minha vida. Ana Letícia (Wally, Walliver ou Cabrita), Andrea (Gemida), Fernando (Fefo ou Mijado), Giuliana (Tonhão), Ibyatã (Hemorróida, Hemo ou Paixão), Manuela (Pinhão ou Pinha), Mariana (Mocotó, Mototó ou Motocó), Marília (Atoladinha ou Atoleids).

Às velhas amizades. Mariana Carreira, Natalia Dreossi e Natasha Sultani.

À todos vocês, deixo aqui meus sinceros sentimentos, cada um com seu jeito, cada um com sua amizade, com seu carinho, com seu amor.

Por último e não por menor importância: MINHA FAMÍLIA! A esta já foi dedicado meu Trabalho de Formatura, e agradeço pelo amor, carinho, força e união que faz dessa família o que ela é: Única e Diferenciadíssima!

“Ando devagar
Porque já tive pressa
Levo esse sorriso
Porque já chorei demais
Hoje me sinto mais forte,
Mais feliz, quem sabe,
Só levo a certeza
De que muito pouco sei,
Ou nada sei
Conhecer as manhas
E as manhãs
O sabor das massas
E das maçãs
É preciso amor
Pra poder pulsar
É preciso paz pra poder sorrir
É preciso a chuva para florir
Penso que cumprir a vida
Seja simplesmente
Compreender a marcha
E ir tocando em frente
Como um velho boiadeiro
Levando a boiada
Eu vou tocando os dias
Pela longa estrada, eu vou
Estrada eu sou
Todo mundo ama um dia,
Todo mundo chora
Um dia a gente chega
E no outro vai embora
Cada um de nos compõe a sua historia
Cada ser em si
Carrega o dom de ser capaz
E ser feliz
Cada um de nos compõe a sua historia
Cada ser em si
Carrega o dom de ser capaz
E ser feliz
E SER FELIZ!!!”

(Almir Sater)

Resumo

O Grupo Carrancas ocorre na porção sul da Faixa Brasília a sul do Cráton do São Francisco e é dividido em duas formações, São Tomé das Letras e Campestre. A primeira é dominada por quartzito micáceo, estratificado e foliado, e a segunda é formada por quartzito micáceointer-estratificado com filito, que é substituído por xisto, com aumento das condições do metamorfismo para sul. Os xistos da Formação Campestre são ricos em Al_2O_3 , posicionando-se acima da linha de conexão granada-clorita em diagrama AFM, possibilitando a inferência de maior número de isógradas. O mapa metamórfico apresentado cobre a região das serras de Carrancas, Bicas e Moleque. Na porção oeste da Serra de Carrancas, na transição para a Serra das Bicas, a isógrada da biotita + cianita foi reconhecida, e que é formada pela quebra da estaurolita e formação da paragênese granada, cianita e biotita. A associação permite inferir condições da zona da cianita, facies anfibolito.

As condições $P-T$ do metamorfismo foram determinadas com o programa THERMOCALC em duas amostras coletadas nas serras das Bicas e do Moleque. Para a primeira, o pico metamórfico ocorreu sob condições de $11,16 \pm 2,2$ kbar e $641 \pm 35^\circ C$, e na segunda de $10,79 \pm 1.82$ kbar e $647 \pm 28^\circ C$. Estes valores comparados com os obtidos por Pavan *et al.* (2008), pressão de $10,65 \pm 0,45$ kbar e temperatura de $586 \pm 20^\circ C$ na Serra da Estância, mais a norte da área estudada e, na Serra das Bicas, condições metamórficas de $630 \pm 10^\circ C$ e $12,15 \pm 1,5$ kbar, indicaram que as condições de $P-T$ aumentam de norte para sul na região. A presença de clorita e cloritóide tanto na borda de porfiroblastos de granada e estaurolita, quanto dispersos na matriz, cortando a foliação principal S_2 , indicam que estas rochas sofreram retrometamorfismo em condições da fácie xisto verde.

Palavras chaves: Grupo Carrancas; mapa metamórfico; metamorfismo regional; rochas pelíticas

Abstract

Carrancas Group occurs in the southern Brasília Belt, south of the São Francisco Craton and is divided into two formations, São Tomé das Letras and Campestre. The first is dominated by micaceous quartzite, laminated and foliated, and the second consists of micaceous quartzite inter-stratified with phyllite, which is replaced by schist, with a metamorphic conditions increase to the south. Campestre Formation schist are rich in Al_2O_3 , plotting above the line connecting garnet-chlorite in the AFM diagram, permitting the inference of a larger number of isograds. The presented metamorphic map covers the region of Serras de Carrancas, Bicas and Moleque. In the western portion of the Serra de Carrancas, in transitioning to the Serra das Bicas, the isograd of biotite+kyanite is recognized and was formed by the breakdown of staurolite and formation of garnet, kyanite and biotite. The association allows inferring conditions of kyanite zone, amphibolite facies.

The $P-T$ metamorphic conditions were determined with THERMOCALC in two samples collected in the Serras das Bicas and Moleque. The peak conditions for the first sample was calculated as 11.16 ± 2.2 kbar and 641 ± 35 °C, whereas for the second as 10.79 ± 1.82 kbar and 647 ± 28 °C. Pavan *et al.* (2008) obtained, respectively, for samples of the Serra da Estância and Serra das Bicas, $P-T$ conditions for the metamorphic peak of 10.65 ± 0.45 kbar and of 586 ± 20 °C and 630 ± 10 °C and 12.15 ± 1.5 kbar. These samples were collected up to the north of study area, and together with $P-T$ conditions calculated here, it is possible to conclude that metamorphic conditions increases from north to south in the region. The presence of chlorite and chloritoid on the rim of porphyroblasts of garnet and staurolite, and dispersed in the matrix, cutting the main foliation S_2 indicate that these rocks experienced retrogression in the greenschist facies.

Keywords: Carrancas Group; metamorphic map, metamorphism, pelitic rocks.

Sumário

1. Introdução.....	8
2. Objetivo.....	8
3. Materiais e métodos.....	9
4. Localização.....	11
5. Geologia Regional.....	11
5.1. Geologia da região de Carrancas.....	13
5.2. Compartimentação Tectônica.....	13
5.3. Grupo Carrancas.....	14
5.4. Geologia Estrutural Regional.....	15
5.5 Metamorfismo Regional.....	16
6. Geologia Local.....	18
7. Metamorfismo	20
7.1. Petrografia.....	20
7.2. Química Mineral.....	25
7.2.1. Micas.....	25
7.2.2. Granada.....	26
7.2.3. Estaurolita.....	29
7.2.4. Plagioclásio.....	31
7.3. Caracterização do Metamorfismo.....	32
8. Termobarometria.....	38
9. Conclusões	40
Bibliografia.....	42

1. Introdução

O metamorfismo barroviano clássico apresenta a seguinte sucessão de isógradas minerais: clorita, biotita, granada, estaurolita, cianita, sillimanita, sillimanita + feldspato potássico. Essas isógradas são típicas de rochas cuja composição posiciona-se abaixo da linha de conexão granada-clorita em diagrama AFM. Entretanto, a variação composicional dos pelitos é muito grande e para rochas cuja composição está acima dessa linha de conexão, a sucessão de isógradas geradas é maior, permitindo inferir condições *P-T* mais precisas do que a sucessão típica barroviana.

Os xistos pelíticos do Grupo Carrancas (Trouw *et al.*, 1980) apresentam composição mais rica em Al_2O_3 do que os xistos dos Highlands da Escócia e a sucessão de isógradas difere do esquema clássico barroviano. Estudo detalhado do metamorfismo da Formação Campestre e do Grupo São João Del Rey indicou paragêneses diagnósticas com clorítóide, granada, estaurolita e cianita e três isógradas foram propostas para as rochas da região: aparecimento da granada almandina, que separa a fácie xisto verde inferior da superior; aparecimento da estaurolita, que marca o início da fácie anfibolito e o desaparecimento do clorítóide primário, marcando aumento nas condições *P-T*. Apesar da cianita sugerir duas isógradas diferentes, devido ao seu aparecimento tanto na fácie xisto verde quanto na fácie anfibolito, em diferentes rochas, ela apresenta distribuição irregular na área, não permitindo traçar a isógrada da cianita (Heilbron, 1983). Do ponto de vista regional, a área investigada foi submetida a metamorfismo de pressão alta, com zoneamento metamórfico inverso e as condições de temperatura variam desde a fácie xisto verde a anfibolito (Trouw *et al.*, 2000a,b).

A elaboração do mapa metamórfico das rochas do Grupo Carrancas, nas serras de Carrancas, das Bicas, das Broas e do Moleque, dará um refinamento e integração com os mapas metamórficos apresentados por Heilbron (1983) e Pavan *et al.* (2008).

2. Objetivos

O presente trabalho teve como objetivo o desenvolvimento de mapa metamórfico das rochas do Grupo Carrancas nas serras de Carrancas, Serra das Bicas, Serra das Broas e Serra do Moleque. Na confecção do mapa metamórfico foram determinadas as paragêneses das amostras, as quais foram plotadas em diagramas de compatibilidade tipo AFM, para que a influência da composição da rocha (relação X_{Mg} vs. Al_2O_3) fosse avaliada.

A análise da relação da evolução metamórfica com as microestruturas, crescimento dos porfiroblastos em relação às foliações permitiu a determinação da evolução tectono-

metamórfica e as trajetórias $P-T$ de cada segmento estudado.

Ainda foram selecionadas amostras para estudo termobarométrico para determinação precisa das condições $P-T$.

3. Materiais e métodos

O desenvolvimento da pesquisa envolveu diversas etapas de atividades, que incluíram trabalho de escritório, laboratorial e de campo, que são apresentadas e discutidas a seguir:

1. **A pesquisa bibliográfica** foi feita com uso de sites de busca na internet (Scopus, Web of knowledge, GEOREF) e biblioteca do IGc-USP. Foram pesquisados os trabalhos sobre o contexto geológico do Grupo Carrancas, metamorfismo de rochas pelíticas e microtectônica.
2. **O trabalho de campo** realizado na região de Carrancas, com levantamentos de campo nas serras das Bicas e das Broas. Foram 21 dias de trabalhos de campo feitos em duas etapas. Além de mapeamento geológico, descrição de afloramentos e coleta de medidas estruturais, foram também coletadas amostras de todas as unidades mapeadas. No entanto, a petrografia inclui a descrição de amostras coletadas nas serras de Carrancas e Moleque, coletadas durante os mesmos trabalhos de campo por outros alunos da Disciplina Mapeamento Geológico do curso de graduação em Geologia do IGc-USP.
3. Boa parte do trabalho foi baseada na **petrografia** das amostras coletas e laminadas. Análise petrográfica das lâminas delgadas foi feita com microscópio Olympus BX-40. Atenção especial foi dada às rochas pelíticas. Foram descritas 36 lâminas, com determinação da paragênese do pico metamórfico e a relação dos porfiroblastos com as foliações diversas observadas. Todas as paragêneses foram plotadas em diagramas de compatibilidade AFM (Thompson, 1957) e a partir dos diagramas foram traçadas as isógradas no mapa metamórfico. A vantagem de usar os diagramas de compatibilidade, tal como o diagrama AFM, na confecção do mapa metamórfico, é que o mapa é feito levando-se em conta variações compostionais dos protolitos, que definem as possíveis associações minerais compatíveis para as mesmas condições $P-T$, e não apenas o primeiro aparecimento, ou o desaparecimento, de uma fase mineral.
4. O levantamento de dados de **química mineral** foi feito na segunda etapa de trabalho com microssonda eletrônica, da marca JEOL, modelo JXA-8600 SuperProbe, sob condições de

15 kV e 20 nA, com feixe em diâmetro de 5 μm . Os seguintes minerais e elementos que foram analisados:

granada – Si, Ti, Al, Cr, Fe, Mn, Mg, Ca;
plagioclásio – Si, Al, Ba, Sr, Fe^{3+} , Ca, Na, K;
biotita – Si, Ti, Al, Cr, Fe, Mn, Mg, Ca, Na, K, Ba, Cl, F;
muscovita – Si, Ti, Al, Cr, Fe, Mn, Mg, Ca, Na, K, Ba, Cl, F;
estaurolita – Si, Ti, Al, Cr, Fe, Mn, Mg, Ca, Na; e

Nos minerais foram feitas análises pontuais em perfis ao longo dos grãos, para estabelecimento de variações compostionais dentro e entre diferentes grãos. As fórmulas estruturais foram calculadas com planilhas Excel. As primeiras fórmulas foram calculadas sem a ajuda de qualquer programa para o aprendizado do cálculo de fórmulas estruturais, depois o programa Ax de Tim Holland (<http://rock.esc.cam.ac.uk/astaff/holland/>) foi usado.

5. **A avaliação das condições P - T do metamorfismo** foi feita com a comparação das paragêneses determinadas na petrografia com os campos de estabilidade das mesmas em **grades petrogenéticas e termobarometria** foi feita com o programa THERMOCALC.

A partir do final dos anos 1980 começou a surgir uma série de bancos de dados termodinâmicos internamente consistentes, muitos deles associados a programas de cálculo estatísticos com esses dados (THERMOCALC, GTP, TWEEQ, PERPLEX) que possibilitaram o cálculo de grades petrogenéticas em diversos sistemas químicos diferentes. Assim, várias grades petrogenéticas para rochas pelíticas estão disponíveis na literatura e a comparação das paragêneses minerais determinadas na petrografia com os seus campos de estabilidade P - T nessas grades é ferramenta excelente para inferir condições P - T do metamorfismo e até parte da trajetória P - T seguida pela rocha. Foram usadas as grades de Spear & Cheney (1989), Powell & Holland (1990), Powell *et al.* 1998),

O THERMOCALC é programa de cálculo estatístico baseado em banco de dados termodinâmicos internamente consistentes (Powell & Holland, 1988, Holland & Powell, 1998). Para o cálculo P - T , o programa procura um conjunto mínimo de reações linearmente independentes que descreve as fases do sistema em estudo. O número mínimo de reações linearmente independentes é dado por $n-c$, onde n é o número de membros finais em questão e c o número de componentes do sistema. O programa calcula a posição P - T em que se cruzam essas reações, com a menor elipse de erro (Powell & Holland, 1994).

4. Localização da área

A cidade de Carrancas está situada na porção sudeste do estado de Minas Gerais, distando cerca de 290 km de Belo Horizonte e 420 km de São Paulo. Da capital paulista, o acesso pode ser feito pela rodovia Fernão Dias (BR-381) e próximo a Lavras ingressa-se na estrada BR-265, com sentido Lavras/São João Del Rei. Segue-se nesta rodovia até a cidade de Itutinga e utiliza-se uma estrada secundária asfaltada (MG-451) para seguir até Carrancas (Figura 1). O acesso a Carrancas pela saída BR-381 para a rodovia MG-882 em Três Corações também é possível.

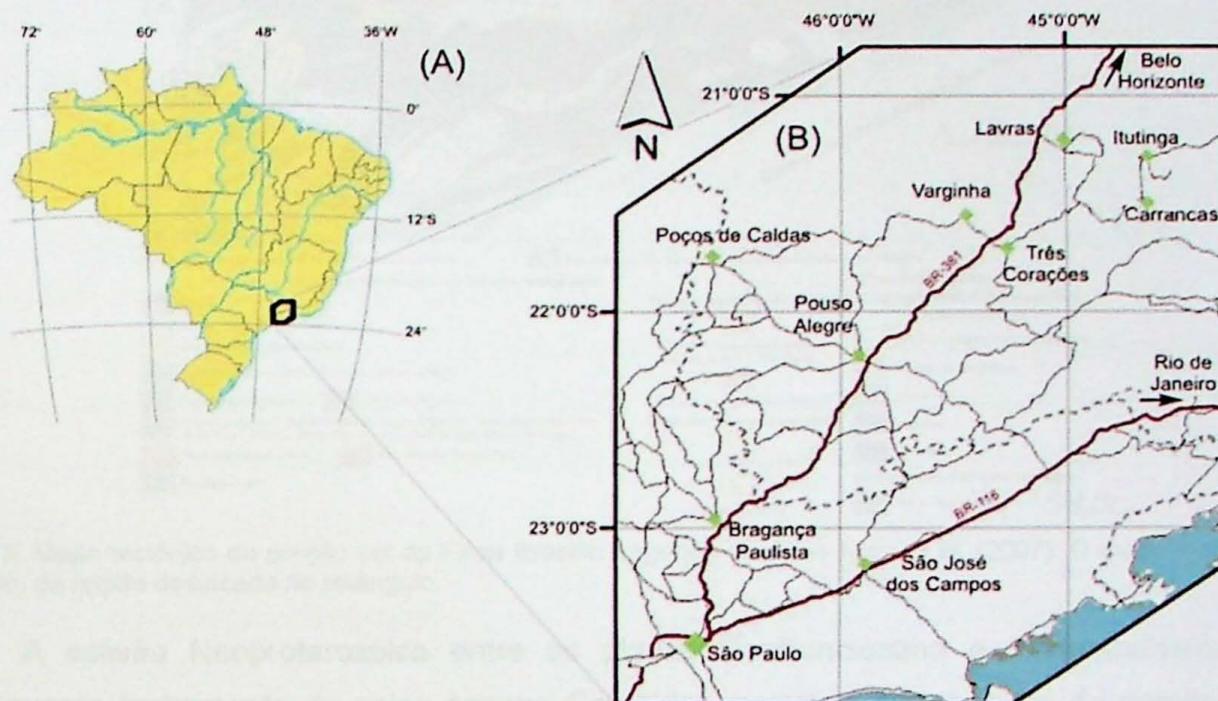


Figura 1. Mapa de localização. Modificado de Pavan (2010).

A área a ser investigada situa-se entre os municípios de Carrancas (MG) e Minduri (MG), com latitude entre 22 ° e 21 ° e longitude 45 ° e 44 °, englobando uma superfície retangular de 50 km E-W por 35 km N-S.

5. Geologia Regional

O Grupo Carrancas pertence à porção sul da Faixa Brasília e situa-se a sul do Cráton do São Francisco (Figura 2). Atualmente há duas linhas de pesquisa realizadas na região onde uma delas (Trouw *et al.*, 2000 a e b; Peternel *et al.*, 2005) propõe que as rochas metamórficas e

estruturas observadas na região estão relacionadas à interferência entre as Faixas Brasília e Ribeira e a outra propõe que estão relacionadas apenas à evolução da Faixa Brasília (Campos Neto *et al.*, 2004).

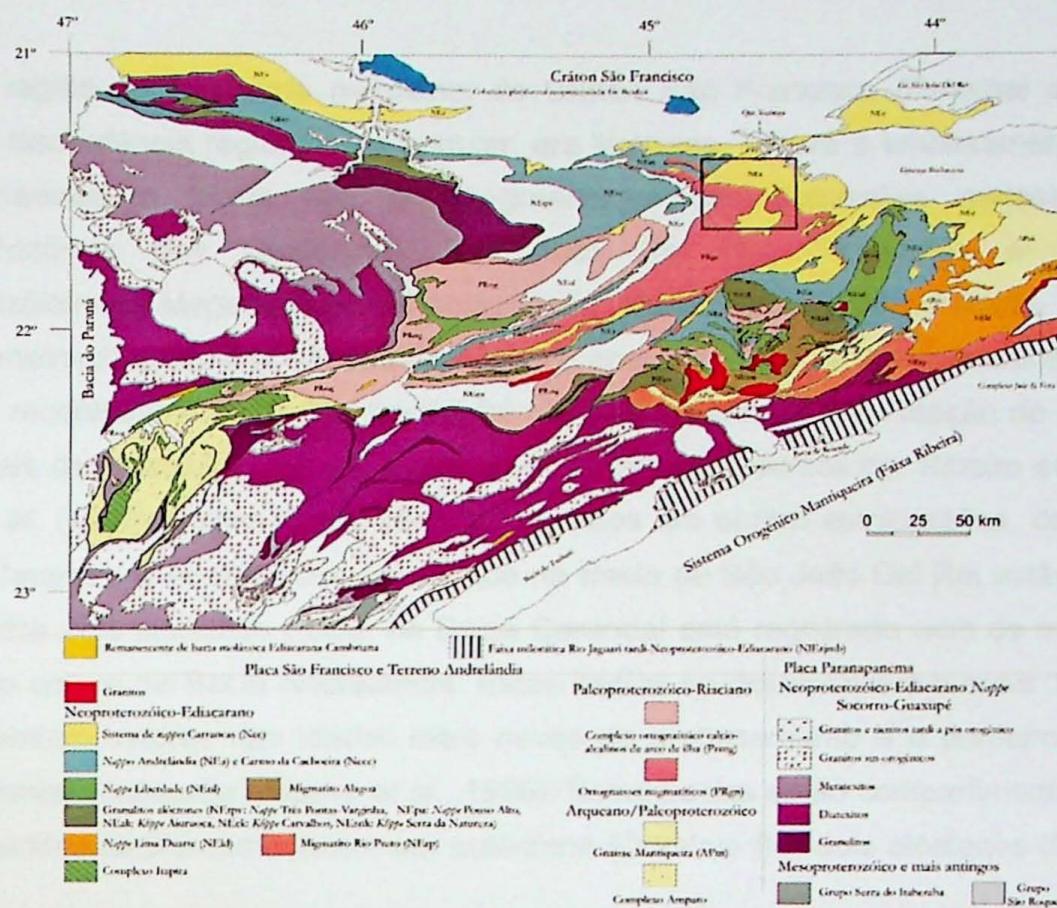


Figura 2: Mapa tectônico da porção sul da Faixa Brasília segundo Campos Neto *et al.* (2007). O mapa metomórfico será feito da região destacada no retângulo.

A colisão Neoproterozóica entre as placas Sanfranciscana e Paranapanema, com consequente fechamento do paleo-oceano Goianides, resultou na formação da porção sul da Faixa Brasília, ali denominado de Orógeno Brasília Meridional. Durante o estágio colisional foram implantados o Sistema de *Nappes* Andrelândia e Carrancas (Campos Neto *et al.*, 2007). A Faixa Brasília localiza-se na margem oeste do Cráton do São Francisco, podendo ter mais de 1.000 km de extensão. Esta é dividida em duas partes distintas: Faixa Brasília Setentrional, de orientação NE e Faixa Brasília Meridional de orientação NW. A parte meridional da Faixa Brasília tem estilo tectônico definido pelo empilhamento de extensas *nappes* de cavalgamentos subhorizontais, formadas por rochas da margem passiva Sanfranciscana, empurradas em direção ao Cráton do São Francisco por volta de 640 Ma (Heilbron *et al.*, 2000). A Faixa Ribeira tem orientação NE-SW, apresenta cerca de 1.400 km de extensão. A formação dessa faixa é resultado da interação entre o Cráton do São Francisco e outras placas, e/ou microplacas da

Serra do Mar e o paleocontinente do Congo, durante a orogênese Brasiliana (Heilbron *et al.*, 2000).

5.1. Geologia da região de Carrancas

Na região sul da borda meridional do Craton São Francisco (Petersen *et al.*, 2005), importante discordância regional, ora angular, ora litológica, separa o embasamento composto por ortognaisses e faixas tipo granito-greenstone, de sucessões metassedimentares mesoproterozóicas das seqüências São João Del Rei, Tiradentes e Carandaí e Neoproterozóicas da Megassequência Andrelândia (Ribeiro *et al.*, 1995; Paciullo *et al.*, 2003). As bacias mesoproterozóicas são intracratônicas, enquanto a Bacia Andrelândia é de margem passiva. O reconhecimento destas bacias foi possível a partir da constatação de quatro ciclos deposicionais de extensão regional, segundo os trabalhos descritas por Ribeiro *et al.* (1990) e Andreis *et al.* (1989). Esses ciclos são denominados em ordem estratigráfica, de Tiradentes, Lenheiro, Carandaí e Andrelândia, sendo que na Bacia de São João Del Rei estão registradas as rochas dos dois primeiros ciclos, na Bacia Carandaí está registrado ciclo de mesmo nome, assim como ocorre na Bacia Andrelândia. Estas bacias se desenvolveram entre 1,8 e 0,6 Ga, que representam valores das idades mais novas do embasamento e o primeiro episódio do Brasiliano respectivamente (Ribeiro *et al.*, 1995). Estas bacias estão compartimentadas em três domínios tectônicos pré-cambrianos: um autóctone (Domínio I) e dois alóctones (Domínios II e III).

5.2. Compartimentação Tectônica

O Domínio Autóctone é caracterizado pela transição do antepaís do Cráton do São Francisco para a porção autóctone da zona orogênica, apresenta ainda aumento da deformação de norte para sul, em direção ao interior da zona orogênica e dobras cada vez mais fechadas de São João Del Rei para sudeste (Ribeiro *et al.*, 1990).

No Domínio alóctone II, predominam sucessões de *nappes* e escamas empurradas que apresentam transporte tectônico de topo para ENE e intensa deformação dúctil resultantes da orogenia Brasiliana. A Faixa Ribeira interfere neste Domínio gerando zonas de cisalhamento dextrais subverticais SW-NE, e dobras com plano axial subvertical abertas e assimétricas com eixo com cimento para SW-NE e N-S, localmente sobrepõem-se às estruturas relacionadas à Faixa Brasília (Ribeira *et al.*, 1990). Ainda neste domínio, Paciullo *et al.* (1996) definiram a *klippe* Itumirim-Carrancas-Minduri, que é constituída de fatia de metassedimentos empurrados

sobre o domínio autóctone. O padrão estrutural/tectônico do Domínio alóctone III apresenta zona de interferência entre empurões da Faixa Brasília e zonas de cisalhamento transpressivas NE-SW, associadas à Faixa Ribeira. Ribeiro *et al.* (1995), descreve que a repetição estratigráfica de unidades do Ciclo Depositional Andrelândia associadas a lentes do embasamento caracteriza chave estrutural deste Domínio.

O embasamento é constituído por gnaisses migmatíticos, faixas tipo granito-greenstone e corpos granítoides e gabróicos, de idade pré-1.8 Ga (Teixeira & Figueiredo 1991 *in* Ribeiro *et al.*, 1995). Os gnaisses têm composição granodiorítica, tonalítica e trondhjemítica e na maioria são rochas ortoderivadas podendo formar migmatitos de injeção, em parte modificados por anatexia e/ou granulitizados. Paciullo *et al.* (1996) descrevem com base em análises modais que as composições tonalíticas predominam sobre as composições granodioríticas. Segundo estes autores, anfibolitos e rochas metaultramáficas estão associadas aos gnaisses, formando tanto enclaves de dimensões centimétricas como corpos de dimensões decamétricas.

5.3. Grupo Carrancas

O Grupo Carrancas é constituído pelas formações Campestre e São Tomé das Letras (Trouw *et al.*, 1983). A primeira apresenta muscovita quartzito placoso sobre magnetita-muscovita-biotita-quartzo gnaisse e a segunda granada-quartzo-muscovita xisto, no geral grafitoso e com lâminas rítmicas de quartzito fino, e níveis discretos de metacalcáreos. Intrusões de corpos discretos de rochas meta-ultramáficas ocorrem nos gnaisses e nos metassedimentos e demarcam zonas de cavalgamento entre ambos (Trouw *et al.*, 1983). Mais tarde foi proposto que o Grupo Carrancas faz parte da Megassequência Andrelândia, esta constituída por seis litofácies, sendo que o Grupo Carrancas é representado pelas litofácies A2 e A3 (Ribeiro *et al.*, 1995; Paciullo *et al.*, 2003; Trouw *et al.*, 2000 a, b).

A estratigrafia da Megassequência Andrelândia, que reúne em uma só bacia as rochas dos grupos Carrancas e Andrelândia, é questionada com base na assinatura isotópica e química do biotita xisto presente nos dois grupos. O biotita xisto do Grupo Carrancas apresenta características de depósitos derivados de área fonte continental, e as rochas metassedimentares do Sistema de *Nappes* Andrelândia apresentam assinaturas isotópicas diferentes, com alta razão Na/K e alto conteúdo de Sr, sugestivo de influência de terrenos do tipo arco magmático. Além disso, as idades modelo Sm-Nd indicam fontes diferentes para cada uma das unidades: o Xisto Santo Antônio, pertencente a *Nappe* Andrelândia, indicou idade modelo entre 1,16 e 1,38 Ga e $\epsilon_{\text{Nd}610\text{Ma}}$ entre +0,14 e -1,7, indicativos de área fonte neoproterozoica, distinta dos metapelitos, que apresentam idade modelo paleoproterozoica. O

biotita xisto Carrancas, se comparado aos metassedimentos do sistema de Nappes Andrelândia, apresenta assinatura isotópica incompatível com os demais, com idades modelo arqueanas e $\epsilon_{\text{Nd}610\text{Ma}}$ fortemente negativo de -18 (Campos Neto *et al.*, 2004, 2007).

5.4. Geologia Estrutural Regional

A *Klippe Carrancas* apresenta movimento tectônico de topo para ESE e nas *nappes* Luminárias e São Thomé das Letras o movimento tectônico de topo é para ENE, registrados por lentes assimétricas de foliação, grãos de granada com inclusões e outros indicadores cinemáticos (Quéménéur *et al.*, 2002). Os empurrões caracterizam-se por truncamentos de contatos, repetições estratigráficas e lentes de embasamento nos metassedimentos. Ocorrem lineações, foliações e dobras que correspondem a duas fases de deformação progressivas: D₁ e D₂. A foliação principal é clivagem de crenulação ou xistosidade plano-axial, gerada pelo evento D₂ (Quéménéur *et al.*, 2002). O evento D₃ deforma as estruturas geradas durante D₁ e D₂, gerando dobras abertas até apertadas e zonas de cisalhamento sub-verticais dextrógiras, sendo que a que mais se destaca regionalmente é a Zona de Cisalhamento Três Corações.

Esta zona de cisalhamento é sub vertical de direção NE-SW, dextrógira e movimento sub horizontal com espessura de 2 km e deslocamento horizontal de cerca de 12 km do eixo de uma dobra sinformal na área (Petersen, 1999). A estrutura trunca a *Klippe Carrancas*, as *nappes* Luminárias e São Tomé das Letras, além de unidades autóctones sotopostas, deslocando isógradas metamórficas (Heilbron *et al.*, 1985). Conforme se aproxima o centro da zona de cisalhamento, as dobras D₃ ficam gradativamente mais apertadas e as foliações, cada vez mais inclinadas, transformando-se em foliações miloníticas subverticais. Este movimento cisalhante foi responsável pela deformação dúctil-rúptil na escarpa norte da Serra do Pombeiro revelando-se como na falha reversa que trunca dobras D₃. As dobras D₃ são estruturas que ocorrem em diversas escalas, desde dobras regionais até discretas crenulações. Estas variam de fechadas ou quase isoclinais até abertas, caracterizando padrões distintos bem desenvolvidos nas áreas ao sul de Itumirim, especialmente na *Klippe Carrancas*. As dobras D₃ fechadas possuem planos axiais em torno de N60E/70SE e as dobras abertas N20W/70NE. Os eixos de cimento estão entre 0° e 30° para SE, S e SW. As dobras fechadas ocorrem principalmente na *Klippe Carrancas*, ao sul de Itumirim e próximo à Zona de Cisalhamento Três Corações (Heilbron., 1983).

O movimento cisalhante não ficou restrito às superfícies de empurrão na base das *nappes*, distribuindo-se através de sucessões metassedimentares e parte do embasamento

gerando lineações de estiramento com cimento suave para oeste, além de indicadores cinemáticos e dobras fechadas a isoclinais (Heilbron., 1983).

Nos xistos há crenulação com foliação plano axial bem desenvolvida, permitindo a distinção de duas fases de deformação D_1 e D_2 . Estas dobras variam de milimétricas a quilométricas, com eixos paralelos a lineação de estiramento e vergência tanto para norte quanto para sul. Estas fases de deformação D_1 e D_2 foram atribuídas à evolução da parte sul da Faixa Brasília e as estruturas D_3 são relacionadas à evolução do segmento central da Faixa Ribeira (Trouw, et al., 1994 e 2000; Ribeiro et al., 1995). Mas também há autores que interpretam que a região estudada pertença somente ao domínio da Faixa Brasília (Campos Neto et al., 2004).

5.5 Metamorfismo Regional

Trouw et al. (1984, 1986) e Paciullo et al. (1996) afirmam que o metamorfismo regional que afetou as rochas metassedimentares e o embasamento é do tipo Barroviano, justificado pela presença da associação mineralógica em rochas pelíticas de almandina, cianita, estaurolita e sillimanita. Entretanto, o mapeamento de isógradas, associado a estudos microtectônicos, evidenciou a existência de duas fases de metamorfismo, parcialmente superpostos (Ribeiro et al., 1995). As duas fases de metamorfismo estão associadas às Faixas Móveis Brasília e Ribeira, sendo o primeiro, associado à Faixa Brasília e caracterizado pela presença de cianita, estável até a fácie granulito coexistindo com feldspato potássico e o segundo associado à Faixa Ribeira, caracterizado por condições de pressão mais baixa, com presença de sillimanita e localmente, cordierita na fácie anfibolito. O metamorfismo associado à Faixa Brasília tem aumento nas condições do metamorfismo de leste para oeste, indo da fácie xisto verde médio, no domínio autóctone até fácie granulito, na *nappe* Varginha (Peternel et al., 2005). O segundo evento, metamorfismo Ribeira, apresenta aumento do metamorfismo de norte para sul, com pressões entre 2 e 6 kbar e temperatura máxima em torno de 670 °C (Peternel et al., 2005).

As condições de metamorfismo dentro da *Klippe* Carrancas aumentam de norte para sul, com transição da fácie xisto verde para a fácie anfibolito entre Itutinga e Carrancas. A distribuição global das diferentes paragêneses metamórficas evidenciou duas gerações: a primeira representa o metamorfismo principal progressivo concomitante ao evento deformacional D_2 , e a segunda produzindo caráter retrógrado, tardi a pós D_3 (Trouw, 1980; Heibron, 1983; Ribeiro, 1983). Foram propostas três isógradas para a região: aparecimento da granada almandina, aparecimento da estaurolita e o desaparecimento do cloritoide primário (Heibron, 1983; Ribeiro, 1983).

Mapa metamórfico procedente indicou a isógrada da estaurolita a oeste de Itumirim (Serra do Campeste), diferentemente dos trabalhos anteriores que a posicionaram nas proximidades de Itutinga, extremo leste da Serra do Pombeiro, mostrando assim, que a maior parte da *klippe* Carrancas se encontra na fácie anfibolito (Pavan, 2010; Pavan *et al.*, 2008, 2009). Paragêneses metamórficas da fácie xisto verde ocorrem nas serras do Campestre, Estância e Pombeiro, enquanto que nas serras de Carrancas e Bicas ocorrem paragêneses de fácie anfibolito (Trouw *et al.*, 1980).

Os primeiros cálculos *P-T* para as rochas do Grupo Carrancas foram feitos para amostra da Serra da Estância, próximo a Itumirim, utilizando-se minerais de metapelito e o programa THERMOCALC, com resultados de 550 °C e 7,5 kbar, (Campos Neto & Caby, 1999).

Estudos posteriores demonstraram que o metamorfismo nessas rochas aumenta desde a fácie xisto verde superior, a sudoeste de Itumirim, com paragênese cianita + clorita + clorítóide + muscovita + quartzo, até a fácie anfibolito inferior, na Serra da Estância com condições *P-T* para o pico do metamorfismo de $10,0 \pm 1,7$ kbar e 577 ± 8 °C na zona da estaurolita, que é alcançada com a quebra do clorítóide em presença de cianita (granada + estaurolita + clorita + muscovita + quartzo \pm clorítóide \pm cianita), podendo até chegar na fácie anfibolito-eclogito na Serra das Bicas com pressão de $12,9 \pm 1$ kbar e temperatura de $608,5 \pm 19,5$ °C, próximo a cidade de Carrancas (Pavan *et al.*, 2008). As isógradas propostas pelo autor estão representadas na figura abaixo (Figura 3).

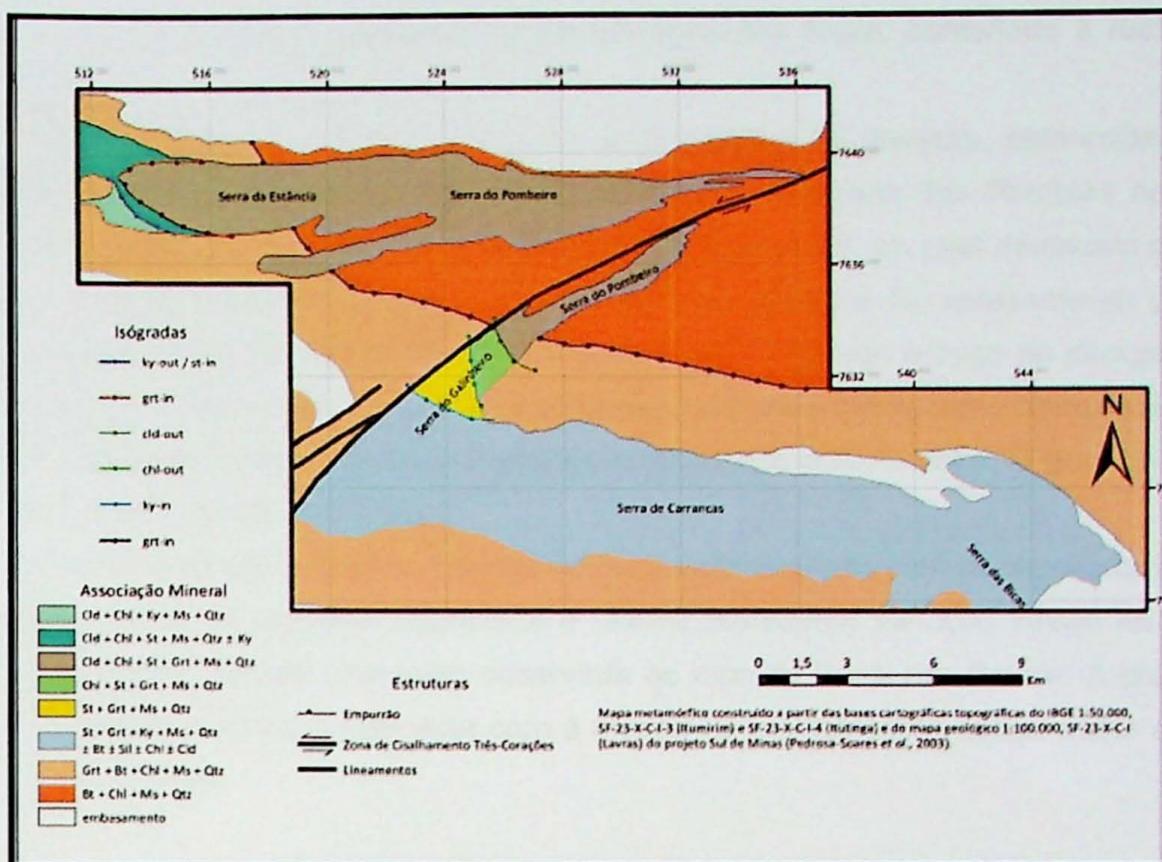


Figura 3. Mapa metamórfico da região da Serra de Carrancas. Extraído de Pavan *et al.* (2009).

6. Geologia Local

A área investigada no presente projeto inclui as exposições das serras de Carrancas, Bicas, Broas e Moleque (Figura 4). Ocorrem rochas das duas formações do Grupo Carrancas, quartzito da Formação São Tomé das Letras e os xistos com intercalações de quartzito da Formação Serra do Campestre. No norte da área estudada, na Serra de Carrancas, os xistos apresentam cor cinza claro, exibem leitos sub-milimétricos com ou sem presença de porfiroblatos, prevalecendo a textura lepidoblástica. Texturalmente as rochas são grano-lepidoblásticas com porfiroblastos de granada que podem atingir até 1 cm e matriz fina. A foliação principal S_2 apresenta-se crenulada, e é marcada pela orientação da muscovita, podendo também conter estaurolita.

Na porção central da área, na porção norte da Serra das Bicas e a extremo leste da Serra de Carrancas, as rochas não diferem das anteriores em questão textural e xistosidade. As rochas são grano-lepidoblásticas com porfiroblastos de granada e estaurolita podendo ocorrer cianita orientada na foliação principal (S_2), que apresenta-se crenulada. As rochas apresentam granulação fina a média. A presença de biotita na foliação principal, juntamente com a muscovita, marca seu crescimento concomitante ao evento deformacional principal, porém com

escassez a norte e aumento gradativo a sul na Serra das Bicas, conferindo à rocha textura lepidoblástica.

O biotita-muscovita-quartzo xisto com porfiroblastos de granada, estaurolita e cianita observados ao longo das serras das Bicas, Moleque e Chapada das Perdizes apresentam xistosidade e textura lepidoblástica com bandamento diferencial, no qual destacam-se bandas ricas em quartzo de textura granoblástica. A foliação principal S_2 apresenta-se crenulada, podendo haver cristais de cianita e estaurolita orientadas segundo o traço de clivagem destas crenulações, formando linhas L_3 . Estes litotipos foram observados como blocos salientes em encostas, cortes de estradas de terra e pequenas proeminências no chão. O grau de alteração intempérica variou de baixo a médio.

A unidade de intercalações rítmicas de muscovita quartzito com muscovita-quartzo xisto com porfiroblastos de granada, estaurolita e cianita representa variação lateral no ambiente deposicional desta unidade (transição observada no topo da Serra das Broas). A presença de biotita na foliação principal juntamente com a muscovita lepidoblástica atinge maior expressão na região sul da área.

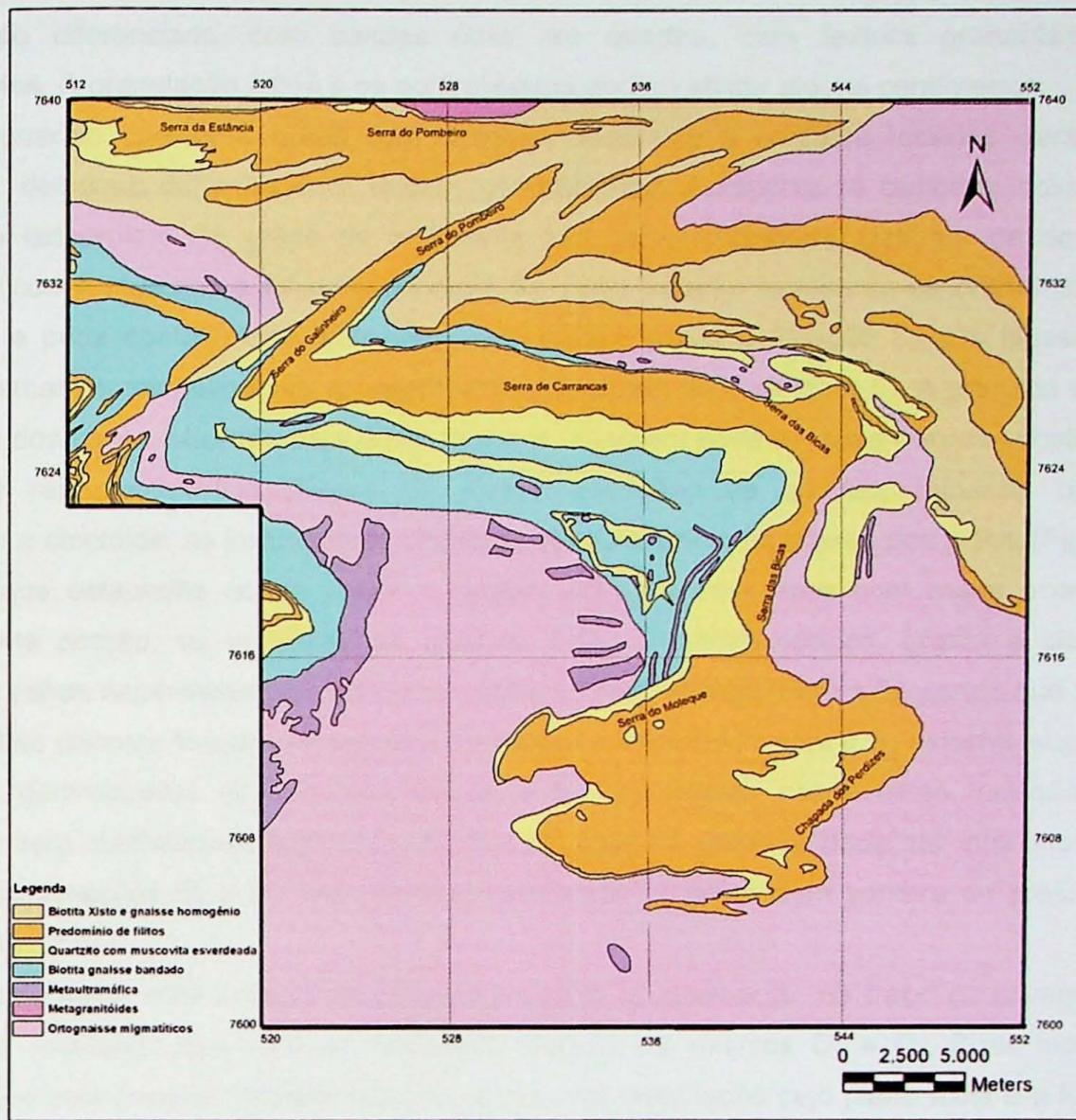


Figura 4. Mapa geológico da região das serras de Carrancas, Bicas e Moleque de Quémenéur *et al.* (2002).

7. Metamorfismo

7.1 Petrografia

Diversas amostras de metapelitos foram investigadas, nas quais são observadas variações modais significativas e apresentam como mineralogia essencial quartzo (com volumes entre 3 e 40%), muscovita (30-70%), biotita (3 - 7%), granada (3 - 20%), cianita (1 - 50%), estaurolita (1 - 25%) e clorita (1 - 15%), podendo também apresentar grafita, em volumes que variam entre 1 e 5%, e clorítóide (2%). Os minerais acessórios são rutilo, turmalina, zircão e monazita. Tal variação composicional pode representar heterogeneidades no ambiente de sedimentação das rochas, reforçando que a unidade de intercalações rítmicas de muscovita quartzito com muscovita-quartzo xisto com porfiroblastos de granada, estaurolita e cianita seria

apenas variação lateral dentro da unidade. A estrutura é xistosa e textura lepidoblástica com bandamento diferenciado, com bandas ricas em quartzo, com textura granoblástica e porfiroblastos. A granulação é fina e os porfiroblastos podem atingir alguns centímetros.

O quartzo apresenta grãos com extinção ondulante e contatos lobados, raramente poligonais, definindo domínios com textura granoblástica. Apresenta-se também inclusos em granada e estaurolita. Os grãos de muscovita são sub-idioblásticos, definem os domínios lepidoblásticos e marcam a foliação principal S_2 . Esta foliação apresenta-se crenulada pelo evento D_3 e pode conter clorita geminada, que cresce sobre a foliação S_2 . Os filossilicatos também formam arcos poligonais, representando resquícios da S_1 (Figura 5). A granada ocorre, na maioria dos casos, alterada para óxido de ferro. Também pode ter suas bordas substituídas por clorita retrometamórfica (Figura 6). Possui inclusões de quartzo, minerais opacos, estaurolita e cloritóide; as inclusões de cloritóide concentram-se no núcleo dos grãos (Figura 7) enquanto que estaurolita ocorre desde o núcleo até as bordas, mas com maior ocorrência nessa última porção; as inclusões de quartzo, rutilo, minerais opacos, grafita e cloritóide desenham trilhas espiraladas que indicam rotação do porfiroblasto (Figura 8), sendo que muitas dessas trilhas definem foliação interna que apresenta continuidade com a S_2 externa, sugerindo que estes porfiroblastos são sin-cinemáticos a S_2 . Em alguns casos estas inclusões são oblíquas e sem continuidade com a S_2 . Nestas situações a granada pode ser intercinemática entre as deformações D_1 e D_2 . Nas lâminas estudadas há grãos com sombra de pressão de quartzo (Figura 9).

A estaurolita está contida na foliação principal e, raramente, no traço da clivagem de crenulação, indicando que esta se cristalizou durante os eventos D_2 e D_3 . Suas inclusões mostram que este mineral também cresceu sobre uma crenulação cujo plano axial é a foliação principal S_2 . Pode estar geminada e envolta por clorita.

A cianita, quando presente, encontra-se sob a forma de grãos xenoblásticos a sub-idioblásticos e pode estar paralela à foliação principal, ou dobrada por D_3 (Figura 10) e orientada no traço da clivagem de crenulação (Figura 11). Quando em contato com a estaurolita, apresenta textura de reação química, indicando que pode ter sido formada a partir deste mineral através da reação da estaurolita e clorita formando cianita e granada, reforçada pela presença de inclusões de estaurolita nos porfiroblastos de granada. Quando envolta pela mesma, indica retrometamorfismo. Também pode estar desorientada na S_2 e ser substituída por muscovita. Os grãos de biotita, que ocorrem com menor freqüência no norte da área, na porção leste da Serra de Carrancas já nas proximidades da Serra das Bicas e com mais freqüência ao longo e a sul da mesma, são sub-idioblásticos, definem os domínios de textura lepidoblástica juntamente com a muscovita e marcam a foliação principal S_2 (Figura 12). Pode aparecer com contato difuso

nos grãos de granada e estaurolita indicando retrometamorfismo para a facies xisto verde. Os grãos de rutilo e turmalina são idiomálicos, enquanto os de monazita, sub-arredondados.

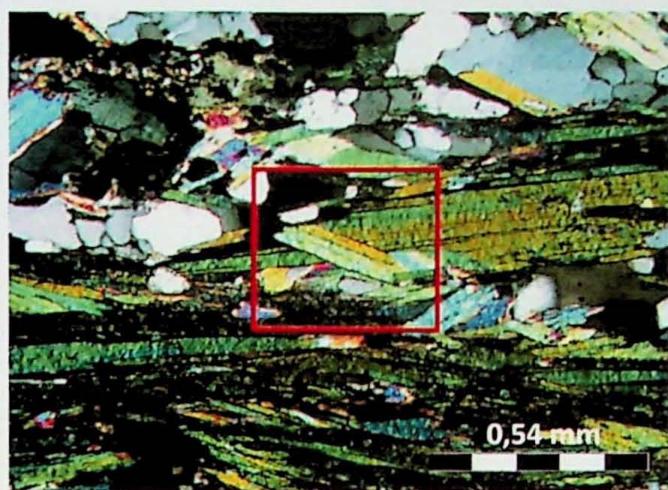


Figura 5. Fotomicrografia com destaque (quadradão vermelho) para um dos arcos poligonais de muscovita, que simbolizam resquícios de uma S_1 (polarizadores cruzados). Amostra CM-7-2.

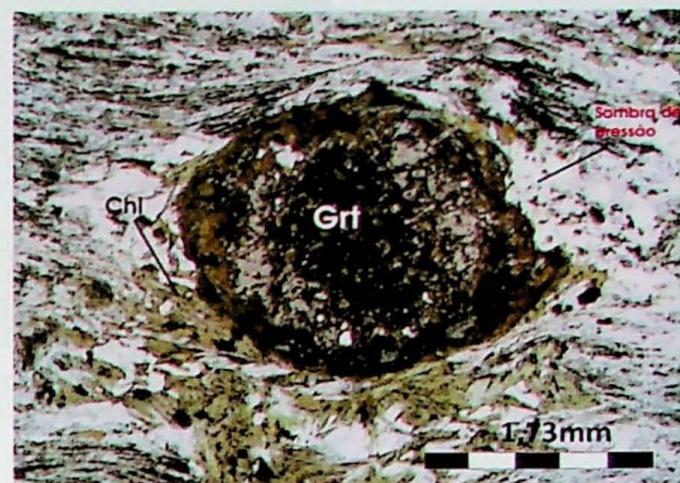


Figura 6. Fotomicrografia mostrando substituição de granada por clorita. Notar sombra de pressão em ambos os lados do porfiroblasto (polarizadores paralelos). Amostra CM-7-11.

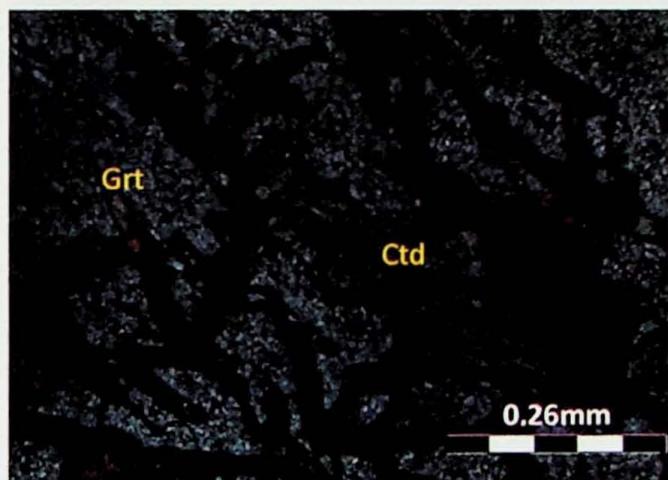


Figura 7. Fotomicrografia exibindo inclusões de cloritóide na granada (polarizadores paralelos). Amostra CM-3-01.

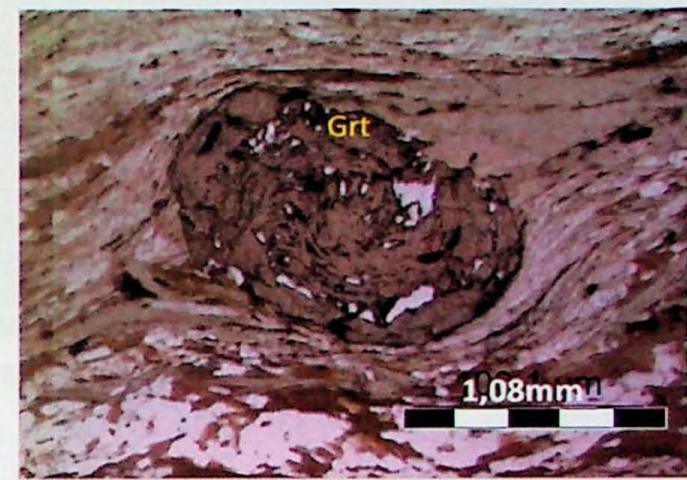


Figura 8. Fotomicrografia exibindo granada com inclusões que indicam rotação do porfiroblasto (polarizadores paralelos). Amostra CM-3-01.

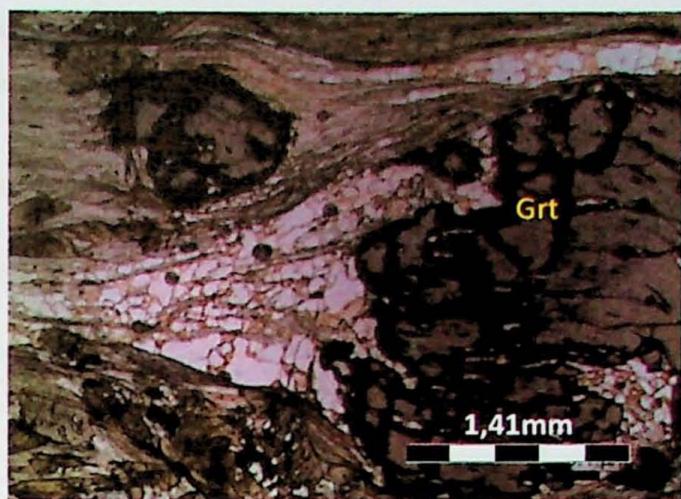


Figura 9. Fotomicrografia exibindo sombra de pressão de quartzo no porfiroblasto de granada (polarizadores paralelos). Amostra CM-2-62

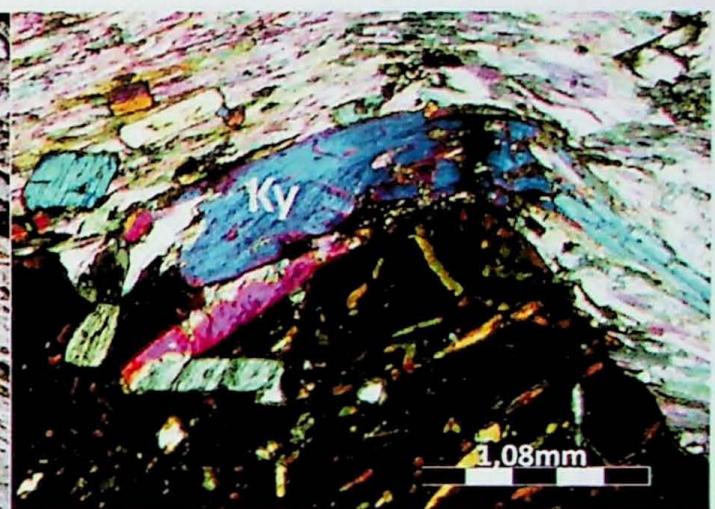


Figura 10. Fotomicrografias mostrando grão de cianita na S_2 dobrada por D^3 (polarizadores paralelos à esquerda e cruzados à direita). Amostra CM-7-17.

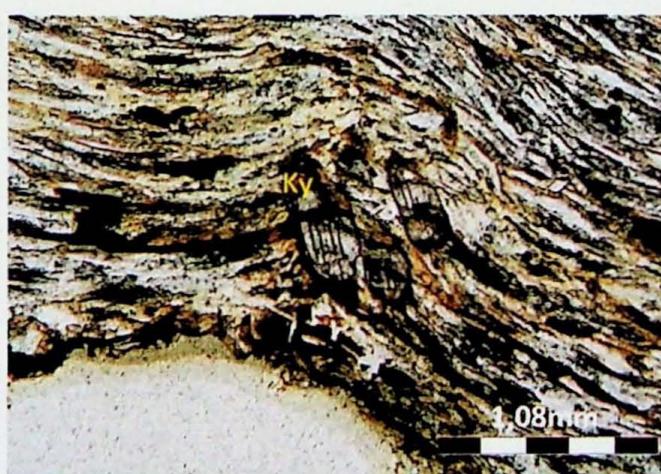


Figura 11. Fotomicrografia exibindo grãos de cianita orientadas segundo o traço da clivagem de crenulação (polarizadores paralelos). Amostra CM-7-17.

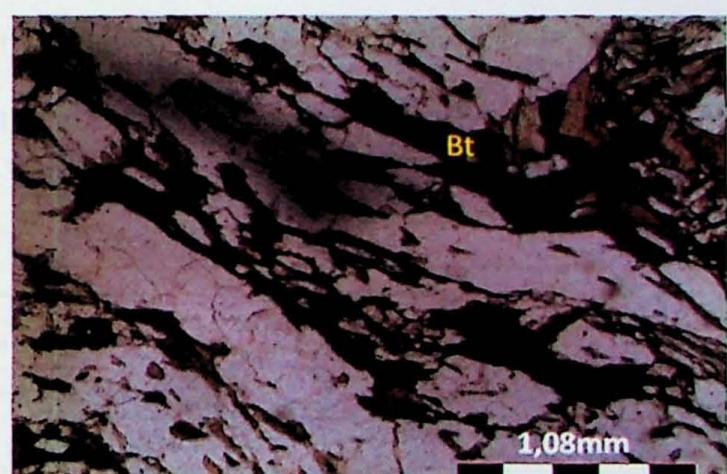


Figura 12. Fotomicrografia exibindo grãos de biotita orientados segundo a foliação principal, juntamente com a muscovita (polarizadores paralelos). Amostra CM-3-01.

As relações de blastese relativa entre os principais minerais e as foliações observadas estão representadas nas tabelas abaixo (Quadros 1, 2 e 3):

Quadro 1. Relações temporais relativas entre os principais minerais e as foliações no extremo noroeste da área, ao longo da Serra de Carrancas.

Minerais / Estágios	Pós-S ₁	S ₂	Pós-S ₂	S3	Pós-S3
Granada	—	—			
Cianita		—			
Muscovita	—		—		
Estaurolita		—			
Clorita	—				—
Clorítóide	—				

Quadro 2. Relações temporais relativas entre os principais minerais e as foliações no extremo nordeste da área, na Serra de Carrancas na transição para a Serra das Bicas.

Minerais / Estágios	Pós-S ₁	S ₂	Pós-S ₂	S3	Pós-S3
Granada	—			—	
Cianita		—	—	—	
Muscovita	—		—	—	
Estaurolita		—	—	—	
Clorita	—				—
Biotita		—	—		
Clorítóide	—				

Quadro 3. Relações temporais relativas entre os principais minerais e as foliações no extremo sul da área, na Serra das Bicas.

Minerais / Estágios	Pós-S ₁	S ₂	Pós-S ₂	S3
Granada		—	—	
Cianita		—	—	—
Muscovita		—		
Estaurolita		—		—
Clorita			—	
Biotita		—		
Clorítóide	—		—	

7.2 Química Mineral

Uma vez que a composição química dos diversos minerais presentes em equilíbrio no pico metamórfico possibilita a determinação das condições de pressão e temperatura do metamorfismo, foram analisados grãos de biotita, muscovita, granada, estaurolita e plagioclásio de duas lâminas para esse fim. As amostras CM-7-143 e CM-6-103a, foram coletadas, respectivamente, nas serras das Bicas e Moleque. Estas foram escolhidas de acordo com análise petrográfica de detalhe, com intuito de selecionar amostras frescas, com baixo grau de intemperismo, e presença do maior número de fases minerais em equilíbrio.

As análises foram feitas com Microssonda Eletrônica JEOL, modelo JXA – 8600S, com voltagem de 15 kV, corrente de 20 nA, feixe com diâmetro de 5 μm . As análises foram feitas no Laboratório de Microssonda Eletrônica do Instituto de Geociências da USP. Minerais naturais foram usados como padrões para os elementos. As análises feitas encontram-se no Anexo 2.

7.2.1 Micas

As micas analisadas foram biotita e muscovita. Estes filossilicatos representam a principal fase da matriz, e ocorrem em todas as lâminas em proporções variadas. A biotita, por vezes ocorre nas bordas da granada, substituindo-a, o que pode indicar caráter retrometamórfico, porém para análise de química, tomou-se o cuidado para escolher grãos orientados na foliação, interpretados como cristalizados na progressão do metamorfismo. Os maiores grãos de muscovita foram escolhidos para análise, nos quais fossem permitidas as análises em perfil.

Em gráfico Na vs. K, a biotita da lâmina CM-7-143 mostrou-se com composição mais rica em sódio, com mínimo de 0,036 e máximo de 0,053 a.p.f.u., do que na lâmina CM-6-103a, mínimo de 0,022 e máximo de 0,034 a.p.f.u., permanecendo na porção direita do mesmo (Figura 13). Em relação ao potássio, os grãos de biotita de ambas as lâminas não apresentam padrão quando comparado ao sódio e há grande variação compositinal. Seus valores variam de 0,766 a.p.f.u. a 0,866 a.p.f.u. na lâmina CM-7-143 e 0,771 a.p.f.u a 0,877 a.p.f.u. na lâmina CM-6-103a.

Em gráfico Ti vs. Mg e Al vs. Si+Mg é possível verificar as variações composituais da muscovita. No primeiro, os grãos da lâmina CM-7-143 apresentam pequena variação da composição, portando pequena quantidade de Ti relacionado com pequena quantidade também de Mg (Figura 14). Já nos grãos da lâmina CM-6-103a maior variedade compositinal é observada, com valores de Ti e Mg maiores que a primeira lâmina. No segundo gráfico, Al vs.

Si+Mg foi possível observar que a concentração destes elementos é inversamente proporcional, ou seja, a medida que aumenta a quantidade de Si+Mg diminui a quantidade de Al (Figura 15). A dependência destes elementos está relacionada com a substituição $Al^{VI} Al^{IV} Mg_{-1} Si_{-1}$ (vetor de troca), ou seja, saída de dois átomos de alumínio de sítios tetraédrico e octaédrico e entrada de magnésio e silício, substituição conhecida como Tschermak.

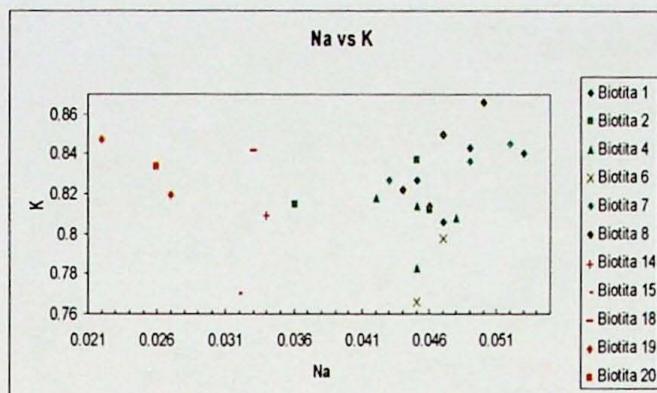


Figura 13. Gráfico de Na vs. K de biotita das lâminas CM-7-143 (tonalidades de verde) e CM-6-103a (tonalidades de vermelho).



Figura 14. Gráfico Al vs. Si+Mg de muscovita das lâminas CM-7-143 (tonalidades de verde) e CM-6-103a (tonalidades de vermelho).

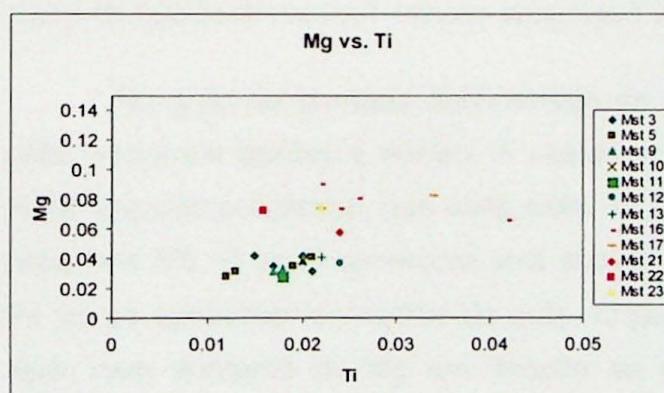


Figura 15. Gráfico de Mg vs. Ti de muscovita das lâminas CM-7-143 (tonalidades de verde) e CM-6-103a (tonalidades de vermelho).

7.2.2 Granada

A granada é mineral muito importante para os cálculos de pressão e temperatura, pois o mineral apresenta estrutura cristalina simples, amplo espectro composicional e sua cristalização ocorre em quase todas condições de pressão e temperatura, o que o torna ideal na participação de vários geotermômetros e geobarômetros. A troca de Fe e Mg com outros minerais ferro-magnesianos, tais como biotita, estaurolita, anfibólio e piroxênio, é a base para muitos

geotermômetros, e as reações de transferência de rede envolvendo plagioclásio são úteis como geobarômetros (Spear, 1993).

Na amostra CM-7-143, foram feitas análise em dois porfiroblastos de granada, com contornos irregulares, dividida em dois campos da lâmina (Grt 1 pertencente ao campo 1, e Grt 5, pertencente ao campo 2, Figura 16).

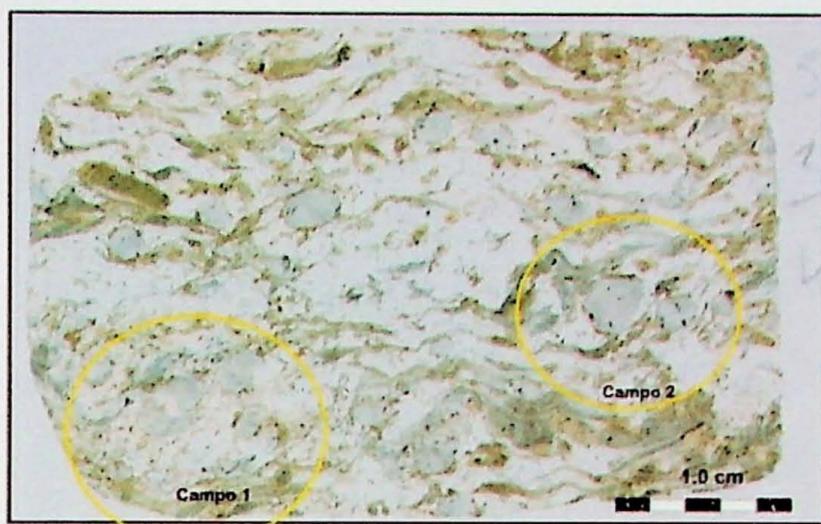


Figura 16. Foto da lâmina CM-7-143 com os campos 1 e 2 de análise.

No grão de granada denominado de Grt1, foi feito perfil com 21 análises ao longo do grão, incluindo bordas e núcleo. A composição é dominada por almandina, variando de 78 a 82%, seguida por piropo, que varia entre 13 e 16%; os valores de espressartita e grosulária são próximos 3%. O perfil apresenta sutil abaulamento de almandida com pequeno decréscimo de Fe ao se aproximar do núcleo do grão. O perfil de piropo é levemente abaulado em forma de sino, com aumento de Mg em direção ao centro do grão (Figura 17). A segunda granada analisada (Grt5), com 20 análises ao longo de perfil, também apresenta predominância de almandina, entre 75 e 82 %, seguida por piropo com 13 a 15%, com espressartita e grossularia com concentrações próximas a 3%. Pelos perfis realizados é possível verificar que existem variações nas proporções dos membros finais, com aspecto de sino achatado, com pequeno abaulamento de piropo, espressartita e grossularia com diminuição de Mg, Mn e Ca das bordas para o núcleo (Figura 18). A almandina apresenta padrão abaulado com concavidade para cima, com aumento de Fe do núcleo para as bordas.

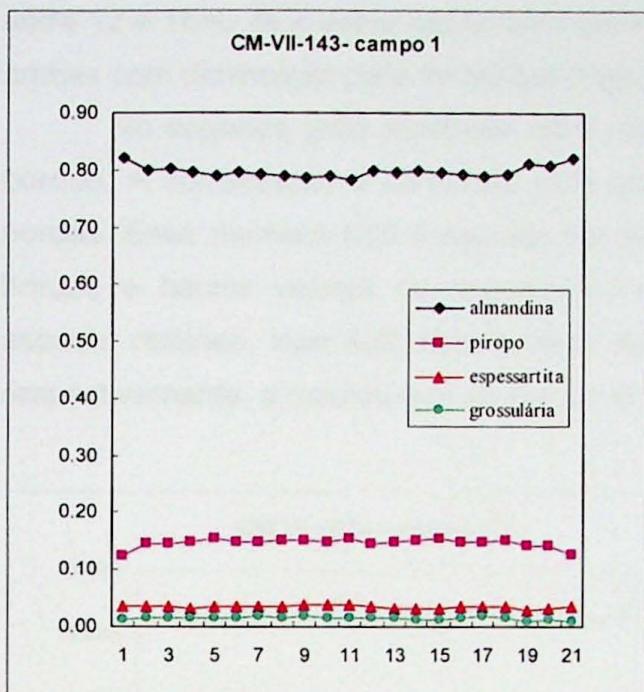


Figura 17. Perfil composicional da granada da lâmina CM-7-143-campo 1.

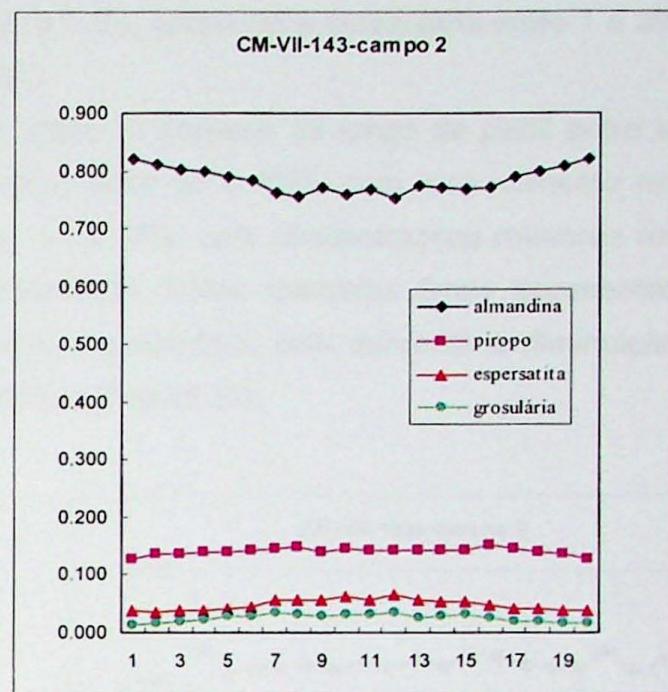


Figura 18. Perfil composicional da granada da lâmina CM-6-143-campo 2.

Na amostra CM-6-103a, foram feitas análises em dois grãos de granada, um do campo 1 (Grt 3) e outro do campo 2 (Grt 4) (Figura 19).

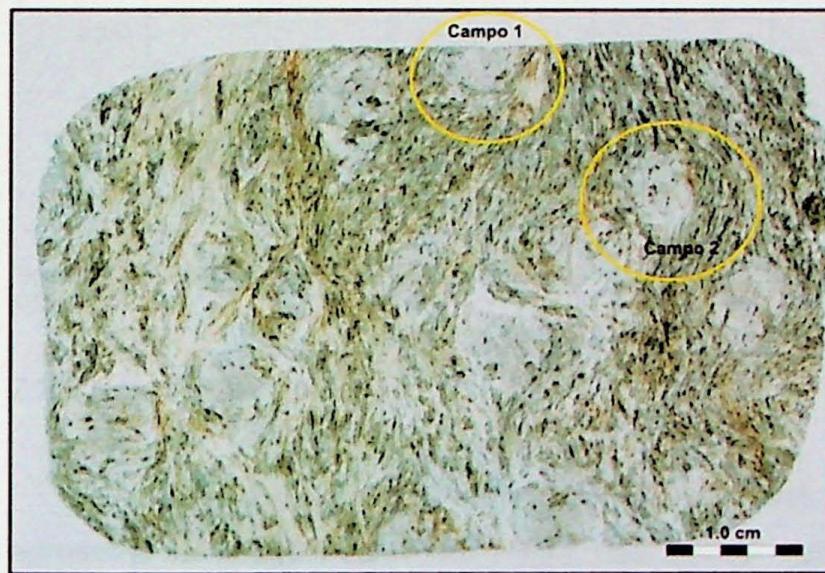


Figura 19. Foto da lâmina CM-6-103a com os campos 1 e 2 de análise.

No grão Grt3, foi feito perfil com 20 análises. A composição é dominada por almandina, seguida de piropo, espessartita e grossularia. A almandina varia de 82 e 84% e sua distribuição é homogênea, com perfil retilíneo, não apresentando variação deste membro final. Piropo apresenta util abaulamento com aumento de concentração em direção às bordas, variando

entre 12 e 16%. Já a espessartita varia entre 0,05 e 1,4%, enquanto a grossulária entre 1 e 3%, ambas com diminuição para as bordas (Figura 20).

No segundo grão analisado, Grt4, foram feitas 19 análises ao longo de perfil entre as bordas. A composição é dominada pela almandina, entre 82 e 86%, com leve aumento nas bordas. Esse membro final é seguido por piropo, 12 a 16%, com concentrações menores nas bordas e baixos valores de espessartita e grossulária. Estes membros finais apresentam aspecto retilíneo, com sutil abaulamento de piropo e almandina, com aumento e diminuição, respectivamente, a medida que se aproxima do núcleo (Figura 21).

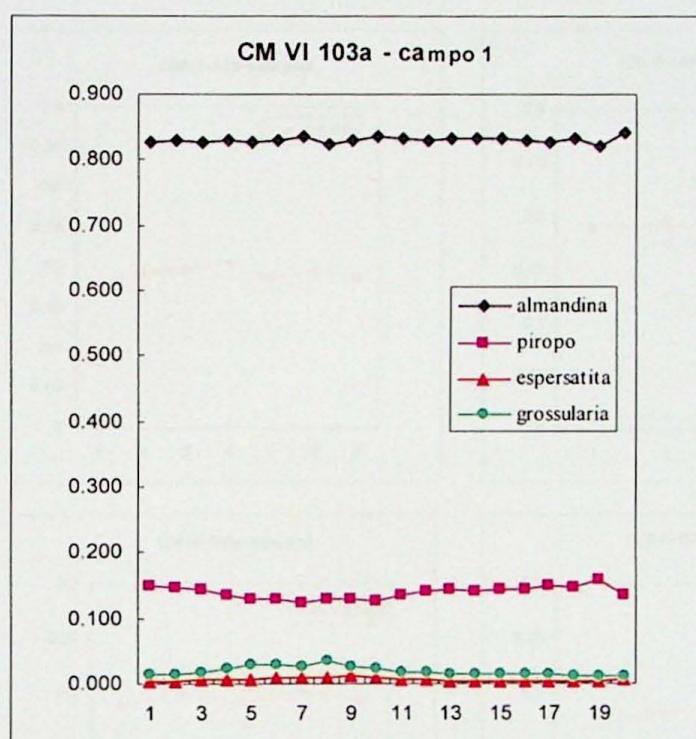


Figura 20. Perfil composicional da granada da lâmina CM-6-103a-campo 1.

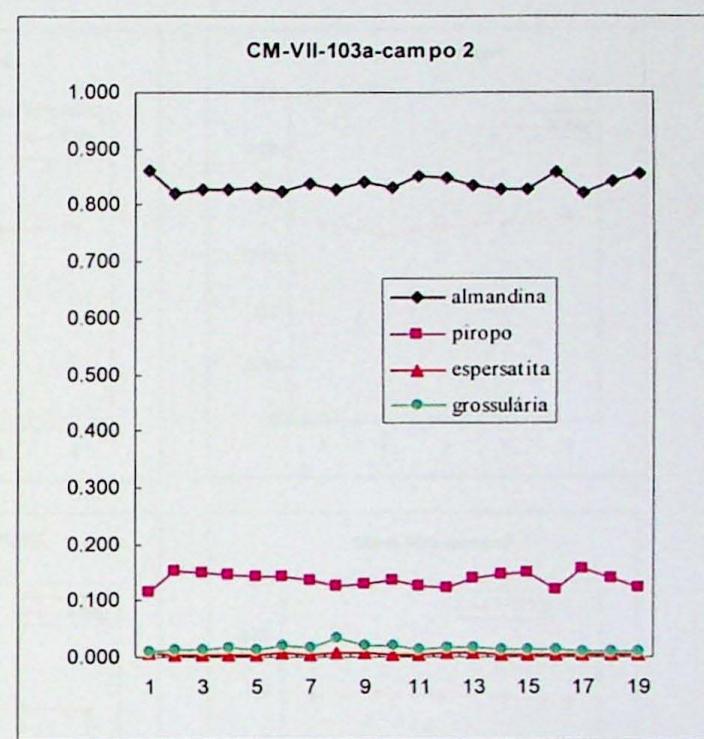


Figura 21. Perfil composicional da granada da lâmina CM-6-103a-campo2.

7.2.3 Estaurolita

A estaurolita é um mineral metamórfico diagnóstico de fácies anfibolito em metapelitos e apresenta-se amplamente distribuída nas serras das Bicas, Moleque e Carrancas em quantidades variadas. Foram feitos perfis ao longo de 11 grãos de estaurolita das duas lâminas analisada. Todos apresentaram padrão retilíneo, com pequenas variações de X_{Mg} (Figura 22), sem nenhuma relação do aumento ou diminuição ao se aproximar da borda do grão. Seus valores de máximo estão na ordem de 0,2 e seus valores mínimos são 0,18, o que demonstra a pequena amplitude de variação composicional (0,03).

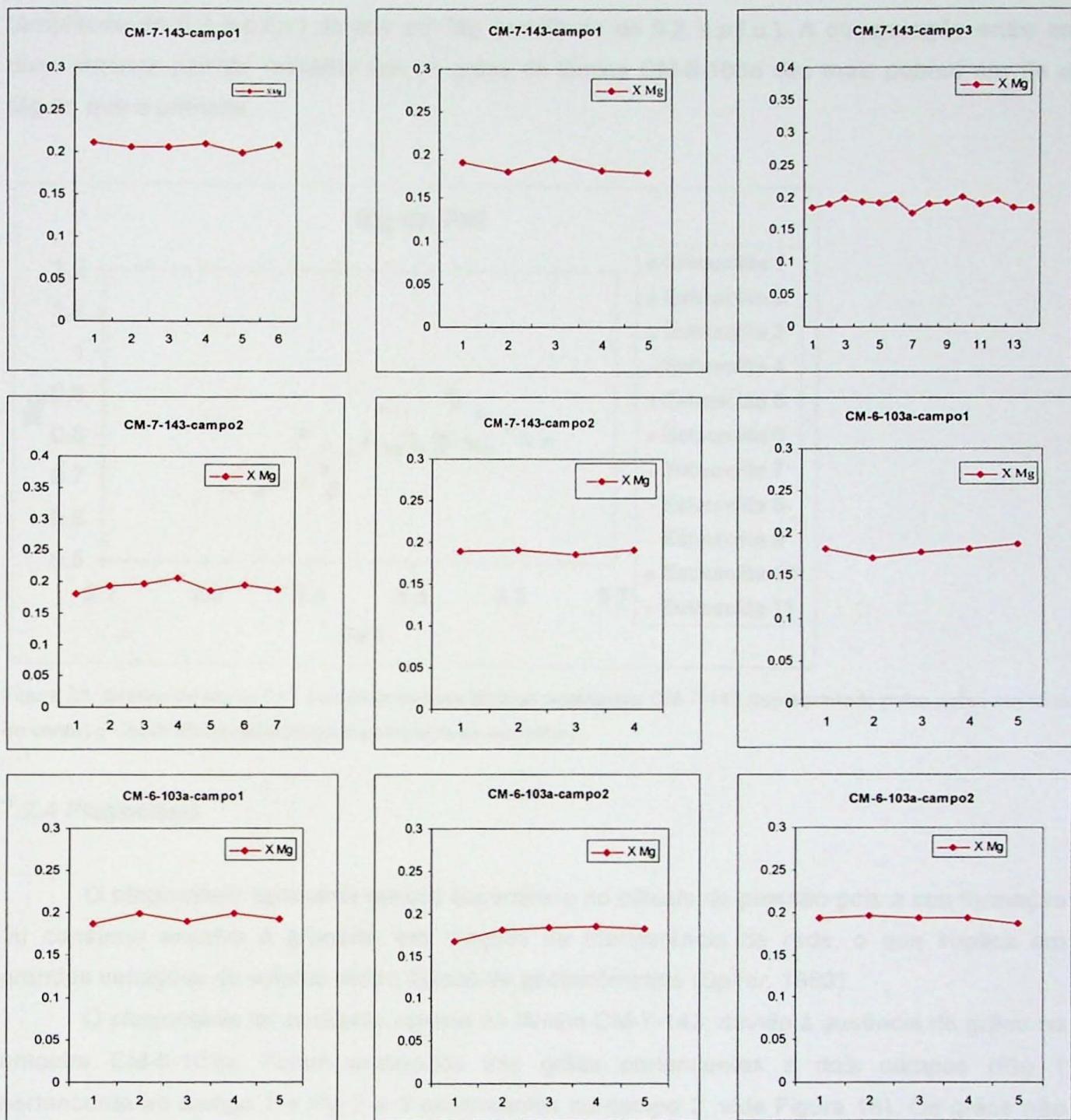


Figura 22. Gráficos de X_{Mg} em diversos grãos de estaurolita.

A partir do gráfico Fe vs. Mg (Figura 23), pode-se observar que a lâmina CM-7-143, representada pela diversas tonalidades de verde, os grãos de estaurolita apresentam maiores quantidades de Fe (3,386 a.p.f.u.) do que Mg (0,814 a.p.f.u.) nos grãos de estaurolita. Possui padrão retilíneo, com maior variação em Fe (amplitude de 0,4 a.p.f.u.), do que Mg (amplitude de 0,2 a.p.f.u.). Na lâmina CM-6-103a, representados pelas diversas tonalidades de vermelho, os grãos de estaurolita também apresentam o padrão retilíneo, com maior variação em Fe

(amplitude de 0,3 a.p.f.u.) do que em Mg (amplitude de 0,2 a.p.f.u.). A comparação entre as duas lâminas permite ressaltar que os grãos da lâmina CM-6-103a são mais pobres em Fe e Mg do que a primeira.

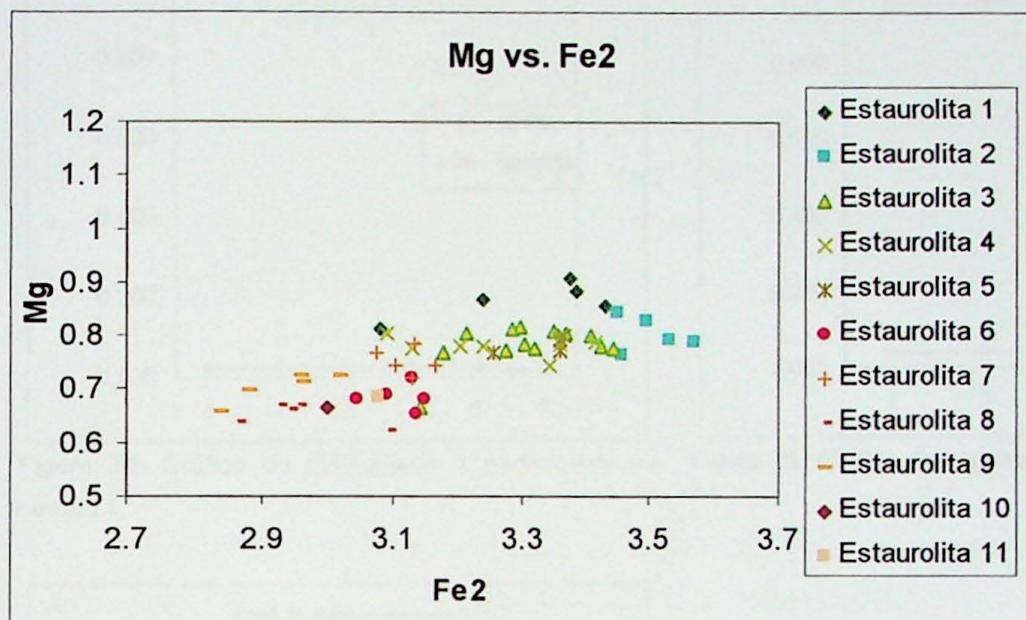


Figura 23. Gráfico de Mg vs Fe^{2+} contendo as duas lâminas analisadas: CM-7-143 (representado pelas cores em tons de verde) e CM-6-103a (representadas pelos tons de vermelho).

7.2.4 Plagioclásio

O plagioclásio apresenta grande importância no cálculo de pressão pois a sua formação ou consumo envolve a granada, em reações de transferência de rede, o que implica em grandes variações de volume molar, típicas de geobarômetros (Spear, 1993).

O plagioclásio foi analisado apenas na lâmina CM-7-143, devido à ausência de grãos na amostra CM-6-103a. Foram analisados três grãos pertencentes a dois campos (Plg 1 pertencente ao campo 1 e Plg 2 e 3 pertencentes ao campo 2, vide Figura 16). Os grãos não apresentam variação composicional, e as análises apontam grande quantidade de albita (acima de 98%) (Figura 24, 25 e 26). Esse resultado está fora do esperado, uma vez que para rochas que atingiram a fácie anfibolito o plagioclásio deveria conter teores de anortita superiores a 17. Esse resultado pode significar a pequena quantidade de Ca presente na rocha. O que não condiz com a verdade, uma vez que a rocha apresenta grande quantidade de granada, mineral este que possui cálcio em sua estrutura cristalina. Pode-se dizer então, que o plagioclásio é pós-cinemático.

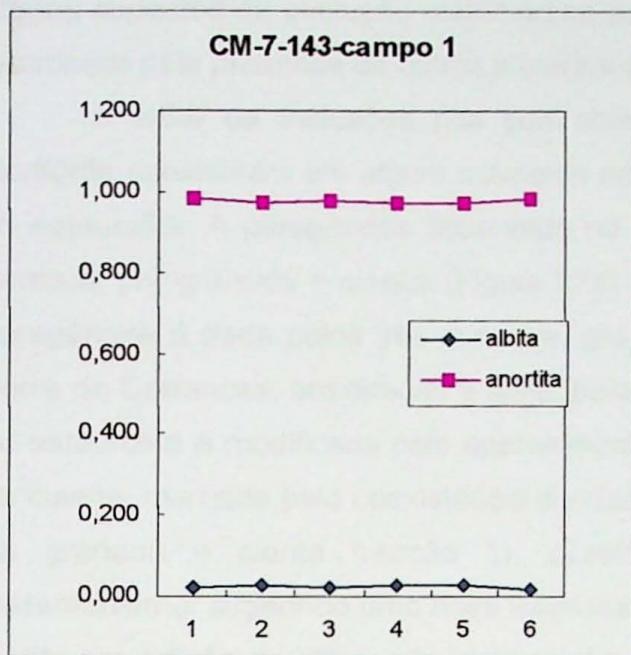


Figura 24. Gráfico do plagioclásio 1 pertencente ao campo 1.

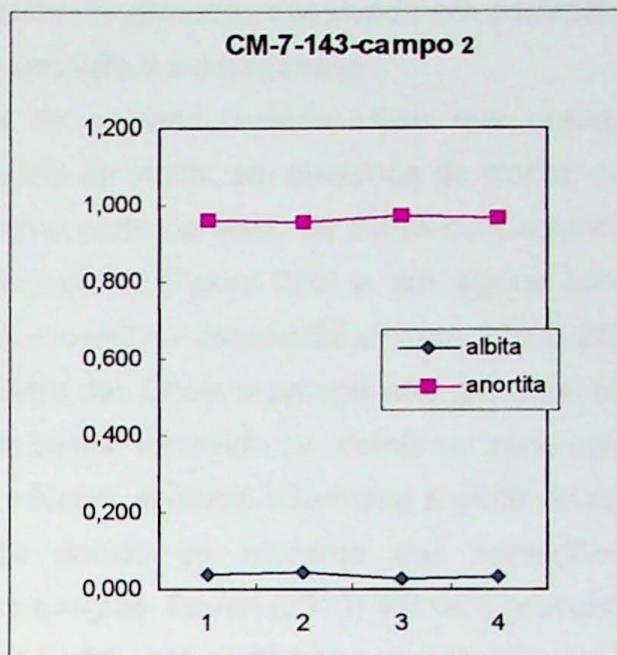


Figura 25. Gráfico do plagioclásio 2 pertencente ao campo 2.

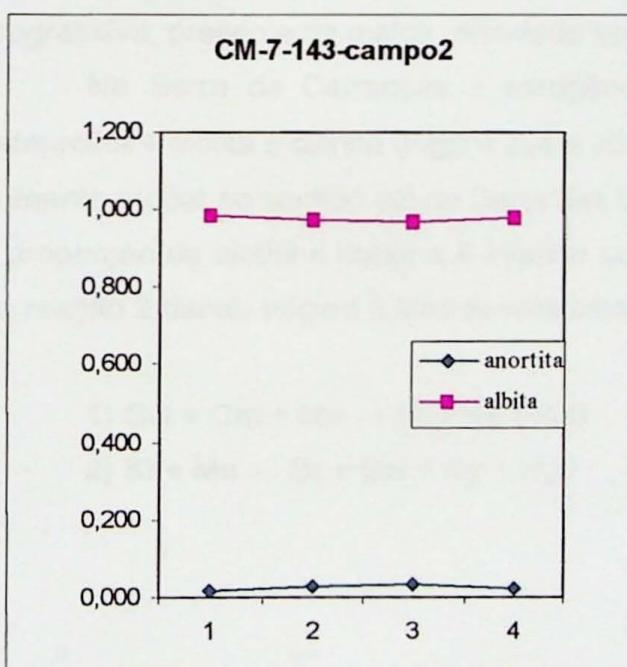


Figura 26. Gráfico do plagioclásio 3 pertencente ao campo 2.

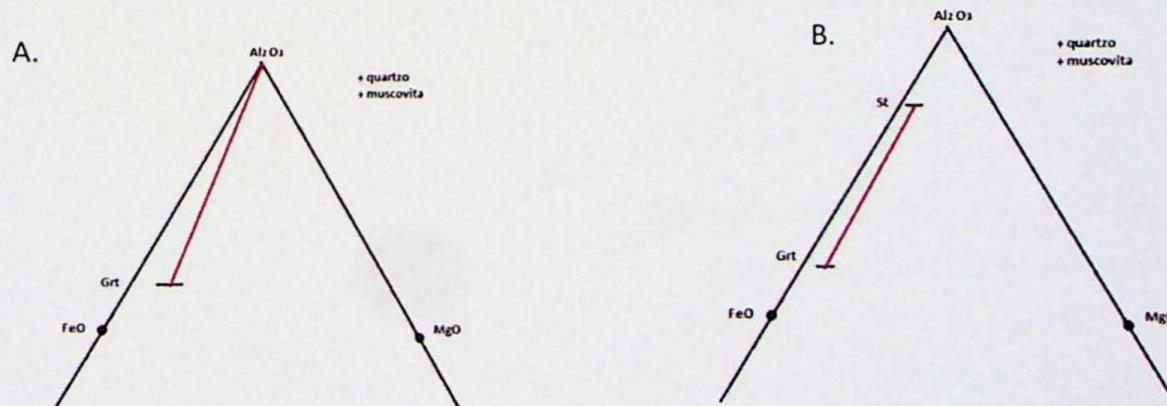
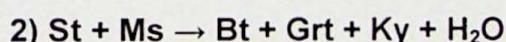
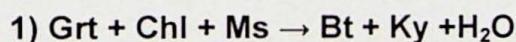
7.3 Caracterizações do metamorfismo

Na área trabalhada as paragêneses observadas indicam condições da fácie anfibolito, pois são caracterizadas pela presença, na maior parte das amostras e de afloramentos descritos em campo, de estaurolita \pm cianita. Ainda é possível detalhar com maior precisão

alguns aspectos da evolução metamórfica pela suíte de inclusões observada em porfiroblastos e também pela presença de outros minerais que completam a paragênese.

A suíte de inclusões nos porfiroblastos de granada permite inferir que granada e clorítóide coexistiram em algum momento na história da rocha, em presença de clorita, cianita ou estaurolita. A paragênese observada no extremo norte da área, na Serra de Carrancas, é formada por granada + cianita (Figura 27a) ou estaurolita (Figura 27b) e, em alguns casos, a paragênese é dada pelos três minerais, granada + cianita + estaurolita (Figura 27c e 28). Da Serra de Carrancas, em direção a leste, para a Serra das Bicas, a paragênese granada, cianita ou estaurolita é modificada pelo aparecimento da biotita, inserindo as rochas na zona clássica da cianita, marcada pela coexistência de cianita + biotita. A última é formada a partir da reação da granada e clorita (reação 1), ocasionada devido ao aumento das condições de metamorfismo, sugerindo uma nova isógrada para a região. Pavan (2010) afirma a presença da biotita em adição de sillimanita, associação que não foi observada nas amostras do presente estudo, na Serra de Carrancas são retrometamórficas e formadas por descompressão, porém sob análises minuciosas das lâminas da área, indicaram que esse filossilicato também é progressivo, presente na matriz, orientado segundo a foliação principal.

Na Serra de Carrancas a paragênese metamórfica é caracterizada por granada + estaurolita + biotita \pm cianita (Figura 29a e 30), na qual a biotita ocorre em baixa proporção, com aumento modal no sentido sul da Serra das Bicas. Nas proximidades da Chapada das Perdizes a proporção de biotita é maior e é inferido que o pico metamórfico foi atingido pelo cruzamento da reação 2 dando origem à paragênese cianita+granada+biotita (Figura 29b).



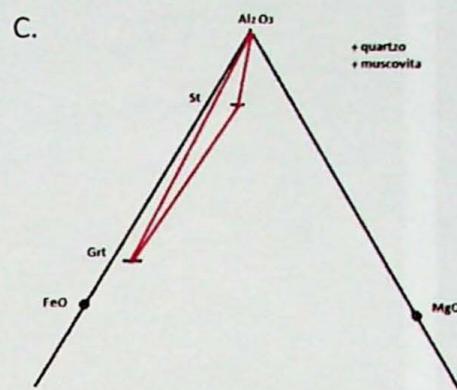


Figura 27. Diagrama AFM com a) granada + cianita, b) granada + estaurolita e c) granada + cianita + estaurolita.

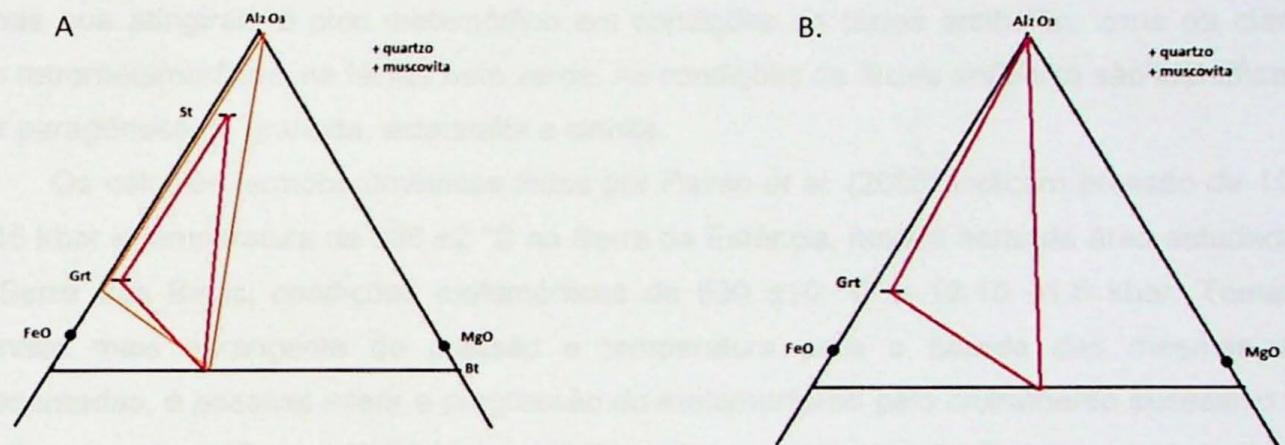


Figura 29. Diagrama AFM com: a) estaurolita+granada+biotita (em vermelho) ± cianita (laranja) e b) cianita+granada+biotita.

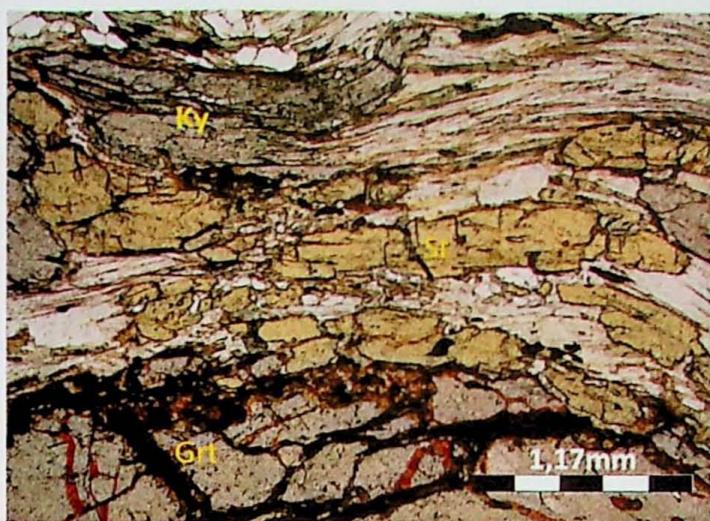


Figura 28. Fotomicrografia exibindo paragênese com estaurolita, granada e cianita (polarizadores paralelos, lado maior da foto = 3,5mm). Amostra CM7-69.

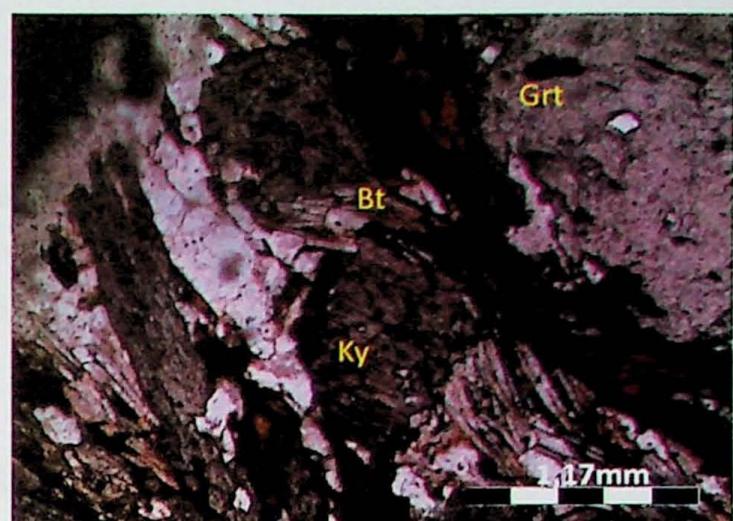
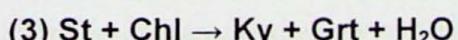


Figura 30. Fotomicrografia exibindo paragênese com biotita, granada e cianita (polarizadores paralelos, lado maior da foto = 3,5mm). Amostra CM7-69.

As descrições e interpretações das lâminas e suas respectivas paragêneses evidenciam rochas que atingiram o pico metamórfico em condições da fácie anfibolito, zona da cianita, com retrometamorfismo na fácie xisto verde. As condições da fácie anfibolito são identificadas pela paragênese de granada, estaurolita e cianita.

Os cálculos termobarométricos feitos por Pavan *et al.* (2008) indicam pressão de 10.65 \pm 0,45 kbar e temperatura de 586 \pm 2 °C na Serra da Estância, mais a norte da área estudada e, na Serra das Bicas, condições metamórficas de 630 \pm 10 °C e 12.15 \pm 1.5 kbar. Tomando intervalo mais abrangente de pressão e temperatura para o cálculo das mesmas aqui apresentadas, é possível inferir a progressão do metamorfismo pelo cruzamento sucessivo das reações de estaurolita + clorítóide formando cianita e granada (reação 3) a temperatura de 610 °C e 9 kbar de pressão; e granada e clorítóide formando biotita e cianita (reação 1) a temperatura 630 °C e pressão de 10 kbar, atingindo o pico metamórfico a 650 °C e 11 kbar na Serra das Bicas com o consumo da estaurolita e formação da paragênese biotita, granada e cianita (reação 2). (Figura 29b e 30).



Por apresentar teor significativo de minerais aluminosos, a biotita encontra-se em paragênese com estes, evidenciada pela coexistência de biotita e cianita, indicando formação a temperaturas superiores a 640 °C.

O metamorfismo progressivo é evidenciado tanto pela presença de restos de granada, indicando consumo da mesma, para a formação de cianita e estaurolita, quanto pela presença de clorítóide prismático incluso na granada, como mostra a reação (4).

(4) $\text{Ctd} \rightarrow \text{St} + \text{Grt} + \text{Chl} + \text{H}_2\text{O}$

O retrometamorfismo em fácies xisto verde é evidenciado pela presença de clorita e clorítóide (Figura 31) tanto na borda de porfiroblastos de granada e estaurolita, quanto dispersos na matriz, cortando a foliação principal S_2 .

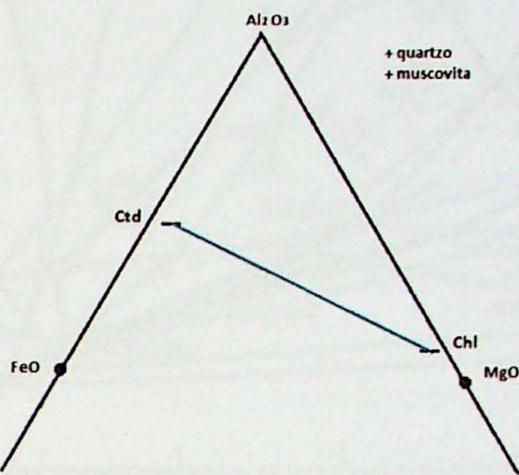


Figura 31. Diagrama AFM mostrando retrometamorfismo de clorita e clorítóide.

Assim, a evolução metamórfica inferida se deu a partir do caminhamento mostrado no diagrama KFMASH (Figura 32), com pico metamórfico a 650 °C na fácies anfibolito e paragênese biotita, granada e cianita (campo de estabilidade indicado por rosa) e retrometamorfismo a temperaturas inferiores a 560 °C e pressão de 7 kbar na transição entre fácies anfibolito e xisto verde.

Sabendo que o sistema KFMASH é um modelo simplificado em relação ao que ocorre na natureza, quando os outros elementos envolvidos na composição dos minerais são acrescidos ao sistema químico, a linha univariante da reação é transformada em um campo. Assim sendo, a linha de quebra de estaurolita para a formação de granada, cianita e biotita, em um sistema ideal, torna-se um campo, representando o verdadeiro campo de estabilidade dos mesmos. Assim, no gráfico do sistema KFMASH apresentado a seguir, a região em rosa representa o campo de estabilidade após a quebra da estaurolita e formação do campo da cianita+biotita, na qual o pico metamórfico foi alcançado.

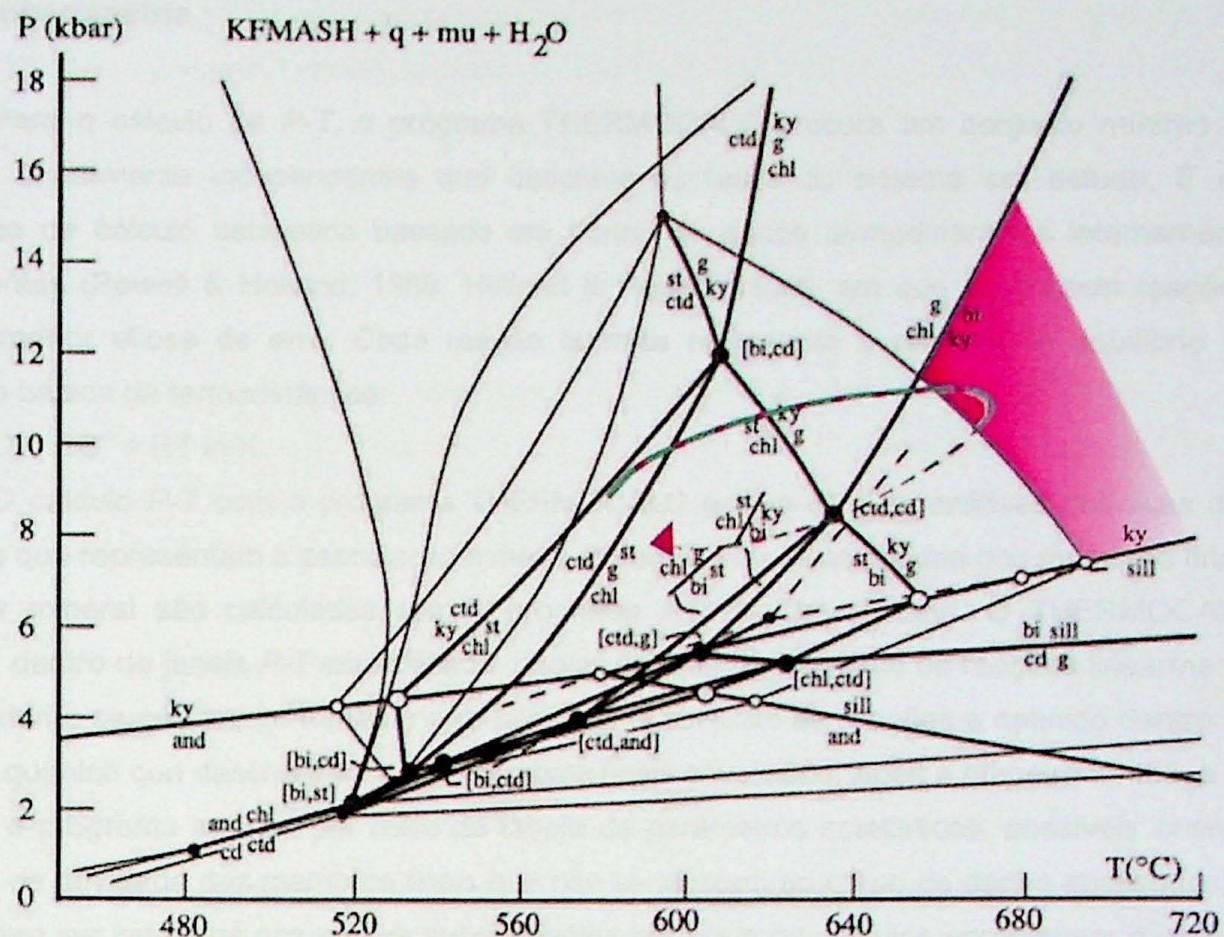


Figura 32. Grade petrogenética do sistema KFMASH de Powell & Holland (1990).com a trajetória $P-T$ inferida com base nas observações texturais e o campo de estabilidade dos minerais no pico metamórfico.

A foliação principal S_2 teve seu pico metamórfico em fácies anfibolito, evidenciados pela orientação de cristais de estaurolita e cianita, e pelo contato lobado entre cristais de quartzo. Estes minerais índices estão orientados segundo o traço da clivagem plano axial à superfície de crenulação (S_3), indicando que o pico metamórfico também ocorreu em fácies anfibolito. Não foram identificados minerais índices na S_1 , portanto não foi possível a identificação das condições de metamorfismo do evento deformacional D_1 .

As paragêneses observadas ao longo da área permitiu a confecção do mapa metamórfico, mostrando diagramas AFM em cada porção das serras estudadas, e sua mudança gradual das condições de pressão e temperatura evidenciada pela presença da biotita + cianita. Essa isógrada foi delimitada através da primeira ocorrência de biotita em maior quantidade, uma vez que o mineral foi observado ao longo da Serra de Carrancas em quantidade ínfima. A isógrada proposta localiza-se na porção nordeste da área, mais especificadamente na transição da Serra de Carrancas e Serra das Bicas (Anexo 1).

8. Termobarometria

Para o cálculo de $P-T$, o programa THERMOCALC procura um conjunto mínimo de reações linearmente independentes que descreve as fases do sistema em estudo. É um programa de cálculo estatístico baseado em banco de dados termodinâmicos internamente consistentes (Powell & Holland, 1988, Holland & Powell, 1998), em que se cruzam reações, com a menor elipse de erro. Cada reação química representa a relação de equilíbrio da equação básica da termodinâmica:

$$\Delta G^\circ = RT \ln K$$

O cálculo $P-T$ com o programa THERMOCALC é feito com as análises químicas dos minerais que representam a associação mineral em equilíbrio. As atividades dos membros finais de cada mineral são calculadas com o programa Ax, de Tim Holland. O THERMOCALC procura, dentro de janela $P-T$ especificada, o local em que um conjunto de reações linearmente independente se cruza com o menor erro possível. O conjunto de reações é definido dentro do sistema químico que descreva todos os membros finais envolvidos. Após a primeira tentativa de cálculo, o programa aponta, por meio de tabela de parâmetros estatísticos, possíveis *outliers* (valores de atividade dos membros finais que não se ajustam ao corpo de dados analisados) e que devem ser retirados nas etapas subsequentes para que os cálculos apresentem o melhor resultado estatístico.

Para o estudo do metamorfismo nas rochas da área em questão foram submetidos no programa intervalos de pressão de 8 a 12 kbar e temperatura de 400 a 800 °C, conforme campo de estabilidade das paragêneses observadas. Os valores resultantes mostraram-se próximos, porém com sutil diferença.

Para a lâmina referente à Serra das Bicas (CM-7-143-campo1) os cálculos $P-T$ foram feitos utilizando-se a associação quartzo, granada, estaurolita, cianita, biotita, muscovita e albita. As condições de pressão de $11,16 \pm 2,2$ kbar foram calculadas sem a presença de paragonita, por se tratar de *outliner*, e temperatura de 638 ± 30 °C e 641 ± 35 °C, com e sem a presença de plagioclásio, respectivamente. A comparação entre os valores resultantes demonstra que o plagioclásio não modifica significadamente na determinação da temperatura. A análise seguinte, pertencente ao mesmo campo da lâmina (campo1), consiste na substituição de muscovita por outra análise mais rica em Fe e Mg, com o intuito de investigar a variação nas condições de pressão e temperatura. Dado o resultado ($11,25 \pm 2,16$ kbar e 638 ± 30 °C), com ausência de paragonita, Fe-celadonita e celadonita (*outliers*), a análise indica valores próximos ao anterior, com pequena variação. No campo 2, os dados obtidos são discrepantes se comparados aos obtidos no campo 1 resultando valores de pressão de $9,52 \pm 1,73$ kbar (sem

paragonita) e $9,55 \pm 3,63$ kbar (sem paragonita e plagioclásio). Os resultados apresentam erro muito superior ao calculado no campo anterior, quase um terço da pressão dada, expondo uma análise errática quando calculada na ausência de plagioclásio. O resultado pode estar associado à escolha de análises de minerais composicionalmente muito diferentes dos anteriores. O cálculo de temperatura resultou em 620 ± 22 °C e 618 ± 25 °C, ambas sem paragonita e apenas a segunda sem plagioclásio, expondo novamente a indiferença deste mineral para o cálculo de temperatura.

As condições metamórficas estipuladas na lâmina da Serra do Moleque (CM-6-103a campo1) foram de $10,00 \pm 2,27$ kbar e 643 ± 32 °C. Os cálculos foram feitos sem Fe-celadonita por ser um *outliner*, o foi indicado pelo programa para ser excluído, resultando o valor de $10,79 \pm 1,82$ kbar e 647 ± 28 °C, muito aproximado dos dados anteriores do campo 1 da lâmina CM-7-143.

As análises feitas indicaram o pico metamórfico a 11.16 ± 2.2 kbar e de 641 ± 35 °C para a Serra das Bicas com sutil aumento nas condições metamórficas para a Serra do Moleque com pressão de 10.79 ± 1.82 kbar e temperatura de 647 ± 28 °C.

Esses valores, quando plotados em diagrama KFMASH, com barras de incertezas associados, reduz o campo de estabilidade das rochas, indicando condição metamórfica mais precisa (Figura 33). Ainda neste diagrama foram plotados os valores calculados por Pavan *et al.* (2008) com pressão de $10,65 \pm 0,45$ kbar e temperatura de 586 ± 2 °C na Serra da Estância, mais a norte da área estudada e, na Serra das Bicas, condições metamórficas de 630 ± 10 °C e 12.15 ± 1.5 kbar.

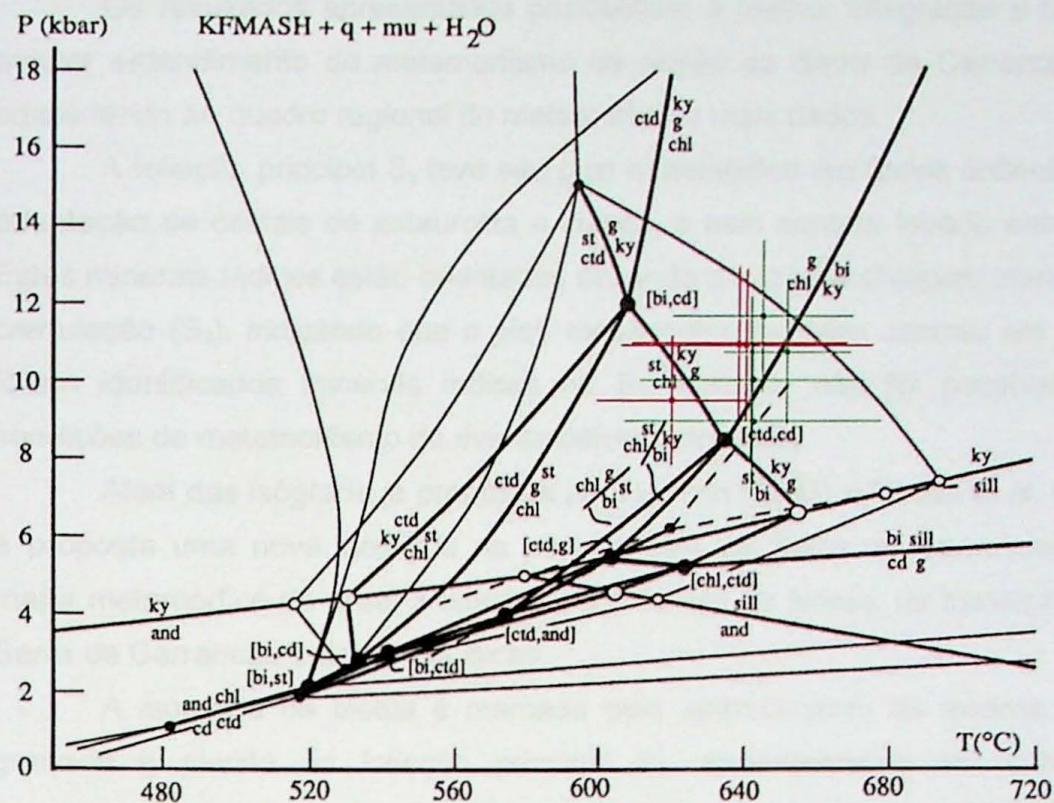


Figura 33. Grade petrogenética do sistema KFMASH de Powell & Holland (1990) com os resultados P - T calculados com o programa THERMOCALC. Os resultados em vermelho são da amostra CM-7-147 e em verde da amostra CM-6-103a.

É possível identificar que os valores calculados por Pavan *et al.* (2008) atingiram condições metamórficas inferiores aos apresentados neste trabalho, com pressão maior, porém com temperatura menor, 586 ± 2 °C na Serra da Estânci e, 630 ± 10 °C na Serra das Bicas. Esse resultado aponta para um gradativo aumento nas condições de *P-T* de norte (Serra da Estânci e Serra de Carrancas) para sul (Serra das Bicas e do Moleque).

8. Conclusões

Os metapelitos constituem o mais importante grupo de rochas para o estudo da evolução metamórfica devido sua grande sensibilidade à variação de temperatura e pressão, produzindo minerais em seqüência progressiva, e registrando assim, suas foliações metamórficas, permitindo o estabelecimento da cronologia relativa da cristalização dos minerais metamórficos relativamente a elas, além de apresentarem larga distribuição nos terrenos de estudo.

Os resultados apresentados possibilitam a melhor integração e também possibilitaram melhor entendimento do metamorfismo da região da Serra de Carrancas, Moleque e Bicas, adicionando ao quadro regional do metamorfismo mais dados.

A foliação principal S_2 teve seu pico metamórfico em fácies anfibolito, evidenciados pela orientação de cristais de estaurolita e cianita, e pelo contato lobado entre cristais de quartzo. Estes minerais índices estão orientados segundo o traço da clivagem plano axial à superfície de crenulação (S_3), indicando que o pico metamórfico também ocorreu em fácies anfibolito. Não foram identificados minerais índices na S_1 , portanto não foi possível a identificação das condições de metamorfismo do evento deformacional D_1 .

Além das isógrada já propostas por Heibron (1983) e Pavan *et al.* (2008), neste trabalho é proposta uma nova isógrada na porção leste da Serra de Carrancas, complementando o mapa metamórfico da área: a isógrada da entrada da biotita, na transição na porção oeste da Serra de Carrancas e Serra das Bicas.

A isógrada da biotita é marcada pelo aparecimento da mesma em paragênese com granada e cianita na foliação principal S_2 , caracterizando as rochas da região como pertencentes à zona da cianita, fácies anfibolito, com temperatura de 641 ± 35 °C e $11,16 \pm 22$ kbar na Serra das Bicas com sutil aumento das condições metamórficas na Serra do Moleque: 646 ± 24 °C para pressões de $11,73 \pm 1,85$ kbar. A biotita foi formada a partir do consumo da estaurolita. Essa observação está em acordo com o aumento das condições metamórficas, de norte para sul, nas rochas do Grupo Carrancas.

As condições de $P-T$ aqui calculadas adicionalmente com os valores calculados por Pavan *et al.* (2008) confirmam que o metamorfismo aumenta da Serra da Estância em direção à Serra do Moleque. Pavan *et al.* (2008) afirma que a pressão e temperatura que as rochas da Serra da Estância atingiram são de $10,65 \pm 0,45$ kbar e 586 ± 2 °C, e na Serra das Bicas de 630 ± 10 °C e $12,15 \pm 1,5$ kbar. Uma vez que os valores do autor referentes a Serra das Bicas são sutilmente diferentes dos aqui apresentados, pode-se complementar que a pressão calculada pelo mesmo foge do esperado, com valores superiores discordantes com a linha de quebra da estaurolita, agregando uma elipse de erro maior.

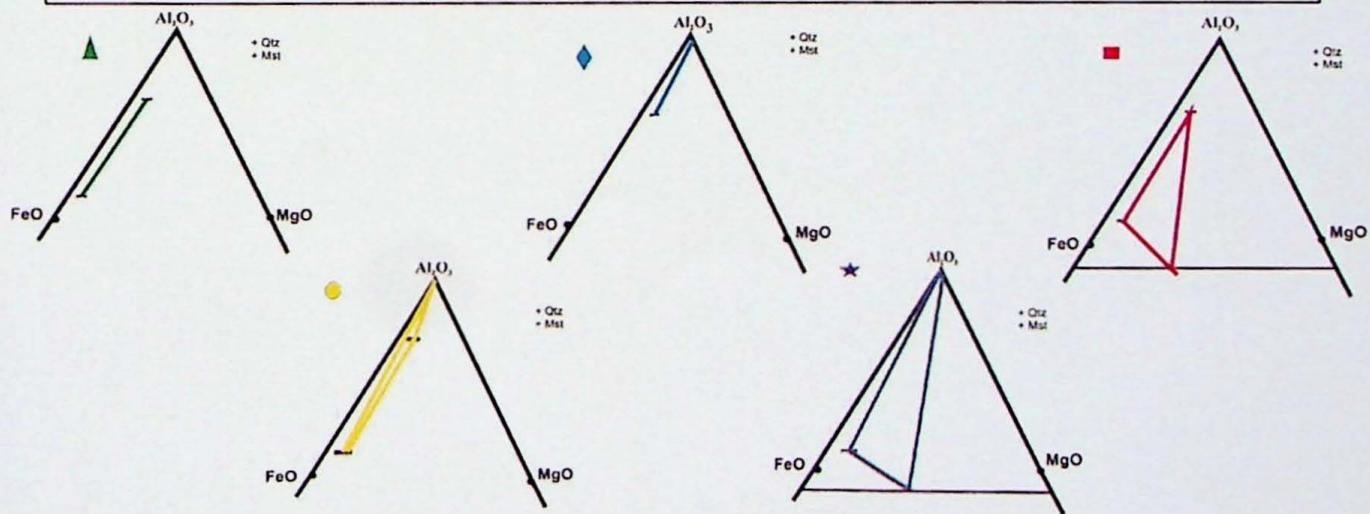
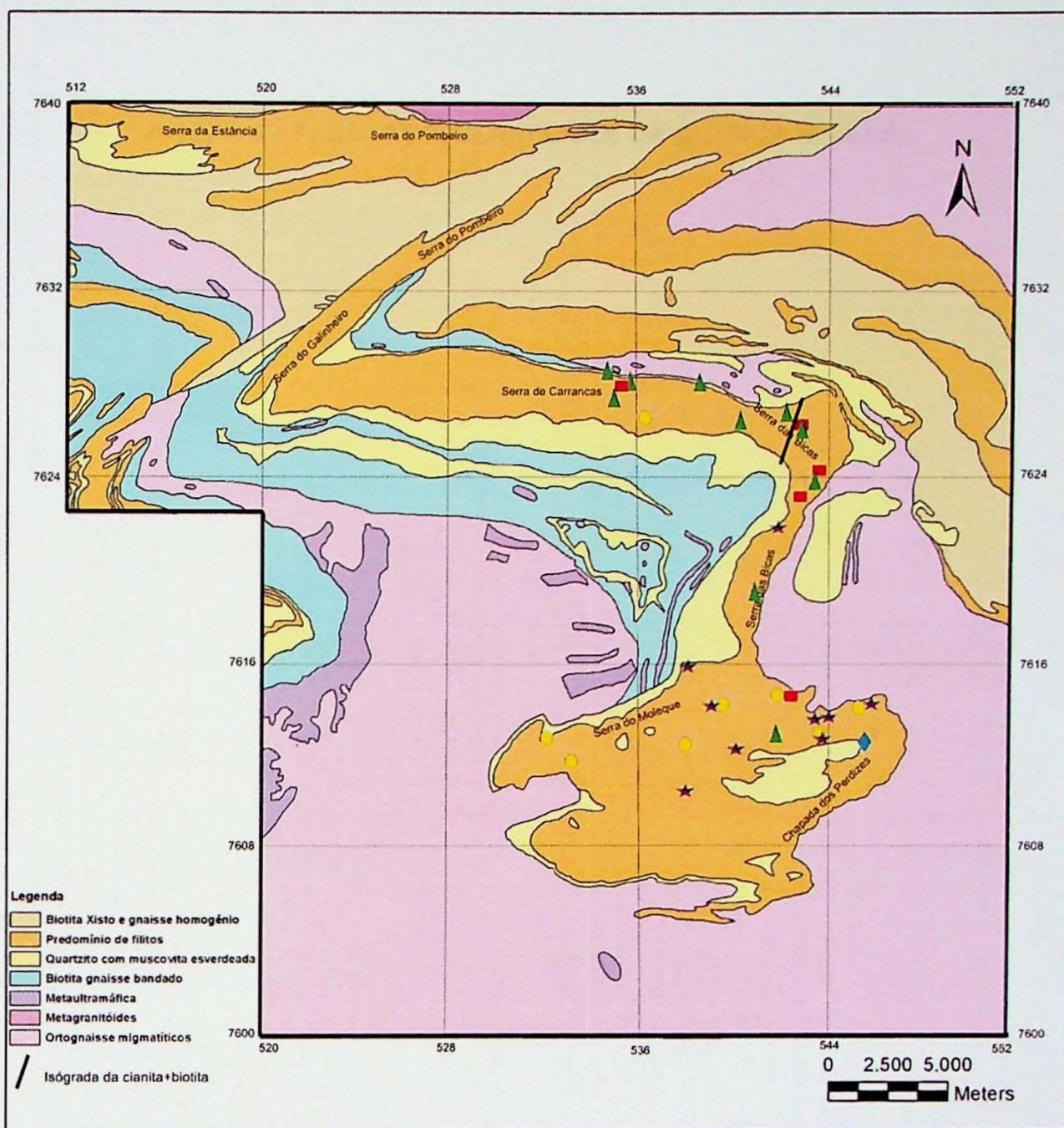
Ainda, grãos de clorita nas bordas dos porfiroblastos de granada e muscovita evidenciam o retrometamorfismo para a fácies xisto verde com a diminuição de P e T , para valores de 560 °C e 7 kbar aproximadamente.

Bibliografia

- Andreis, R. R., Paciullo, R., F.V.P, Ribeiro, A., 1989. Ciclos Depositionais No Proterozoico Das Folhas Barbacena e Divinópolis (setor sul) 1:250.000. in ISIMP.GEOL.SUDESTE, Rio de Janeiro 1989. Resumos...Rio de Janeiro, SBG, p 97-98.
- Bucher, K & Frey, M. 2002. *Petrogenesis of Metamorphic Rocks*. 7th Edition. Berlin, Springer Verlag. 318p.
- Campos Neto, M.C., 2004. Migração de orógenos e superposição de orogênses: um esboço da colagem brasiliiana no sul cráton São Francisco, SE – Brasil. Geologia USP: Série Científica, v. 4, n. 1, p. 13-40, 2004.
- Campos Neto, M.C. & Caby, R. 1999. Neoproterozoic high-pressure metamorphism and tectonic constraint from the nappe system south of the São Francisco Craton, Southeast Brazil. *Precambrian Research* 97, 3-26.
- Campos Neto, M.C., Janasi, V.A., Basei, M.A.S., Siga Jr, O. 2007. sistema de nappes Andrelândia, setor oriental: litoestratigrafia e posição estratigráfica. *Revista Brasileira de Geociências* 37, 855-868.
- Heilbron, M. 1983. Dados preliminares sobre a geologia e o metamorfismo da área entre Itutinga e Madre de Deus. Anais do 2º Simpósio de Geologia de Minas Gerais, BH. 387-401.
- Heilbron, M., 1985. O metamorfismo da área de Itutinga-Madre de Deus de Minas - MG. In: 3º Simpósio de Geologia de Minas Gerais, Anais, 219-233.
- Heilbron M., Mohriak W., Valeriano C.M., Milani E., Almeida J.C.H., Tupinambá M. 2000. From Collision to Extension: The Roots of the Southeastern Continental Margin of Brazil. In: W.U. Mohriak & M. Talwani (eds) Atlantic rifts and continental margins. Am. Geoph. Union, Geophysical Monographss, Washington, Serie 115, p.1-32.
- Holland, T.J.B. and Powell, R. 1998. An internally-consistent thermodynamic data set for phases of petrological interest. *Journal of Metamorphic Geology*, 16, 309-343.
- Paciullo, F.V.P; Fonseca; Andreis R.R; Ribeiro, A. TROW R.A, WIEDEMANN., 1996. Contribuição à Geologia Do Sul de Minas Gerais edição das folhas 1:50.000 Itumirim, Itutinga, Madre de Deus, Luminárias, Minduri e Andrelândia.
- Paciullo F.V.P., Trouw R.A.J., Ribeiro A. 2003. Geologia da Folha Andrelândia. In: A.C. Pedrosa-Soares, C.M. Noce, R.A.J Trouw, M. Heilbron (orgs.).Geologia e Recursos Minerais do Sudeste Mineiro, Projeto Sul de Minas, 1:84-120.
- Pavan, M. 2010. Modelamento metamórfico de rochas das fácies xisto-verde e anfibolito com o uso de pseudosseções: exemplo das rochas da klippe Carrancas, sul de minas Gerais. Dissertação de Mestrado. IG-USP, São Paulo.
- Pavan, M. Moraes, R., Campos Neto, M.C. 2008. Variação do metamorfismo na klippe Carrancas, Faixa Brasília, Sul de Minas Gerais. Anais do 44º Congresso Brasileiro de Geologia, Curitiba, PR. 43.
- Pavan, M. Moraes, R., Campos Neto, M.C. 2009. modelamento do metamorfismo das rochas da klippe Carrancas com pseudosseções. Anais do XI Simpósio de geologia do sudeste, 33.
- Peternel, R.M.N. 1999. Mapeamento Geológico-Estrutural da Área de Três Corações (MG). Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Dissertação de Mestrado, 160 p.
- Peternel, R., Trouw, R.A.J., & Schmitt R. S., 2005. Interferência entre duas Faixas Móveis Neoproterozóicas: O Caso das Faixas Brasília e Ribeira no Sudeste do Brasil. *Revista Brasileira de Geociências*, 35, 297-310.
- 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.
- Powell, R. & Holland, T. J.B. 1990. Calculated mineral equilibria in the pelite system, KFMASH ($K_2O - FeO - MgO - Al_2O_3 - SiO_2 - H_2O$). *American Mineralogist* 75: 367 - 380.

- Powell, R., Holland, T. J.B., Worley, B. 1998. Calculating phase diagrams involving solid solutions via non-linear equations, with examples using THERMOCALC. *Journal Metamorphic Geology*, 16: 577–588.
- Quéméneur, J.J.G., Ribeiro, A., Trouw, R.A.J., Paciullo, F.V.P., Heilbron, M., 2002. Geologia da Folha Lavras. Projeto Sul de Minas, Etapa I, Capítulo 7. COMIG, UFMG, UFRJ, UERJ: 259-319
- Ribeiro, A. 1983. Dados atuais do mapeamento geológico-estrutural da folha Itumirim-MG. *Anais do 2º Simpósio de Geologia de Minas Gerais*, BH. 461-468.
- Ribeiro A., Paciullo F.V.P., Andreis R.R., Trouw R.A.J., Heilbron M. 1990. Evolução policíclica proterozóica no sul do Cráton do São Francisco: análise da região de São João del Rei e Andrelândia, MG. In: SBG, Congr. Bras. Geol, 36, Anais, 6: 2605-2614.
- Ribeiro, A., Trouw, R.A.J., Andreis, R.R., Paciullo, F.V.P., Valenca, J.G. 1995. Evolução das bacias Proterozóicas e o termo-tectonismo Brasiliano na margem sul do cráton do São Francisco. *Revista Brasileira de Geociências* 25, 235-248.
- Spear, F.S. & Cheney, J.T. 1989. A petrogenetic grid for pelites schists in the system SiO_2 - Al_2O_3 - FeO - MgO - K_2O - H_2O . *Contribution to Mineralogy and Petrology* 101: 149 - 164.
- Teixeira, W. Figueiredo, M.C.H 1991. An outline of Early Proterozoic crustal evolution in the São Francisco Cráton, Brazil: A Review. *Pré Cambrian research*, 53: 1-22.
- Thompson, J.B. Jr. 1957. The graphical analysis of mineral assemblages in pelitic schists. *American Mineralogist* 42: 842 - 858.
- Trouw, R.A.J. Ribeiro, A., Paciullo F. 1980. Evolução Estrutural e Metamórfica de uma área a SE de Lavras, MG. *Anais do 31º Congresso de Geologia, Balneário de Camboriú*, SC. 5, 2773-2784.
- Trouw, R.A.J. Ribeiro, A., Paciullo F. 1983. Geologia Estrutural dos Grupos São João del Rei, Carrancas e Andrelândia; Sul de Minas Gerais. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*. 55 (1), 71-85.
- Trouw, R.A.J., Ribeiro, A., Paciullo, F.V.P., Heilbron, N., 1984. Os Grupos São João Del Rei, Carrancas e Andrelândia interpretados como continuação dos grupos Araxá e Canastra. In: CONGR. BRAS. GEOL; 33, Rio de Janeiro, 1984. Vol. 2, p. 3227-3240.
- Trouw R.A.J., Paciullo F.V.P., Ribeiro, A. 1994. A Faixa Alto Rio Grande reinterpretada como zona de interferência entre a Faixa Brasília e a Faixa Ribeira. In: SBG, Congr. Bras. Geol., 38, Res. Exp., 3:234-235.
- Trouw, R.A.J., Heilbron, M., Ribeiro, A., Paciullo, F., Valeriano., C.M., Almeida, J.C.H., Tupinambá, M. & Andreis, R.R. 2000a. The Central Segment of the Ribeira Belt. In: Cordani, U.G., Milani, E.J., Thomaz Filho, A. & Campos, D.A. (Eds.) *Tectonic Evolution of South America. 31st International Geological Congress*. Rio de Janeiro, Brazil, 287-310.
- Trouw, R.A.J., Ribeiro, A., Paciullo, F. & Heilbron, M. 2000b. Interference between the Neoproterozoic Brasília and Ribeira Belts, with special emphasis on high pressure granulites. *31st International Geological Congress. Field Trip Guide*. Rio de Janeiro, Brazil. p.45.
- Turner, F.J. 1981. *Metamorphic Petrology - mineralogical, field and tectonic aspects*, 2nd ed. McGraw-Hill, Nova York.

ANEXO 1 – MAPA METAMÓRFICO



ANEXO 2 - TABELAS DAS ANÁLISES DE QUÍMICA MINERAL

Análises de biotita

Sample	bi 1	bi 2	bi 4	bi 4	bi 4	bi 4	bi 6	bi 6										
SiO ₂	35,70	36,63	36,35	36,43	35,89	36,17	36,04	36,38	35,67	36,14	35,80	35,00	35,00	35,00	35,00	35,24	35,24	
TiO ₂	1,55	1,55	1,57	1,68	1,46	1,55	2,05	1,49	1,47	1,38	1,40	1,44	1,44	1,44	1,43	1,43	1,43	
Al ₂ O ₃	19,97	19,92	19,91	19,95	19,86	19,96	19,29	19,59	19,71	19,79	19,94	19,50	19,50	19,50	19,50	19,09	19,09	
Cr ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Fe ₂ O ₃	0,18	0,00	0,02	0,00	0,54	0,00	0,00	0,00	0,00	0,19	0,00	0,83	0,00	0,83	0,00	2,92	2,92	
FeO	17,98	18,17	18,22	18,77	17,80	17,80	18,59	18,67	18,10	17,71	17,71	15,29	15,29	15,29	15,29	15,67	15,67	
MnO	0,01	0,02	0,04	0,01	0,01	0,00	0,05	0,01	0,01	0,06	0,01	0,04	0,04	0,04	0,05	0,00	0,00	
MgO	11,02	10,91	10,94	10,92	10,85	11,01	10,74	10,72	10,72	10,59	10,59	10,58	10,58	10,58	11,53	11,53	11,54	
CaO	0,01	0,02	0,01	0,00	0,02	0,01	0,00	0,01	0,00	0,06	0,06	0,03	0,03	0,03	0,02	0,00	0,00	
Na ₂ O	0,36	0,31	0,33	0,34	0,25	0,32	0,31	0,33	0,31	0,29	0,29	0,31	0,31	0,31	0,32	0,32	0,32	
K ₂ O	8,78	8,73	8,48	8,93	8,50	8,50	8,75	8,47	8,43	8,48	8,48	8,15	8,15	8,15	7,93	8,28	8,28	
Total	95,57	96,27	95,87	97,03	95,13	95,32	95,82	95,72	94,51	94,35	94,68	94,07	94,07	94,20				
oxigênio	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	
Si	2,677	2,719	2,709	2,696	2,695	2,707	2,702	2,722	2,701	2,731	2,731	2,647	2,647	2,647	2,663	2,663	2,663	
Ti	0,088	0,087	0,088	0,093	0,082	0,087	0,116	0,084	0,084	0,079	0,079	0,082	0,082	0,082	0,081	0,081	0,081	
Al	1,765	1,743	1,749	1,740	1,759	1,761	1,704	1,728	1,728	1,760	1,763	1,771	1,771	1,771	1,700	1,700	1,700	
Cr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
Fe ₃	0,011	0,000	0,002	0,000	0,031	0,000	0,000	0,000	0,000	0,011	0,000	0,048	0,048	0,048	0,167	0,167	0,167	
Fe ₂	1,127	1,128	1,135	1,162	1,117	1,114	1,165	1,168	1,168	1,145	1,145	1,120	1,120	1,120	1,115	1,115	1,115	
Mn	0,000	0,002	0,003	0,000	0,001	0,000	0,003	0,001	0,004	0,001	0,004	0,002	0,002	0,002	0,003	0,000	0,000	
Mg	1,232	1,207	1,215	1,204	1,215	1,228	1,199	1,195	1,195	1,182	1,182	1,188	1,188	1,188	1,300	1,300	1,300	
Ca	0,001	0,001	0,001	0,000	0,002	0,000	0,004	0,004	0,004	0,003	0,003	0,001	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	
Na	0,053	0,045	0,047	0,049	0,036	0,046	0,048	0,048	0,048	0,042	0,042	0,045	0,045	0,045	0,047	0,047	0,047	
K	0,840	0,827	0,806	0,843	0,815	0,812	0,837	0,808	0,814	0,818	0,818	0,783	0,783	0,783	0,766	0,766	0,766	
soma	7,794	7,760	7,755	7,787	7,754	7,755	7,772	7,759	7,760	7,739	7,739	7,722	7,722	7,722	7,746	7,746	7,746	
X Mg	0,522	0,517	0,509	0,521	0,524	0,507	0,506	0,511	0,513	0,516	0,516	0,573	0,573	0,573	0,568	0,568	0,568	

Análises de biotita

Sample	bi 7	bi 7	bi 8	bi 8	bi 8	bi 8	bi 14	bi 14	bi 15	bi 18	bi 19	bi 20	bi 20
SiO ₂	CM-7-147	CM-7-147	CM-7-147	CM-7-147	CM-7-147	CM-7-147	CM-6-103a						
TiO ₂	36,32	34,87	35,77	35,79	36,24	35,96	35,50	36,38	35,66	36,08	35,87	35,14	35,78
Al ₂ O ₃	1,40	1,34	1,28	1,45	1,30	1,34	1,34	1,62	1,22	1,34	1,18	1,60	1,80
Cr ₂ O ₃	19,77	19,63	19,45	19,79	19,68	19,56	19,21	19,54	19,11	19,11	19,79	19,27	19,07
Fe ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
FeO	0,00	2,42	0,00	0,00	0,01	0,26	1,35	0,00	0,53	0,00	0,00	2,53	0,00
MnO	0,01	0,04	0,00	0,00	0,01	0,02	0,00	0,02	0,00	0,00	0,03	0,00	0,01
MgO	11,05	10,69	11,05	11,19	10,99	10,94	10,79	10,61	10,82	10,79	10,40	11,94	11,90
CaO	0,01	0,03	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,05	0,02	0,02	0,02	0,01	0,00
Na ₂ O	0,34	0,30	0,34	0,32	0,31	0,30	0,23	0,22	0,22	0,15	0,18	0,18	0,23
K ₂ O	8,76	8,55	8,96	8,84	8,49	8,54	8,34	7,99	8,66	8,76	8,46	8,67	9,12
Total	95,60	94,75	94,49	94,79	94,95	94,77	93,90	93,89	94,04	94,37	94,02	94,36	94,81
oxigênio	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
Si	2,716	2,641	2,712	2,698	2,724	2,713	2,701	2,750	2,717	2,738	2,726	2,649	2,698
Ti	0,079	0,076	0,073	0,082	0,073	0,076	0,077	0,092	0,070	0,077	0,067	0,091	0,102
Al	1,743	1,752	1,738	1,759	1,744	1,739	1,723	1,741	1,717	1,710	1,773	1,713	1,695
Cr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Fe ₃	0,000	0,139	0,000	0,000	0,000	0,016	0,078	0,000	0,031	0,000	0,000	0,144	0,000
Fe ₂	1,122	1,083	1,117	1,098	1,125	1,126	1,097	1,103	1,136	1,150	1,150	0,961	1,066
Mn	0,000	0,002	0,000	0,000	0,001	0,001	0,000	0,001	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000
Mg	1,231	1,206	1,248	1,257	1,231	1,229	1,224	1,195	1,229	1,220	1,178	1,341	1,337
Ca	0,000	0,003	0,000	0,000	0,001	0,000	0,004	0,001	0,002	0,002	0,001	0,000	0,000
Na	0,049	0,043	0,050	0,047	0,046	0,044	0,034	0,032	0,033	0,022	0,027	0,026	0,034
K	0,836	0,827	0,866	0,850	0,814	0,822	0,810	0,771	0,842	0,820	0,848	0,834	0,877
soma	7,777	7,773	7,805	7,790	7,761	7,767	7,744	7,689	7,777	7,767	7,744	7,762	7,809
X Mg	0,523	0,527	0,528	0,534	0,522	0,527	0,520	0,520	0,515	0,506	0,583	0,556	0,556

Análises de muscovita

Sample	mu 3	mu 5	mu 5	mu 5	mu 5	mu 9	mu 9	mu 9	mu 10				
SiO ₂	46,21	46,21	CM-7-143	46,71	45,95	CM-7-143	46,07	46,18	45,11	46,3	45,84	46,18	CM-7-143
TiO ₂	0,42	0,3	0,4	0,34	0,43	0,26	0,23	0,38	0,34	0,41	0,36	0,4	45,62
Al ₂ O ₃	37,7	37,49	37,35	37,53	37,21	37,89	37,74	37,87	37,6	37,29	37,91	37,27	CM-7-143
Cr ₂ O ₃	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	CM-7-143
Fe ₂ O ₃	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FeO	0,7	0,59	0,8	0,69	0,9	0,91	0,79	0,67	0,77	0,82	0,87	0,78	0,78
MnO	0,01	0,02	0,01	0,01	0,0	0	0,02	0	0	0	0	0	0
MgO	0,32	0,43	0,43	0,36	0,41	0,32	0,28	0,36	0,32	0,39	0,34	0,38	0,38
CaO	0	0	0	0	0	0,01	0	0,01	0	0	0	0,01	0,01
Na ₂ O	2,54	2,34	1,82	2,1	2,12	2,51	2,21	2,24	2,46	2,45	2,24	2,12	2,12
K ₂ O	7,6	7,54	8,28	7,85	8,08	7,65	7,59	7,74	7,51	7,53	7,75	7,85	7,85
Total	95,51	94,91	95,82	94,83	95,23	95,75	93,99	95,57	94,86	95,08	95,5	94,44	
oxigênio	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
Si	3,024	3,037	3,051	3,028	3,032	3,018	3	3,025	3,02	3,035	3,014	3,022	
Ti	0,021	0,015	0,02	0,017	0,021	0,013	0,012	0,019	0,017	0,02	0,018	0,02	
Al	2,908	2,905	2,875	2,915	2,886	2,919	2,959	2,917	2,92	2,89	2,927	2,911	
Cr	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Fe ₃	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Fe ₂	0,038	0,032	0,044	0,038	0,049	0,05	0,044	0,037	0,043	0,045	0,048	0,043	
Mn	0,031	0,042	0,042	0,035	0,041	0,031	0,028	0,035	0,031	0,038	0,033	0,038	
Mg	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,001	
Ca	0,322	0,298	0,231	0,268	0,27	0,318	0,285	0,283	0,314	0,312	0,284	0,272	
Na	0,634	0,632	0,689	0,66	0,679	0,638	0,644	0,645	0,632	0,631	0,647	0,663	
K	soma	6,98	6,962	6,953	6,962	6,979	6,988	6,974	6,962	6,977	6,972	6,971	
X Mg	0,449275	0,567568	0,488372	0,479452	0,455556	0,382716	0,388889	0,486111	0,418919	0,457831	0,407407	0,469136	

Análises de muscovita

Sample	mu 11	mu 12	mu 13	mu 16	mu 16	mu 16	mu 17	mu 17	mu 21	mu 22	mu 23
SiO ₂	45,61	46,21	45,45	46,51	45,91	45,59	46,91	45,95	47,06	45,51	45,64
TiO ₂	0,37	0,48	0,44	0,45	0,53	0,49	0,86	0,68	0,44	0,47	0,32
Al ₂ O ₃	37,9	37,96	37,08	35,56	36,02	36,33	36,25	35,53	36,12	36,61	36,11
Cr ₂ O ₃	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fe ₂ O ₃	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FeO	0,62	0,86	0,76	1,12	1,06	1,22	0,82	1,2	0,92	0,96	1,06
MnO	0	0	0,01	0	0	0	0,01	0,02	0	0	0,02
MgO	0,28	0,38	0,41	0,92	0,82	0,75	0,67	0,83	0,76	0,59	0,74
CaO	0,03	0,01	0	0,01	0,01	0,02	0	0	0,02	0	0
Na ₂ O	2,49	2,45	2,07	1,3	1,39	1,4	1,4	1,25	1,43	1,55	1,41
K ₂ O	7,42	7,38	7,88	9,1	9,15	9,28	9,02	9,28	9,05	8,99	9,05
Total	94,72	95,74	94,11	94,97	94,9	95,1	95,96	94,76	95,83	94,69	95,14
oxigênio	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
Si	3,006	3,014	3,022	3,083	3,049	3,028	3,071	3,06	3,086	3,027	3,037
Ti	0,018	0,024	0,022	0,022	0,026	0,024	0,042	0,034	0,022	0,024	0,016
Al	2,945	2,919	2,906	2,779	2,821	2,845	2,798	2,79	2,792	2,87	2,857
Cr	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fe ₃	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fe ₂	0,034	0,047	0,042	0,062	0,059	0,068	0,045	0,067	0,05	0,053	0,059
Mn	0	0	0,001	0	0	0	0	0,001	0	0	0,001
Mg	0,028	0,037	0,041	0,091	0,081	0,074	0,066	0,083	0,074	0,058	0,073
Ca	0,002	0,001	0	0,001	0	0,002	0	0	0,001	0	0
Na	0,318	0,31	0,267	0,167	0,179	0,18	0,177	0,162	0,182	0,2	0,182
K	0,624	0,614	0,668	0,769	0,775	0,786	0,754	0,789	0,757	0,763	0,769
soma	6,975	6,965	6,97	6,974	6,991	7,009	6,954	6,986	6,966	6,996	6,994
X Mg	0,45161	0,440476	0,493976	0,594771	0,578571	0,521127	0,594595	0,553333	0,596774	0,522523	0,55303

Análises de Granada

Sample	g 1	g 1	g 1	g 1	g 1	g 1	g 1	g 1	g 1	g 1	g 1	g 1	g 1	g 1	g 1	g 1
SiO ₂	37,27	37,24	37,46	37,74	36,88	37,59	37,91	38,38	37,29	37,27	38,11	37,4				
TiO ₂	0,01	0,01	0	0,04	0,05	0,05	0,05	0,06	0	0,01	0,05	0,06				
Al ₂ O ₃	21,99	22,08	22,38	22,21	22,23	22,66	22,26	22,3	22,31	21,95	22,28	22,25				
Cr ₂ O ₃	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
Fe ₂ O ₃	0	0	0	0	0,76	0	0	0	0	0	0,42	0				
FeO	36,01	34,33	35,5	35,65	34,89	35,5	35,23	33,34	34,27	35,26	34,19	35,47				
MnO	1,65	1,61	1,6	1,56	1,59	1,64	1,62	1,61	1,76	1,84	1,75	1,68				
MgO	3,11	3,57	3,67	3,81	3,86	3,8	3,78	3,67	3,77	3,75	3,87	3,71				
CaO	0,47	0,51	0,52	0,57	0,59	0,53	0,65	0,51	0,62	0,59	0,55	0,52				
Na ₂ O	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
K ₂ O	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
Total	100,51	99,36	101,13	101,58	100,77	101,77	101,49	99,86	100,02	101,04	100,79	101,09				
oxigênio	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12				
Si	2,98	2,989	2,966	2,975	2,933	2,955	2,984	3,039	2,974	2,959	3,006	2,964				
Ti	0	0	0	0,002	0,003	0,003	0,003	0,003	0	0	0,001	0,003				
Al	2,073	2,09	2,089	2,064	2,084	2,1	2,067	2,082	2,097	2,055	2,072	2,079				
Cr	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
Fe ₃	0	0	0	0	0,045	0	0	0	0	0	0,025	0				
Fe ₂	2,408	2,305	2,351	2,35	2,321	2,334	2,32	2,208	2,286	2,342	2,256	2,351				
Mn	0,112	0,11	0,107	0,104	0,107	0,109	0,108	0,108	0,119	0,124	0,117	0,113				
Mg	0,37	0,427	0,433	0,447	0,458	0,446	0,446	0,433	0,448	0,444	0,455	0,438				
Ca	0,04	0,044	0,044	0,048	0,05	0,044	0,055	0,043	0,053	0,05	0,046	0,044				
Na	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				
Total	7,983	7,965	7,99	7,991	8	7,992	7,98	7,917	7,977	8	7,955	7,993				
alm	0,82	0,80	0,80	0,79	0,80	0,79	0,79	0,79	0,79	0,79	0,78	0,80				
prp	0,13	0,15	0,15	0,16	0,15	0,15	0,16	0,15	0,16	0,15	0,16	0,15				
sps	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04				
grs	0,01	0,02	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02				

Análises de Granada

Análises de Granada

Sample	g 3	g 3	g 3	g 3	g 3	g 3	g 3	g 3	g 3	g 3	g 3	g 3	g 3	g 3	g 3
SiO ₂	37,51	36,72	37,63	37	37,81	37,15	37,39	37,29	37,24	36,65	37,62	37,18			
TiO ₂	0,1	0,01	0	0	0,04	0	0,04	0,04	0	0,04	0	0,06			
Al ₂ O ₃	22,09	22,13	22,21	21,92	22,09	22,11	22,08	22,17	22,31	22,39	22,23	22,43			
Cr ₂ O ₃	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
Fe ₂ O ₃	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
FeO	36,45	35,94	36,9	36,41	35,03	35,61	37,19	37,18	35,79	36,06	36,32	36,35			
MnO	0,43	0,4	0,51	0,47	0,45	0,6	0,52	0,45	0,38	0,25	0,29	0,27			
MgO	3,37	3,23	3,26	3,08	3,1	3,13	3,21	3,45	3,42	3,54	3,5	3,54			
CaO	0,83	1,01	0,98	0,88	1,12	0,87	0,77	0,65	0,6	0,53	0,53	0,52			
Na ₂ O	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
K ₂ O	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
Total	100,78	99,44	101,49	99,76	99,65	99,47	101,21	101,41	99,74	99,47	100,51	100,36			
oxigênio	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12			
Si	2,981	2,96	2,976	2,977	3,02	2,986	2,97	2,956	2,98	2,948	2,99	2,963			
Ti	0,006	0	0	0	0,002	0	0,002	0,002	0	0,002	0	0,003			
Al	2,07	2,103	2,071	2,079	2,08	2,096	2,068	2,072	2,105	2,123	2,083	2,108			
Cr	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
Fe ₃	0	0	0	0	0	0	0	0	0,012	0	0	0			
Fe ₂	2,423	2,422	2,441	2,45	2,34	2,394	2,47	2,465	2,396	2,426	2,415	2,423			
Mn	0,029	0,027	0,034	0,032	0,031	0,041	0,035	0,03	0,026	0,017	0,02	0,018			
Mg	0,399	0,387	0,384	0,37	0,369	0,375	0,381	0,408	0,409	0,425	0,415	0,42			
Ca	0,071	0,087	0,083	0,076	0,096	0,075	0,066	0,055	0,051	0,046	0,045	0,045			
Na	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			
Total	7,978	7,988	7,984	7,938	7,966	7,993	8	7,967	7,988	7,968	7,968	7,98			
alm	0,83	0,83	0,84	0,83	0,83	0,84	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83			
prp	0,14	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,14	0,14	0,15	0,14			
sps	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01			
grs	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02			

Análises de Granada

Sample	g 3	g 3	g 3	g 3	g 3	g 3	g 3	g 4	g 4	g 4	g 4	g 4	g 4	g 4	g 4
SiO ₂	37,31	38,1	37,4	37,57	37,22	36,49	36,79	37,49	37,28	36,99	37,74	CM-6-103a	CM-6-103a	CM-6-103a	CM-6-103a
TiO ₂	0	0,04	0,01	0,03	0,05	0	0	0,02	0	0	0,02	0,1	0,1	0,1	0,1
Al ₂ O ₃	22,18	22,69	22	22,14	22,2	21,65	22,36	22,27	22,23	22,44	22,3	22,2	22,2	22,2	22,2
Cr ₂ O ₃	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fe ₂ O ₃	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FeO	35,67	35,96	35,16	35,45	36,65	36,31	35,02	36,7	36,8	36,49	36	36,27	36	36,27	36,27
MnO	0,26	0,28	0,26	0,22	0,34	0,47	0,28	0,28	0,32	0,33	0,4	0,31	0,31	0,31	0,31
MgO	3,54	3,67	3,49	3,89	3,37	2,75	3,74	3,76	3,67	3,6	3,58	3,33	3,33	3,33	3,33
CaO	0,53	0,52	0,43	0,42	0,41	0,39	0,5	0,47	0,57	0,49	0,72	0,63	0,63	0,63	0,63
Na ₂ O	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
K ₂ O	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	99,49	101,24	98,75	99,71	100,23	98,05	98,7	100,99	100,88	100,34	100,76	100,35	100,35	100,35	100,35
oxigénio	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
Si	2,99	2,994	3,012	2,997	2,974	2,988	2,968	2,971	2,963	2,953	2,989	2,987	2,987	2,987	2,987
Ti	0	0,002	0	0,002	0,003	0	0	0	0,001	0	0	0,001	0,001	0,001	0,001
Al	2,096	2,102	2,089	2,083	2,092	2,09	2,127	2,081	2,083	2,111	2,082	2,085	2,085	2,085	2,085
Cr	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fe3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fe2	2,391	2,363	2,368	2,366	2,45	2,486	2,363	2,432	2,446	2,435	2,385	2,416	2,416	2,416	2,416
Mn	0,018	0,019	0,018	0,015	0,023	0,032	0,019	0,019	0,022	0,022	0,027	0,021	0,021	0,021	0,021
Mg	0,423	0,429	0,419	0,462	0,401	0,336	0,449	0,444	0,435	0,428	0,423	0,396	0,396	0,396	0,396
Ca	0,045	0,044	0,037	0,036	0,035	0,034	0,043	0,04	0,049	0,042	0,061	0,053	0,053	0,053	0,053
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
Total	7,962	7,953	7,943	7,96	7,977	7,967	7,969	7,988	7,996	7,992	7,969	7,964	7,964	7,964	7,964
alm	0,83	0,83	0,82	0,84	0,86	0,82	0,83	0,83	0,83	0,83	0,82	0,84	0,84	0,84	0,84
prp	0,15	0,15	0,16	0,14	0,12	0,16	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,14	0,14	0,14	0,14
sps	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
grs	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02

Análises de Granada

Análises de Granada

Sample	g 5	g 5	g 5	g 5	g 5	g 5	g 5	g 5	g 5	g 5	g 5	g 5	g 5	g 5	g 5	g 5
SiO ₂	36,63	37,22	37,3	37,22	36,83	36,8	37,92	37,44	37,66	37,53	37,38	37,41				
TiO ₂	0	0,05	0,03	0,04	0,05	0,03	0,02	0,04	0,07	0	0	0,05				
Al ₂ O ₃	21,89	22,07	21,69	22,14	22,08	22,02	22,05	21,97	22,13	22,22	21,99	22,13				
Cr ₂ O ₃	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
Fe ₂ O ₃	1,17	0,23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
FeO	35,88	36,12	34,86	34,78	34,29	33,44	32,45	31,27	33,84	32,22	33,59	32,61				
MnO	1,68	1,61	1,71	1,72	1,83	1,97	2,47	2,44	2,59	2,7	2,56	2,9				
MgO	3,18	3,42	3,39	3,44	3,47	3,46	3,53	3,52	3,47	3,52	3,52	3,5				
CaO	0,44	0,54	0,6	0,74	0,89	0,9	1,12	1,03	0,97	1,06	1,17					
Na ₂ O	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
K ₂ O	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
Total	100,75	101,23	99,58	100,07	99,43	98,61	99,57	97,7	100,72	99,15	100,11	99,77				
oxigênio	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12				
Si	2,932	2,957	2,998	2,976	2,963	2,977	3,022	3,028	2,988	3,005	2,984	2,988				
Ti	0	0,003	0,002	0,002	0,003	0,002	0,001	0,002	0,004	0	0	0,003				
Al	2,066	2,067	2,055	2,087	2,095	2,1	2,072	2,095	2,07	2,097	2,07	2,084				
Cr	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
Fe ₃	0,07	0,014	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
Fe ₂	2,401	2,4	2,343	2,325	2,308	2,263	2,163	2,116	2,245	2,157	2,243	2,179				
Mn	0,114	0,109	0,116	0,116	0,125	0,135	0,167	0,167	0,174	0,183	0,173	0,196				
Mg	0,379	0,405	0,406	0,41	0,417	0,419	0,424	0,424	0,42	0,419	0,417	0,417				
Ca	0,037	0,046	0,052	0,064	0,077	0,078	0,096	0,089	0,082	0,091	0,091	0,1				
Na	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				
Total	8	8	7,972	7,979	7,986	7,971	7,94	7,922	7,973	7,946	7,981	7,967				
alm	0,82	0,81	0,80	0,79	0,78	0,76	0,77	0,76	0,76	0,77	0,75	0,75				
prp	0,13	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,15	0,15	0,14	0,15	0,14	0,14				
sps	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,05	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06				
grs	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03				

Análises de Granada

Sample	g 5	g 5	g 5	g 5	g 5	g 5	g 5	g 5	g 5	g 5	g 5
CM-6-103a	CM-6-103a	CM-6-103a	CM-6-103a	CM-6-103a	CM-6-103a	CM-6-103a	CM-6-103a	CM-6-103a	CM-6-103a	CM-6-103a	CM-6-103a
SiO ₂	36,75	37,23	37,95	37,42	37,06	37,31	36,36	36,36	37,43	37,43	37,43
TiO ₂	2,42	0,04	0,04	0,06	0,05	0,01	0,01	0,01	0,07	0,07	0,07
Al ₂ O ₃	21,81	22,19	22,09	21,93	22,21	22,19	21,71	21,71	22,25	22,25	22,25
Cr ₂ O ₃	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fe ₂ O ₃	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FeO	33,14	34,27	32,98	32,55	34,59	35,21	34,81	34,81	34,34	34,34	34,34
MnO	2,42	2,47	2,4	2,04	1,87	1,84	1,77	1,77	1,65	1,65	1,65
MgO	3,48	3,59	3,51	3,66	3,62	3,46	3,33	3,33	3,01	3,01	3,01
CaO	0,84	0,99	1,06	0,83	0,66	0,62	0,5	0,5	0,45	0,45	0,45
Na ₂ O	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
K ₂ O	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	100,86	100,77	100,03	98,49	100,07	100,65	98,48	98,48	99,19	99,19	99,19
oxigênio	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
Si	2,91	2,96	3,016	3,014	2,963	2,971	2,964	2,964	3,007	3,007	3,007
Ti	0,144	0,002	0,002	0,004	0,003	0,001	0	0	0,004	0,004	0,004
Al	2,036	2,08	2,07	2,082	2,093	2,083	2,086	2,086	2,107	2,107	2,107
Cr	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fe ³	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fe ²	2,195	2,279	2,192	2,192	2,313	2,345	2,373	2,373	2,307	2,307	2,307
Mn	0,162	0,166	0,162	0,139	0,127	0,124	0,122	0,122	0,112	0,112	0,112
Mg	0,41	0,425	0,416	0,439	0,432	0,411	0,404	0,404	0,36	0,36	0,36
Ca	0,071	0,084	0,09	0,072	0,056	0,053	0,044	0,044	0,039	0,039	0,039
Na	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
K	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	7,928	7,997	7,947	7,942	7,987	7,987	7,993	7,993	7,936	7,936	7,936
alm	0,77	0,77	0,77	0,77	0,79	0,80	0,81	0,81	0,82	0,82	0,82
prp	0,14	0,14	0,15	0,15	0,15	0,14	0,14	0,14	0,13	0,13	0,13
sps	0,06	0,06	0,06	0,05	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
grs	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01

Análises de estaurolita

Sample	st 1	st 2	st 3										
SiO ₂	CM-7-143												
TiO ₂	26,44	26,83	26,83	26,97	27,37	27,74	26,97	27,27	27,2	26,71	26,89	26,89	26,51
Al ₂ O ₃	0,65	0,46	0,46	0,62	0,66	0,5	0,64	0,77	0,64	0,58	0,5	0,5	0,6
Cr ₂ O ₃	53,33	53,87	53,87	53,97	54,41	54,79	53,74	53,95	53,99	53,73	54,84	54,84	54,07
Fe ₂ O ₃	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FeO	14,34	14,53	14,53	13,9	14,94	13,4	15,04	15,51	14,93	15,15	15	15	14,74
MnO	0,07	0,06	0,06	0,09	0,05	0,06	0,11	0,11	0,07	0,11	0,05	0,05	0,06
MgO	2,16	2,13	2,13	2,09	2,09	1,99	2	1,92	2,06	1,9	1,86	1,86	1,87
CaO	0	0,02	0,02	0,01	0	0,02	0,02	0	0	0,04	0,02	0	0
Na ₂ O	0	0,02	0,02	0	0	0,02	0	0	0,01	0,04	0,05	0	0
K ₂ O	0	0	0	0	0,01	0,01	0	0,02	0	0,03	0	0	0
Total	96,99	97,91	97,91	97,64	99,53	98,53	98,53	99,55	98,97	98,28	99,14	97,86	
oxigênio	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46
Si	7,441	7,479	7,479	7,513	7,512	7,624	7,491	7,51	7,514	7,447	7,412	7,403	
Ti	0,138	0,097	0,097	0,13	0,135	0,104	0,134	0,16	0,132	0,122	0,103	0,126	
Al	17,696	17,702	17,702	17,724	17,605	17,75	17,597	17,513	17,583	17,659	17,824	17,803	
Cr	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Fe ₃	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Fe ₂	3,374	3,386	3,386	3,238	3,43	3,079	3,494	3,571	3,449	3,532	3,457	3,444	
Mn	0,016	0,015	0,015	0,021	0,013	0,014	0,025	0,024	0,017	0,026	0,012	0,015	
Mg	0,908	0,884	0,884	0,867	0,854	0,814	0,829	0,79	0,846	0,791	0,763	0,777	
Ca	0	0,005	0,005	0,002	0	0,007	0,006	0,001	0,011	0,006	0,001	0	
Na	0,002	0,01	0,01	0	0	0,001	0,002	0,003	0,019	0,028	0	0	
K	0	0	0	0,002	0,004	0,004	0	0,005	0,001	0,009	0,001	0	
soma	29,574	29,578	29,578	29,497	29,552	29,405	29,578	29,577	29,572	29,62	29,574	29,569	
Xmg	0,21205	0,207026	0,207026	0,211206	0,199346	0,209093	0,191151	0,196973	0,182975	0,180806	0,18408		

Análises de estaurolita

Sample	st 3	st 3	st 3	st 3	st 3	st 3	st 4								
SiO2	28,16	27,59	27,71	CM-7-143	CM-7-143	CM-7-143	CM-7-143	CM-7-143	CM-7-143	CM-7-143	CM-7-143	CM-7-143	CM-7-143	CM-7-143	CM-7-143
TiO2	0,6	0,58	0,54	0,47	0,52	0,56	0,52	0,54	0,61	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66	0,59
Al2O3	54,3	54,66	54,73	54,63	53,68	56,67	54,9	55,02	55,25	55,14	55,14	55,14	55,14	54,53	54,53
Cr2O3	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
FeO	14,96	14,39	14,65	14,66	14,18	14,14	14,43	14,42	13,91	15,02	15,02	15,02	15,02	14,61	14,61
MnO	0,1	0,08	0,08	0,14	0,07	0,07	0,06	0,12	0,06	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,06
MgO	1,98	2	1,98	1,96	1,96	1,69	1,69	1,91	1,92	1,89	1,92	1,92	1,92	1,82	1,82
CaO	0,01	0	0,01	0,02	0	0,01	0	0,01	0	0	0	0	0	0,02	0,01
Na2O	0,02	0	0,01	0	0,01	0,02	0,02	0,01	0,01	0	0	0	0	0	0,01
K2O	0,01	0,02	0	0,01	0,02	0,01	0,01	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	100,15	99,31	99,73	99,25	98,19	102,02	100,12	99,37	99,42	100,23	100,23	100,23	100,23	99,54	99,54
oxigênio	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46
Si	7,673	7,563	7,574	7,522	7,683	7,666	7,683	7,496	7,558	7,465	7,465	7,465	7,465	7,635	7,635
Ti	0,123	0,119	0,111	0,097	0,108	0,112	0,107	0,11	0,126	0,134	0,134	0,134	0,134	0,121	0,121
Al	17,441	17,666	17,632	17,7	17,531	17,742	17,572	17,777	17,782	17,717	17,717	17,717	17,717	17,588	17,588
Cr	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fe3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fe2	3,408	3,299	3,349	3,37	3,286	3,14	3,275	3,305	3,177	3,424	3,424	3,424	3,424	3,343	3,343
Mn	0,024	0,017	0,019	0,031	0,016	0,015	0,013	0,028	0,014	0,019	0,019	0,019	0,019	0,013	0,013
Mg	0,802	0,816	0,807	0,804	0,811	0,667	0,772	0,785	0,768	0,779	0,779	0,779	0,779	0,744	0,744
Ca	0,004	0	0,004	0,006	0,001	0,002	0,001	0,003	0	0,005	0,005	0,005	0,005	0,004	0,004
Na	0,011	0	0,006	0	0,008	0,01	0,004	0	0,001	0	0	0	0	0,004	0,004
K	0,005	0,005	0	0,002	0,007	0,005	0	0	0	0	0	0	0	0	0
soma	29,491	29,487	29,502	29,533	29,451	29,358	29,427	29,505	29,425	29,542	29,542	29,542	29,542	29,452	29,452
Xmg	0,190499	0,198299	0,194177	0,192621	0,19795	0,175204	0,190759	0,191932	0,1946768	0,185344	0,185344	0,185344	0,185344	0,182041	0,182041

Análises de estaurolita

Sample	st 4	st 4	st 4	st 4	st 4	st 4	st 4	st 5	st 5	st 5	st 5	st 6	st 6
	CM-7-143	CM-7-143	CM-7-143	CM-7-143	CM-7-143	CM-7-143	CM-7-143	CM-7-143	CM-7-143	CM-7-143	CM-7-143	CM-6-103a	CM-6-103a
SiO ₂	27,32	28,07	27,49	27,67	27,42	27,36	26,33	27,63	28,26	27,16	27,92	27,73	27,73
TiO ₂	0,56	0,64	0,65	0,57	0,69	0,72	0,45	0,59	0,55	0,5	0,57	0,44	0,44
Al ₂ O ₃	54,67	54,35	54,13	54,18	54,87	54,69	53,78	53,7	54,47	54,76	55,41	55,58	55,58
Cr ₂ O ₃	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FeO	14,05	13,62	13,31	14,86	13,95	14,64	13,77	14,5	14,75	14,62	13,33	13,72	13,72
MnO	0,05	0,07	0,07	0,11	0,08	0,04	0,11	0,06	0,04	0,09	0,02	0	0
MgO	1,9	1,89	1,95	1,92	1,9	1,92	1,82	1,93	1,9	1,96	1,67	1,6	1,6
CaO	0,01	0	0	0,03	0	0	0	0,01	0	0	0	0	0
Na ₂ O	0,02	0	0	0	0	0,02	0,02	0,01	0,02	0	0,01	0,01	0,01
K ₂ O	0	0	0	0,02	0,01	0	0,01	0,01	0,01	0	0	0,04	0,04
Total	98,58	98,66	97,59	99,36	98,93	99,39	96,28	98,43	100	99,08	98,93	99,12	99,12
oxigênio	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46
Si	7,533	7,709	7,629	7,601	7,531	7,505	7,441	7,647	7,697	7,475	7,629	7,579	7,579
Ti	0,117	0,132	0,135	0,119	0,143	0,148	0,095	0,122	0,112	0,104	0,117	0,091	0,091
Al	17,774	17,598	17,708	17,547	17,766	17,689	17,917	17,525	17,49	17,768	17,849	17,907	17,907
Cr	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fe3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fe2	3,24	3,129	3,089	3,415	3,203	3,36	3,255	3,358	3,36	3,366	3,045	3,135	3,135
Mn	0,012	0,017	0,016	0,026	0,019	0,01	0,027	0,015	0,009	0,021	0,005	0	0
Mg	0,779	0,775	0,804	0,788	0,779	0,785	0,767	0,794	0,772	0,802	0,681	0,654	0,654
Ca	0,002	0	0	0,007	0,001	0	0	0,003	0	0	0	0	0
Na	0,01	0,002	0,002	0	0,007	0,005	0,009	0,008	0,004	0,011	0	0,006	0,005
K	0	0	0	0	0,007	0,005	0	0,005	0,002	0,003	0	0,013	0,013
soma	29,468	29,362	29,383	29,51	29,446	29,506	29,513	29,471	29,454	29,537	29,333	29,385	29,385
Xmg	0,193829	0,19851434	0,206525	0,187485	0,19563	0,189385	0,1907	0,191233	0,186834	0,19241843	0,18277	0,172605	0,172605

Análises de estaurolita

Sample	st 6	st 6	st 6	st 6	st 7	st 7	st 7	st 7	st 7	st 8	st 8	st 8	st 8	st 8
SiO ₂	CM-6-103a	CM-6-103a	CM-6-103a	CM-6-103a	27,69	27,69	28,4	28,14	27,73	27,24	27,93	27,88	27,75	
TiO ₂	0,54	0,56	0,53	0,53	0,6	0,56	0,55	0,56	0,47	0,64	0,72	0,72	0,58	
Al ₂ O ₃	55,66	55,39	55,25	55,25	55,4	55,24	55,35	55,22	55,85	55,17	55,46	55,46	55,17	
Cr ₂ O ₃	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Fe ₂ O ₃	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
FeO	13,76	13,62	13,66	13,66	13,57	13,91	13,73	13,47	13,59	12,45	12,93	12,71		
MnO	0,03	0,03	0,06	0,06	0,01	0,02	0,02	0,03	0,01	0	0	0	0	
MgO	1,67	1,71	1,77	1,77	1,91	1,84	1,93	1,82	1,54	1,55	1,64	1,64	1,63	
CaO	0	0	0	0	0,01	0	0	0	0	0	0,01	0	0	
Na ₂ O	0,01	0,01	0,02	0,02	0,01	0	0	0,03	0,04	0	0,02	0	0	
K ₂ O	0	0,01	0	0	0	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0	0	
Total	99,08	99,76	98,98	98,98	99,91	99,72	99,32	98,37	99,41	97,76	98,68	97,86		
oxigênio	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	
Si	7,501	7,71	7,581	7,689	7,651	7,568	7,503	7,597	7,687	7,625	7,644			
Ti	0,111	0,115	0,108	0,108	0,122	0,114	0,113	0,116	0,096	0,132	0,147			
Al	17,956	17,706	17,833	17,833	17,685	17,703	17,808	17,931	17,923	17,903	17,915			
Cr	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
Fe3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
Fe2	3,148	3,088	3,129	3,129	3,073	3,163	3,133	3,104	3,093	2,866	2,958			
Mn	0,007	0,007	0,013	0,013	0,003	0,004	0,004	0,006	0,001	0	0			
Mg	0,683	0,691	0,723	0,723	0,77	0,747	0,785	0,746	0,623	0,637	0,669			
Ca	0	0	0	0	0,004	0	0	0	0	0,002	0			
Na	0,007	0,006	0,011	0,011	0,003	0	0,003	0,013	0,019	0,002	0,008			
K	0	0,004	0,001	0,001	0	0	0,005	0,005	0,004	0,006	0			
soma	29,414	29,327	29,4	29,4	29,348	29,386	29,417	29,425	29,357	29,233	29,295	29,277		
Xmg	0,178282	0,182853	0,187695	0,187695	0,2003643	0,191049	0,200357	0,193766	0,16765	0,181844	0,18445	0,186266		

Análises de estaurolita

Sample	st 8	st 9	st 10	st 11					
	CM-6-103a								
SiO ₂	27,59	27,82	26,87	27,14	27,35	28,15	27,96	27,86	
TiO ₂	0,59	0,86	0,54	0,55	0,69	0,65	0,63	0,54	
Al ₂ O ₃	54,76	54,8	54,41	54,85	54,78	56,2	55,52	54,96	
Cr ₂ O ₃	0	0	0	0	0	0	0	0	
Fe ₂ O ₃	0	0	0	0	0	0	0	0	
FeO	12,7	12,51	12,62	13	12,78	12,51	13,13	13,39	
MnO	0	0	0,01	0,06	0,03	0,01	0,04	0,01	
MgO	1,6	1,7	1,74	1,76	1,73	1,63	1,64	1,67	
CaO	0	0,01	0	0	0	0	0	0,02	
Na ₂ O	0,02	0	0,02	0	0	0,01	0,01	0,02	
K ₂ O	0,02	0,02	0,02	0	0	0,01	0	0	
Total	97,29	97,72	96,23	97,37	97,35	99,16	98,93	98,47	
oxigênio	46	46	46	46	46	46	46	46	
Si	7,648	7,669	7,538	7,537	7,583	7,636	7,632	7,652	
Ti	0,123	0,179	0,115	0,116	0,143	0,133	0,13	0,111	
Al	17,894	17,811	17,998	17,956	17,908	17,975	17,868	17,8	
Cr	0	0	0	0	0	0	0	0	
Fe3	0	0	0	0	0	0	0	0	
Fe2	2,944	2,883	2,96	3,019	2,964	2,838	2,998	3,077	
Mn	0	0	0,002	0,013	0,006	0,002	0,01	0,003	
Mg	0,663	0,697	0,727	0,727	0,715	0,657	0,665	0,684	
Ca	0	0,002	0,001	0	0	0	0	0,007	
Na	0,009	0,002	0,009	0,001	0,002	0,003	0,003	0,009	
K	0,008	0,007	0,007	0,001	0	0,004	0	0	
soma	29,29	29,251	29,356	29,37	29,32	29,247	29,305	29,342	
Xmg	0,183809	0,194693	0,197179	0,194074	0,194346	0,187983			

Análises de plagioclásio

Sample	fsp 1	fsp 1	fsp 2	fsp 2	fsp 2	fsp 2	fsp 2	fsp 3	fsp 3	fsp 3	fsp 3							
SiO ₂	67,47	67,33	67,89	67,7	67,4	68,54	66,59	66,27	66,78	66,76	67,27	67,78	66,49	66,49	68,02	68,02	68,02	
TiO ₂	0	0,03	0	0,03	0,03	0,01	0,04	0	0,05	0	0,03	0,01	0	0	0	0	0	
Al ₂ O ₃	19,98	20,1	19,98	20,08	20,18	19,84	20,37	20,22	19,84	20	19,9	20,03	20	20	20,16	20,16	20,16	
Cr ₂ O ₃	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Fe ₂ O ₃	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	
MnO	0,01	0	0	0	0	0,01	0	0,01	0	0	0,03	0,02	0	0	0	0	0	
MgO	0	0,01	0,01	0,01	0,01	0	0	0,01	0	0	0	0,01	0	0	0	0	0	
CaO	0,39	0,57	0,45	0,53	0,57	0,33	0,81	0,84	0,62	0,7	0,32	0,58	0,7	0,39	0,39	0,39	0,39	
Na ₂ O	10,86	10,86	11	10,76	10,86	11,08	10,67	10,34	10,69	10,8	11	10,69	10,66	10,66	10,39	10,39	10,39	
K ₂ O	0,02	0,04	0,01	0,04	0,05	0,03	0,04	0,06	0,08	0,08	0,04	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	
Total	98,72	98,94	99,33	99,15	99,1	99,83	98,54	97,73	98,06	98,36	98,58	99,14	97,9	99,01				
oxigênio	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	
Si	2,978	2,969	2,98	2,976	2,967	2,99	2,95	2,957	2,971	2,964	2,972	2,978	2,978	2,964	2,986	2,986	2,986	
Ti	0	0,001	0	0,001	0,001	0	0,001	0	0,002	0	0,001	0	0	0	0	0	0	
Al	1,04	1,045	1,034	1,04	1,048	1,02	1,064	1,064	1,041	1,047	1,036	1,037	1,051	1,044	1,044	1,044	1,044	
Cr	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Fe3	0	0	0	0	0	0	0	0,001	0	0	0	0	0,007	0,002	0	0	0	
Fe2	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	0	0	0	0,001	0,001	0	0	0	0	0	
Mg	0	0,001	0,001	0	0	0	0,001	0	0	0	0	0	0,001	0	0	0	0	
Ca	0,018	0,027	0,021	0,025	0,027	0,015	0,038	0,04	0,029	0,034	0,015	0,027	0,033	0,018	0,018	0,018	0,018	
Na	0,93	0,929	0,936	0,917	0,927	0,937	0,916	0,894	0,923	0,93	0,943	0,911	0,921	0,884	0,884	0,884	0,884	
K	0,001	0,002	0,001	0,002	0,003	0,002	0,002	0,003	0,004	0,004	0,002	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	
soma	4,967	4,973	4,972	4,963	4,973	4,967	4,975	4,96	4,97	4,979	4,977	4,959	4,973	4,935				
anortita	0,019	0,028	0,022	0,027	0,028	0,016	0,040	0,04283	0,03046	0,03527	0,016	0,029	0,035	0,020				
albita	0,981	0,972	0,978	0,973	0,972	0,984	0,960	0,957	0,970	0,965	0,984	0,971	0,965	0,980				

