

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS**

**EVOLUÇÃO METAMÓRFICA DOS ECLOGITOS E XISTOS
AZUIS DO COMPLEXO DE RASPAS, EQUADOR.**

Roberto Loreti Junior

Orientador: Prof. Dr. Caetano Juliani

Co-orientador: MSc. Andrés Bustamante Londonõ

**MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA
(TF/ 47-2006)**

**SÃO PAULO
2006**

TF
L869
R.e

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

Evolução metamórfica dos eclogitos e xistos azuis do
Complexo de Raspas, Equador

Roberto Loreti Junior



Monografia de Trabalho de Formatura

Banca Examinadora

Prof. Dr. Caetano Juliani

Prof. Dr. Rainer Aloys Schultz-Güttler

Prof. Dr. Gergely Andres Julio Szabó

São Paulo

2006

Universidade de São Paulo
Instituto de Geociências

EVOLUÇÃO METAMÓRFICA DOS ECLOGITOS E XISTOS AZUIS DO COMPLEXO DE RASPAS, EQUADOR.

Roberto Loreti Junior



DEDALUS - Acervo - IGC



309000024383

Orientador

Prof. Dr. Caetano Juliani

Co-Orientador

MSc. Andrés Bustamante Londoño

Monografia de Trabalho de Formatura
(TF/06-47)

Departamento de Mineralogia e Geotectônica

São Paulo
2006

Resumo

O Complexo de Ráspas localiza-se na porção sudoeste do Equador, a área de ocorrência de eclogitos e xistos azuis está situada no flanco leste da Cordilheira Ocidental, na região costeira da Província de El Oro, perto da cidade de Machala. O complexo possui duas unidades principais, a formação El Toro, essencialmente composta por rochas meta-ultramáficas, e a formação Ráspas, aonde são encontrados os eclogitos e xistos azuis.

A associação mineral encontrada nos eclogitos é onfacita + granada + quartzo $\pm$ zoisita $\pm$ paragonita $\pm$ richerita $\pm$ rutilo. Os xistos azuis apresentam em sua associação + glaucofânio + granada + quartzo $\pm$ paragonita $\pm$ clinozoisita $\pm$ rutilo. Ocorrem ainda associados a estas rochas metapelitos de alta pressão. Todas as litologias citadas foram formadas em domínios de alta pressão, resultado dos esforços gerados no limite convergente das placas de Nazca e Sul-Americana, que causa subducção da crosta oceânica sob crosta continental.

Os resultados de P-T-t-d obtidos com as análises geotermobarométricas confirmam a geração dessas rochas sob altas pressões, sendo que para os eclogitos as pressões atingidas na borda dos minerais estão em torno de $17,7 \pm 0,5$ kbar com temperaturas em ao redor de 680°C e no núcleo $16,5 \pm 0,5$. Esses resultados sugerem uma trajetória meta-mórfica progressiva, que possivelmente, está relacionada a uma exumação relativamente rápida do corpo.

Apesar da dificuldade de se delimitar os campos de estabilidade para a formação dos xistos, obteve-se intervalos de temperaturas entre 300 e 400°C .

Abstract

Raspas metamorphic complex are located in southwestern of Ecuador and contains a high pressure metamorphic rocks assemblage. This complex is a possibly suture zone in the south of northern Andean evolution. Eclogite facies rocks are made up of omphacite + garnet + quartz $\pm$ zoisite $\pm$ paragonite $\pm$ rutile and blueschist facies rocks are made up of glaucophane + garnet + quartz $\pm$ paragonite $\pm$ clinozoisite $\pm$ rutile. High-pressure metamorphic rocks are intercalated in a metapelitic sequence with possibly high-grade metamorphic mineral paragenesis.

Using TWQ 1.02 program, obtained pressures for eclogites varies between ~16 – 18 kbar and a narrow temperature values are approximately 650°C. This thermobarometric data allow describing prograde metamorphic P-T conditions, and associated with metapelitic thermometry is possibly unravel a clockwise metamorphic path common in subduction complexes.

INTRODUÇÃO	2
OBJETIVOS E METAS	4
GEOLOGIA REGIONAL.....	5
GEOLOGIA LOCAL.....	7
<u>RIO RASPAS</u>	7
<u>ESTRADA MACHALA – PIÑAS</u>	8
FUNDAMENTAÇÃO BIBLIOGRÁFICA.....	9
MÉTODOS.....	11
<u>PETROGRAFIA</u>	11
<u>QUÍMICA MINERAL E GEOTERMOBAROMETRIA</u>	11
TRABALHOS REALIZADOS	14
RESULTADOS.....	16
<u>PETROGRAFIA</u>	16
Eclogitos.....	16
Anfibólio-eclogitos.....	16
Metapelitos.....	17
Glaucofânio xistos.....	18
<u>QUÍMICA MINERAL</u>	21
Granada.....	21
Anfibólios.....	22
Clinopiroxênio.....	22
Mica.....	22
<u>GEOTERMOBAROMETRIA</u>	29
INTERPRETAÇÕES.....	32
<u>PETROGRAFIA</u>	32
<u>QUÍMICA MINERAL</u>	32
<u>GEOTERMOBAROMETRIA</u>	34
CONCLUSÕES	35
BIBLIOGRAFIA.....	37

INTRODUÇÃO

A grande importância do estudo dos xistos azuis e eclogitos deve-se ao fato de que os cinturões metamórficos de alta pressão baixa temperatura, bem como a sua associação com rochas de alta pressão e alta temperatura, inequivocamente relacionam-se com zonas de subducção e colisão entre placas litosféricas (Bowes, 1989). Estes tipos de rochas são bem caracterizados nas zonas orogênicas meso- e cenozóicas Circum-Pacíficas, no Caribe, nos Alpes e no Himalaia (Miyashiro, 1961; Ernst, 1972; Maruyama *et al.*, 1996).

Por associarem-se a antigos limites convergentes de placas tectônicas, o estudo dos eventos metamórficos e deformacionais é fundamental para dedução do tipo da subducção, bem como dos regimes colisionais e de exumação (Ernst, 1988; Smith, *et al.*, 1999). As condições de pressão muito alta e de baixas temperaturas nas quais os xistos azuis são formados e suas variações com o tempo fazem com que os processos de exumação da placa subductada, incluindo os eclogitos formados em níveis ainda mais profundo na zona de subducção, possam ser extremamente complexos. Estes processos são associados principalmente a eventos colisionais de natureza diversa, ou a regimes transpressivos, razão pela qual, a identificação no registro geológico apresenta importantes implicações tectônicas (Draper & Lewis, 1991; Ave-Lallemant, 1996).

Consequentemente, a correlação das trajetórias P-T-t-d, dados cinemáticos, são ferramentas fundamentais para o entendimento do conjunto da evolução tectono-metamórfica de tais complexos, permitindo o estabelecimento das diferentes fases da evolução geológica (Smith *et al.*, 1999).

Os complexos metamórficos pré-andinos que afloram ao longo da Cordilheira da Costa constituem as Séries Oriental e Ocidental, as quais foram interpretadas como um cinturão metamórfico pareado por Aguirre *et al.* (1972). Segundo González-Bonorino (1971) e Aguirre *et al.* (1972), a Série Ocidental é composta por rochas mais deformadas do que a Série Oriental, com batólitos de granitóides. Entretanto, Miller (1973) considera que as duas séries possuem idades diferentes e são separadas por uma inconformidade regional. Hervé *et al.* (1981) sugerem que os protólitos da Série Ocidental são rochas oceânicas acrescidas ao continente e que os da Série Oriental são derivados de sedimentos de plataforma. As duas séries estão em contato transicional ou por falhas, interpretado e nomeado por Ernst (1975) como sutura da Cordilheira da Costa.

A orogênese meso- a cenozóica e no Caribe e nos Andes do Norte, especialmente no

Equador, caracteriza-se por uma série de colisões de arcos de ilhas e de *plateaus* oceânicos mesozóicos com a margem continental Sul-Americana, acompanhados pela formação de diversas zonas de subducção e imbricamento de crosta oceânica, tanto na margem continental como nos domínios intra-oceânicos. Estes processos resultaram na formação de complexos ofiolíticos, de cinturões metamórficos barrowianos e de alta pressão, na amalgamação e forte interação dos diversos terrenos tectônicos (Kerr *et al.*, 1997; 2002; Ramos, 1999; Giunta *et al.*, 2002).

A definição das trajetórias metamórficas e suas correlações com as estruturas tectônicas são fundamentais para o entendimento de como o metamorfismo o fluxo térmico e a tectônica se inter-relacionam (Spear, 1995). Somente estas informações podem permitir o entendimento da implantação da anomalia térmica na crosta, de suas características associadas ao fluxo térmico, dos processos tectônicos vinculados com a recomposição das isothermas e com a exumação, o faz com que os estudos propostos devam contribuir para a compreensão da evolução geodinâmica dos Andes do Sul e do Norte.

OBJETIVOS E METAS

A finalidade do projeto inclui a caracterização petrográfica do grau metamórfico e a quantificação das condições do metamorfismo progressivo e retrógrado das rochas das áreas de Raspas (Equador) com ênfase para os litotipos da fácies eclogito e xisto azul. Objetiva também o estabelecimento das trajetórias pressão-temperatura-tempo relativo-deformação (P-T-t-d paths) do(s) evento(s) metamórfico(s) que afetaram estes litotipos e o uso das trajetórias metamórficas para modelagem da evolução geodinâmica da crosta desta porção dos Andes.

O estudo da evolução metamórfica do Complexo Raspas é de fundamental importância por sua implicação na modelagem geotectônica dos eventos de convergência de placas dos Andes no Cretáceo.

Em especial, o estudo dos eclogitos e de xistos azuis dos Andes revestem-se também de importância pelo fato dos mesmos não estarem tão bem estudados como os que ocorrem na Europa e na América, o que faz com que contribuições sobre estes litotipos e sobre o modelo tectônico de suas gerações, tenham interesse científico internacional.

Geologia Regional

O Equador, de modo geral, pode ser dividido em dois domínios, leste e oeste, principais separados por uma zona maior de sutura com direção NNW–SSW. O domínio leste é composto por parte do Cráton Amazônico, ao qual se justapõem diversas unidades de rochas metamórficas e ígneas do Paleozóico, em parte recobertas por depósitos terciários e quaternários. Este conjunto forma a denominada Cordilheira Real, que representa unidades geológicas de uma margem continental ativa até o final do Jurássico. O outro domínio, situado a oeste, possui corpos magmáticos de afinidade oceânica, associados com diferentes eventos de subducção e acreção que ocorreram desde o Neo-Cretáceo (Aspden *et al.*, 1987; 1995; Jaillard *et al.*, 1990).

Na parte sudoeste do Equador (Domínio Oeste) encontra-se o Complexo Metamórfico El Oro, onde insere-se o Complexo Ráspas. Este Complexo está em contato tectônico a norte com os migmatitos, gnaisses e granodioritos do Grupo Tahuin por meio da zona de cisalhamento La Palma–El Guayabo. A sul limita-se com os metassedimentos e metabasaltos da unidade Arenillas–Panupali e Piedras, que possuem afinidade do tipo MORB (Aspden *et al.*, 1995; Bosch *et al.*, 2002)., formados predominantemente por rochas da fácies xisto verde e anfibolito. Todo conjunto é cortado por um sistema de falhas na direção E–W, com movimento dextrógiro.

O Complexo de Ráspas compreende duas formações, chamadas de Formação El Toro, composta por metaperidotitos em fácies eclogitos e a Formação Ráspas, composta por eclogitos, granada anfibolitos, xistos azuis e granada-cloritóide micaxistos (Feininger, 1978; 1980; Gabriele 2002).

A geoquímica mostra que o Complexo de Ráspas é formado por fragmentos de crosta oceânica, as rochas máficas em fácies eclogito apresentam afinidades do tipo OPB (Arculus *et al.*, 1999; Bosch *et al.*, 2002). Ao sul do Complexo de Ráspas encontram-se as unidades Arenillas–Panupali

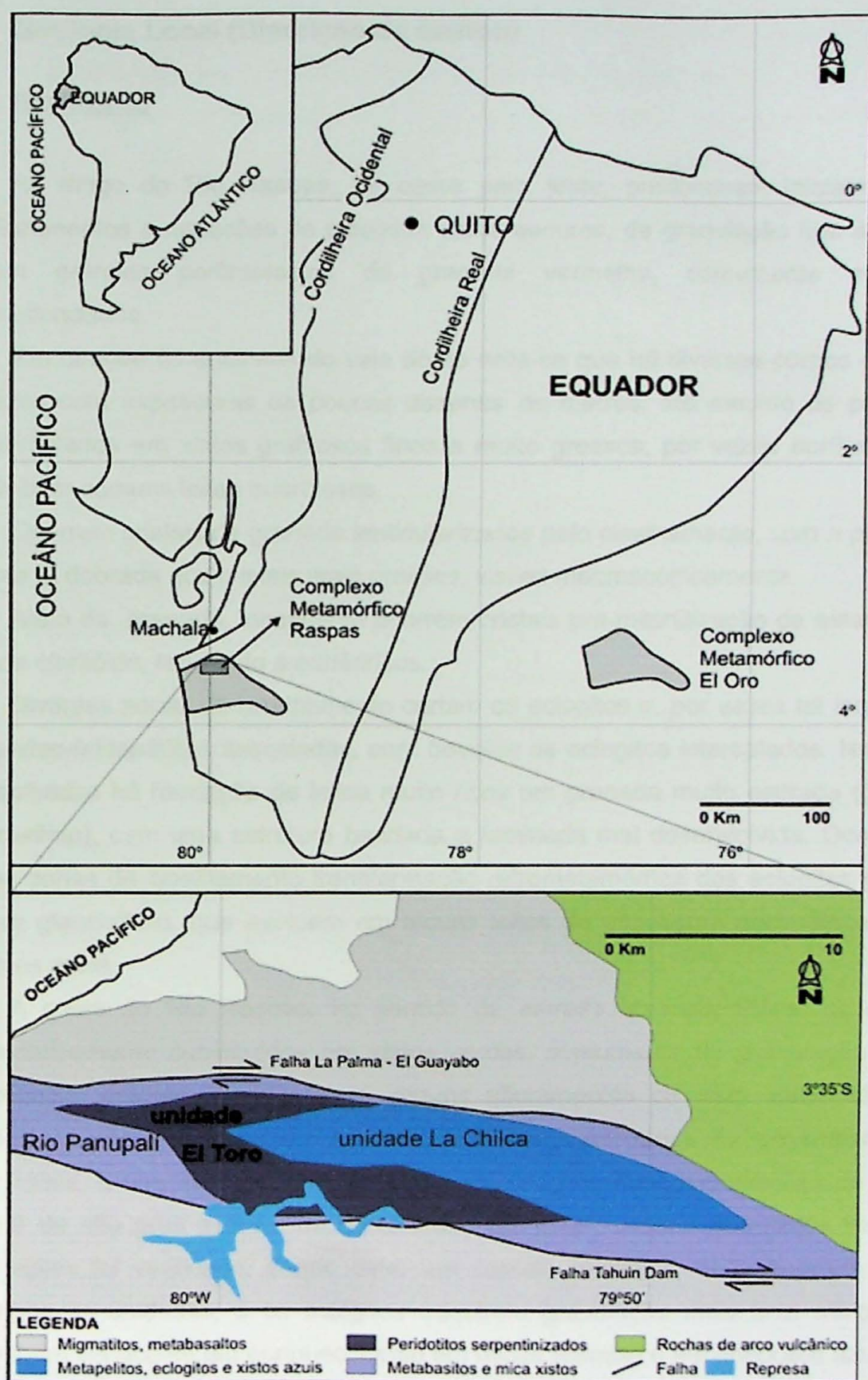


Figura 1: Mapa esquemático de Equador, no qual estão representados o Complexo Meta-mórfico El Oro e o Complexo Metamórfico Raspas .. (Modificado de Aspden *et al.* (1995) e Bosch *et al.* (2002).)

Geologia Local (Descrição de campo)

Rio Raspas

Ao longo do Rio Raspas, de oeste para leste, predominam inicialmente grandes afloramentos e matacões de eclogitos verde-escuros, de granulação fina a muito grossa, com grandes porfiroblastos de granada vermelha, comumente euhédricos ou arredondados.

Em direção às encostas do vale do rio nota-se que há diversos corpos de eclogito, às vezes com espessuras de poucas dezenas de metros, até mesmo de poucos metros, intercalados em xistos grafitosos finos a muito grossos, por vezes porfiroblásticos. São também comuns leitos quartzosos.

Ocorrem cristais de granada lenticularizados pelo cisalhamento, com a preservação de uma S_1 dobrada nos cristais mais grossos, visível macroscopicamente.

Além da granada, localmente ocorrem cristais pré-milonitização de estauroлита, fengita e de cloritóide, tendendo a euhédricos.

Diversas zonas de cisalhamento cortam os eclogitos e, por vezes há lentes de rochas quartzo-feldspáticas associadas, com *boudins* de eclogitos intercalados. Nas zonas mais cisalhadas há formação de leitos muito ricos em granada muito estirada (granadito com piroxênio), com uma estrutura bandada a laminada mal desenvolvida. Ocorrem também nas zonas de cisalhamento transformação retrometamórfica dos eclogitos para eclogitos com glaucofânio, que evoluem em alguns leitos de espessura decimétrica, para formar xistos azuis.

A oeste do Rio Raspas, no sentido da estrada Machala-Piñas, os eclogitos são gradativamente substituídos por xistos verdes, comumente de granulação grossa, com actinolita, epidoto e plagioclásio. Alguns afloramentos de xisto verde são de rochas originalmente porfíricas e outros são claramente derivados do retrometamorfismo dos eclogitos, o que sugere a existência de pelo menos duas associações de metabasitos, uma de alto grau e outra de baixo grau. Um único contato dos xistos verdes com os eclogitos foi verificado, sendo este, um contato tectônico, onde ocorrem milonitos de ambas as unidades, e os eclogitos adquirem granulação mais fina, maior orientação, também verifica-se um enriquecimento em micas brancas e em anfibólios azuis finos.

Os eclogitos menos deformados são constituídos predominantemente por granada, piroxênio, quartzo, anfibólios e, eventualmente, mica branca. Localmente ocorre um piroxênio verde-esmeralda, possivelmente jadeíta. A foliação em geral é milonítica,

desenvolvida em zonas de transcorrência dextróginas e, possivelmente em zonas de cavalgamento que imbricaram os xistos verdes com os eclogitos.

Estas rochas correspondem a eclogitos e eclogitos retrometamórficos e blocos placóides de típicos xistos azuis finos e de mica-glaucofânio são comuns em algumas partes do rio.

Grandes blocos formados por quartzo de veio na forma de brechas tectônicas rúpteis são comuns ao longo do Rio Ráspas, gerados no cisalhamento mais tardio que corta toda região.

Estrada Machala – Piñas

Ao longo da estrada Machala-Piñas ocorrem, essencialmente, xistos verdes, comumente afetados por mais de um evento de cisalhamento, sendo assim, essas rochas apresentam uma foliação predominantemente milonítica. Indicadores cinemáticos registram um evento tectônico, com direção de transporte de massa para norte ou noroeste, em zonas de cavalgamento, ou rampas laterais associadas às transcorrências.

Localmente, como nas proximidades da cidade de Torata, as rochas apresentam-se menos deformadas e com estruturas possivelmente relíquias de *pillow-lavas*, observa-se ainda estruturas S/C, especialmente nos materiais "inter-pillow". Apesar da intensa deformação, em alguns afloramentos, ocorrem estruturas que sugerem restos de brechas vulcânicas ou de tufos.

Ainda observou-se a presença de rochas laminadas, pequenos porfiroblastos de albita em diversos dos possíveis derrames almofadados, e não são raras intercalações de xistos finos grafitosos e quartzitos finos com granada, sugerindo tratar-se de uma seqüência de derrames maciços e almofadados com tufos e sedimentos interderrames associados, além de corpos restritos de rochas ultramáficas.

Em alguns afloramentos são comuns restos de xistos azuis intercalados nos xistos verdes milonitizados, e rochas ultramáficas muito deformadas pelo cisalhamento, parcialmente serpentinizadas.

Para sul, próximo a Moro Moro, ocorrem xistos e filitos grafitosos em contato com metabasitos, com leitos de quartzito cinza-escuro, muito fino, boudinado, provavelmente representando antigos leitos de *chert*.

Fundamentação Bibliográfica

As rochas de alta pressão do Complexo Raspas incluem metapelitos, geralmente grafitosos, com camadas de quartzito, eclogitos, eclogito anfibolitos e granaditos, bem como rochas máficas retrometamórficas e metaultramáficas (principalmente harsburgitos) da Unidade El Toro (Feininger, 1980).

Segundo Feininger (1980), a composição química da granada dos eclogitos tem uma porcentagem média de 30 a 35% do componente piropo, e nos diagramas almandina-piropo-essartita-grossulária, sua composição é típica de eclogitos do Tipo B de Coleman *et al.* (1965). A composição do clinopiroxênio, com base em diagramas com os *end members* diopsídio, hedbergita, jadeíta e acmita, plotam no campo da onfacita, com cerca de 40 a 50% de jadeíta, indicando serem os eclogitos do Tipo B. Já a onfacita do glaucofânio xisto tem cerca de 50% de jadeíta, o que indicaria pertencer ao grupo dos eclogitos do Tipo C (Coleman *et al.*, 1965).

A geoquímica e a petrografia do Complexo Raspas indicam a presença de: (a) rochas máficas e ultramáficas de alta pressão, com afinidade de *plateau* oceânico, (b) metapelitos de alta pressão, derivados de crosta continental antiga, e (c) xistos verdes, anfibolitos, basaltos e gabros de N-MORB (Bosch *et al.*, 2002). O modelo tectônico proposto para a área sugere que durante o Neo-Jurássico e o Paleo-Cretáceo o *plateau* oceânico desenvolveu associações minerais de alta pressão, que foi juxtaposto terrenos oceânicos afetados por um metamorfismo de baixa pressão e temperatura, sugerindo evoluções geodinâmicas distintas para os dois terrenos (Bosch *et al.*, 2002).

Os metapelitos de raspas possuem granada, cloritóide e granada em paragênese e, em consequência disto, pode-se concluir que as condições de pico metamórfico ocorreram a aproximadamente 20 kbar e a cerca de 500-600 °C (Gabriele 2002).

São propostos diversos modelos de mecanismos de exumação nas zonas de subducção. Para explicar o processo de exumação do Complexo Raspas há a necessidade da associação de dois (Gabriele 2002). O primeiro envolve rochas em fácies eclogito, que para permanecerem em alto grau metamórfico necessitam de uma exumação relativamente rápida. A velocidade pode ser tão menor quanto for maior o gradiente geotérmico dependendo do gradiente geotermal maior ou menor. As rochas subductadas começam a ascender inicialmente devido ao relaxamento do campo de esforços e consequentemente ao rearranjo de forças. A hipótese apóia-se no mecanismo

de forças de empuxo (Platt 1987). No neo-Cretáceo ocorre a convergência de placas gerando falhas inversas onde os vetores de exumação encontram-se ortogonais a elas.

O segundo mecanismo está associado à abertura da bacia pull-apart Celica-Lancones, durante o esforço de extensão houve adelgaçamento na crosta continental contribuindo para o *underplate*. No cretáceo ocorreu inversão tectônica através de esforço de compressão que resultou na “expulsão” das rochas de alta pressão. Para esse segundo mecanismo ocorrem dois problemas, o primeiro é o intervalo de tempo que estas rochas de alta pressão permaneceram sob a crosta continental, a diferença entre o período de resfriamento da Formação Raspas e o período do primeiro estágio da bacia pull-apart é estimado em torno de 10 a 15 Ma. Assim, fica difícil explicar a rápida exumação. O segundo problema está no re-equilíbrio termal esperado no processo de *underplate* do Complexo Raspas, a ausência de registro de retro-metamorfismo, explicado devido ao baixo gradiente geotermal, que deveria ter ocorrido em razão da subducção de crosta oceânica fria.

MÉTODOS

Para alcançarem-se os objetivos propostos os seguintes métodos foram adotados no desenvolvimento deste Trabalho de Formatura:

Petrografia

As principais unidades, definidas em campo, foram descritas macroscopicamente e amostradas. As amostras foram agrupadas segundo suas características texturais e mineralógicas e descritas microscopicamente através de métodos tradicionais de petrografia de luz transmitida. Nestes estudos foram determinadas as paragêneses associadas aos litotipos estudados, e estas plotadas e analisada em grades metamórficas específicas, para estimativa das condições de metamorfismo, bem como de sua evolução, seguindo os trabalhos de Coleman & Wang (1995), Klein & Hurlbut (1993) e Tröger (1979).

Das amostras descritas microcopicamente foram selecionadas 4 amostras para análises em microsonda eletrônica.

Química Mineral e Geotermobarometria

Foram selecionadas 4 amostras representativas dos litotipos estudados para o programa de análise química das principais fases minerais. Previamente foram selecionados (escolhidos) os pontos nos cristais a serem analisados levando em conta suas características ópticas, que podem refletir diferenças químicas tais como zoneamento, hábito, corrosão, inclusão e forma de ocorrência (fenocristais, cristais da matriz), entre outros.

As análises minerais por WDS foram efetuadas no Laboratório de Microsonda Eletrônica do IGc - USP, empregando-se instrumental de fabricação JEOL JXA-8600 Superprobe, equipado com cinco espectrômetros com os cristais TAP/STE, TAP/PET, LIF/PET, PET/LIF e LIF/PET respectivamente (os cristais sublinhados são aqueles utilizados nas rotinas analíticas). O equipamento encontra-se automatizado com um sistema Voyager 3.6.1 da NORAN Instruments. As determinações foram efetuadas em seções delgadas polidas, metalizadas com uma película de carbono (~25 nm) em evaporador AUTO 206 da EDWARDS.

Foram feitas análises químicas pontuais dos minerais de litotipos representativos dos eclogitos, anfibólio eclogitos, glaucofânio xistos e metapelitos. As análises foram feitas preferencialmente em minerais em paragênese, bem como em inclusões minerais, objetivando uma melhor definição do grau metamórfico e das trajetórias metamórficas para cada estágio de cristalização, em correlação com as foliações metamórficas, segundo a metodologia sumarizada por *Juliani et al.* (2002).

Foram analisados sistematicamente os seguintes minerais: micas, granada, anfibólio, clinopiroxênio.

O tratamento das análises de química mineral foi feito com base em três passos fundamentais. O primeiro passo o cálculo das respectivas fórmulas estruturais e, quando pertinentes, de seus componentes moleculares. Em seguida a identificação de suas substituições iônicas, tanto dentro de cada sítio catiônico como na maneira pela qual se relacionam para formar substituições acopladas. Por fim, tentou-se inferir as considerações petrológicas que estes dados podem trazer juntamente com o contexto evolutivo dado pelas demais informações que serão obtidas com os outros métodos.

Para tanto foram utilizados programas de informática, entre eles os pacotes de softwares Microsoft Office for Windows, além do Minpet 2.0 (Richard, 1998) que é de uso específico para o tratamento de dados de química mineral.

Depois de efetuadas as análises de química mineral e tratados os dados, foram feitos cálculos para determinações térmicas e barométricas. Para isso foram utilizados pares e associações de minerais utilizando-se de métodos e/ou calibrações com relação aos principais geotermômetros e geobarômetros:

i. O par ***granada-muscovita*** é um bom geotermômetro para metapelitos, conforme estudado por Haselton (1981), Koziol & Newton (1988) e Ganguly & Saxena (1984)..

ii. O par ***granada-clinopiroxênio*** é um bom geotermômetro de algumas rochas metabásicas, conforme os trabalhos Mysen & Heier (1972), Raheim & Green (1974), Ganguly (1979), Ellis & Green (1979), Dahl (1980), Powell (1985), Krogh (1988), Sengupta *et al.* (1990), Patison & Newton (1989)

iii. Jadeíta em clinopiroxênio pode ser utilizadas para definição das condições de pressão em metabásica, segundo Holland (1980 e 1990)

Estas estimativas foram feitas, sobretudo, com o uso de bancos de dados termodinâmicos internamente consistentes, como o TWQ, versões 1.02 (que inclui dados anfibólio), e 2.02b (Berman, 1991), e GPT (Reché *et al.*, 1996).

Trabalhos Realizados

Conforme proposto foram realizadas as seguintes atividades:

Atividades	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Revisão bibliográfica										
Petrografia										
Relatório de progresso										
Análise por MSE										
Geotermobarometria										
Elaboração da monografia										
Defesa da monografia										

- **Revisão Bibliográfica**

Afim de se obter embasamento teórico para os estudos em rochas de alto grau metamórfico, foi feita uma intensa revisão bibliográfica (Março a Novembro) que incluiu conceitos como: paragênese e química de rochas de alto grau metamórfico, modelos de exumação e seus contextos tectônicos e geotermobarometria.

- **Petrografia**

À descrição macroscópica das amostras dos diferentes litotipos, seguiu-se a confecção de 20 lâminas delgadas para fins de estudo microscópicos.

Os estudos petrográficos foram feitos através dos métodos tradicionais de microscopia por luz transmitida, onde se descreveu as composições minerais, texturas, estruturas (Maio a Junho).

A descrição petrográfica trouxe subsídios para a escolha de 4 amostras e a confecção de lâminas para análises em microsonda eletrônica.

- **Química Mineral**

As análises de microsonda foram realizadas durante dois dias em meados de Outubro e posteriormente mais um dia no fim deste mesmo mês, no Laboratório de Microsonda

Eletrônica do Departamento de Mineralogia e Geotectônica do IGc-USP, onde foram analisadas 4 lâminas.

Para o tratamento dos dados foi utilizado o *software* Minpet.2.0 e os cálculos de geotermobarometria foram feitos através do *software* TWQ 2.02; atividades realizadas nos meses de outubro e novembro.

Resultados

Petrografia

A descrição macroscópica e microscópica permitiu a divisão prévia de diferentes litotipos como: eclogitos, retro-eclogitos, metapelitos, anfibolitos, xistos azuis, xistos verdes, meta-ultramáficas e gnaisses/migmatitos. A seguir serão apresentadas as principais características dos eclogitos, retro-eclogitos, metapelitos e anfibolitos.

Eclogitos

Os eclogitos possuem leitos de espessura milimétrica ricos em granada alternados com outros compostos predominantemente por clinopiroxênio em arranjos nematoblástica. (Fotos: a , b, c, d).

A onfacita ocorre com frequência entre 40 e 60% vol., como cristais granulação variando de 1 a 5mm, subidioblásticos, às vezes porfiroblásticos, de cor verde-clara.

A granada constitui 30-40% vol. da rocha, com granulação 0,01 a 5 milímetros. Pode formar cristais idioblásticos, subidioblásticos e/ou xenoblásticos.

O quartzo ocorre na frequência de 5 a 10%, com granulação de 0,1 a 0,5 mm, geralmente xenoblásticos.

O anfibólio compõe 5 a 10%, com cristais com granulação entre 0,1 a 0,5 mm, subidioblásticos, cor verde-escura, indicando composição geral de hornblenda (barroisita, segundo Feininger, 1980).

A mica branca pode constituir 5 a 10% do volume da rocha, ocorrendo como grãos com 0,1 a 0,8 mm de comprimento. Pode ser idioblástica e/ou subidioblástica.

Zoisita, que forma 5 a 10% vol., tem granulação variando entre 0,2 e 0,5 e forma cristais subidioblásticos.

Como acessório ocorre rutilo (< 5%) com granulação de 0,1-0,5 mm, sob a forma de cristais. .

Anfibólio-eclogitos

Os anfibólio-eclogitos apresentam textura nematoblástica porfiroblástica (granada) e granulação fina a média. Estas rochas apresentam as seguintes características mineralógicas, granulométricas e texturais: (Fotos: e, f, g, h).

O anfibólio é o principal mineral (45-50% vol.). Possui granulação de 0,1 a 0,5 mm, ocorre como cristais subidioblásticos de cor verde a marrom.

A granada geralmente é idioblástica e/ou subidioblástica com granulação variando de 0,05 a 0,5 mm, às vezes constituindo porfiroblastos. Comumente apresentam sobre-crescimento, abundantes inclusões de quartzo e ocorrem entre 20 e 25% vol..

O quartzo compõe 15 a 20% vol., ocorrendo como grãos xenoblásticos de 0,1 a 0,5 mm.

O zoizita constitui 10-20%, ocorrendo como cristais subidioblásticos de 0,2 a 0,5 mm.

Mica branca ocorre de modo subordinado (5-10%), geralmente como cristais idioblásticos e/ou subidioblásticos de 0,1 a 1 mm, sem orientação preferencial.

O clinopiroxênio é subidioblástico, tem granulação de 0,5 a 1,5 mm e compõem cerca de 5-10% da rocha.

Como acessório ocorre apenas rutilo.

Metapelitos

Os metapelitos possuem textura lépido-granoblástica, sendo a foliação determinada principalmente pelas micas. Esta foliação está comumente dobrada, os porfiroblastos de granada rotacionados, gerando texturas de *snowball*. (Fotos: i , j)

Apresentam as seguintes características mineralógicas, granulométricas e texturais .

O quartzo constitui cerca aparece com frequência entre 70% e 50%, a granulação varia entre 0,15 mm e 1,5 mm, xenoblásticos.

A granada aparece entre 10 e 5% por cento, a granulação varia entre 1mm e 3mm, subidioblásticas, porfiroblásticas.

A mica branca aparece com frequência entre 15% e 10%, a granulação varia entre 0,15 mm e um 1,5 mm, subidioblástica.

A clorita aparece com frequência entre 20% e 15%, ocorre como agregado, subidioblástica.

O cloritóide aparece com frequência de aproximadamente 2%, a granuloção varia de 0,1mm e 2mm, pode ser xenoblástico e/ou subidioblástico e/ou idioblástico;

A cianita aparece com frequência de menos de 1%, a granulação está em torno de 1mm, subidioblástica.

Glaucofânio xistos

Os glaucofânio xistos possuem textura grano-nematoblásticos, inequigranulares, com granulação variando de fina à média, a xistosidade é definida por anfibólitos (Fotos: l, m).

A granada (30%-35%) apresentam-se idioblástica, subidioblástica ou ainda xenoblástica. Ocorrem na foliação com granulação de 0,05-0,2 mm e quando não pertencentes a foliação possuem granulação de 1-1,5 mm. Ocorrem como inclusões na granada cristais de anfibólito, rutilo e clinozoisita. Alguns cristais estão parcialmente substituídas por anfibólito.

A mica branca (15%-25%) quando não apresenta orientação definida ocorrem idioblásticas com granulação de 1-1,5mm, quando orientadas conforme a foliação principal apresentam-se subidioblástica, com granulação entre 0,1-0,5 mm.

O glaucofânio (10%-15%) aparece associado ao anfibólito verde, por vezes sendo substituído pelo mesmo; a granulação variada de 0,1-0,2 mm; os cristais apresentam-se idioblástico e subidioblástico.

O anfibólito verde (20%-25%), granulação de 0,1-0,5mm, idioblástico e subidioblástico.

O rutilo (5%) com granulação de 0,05-0,1mm, idioblástico e subidioblástico.

O carbonato (5%-10%) com granulação de 0,3-1,2 mm, subidioblástico.

A clinozoisita (10%-15%) com granulação de 0,1-0,4 mm, subidioblástico.

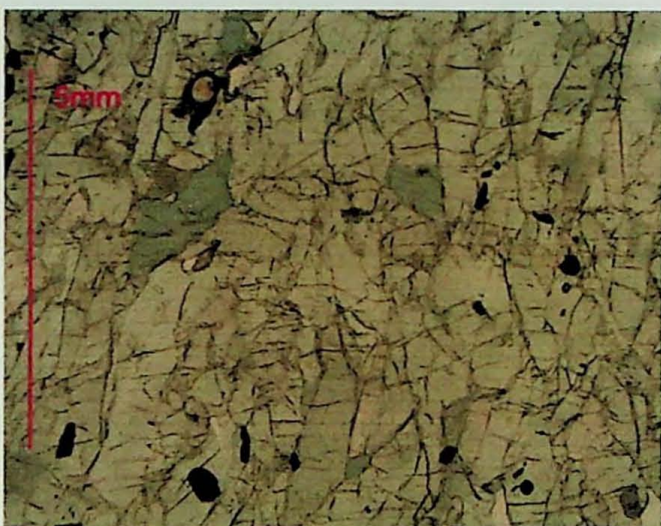
O quartzo (10%-15%) com granulação de 0,1-0,5 mm, xenoblástico.



(Foto: a) sem analisador



(Foto: b) com analisador



(Foto: c) sem analisador

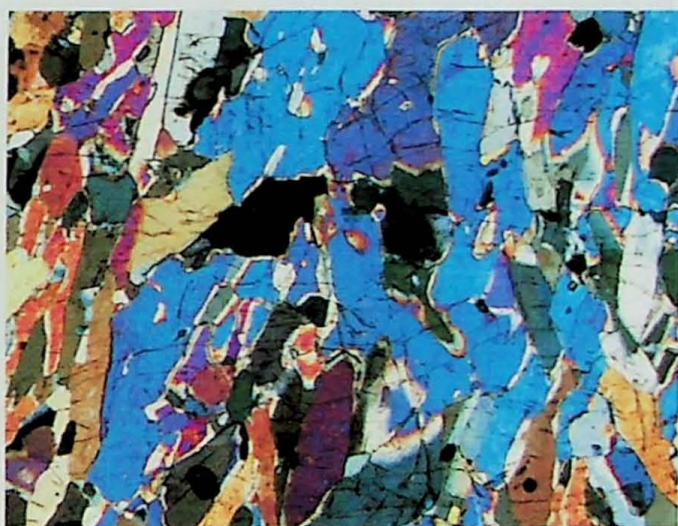
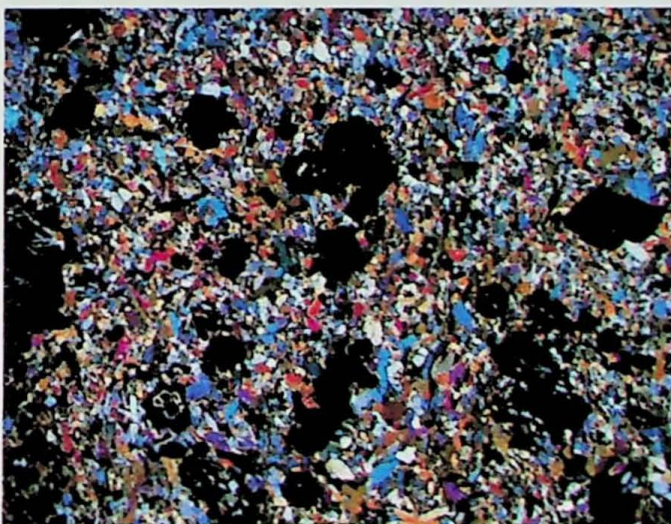


Foto: d) com analisador



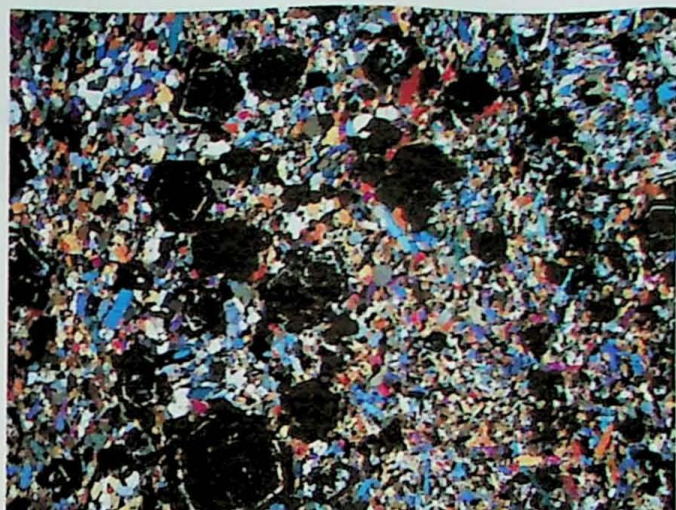
(Foto: e) sem analisador



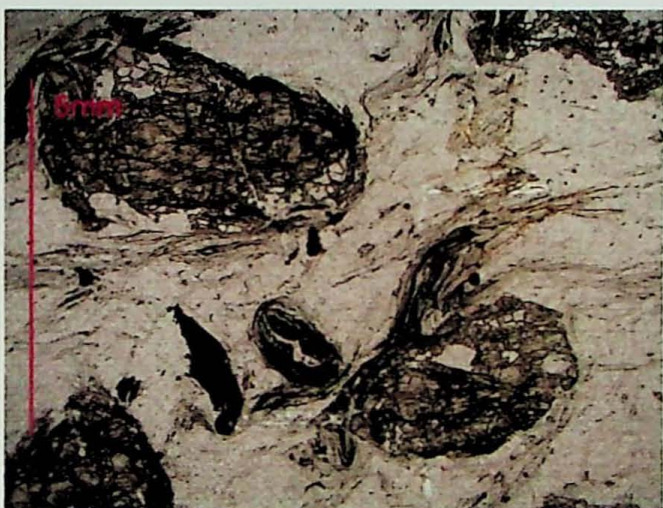
(Foto: f) com analisador



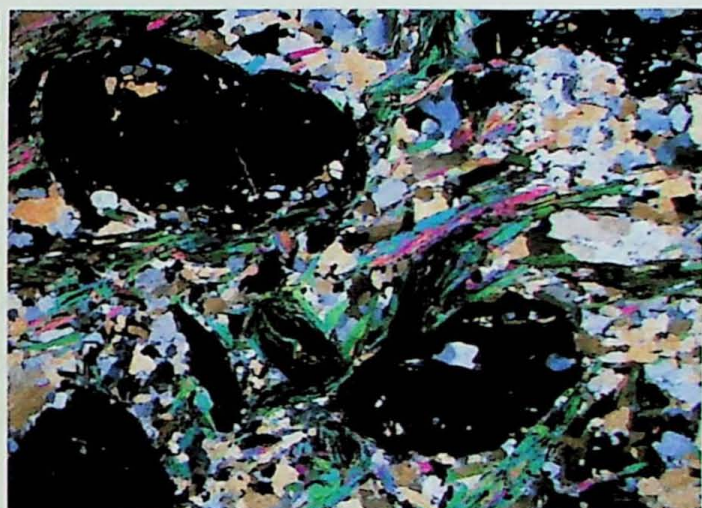
(Foto: g) sem analisador



(Foto: h) com analisador



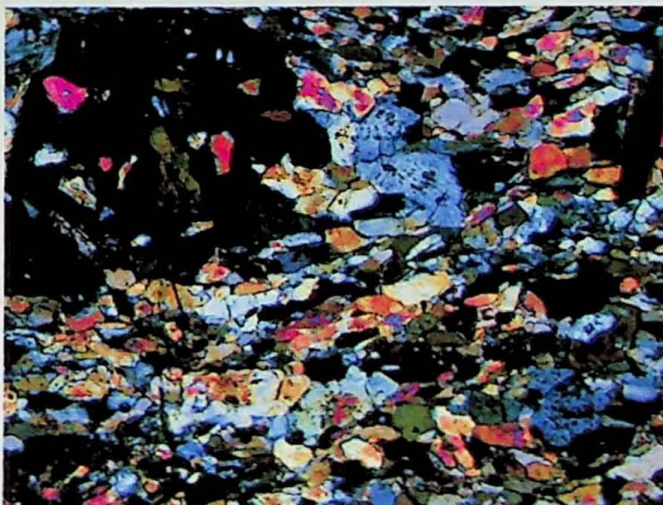
(Foto: i) sem analisador



(Foto: j) com analisador



(Foto: l) sem analisador



(Foto: m) com analisador

Química Mineral

A realização de análises químicas com microsonda eletrônica teve como objetivo principal a obtenção de dados para a classificação dos minerais e para a geotermobarometria de amostras de eclogito, anfibólio eclogito e glaucofânio xisto e para a termometria dos metapelitos de alta pressão.

- Granada

A granada, em rochas de alto grau metamórfico, normalmente não possui grande variação nos teores de *end members* e, conseqüentemente gráficos de perfis composicionais. Foram feitos perfis de análise química em granadas da amostra 159 (metapelito), 176 (anfibólio eclogito), 176A (eclogito) e 174A (glaucofânio xisto).

As amostras de metapelitos possuem teor médio de almandina de 54%; teor médio de grossulária 13%; teor médio de piropo 17% e teor de espessartita 17%. Apresentam em seu perfil (figuras: 2 e 3) o teor de almandina elevado, com pouca variação do núcleo para a borda, mas nota-se um pequeno decréscimo na borda e o teor de piropo decresce no sentido borda-núcleo. Há a permanência praticamente constante do teor de grossulária ao longo do perfil. No sentido borda núcleo ocorre aumento do teor de espessartita.

Nas amostras do anfibólio eclogito (figuras: 4, 5, 6 e 7) o teor médio de almandina é 49%; o teor médio de grossulária 24%; os teor médio de piropo 21% e teor médio espessartita 2 %. O teor de almadina é elevado e praticamente invariável. Ocorre maior concentração do teor de piropo nas bordas. Já o teor de gros-sulária comporta-se de maneira contraria, o núcleo é mais rico em relação às bordas; o teor de espessartita oscila bastante.

Nos eclogitos o comportamento dos teores de *end members* é semelhante ao do anfibólio eclogito (figuras: 8, 9 e 10), o teor médio médio de almandina é de 53%, o teor médio de grossulária 22%, o teor médiode piropo 19% e teor médio es-pessartita 1% . O teor de almandina praticamente homogêneo, com uma sutil tendência à maior concentração na borda comparado ao núcleo; o teor de piropo aumenta no sentido núcleo-borda. Aqui também ocorre a inversão do teor de grossulária em relação ao teor de piropo, conforme os pontos afastam-se do núcleo e aproximam-se da borda o teor diminui. A espessartita aparece, em geral, com maior concetração no núcleo.

No glaucofânio xisto o teor médio de almandina é 60%; o teor médio de grossulária 26%; o teor médio de piropo 10% e o teor médio de espessartita 4% (figura: 11), todos os teores são homogêneos, com pou-quíssima variação. O teor de almandina destaca-se por ser elevado.

- Anfibólios

Para a análise química de anfibólios foram selecionadas as mostras 174A (glaucofânio xisto), 176 (anfibólio eclogito) e 176A (eclogito).

Os resultados das análises químicas nos glaucofânio xistos corresponderam a teores elevados de Na (aproximadamente 4,0 +/- 0,8 a.p.f.u.) em um sistema rico em Mg. Estes resultados permitem classificar, com base na distribuição catiônica, os anfibólios sódicos como glaucofânio (figura:xxx).

Nos anfibólio eclogitos e eclogitos foram encontrados anfibólios com teores significativos de Na (entre 2,5 e 4,3 a.p.f.u.) e Ca (entre 3,3 e 5,8 a.p.f.u. de Ca). A plotagem dos dados catiônicos em um diagrama de classificações de anfibólios sódico-cálcicos (figura:xxx), indica serem richerita.

- Clinopiroxênio

Os clinopiroxênios analisados são de eclogitos e de anfibólio eclogitos. Tanto os eclogitos quanto os anfibólio eclogitos apresentam clinopiroxênios com teores representativos de Na (entre 4,1 e 4,7 a.p.f.u.) e Ca (entre 5,0 e 5,7 em a.p.f.u.). Sendo assim, plotou-se os dados catiônicos, levando em consideração efetivamente os teores de Ca; Na; Mg e Fé, em um diagrama classificatório (figura:xxx), e o resultado obtido foi o clinopiroxênio é uma típica onfacita.

- Mica

Para a análise química das micas, foram selecionadas as litologias: metapelito, eclogito e glaucofânio xisto.

Nas três litologias são encontradas micas com teores elevados de K (entre 3,2 e 4,8 a.p.f.u.) e Na (entre 2,8 e 4,7 a.p.f.u.). Diagramas com teores de Ti, Fe, Mg, Na e K em razão de Si (Gráficos: X, Y e Z) caracterizam estas micas. Pode-se dizer que existem dois tipos de mica, uma rica em potássio (muscovita/fengita) e outra rica em sódio (paragonita).

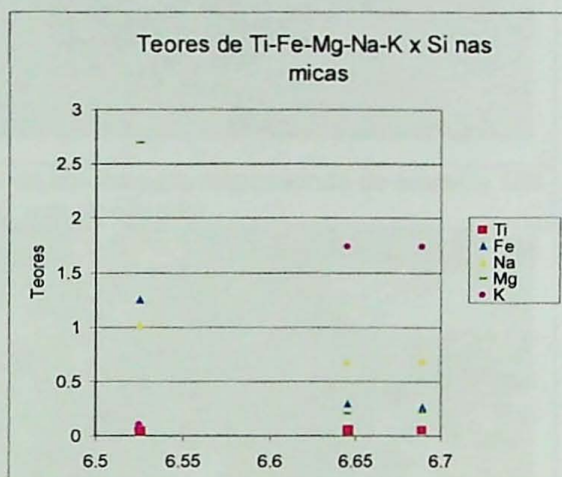


Gráfico: X Gráfico de dispersão dos teores dos cá-tions Ti^{4+} , Fe^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ em razão do Si^{+4} dos metapelitos (amostra 159).

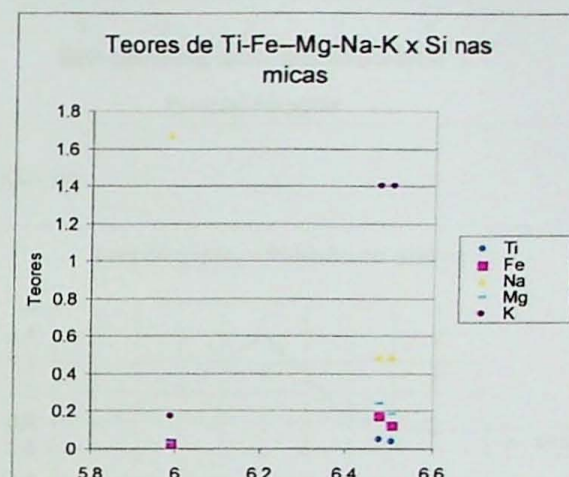


Gráfico: Y Gráfico de dispersão dos teores dos cá-tions Ti^{4+} , Fe^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ em razão do Si^{+4} dos anfibólio eclogitos. (amostra 176)

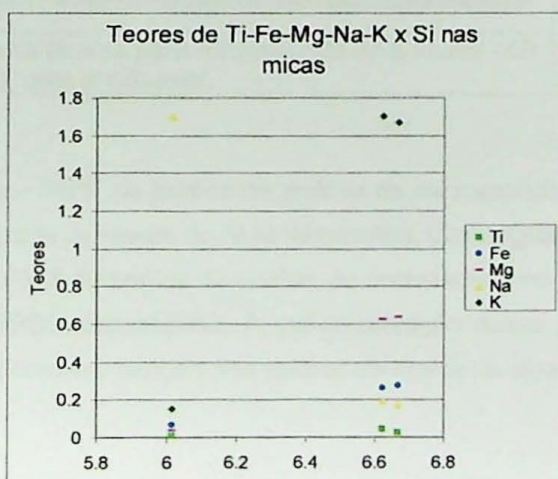


Gráfico: Z Gráfico de dispersão de pontos dos cá-tions Ti^{4+} , Fe^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ em razão do Si^{+4} dos metapelitos. A amostra utilizada foi a 159.

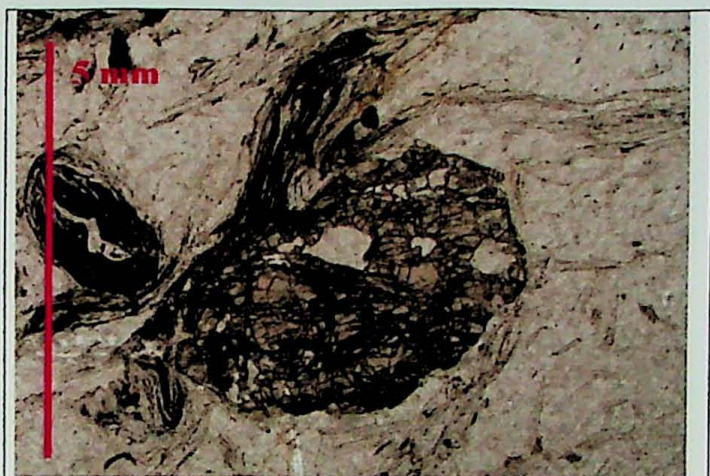


Fig.:2 Foto da lâmina para microsonda da amostra 159 (metapelito), sem analisador.

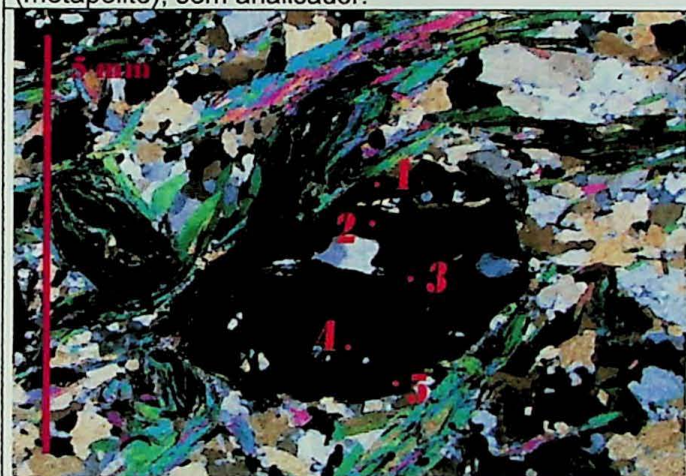


Fig: 3 Foto da lâmina para microsonda da amostra 159 (metapelito), com analisador.

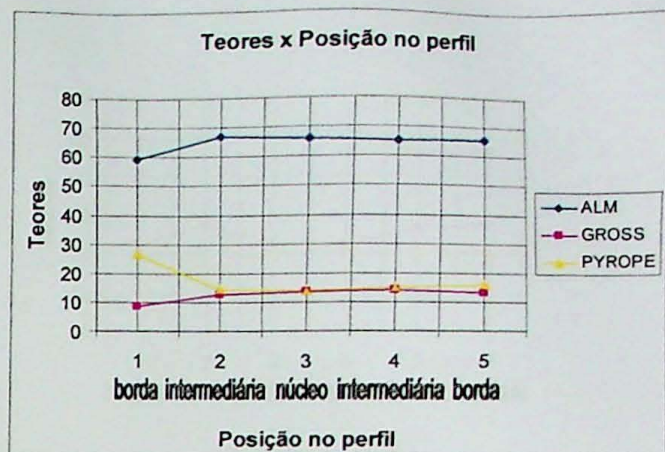


Gráfico: 1a.



Gráfico: 1b.

Gráfico: 1a – Perfil de pontos de análise de microsonda no mineral granada da amostra 159 (figura xxx metapelito).

Foram plotados os teores de ALM=almandina, Gross=grossulária e PYROPE=piropo.

Gráfico 1b Perfil de pontos de análise de microsonda no mineral granada da amostra 159 (metapelito). A plotagem é do teor de SPESSE=espessartita. A individualização dessa plotagem ocorre devido aos valores do teor da espessartita serem menores em relação aos valores de teores da almandina, grossulária e piropo.



Fig: 4 Foto da lâmina para microsonda da amostra 176 (anfibólio eclogito), sem analisador.



Fig.:5 Foto da lâmina para microsonda da amostra 176 (anfibólio eclogito), com analisador.

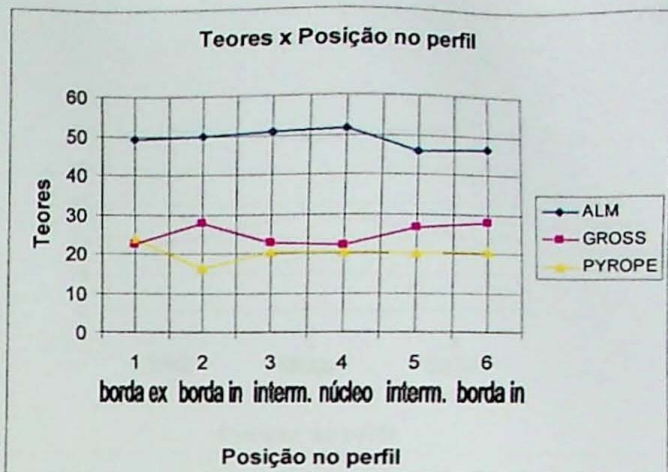


Gráfico: 2a.

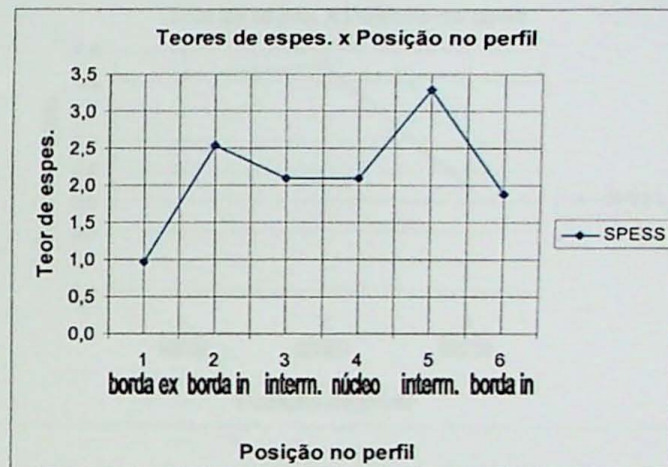


Gráfico: 2b.

Gráfico: 2a Perfil de pontos de análise de microsonda no mineral granada da amostra 176 (figura xxx anfibólio eclogito). Foram plotados os teores de ALM=almandina, Gross=grossulária e PYROPE=

Piropo

Gráfico: 2b Perfil de pontos de análise de microsonda no mineral granada da amostra 176 (anfibólio eclogito). A plotagem é do teor de SPESSE=espessartita. A individualização dessa plotagem ocorre devido aos valores do teor da espessartita serem menores em relação aos valores de teores da almandina, grossulária e piropo.

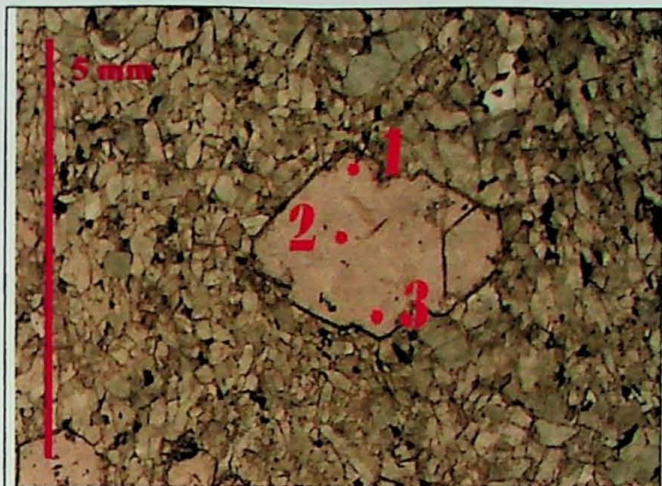


Fig.:6 Foto da lâmina para microsonda da amostra 176A (eclogito), sem analisador.



Fig.:7 Foto da lâmina para microsonda da amostra 176A (eclogito), com analisador.

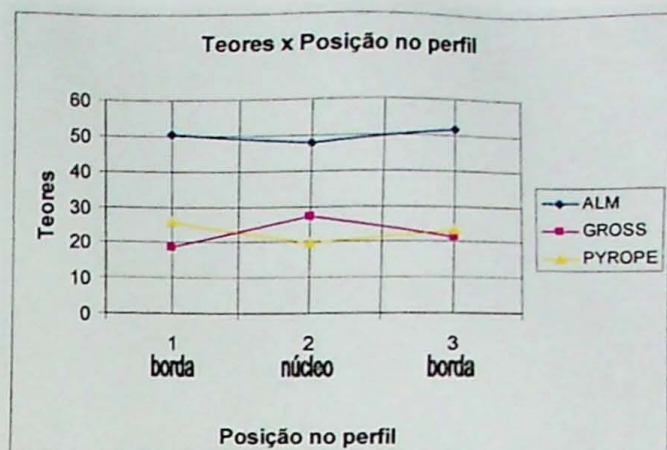


Gráfico:3a.

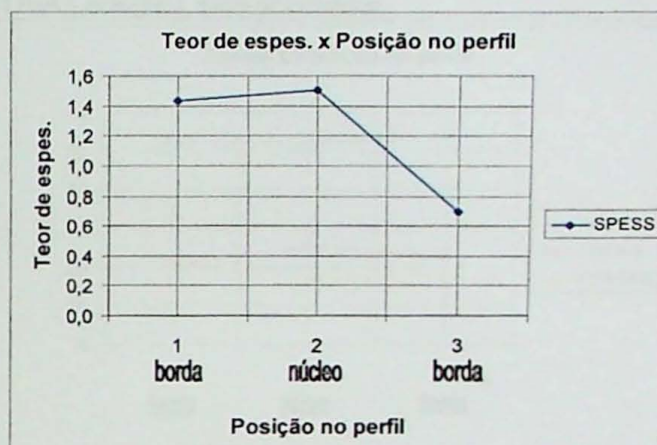


Gráfico: 3b.

Gráfico 3a Perfil de pontos de análise de microsonda no mineral granada da amostra 176 (figura xxx anfibólio eclogito). Foram plotados os teores de ALM=almandina, Gross=grossulária e PYROPE= Piropo.

Gráfico: 3b Perfil de pontos de análise de microsonda no mineral granada da amostra 176 (anfibólio eclogito). A plotagem é do teor de SPESSE=espessartita. A individualização dessa plotagem ocorre devido aos valores do teor da espessartita serem menores em relação aos valores de teores da almandina, grossulária e piropo



Fig.:8 Foto da lâmina para microsonda da amostra 176A (eclogito), sem analisador.

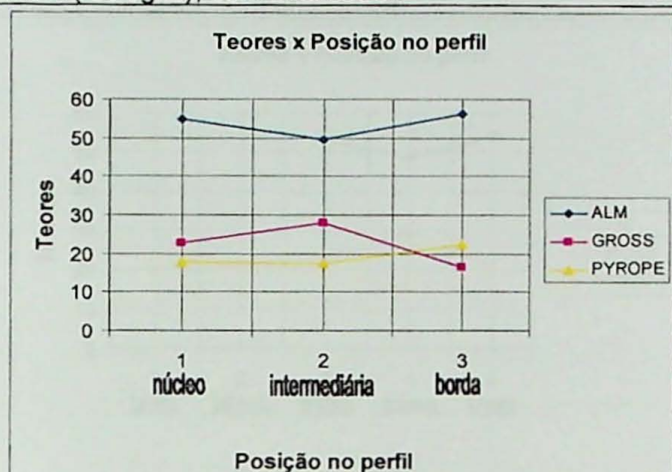


Gráfico :4a Perfil de pontos de análise de microsonda no mineral granada da amostra 176A (figura xxx eclogito). Foram plotados os teores de ALM=almandina, Gross=grossulária e PYROPE=piropo.

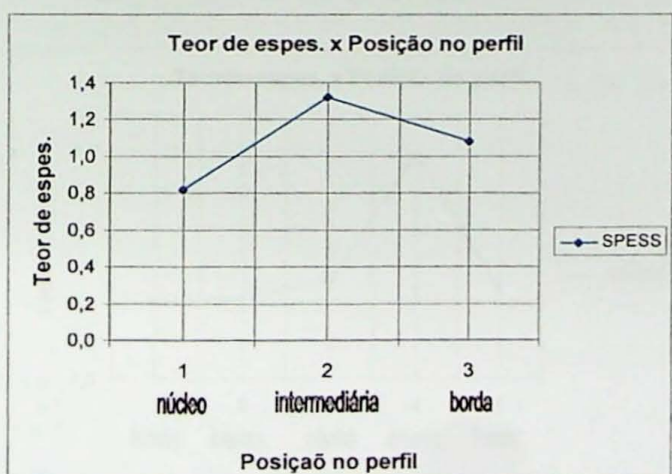


Gráfico: 4b Perfil de pontos de análise de microsonda no mineral granada da amostra 176A (eclogito). A plotagem é do teor de SPES=espessartita. A individualização dessa plotagem ocorre devido aos valores do teor da espessartita serem menores em relação aos valores de teores da almandina, grossulária e piropo.



Fig.:9 Foto da lâmina para microsonda da amostra 176A (eclogito), sem analisador.

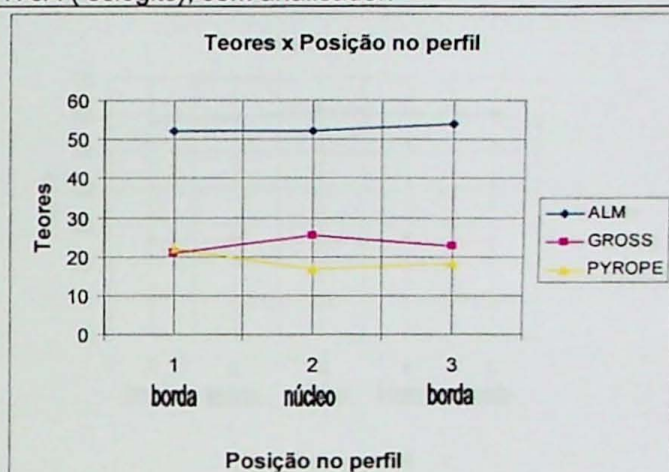


Gráfico: 5a Perfil de pontos de análise de microsonda no mineral granada da amostra 176A (figura xxx eclogito). Foram plotados os teores de ALM=almandina, Gross=grossulária e PYROPE=piropo

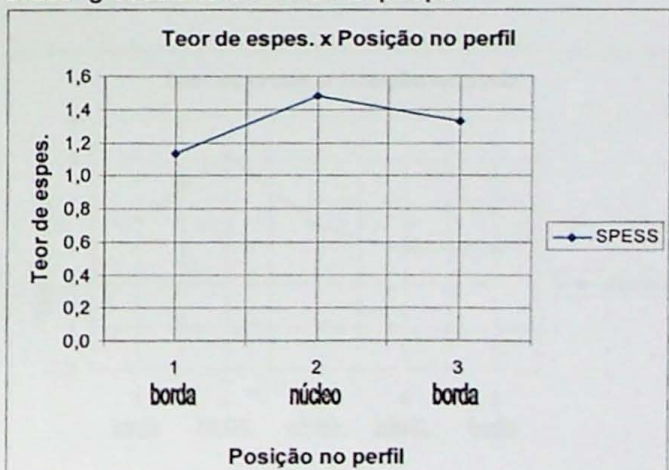


Gráfico: 5b Perfil de pontos de análise de microsonda no mineral granada da amostra 176A (eclogito). A plotagem é do teor de SPES=espessartita. A individualização dessa plotagem ocorre devido aos valores do teor da espessartita serem menores em relação aos valores de teores da almandina, grossulária e piropo.

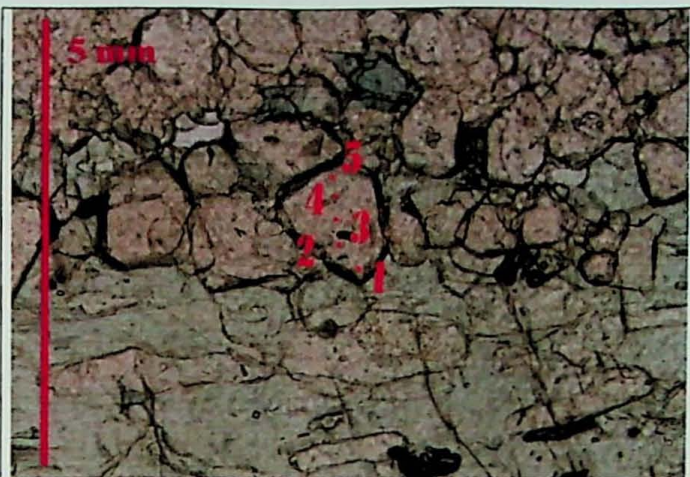


Fig.:10 Foto da lâmina para microsonda da amostra 176A (eclogito), sem analisador.

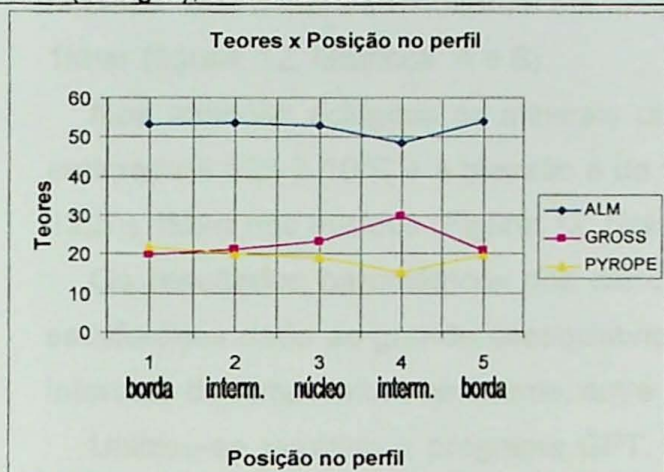


Gráfico: 6a Perfil de pontos de análise de microsonda no mineral granada da amostra 176A (figura xxx eclogito). Foram plotados os teores de ALM=almandina, Gross=grossulária e PYROPE=piropo.

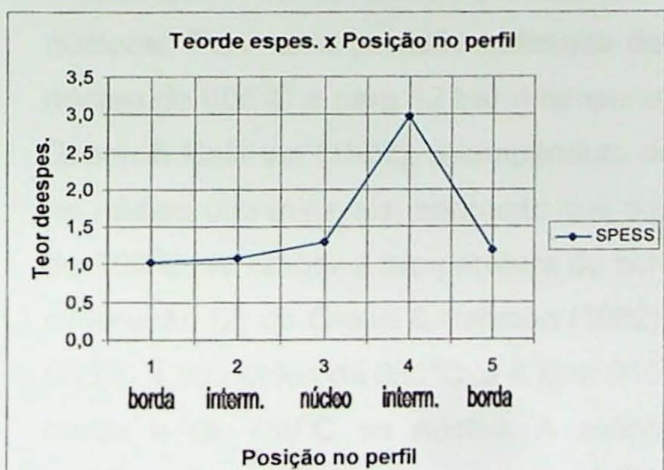


Gráfico: 6b Perfil de pontos de análise de microsonda no mineral granada da amostra 176A (eclogito). A plotagem é do teor de SPES=espessartita. A individualização dessa plotagem ocorre devido aos valores do teor da espessartita serem menores em relação aos valores de teores da almandina, grossulária e piropo

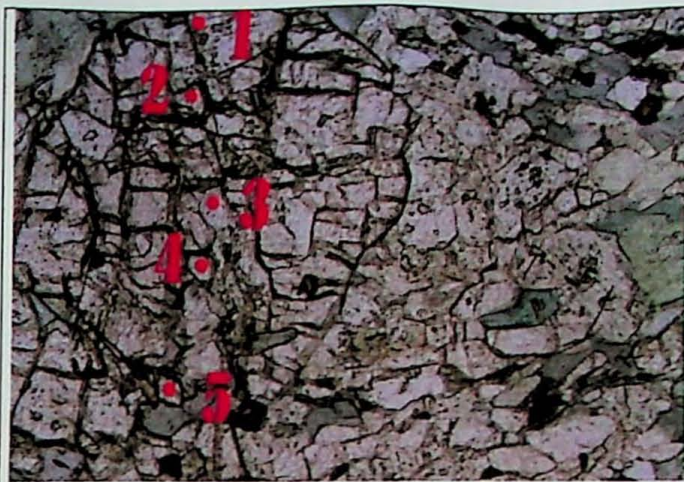


Fig: 11 Foto da lâmina para microsonda da amostra 174A (eclogito), sem analisador.

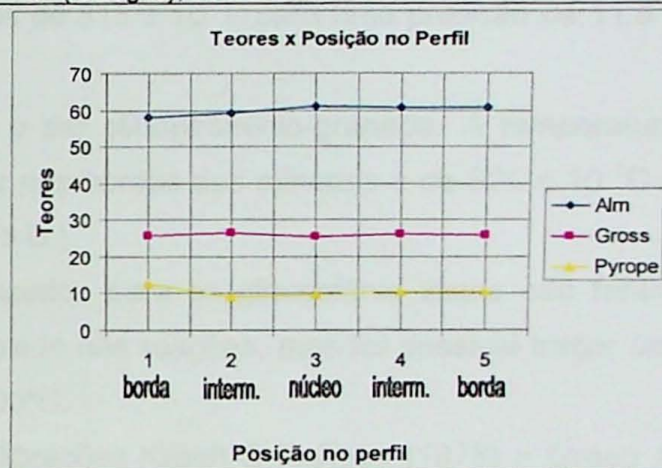


Gráfico: 7a Perfil de pontos de análise de microsonda no mineral granada da amostra 174A (figura xxx). Foram plotados os teores de ALM=almandina, Gross=grossulária e PYROPE=piropo.

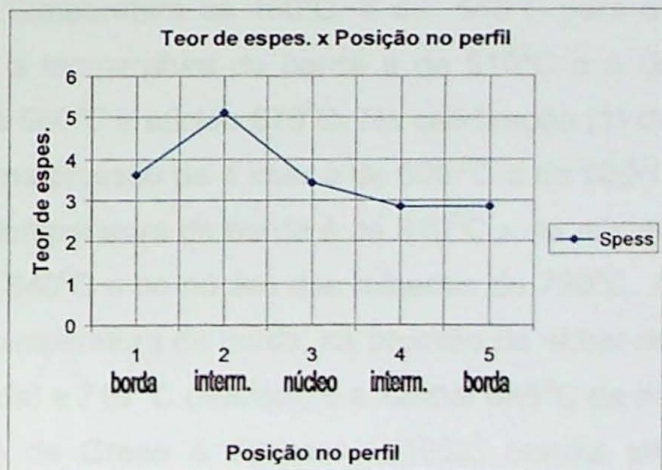


Gráfico: 7b Perfil de pontos de análise de microsonda no mineral granada da amostra 174A (xisto azul). A plotagem é do teor de SPES=espessartita. A individualização dessa plotagem ocorre devido aos valores do teor da espessartita serem menores em relação aos valores de teores da almandina, grossulária e piropo.

Todas as análises de microsonda usadas para a confecção dos gráficos de geotermobarometria estão anexas (Anexo 1).

Para o cálculo das pressões e temperaturas nas quais as rochas da fácies eclogito foram geradas foi utilizado o programa TWQ versão 1.02, com calibrações Kerrick & Jacobs (1981), Haar *et al.* (1984) e Mader & Berman (1991).

Para os cálculos geotermobarométricos dos minerais da Amostra 176A foram utilizadas as composições de clinopiroxênio, granada e mica em borda e núcleo. As temperaturas calculadas para as bordas dos minerais foram de $620 \pm 10^{\circ}\text{C}$ para uma pressão de $13,5 \pm 1\text{kbar}$. Os núcleos dos minerais resultaram em temperaturas de $615 \pm 10^{\circ}\text{C}$ para uma pressão de $11,8 \pm 1\text{kbar}$ (figura: 12. Gráficos: A e B).

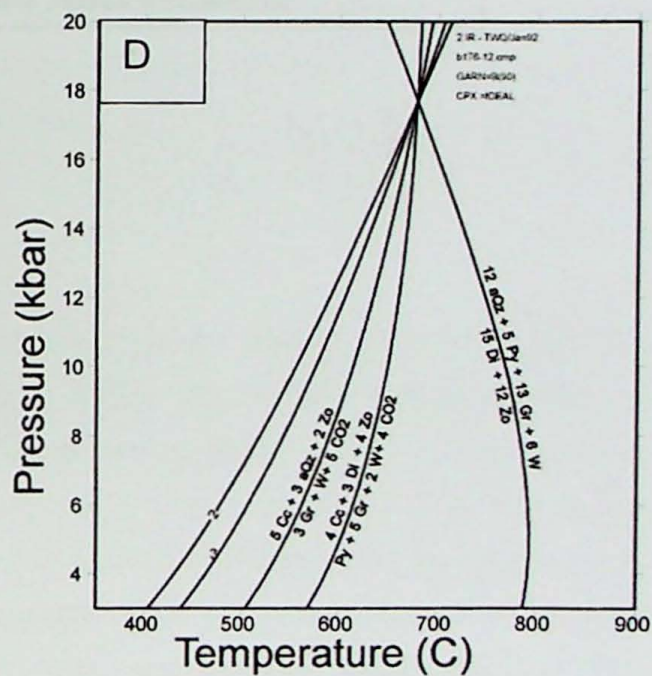
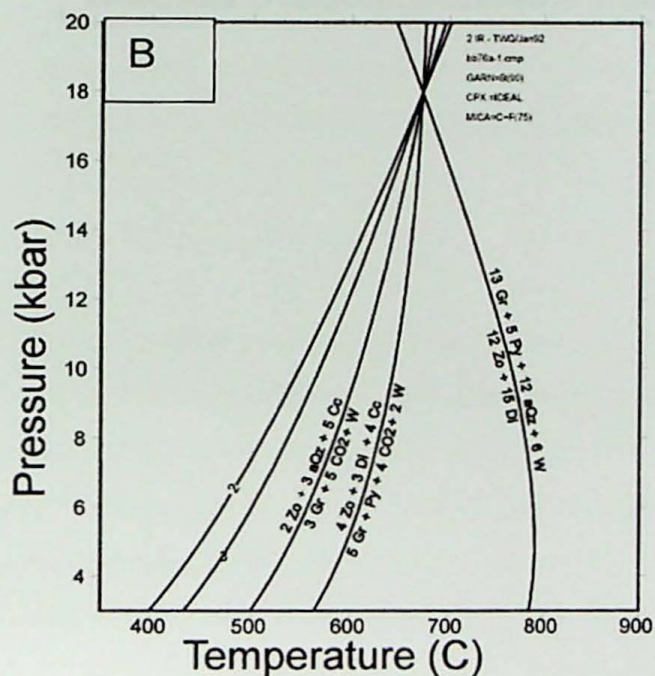
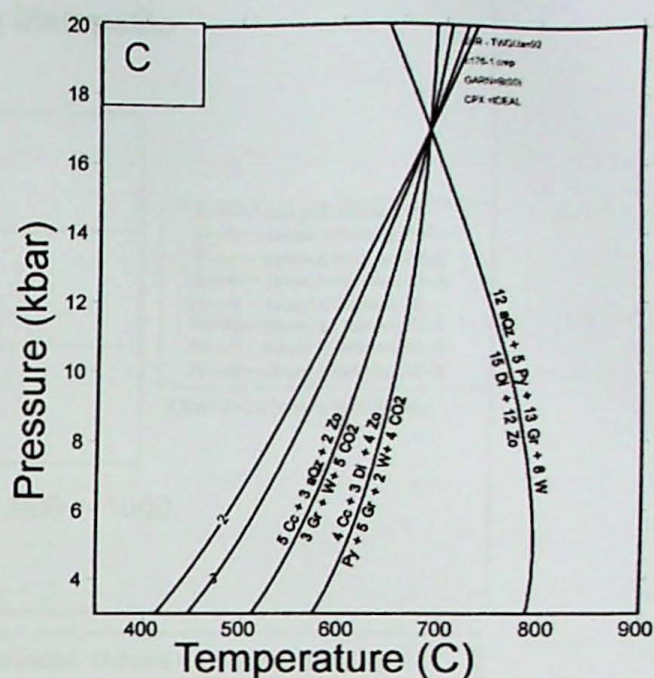
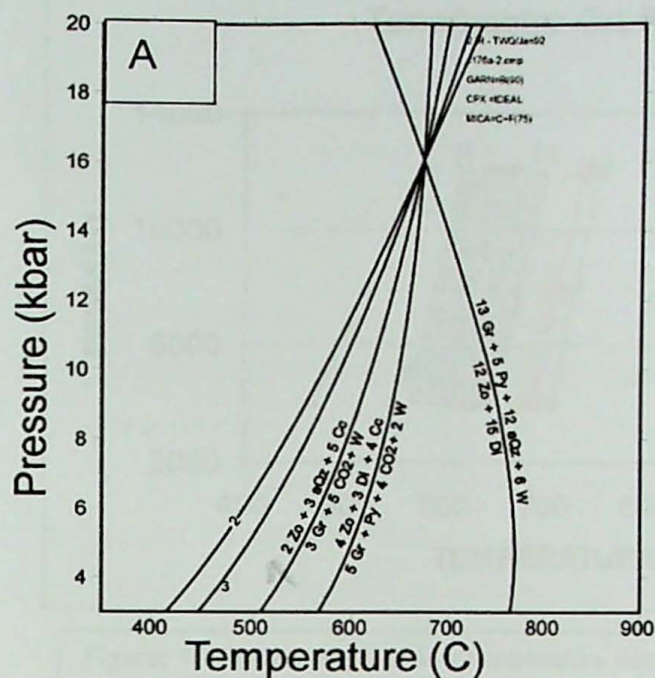
Nos anfibólitos eclogitos os minerais utilizados o par clinopiroxênio-granada. A temperatura estimada é $625 \pm 10^{\circ}\text{C}$ e a pressão é de $13,2\text{kbar}$ nas bordas dos minerais e de $625 \pm 10^{\circ}\text{C}$ e $12,5 \pm 1\text{kbar}$ nos núcleos (Figura: 12. Gráficos: C e D).

Os resultados barométricos dos cálculos realizados para os glaucofânios xistos não foram satisfatórios dado ao grande desequilíbrio encontrado nas reações, mas foi possível traçar um intervalo de temperatura pertinente, entre 200 e 400°C .

Utilizou-se também o programa GPT, com calibrações Krogh & Raheim (1978) e Green & Hellman (1982) 1, 2 e 3 para os pares minerais granada-mica na termometria das rochas metapelíticas e para os glaucofânios xistos. (Figura: 13).

Nos metapelitos foi utilizada a calibração de Krogh & Raheim (1978), que indicou para as bordas dos minerais a uma pressão de 4 kbar à temperatura de 460°C , e de 540°C para os núcleos. Para uma pressão estimada de 8 kbar a temperatura da borda é de 510°C e a do núcleo de 605°C e para 12 kbar a temperatura é de 580°C e núcleo 670°C . Na calibração (1) de Green & Hellman (1982), a temperatura de borda na pressão de 4 kbar é de 600°C e de 680°C no núcleo dos minerais, enquanto que a 8 kbar a temperatura de borda é de 610°C e do núcleo de 700°C . A 12 kbar a temperatura de borda é de 640°C e no núcleo dos minerais de 720°C . A calibração (2) de Green & Hellman (1982) indica temperatura de borda, na pressão de 4 kbar de 605°C e de núcleo de 690°C ; a 8 kbar 615°C (borda) e 710°C (núcleo); e a 12 kbar 645°C de na borda e de 730°C no núcleo. A calibração (3) de Green & Hellman (1982) resulta em temperatura de borda a 4 kbar de 620°C e de núcleo a 705°C ; a 8 kbar de 650°C na borda e 730°C no núcleo, e a 12 kbar, as temperaturas de borda de 670°C e de núcleo de 750°C .

Nos glaucofânios xisto os resultados da termometria indicaram intervalo de temperaturas de 900°C a 1100°C , estas temperaturas não condizem com a realidade de rochas em fácies xisto azul.



As reações utilizadas nos gráficos são:

- 1): $2 \text{Zo} + 3 \text{aQz} + 5 \text{Cc} = 3 \text{Gr} + 5 \text{CO}_2 + \text{W}$
- 2): $13 \text{Cc} + 3 \text{Py} + 15 \text{aQz} + \text{W} = 2 \text{Zo} + 9 \text{Di} + 13 \text{CO}_2$
- 3): $6 \text{Cc} + \text{Py} + 6 \text{aQz} = \text{Gr} + 3 \text{Di} + 6 \text{CO}_2$
- 4): $4 \text{Zo} + 3 \text{Di} + 4 \text{Cc} = 5 \text{Gr} + \text{Py} + 4 \text{CO}_2 + 2 \text{W}$
- 5): $13 \text{Gr} + 5 \text{Py} + 12 \text{aQz} + 6 \text{W} = 12 \text{Zo} + 15 \text{Di}$

Figura: 12 Gráficos (A e B) representam temperatura e pressão registradas pelo núcleo e pela borda, respectivamente, dos minerais clinopiroxênio-granada-mica dos eclogitos (amostra 176A). Gráficos (C e D) representam temperatura e pressão registradas pelo núcleo e pela borda, respectivamente, dos minerais clinopiroxênio-granada-mica dos eclogitos (amostra 176)

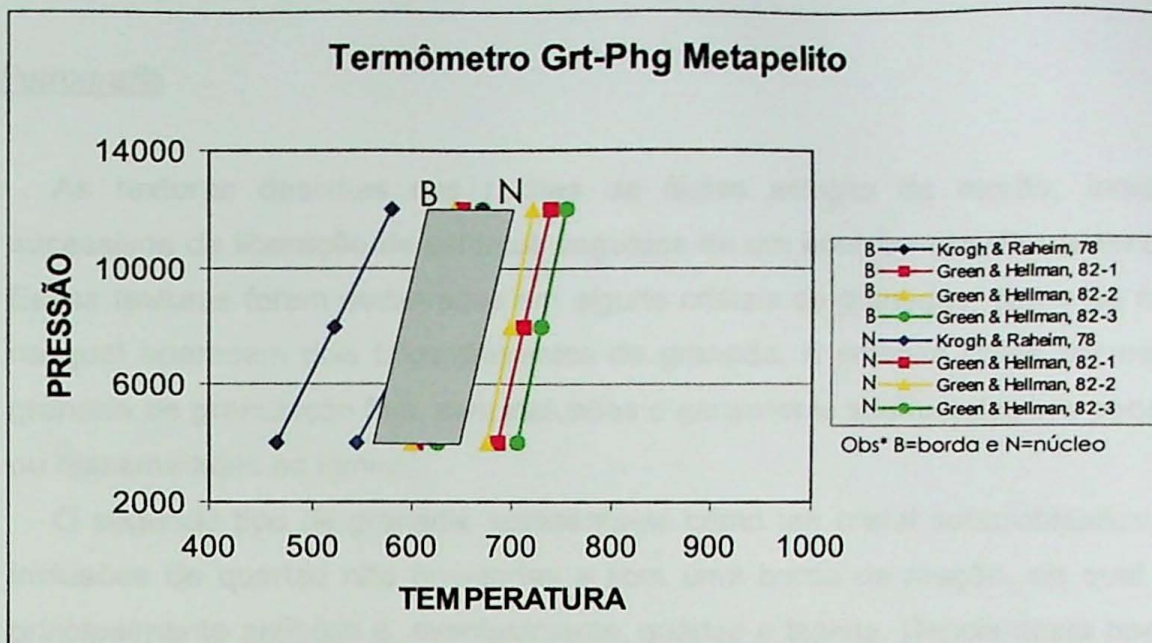


Figura: 13 Gráfico de pressão x temperatura dos resultados obtidos na termometria dos meta-pelitos. O campo em cinza indica as temperaturas médias encontradas.

Interpretações

Petrografia

As texturas descritas nas rochas da fácies eclogito da região, indicam eventos sucessivos de liberação de esforços seguidos de um novo evento de aumento de pressão. Essas texturas foram observadas em alguns cristais de granadas, como os na lâmina 176, na qual aparecem dois tipos diferentes de granada. A primeira delas corresponde a uma granada de granulação fina, sem inclusões e geralmente acumuladas em pequenas bandas ou disseminadas na lâmina.

O segundo tipo de granada, apresenta-se como um cristal subidioblástico, com poucas inclusões de quartzo não orientadas e com uma borda de reação, na qual concentra-se principalmente anfibólio e, eventualmente, quartzo e titanita. Depois desta borda de reação cristalizou-se um “anel” de granada, por vezes envolvendo o cristal interno e geralmente sem inclusões. Este “anel” eventualmente apresentam bordas idioblásticas, mas na maioria dos casos estas bordas apresentam-se corroídas. A presença desse “anel” que indica que essa rocha passou por processo de descompressão.

Química mineral

As granadas analisadas nos diferentes litotipos metamáficos de alta pressão da região de Râspas não apresentam um zoneamento claro, o que é comum em rochas de alto grau metamórfico. Isso possivelmente indica que este mineral se manteve em condições de alta temperatura durante um tempo considerável, fazendo com que a granada conseguisse homogeneizar a sua composição ao longo dos perfis analisados. Entretanto, a composição dos teores de *end members* obtidas, possibilita a classificar essas granadas como pertencentes ao grupo dos eclogitos e anfibólio eclogitos, classificação essa segundo Coleman *et al.* (1965) (Figura: 14).

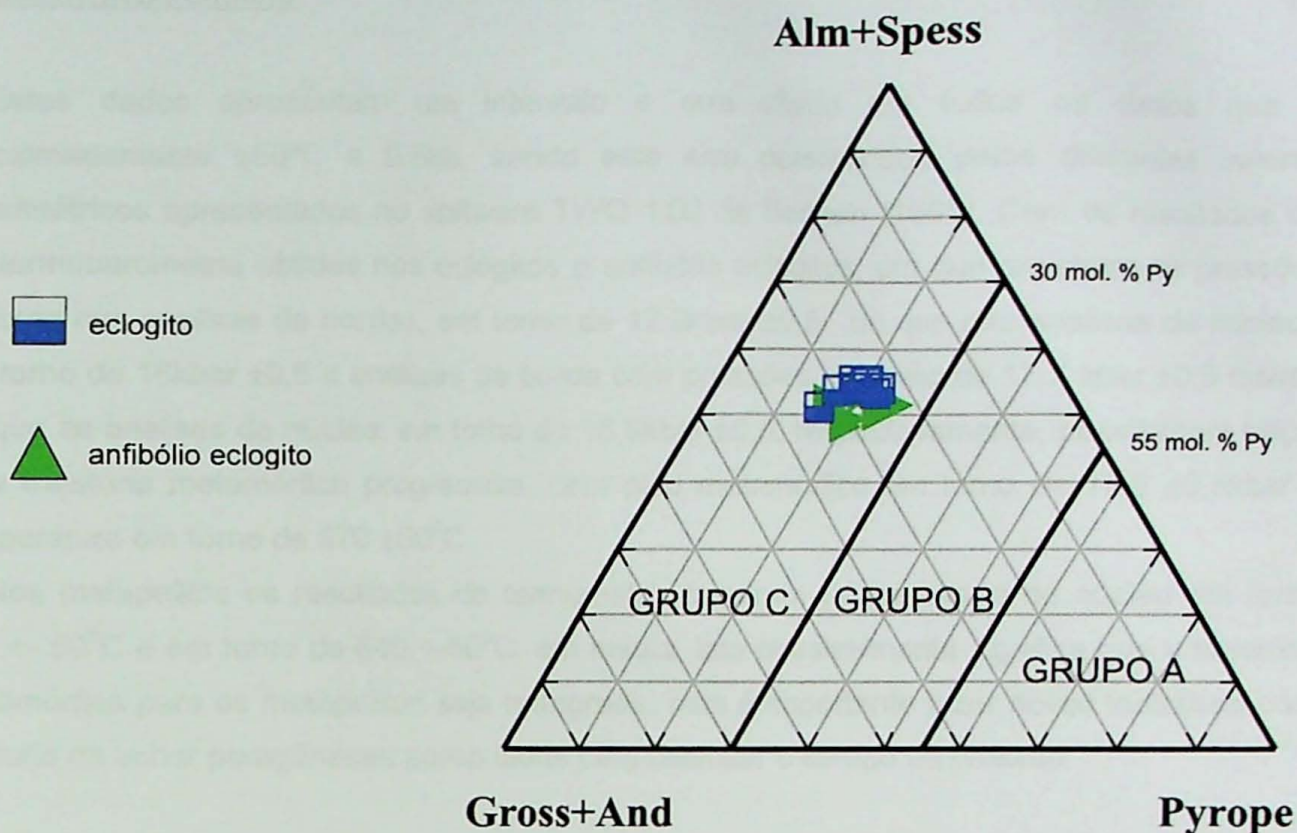


Fig.:14 Diagrama ternário de end members de granada utilizado para a classificação dos grupos dos eclogitos conforme Coleman *et al.* (1965)

No diagrama da figura XXX aponta-se o campo no qual as rochas da fácies eclogito da região de Raspas estão inseridas, sendo estas correspondentes ao grupo C, pois apresentam teores de piropo abaixo de 30%. Esta classificação possui implicações genéticas, uma vez que classifica essas rochas como pertencentes a bandas ou lentes dentro de rochas metamórficas do tipo Alpino (Coleman *et al.*, 1965).

Os teores elevados de Na nos cristais de clinopiroxênio e anfibólio, tanto nos eclogitos e anfibólio eclogitos como nos glaucofânio xistos, indicam que estas rochas foram geradas sob alta pressão.

O conteúdo de Al nos diferentes metabásitos analisados aumentam dos núcleos para as bordas o que indica que esses minerais se cristalizaram sob condições de temperatura relativamente elevadas.

Algumas micas encontradas nos metapelitos, eclogitos e glaucofânio xistos também apresentam-se enriquecidas em Na, enquanto outras possuem teores altos em Si, ambos os casos, indicam micas comuns em rochas de alta pressão. Nessas rochas coexistem em equilíbrio micas brancas do tipo paragonita e fengita.

Geotermobarometria

Estes dados apresentam um intervalo e erro citado em todos os dados que é aproximadamente $\pm 50^{\circ}\text{C}$ e 0.5kb, sendo este erro determinado pelos diferentes valores calorimétricos apresentados no *software* TWQ 1.02 de Berman (1991). Com os resultados de geotermobarometria obtidos nos eclogitos e anfibólio eclogitos, em que registram-se pressões maiores nas análises de bordas, em torno de 17,9kbar $\pm 0,5$, do que nas análises de núcleo, em torno de 16kbar $\pm 0,5$ e análises de borda com pressões em torno de 17,7 kbar $\pm 0,5$ maiores do que as análises de núcleo, em torno de 16,9kbar $\pm 0,5$, respectivamente, possibilitam traçar uma trajetória metamórfica progressiva, com pico metamórfico em torno de 17,8 $\pm 0,5$ kbar e temperatura em torno de $670 \pm 50^{\circ}\text{C}$.

Nos metapelitos os resultados da termometria mostram temperaturas de núcleo em torno $550 \pm 50^{\circ}\text{C}$ e em torno de $640 \pm 50^{\circ}\text{C}$, em média. Isto possivelmente significa que a trajetória metamórfica para os metapelitos seja retrograda, mas é importante fazer novas tentativas com o intuito de achar paragêneses apropriadas para delimitar o campo da pressão.

Conclusões

Os eclogitos e xistos azuis de Ráspas estão inseridos num amplo e complexo contexto tectônico, o fato de não existirem muitos estudos sobre modelos tectônicos dos Andes, torna ainda mais difícil situar as rochas estudadas. Além dos eclogitos e xistos azuis o Complexo compreende metaperidotitos (que não estão inclusos seus estudos no presente trabalho) e metapelitos.

A paragénese Cld-Grt-Ky-Phg dos metapelitos apresenta um campo de estabilidade bastante amplo, apesar disso é possível inferir que as rochas metapelíticas da área foram submetidas a condições de alta pressão e de temperaturas relativamente elevadas, pois elas estão intercaladas com rochas metamórficas compostas principalmente por clinopiroxênio (onfacita) e granada (possivelmente rica em pirope) de cor rosa. Esta última associação corresponde à fácies eclogito.

O pico metamórfico, na região de Ráspas, obtido associando os dados de petrografia e geotermobarometria, é registrado pelos anfibólio eclogitos e eclogitos. Sendo que as condições do metamorfismo progressivo registradas foram de pressão ao redor de $17,5 \pm 0,5$ kbar e de temperatura de $650 \pm 50^\circ\text{C}$. As condições de retro-metamorfismo que afetaram a área, não foram muito intensas.

O problema de analisar rochas de altas pressões e temperaturas reside no processo de estabilização das paragéneses, pois é nessas condições que as rochas alcançam o equilíbrio termodinâmico e as fases minerais só preservam o registro do último evento (pico metamórfico) ao qual foram submetidas. Isso associado a uma rápida exumação, faz com o que a trajetória metamórfica obtida com as paragéneses dos eclogitos precise ser conjugada com dados de rochas metapelíticas e metabasitos de médio grau metamórfico (anfibolitos e xistos verdes) encontradas na unidade Arenillas-Panupali, a sul do Complexo Ráspas.

É difícil estabelecer através da geotermobarometria as condições de temperatura e pressão aproximadas, que foram gerados os xistos azuis, devido ao complicado estado de desequilíbrio entre os minerais, possivelmente por serem rochas que são submetidas a condições extremas, alta pressão e baixa temperatura. Portanto a barometria dos glaucofânio xistos ficou comprometida, apenas foi possível estimar um amplo intervalo de temperatura entre 300 e 400°C . Entretanto sua paragénese permite inferir que provavelmente estas rochas sejam resultantes do retrometamorfismo dos eclogitos.

Quanto as classificações para os eclogitos propostas por Coleman et al., (1965), os resultados obtidos com a química mineral em granadas constatou que os eclogitos e anfibólio eclogitos em questão fazem parte dos eclogitos do grupo C, geneticamente associados a lentes e camadas de rochas metamórficas do tipo Alpino. No entanto é importante ressaltar que a re-

Referências Bibliográficas

Aguirre, L., Hervé, F., Godoy, E., 1972. Distribution of metamorphic facies in Chile: an outline. *Krystallinikum* **9**: 7–19.

Arculus, R.J., Lapierre, H., Jaillard, É., 1999. Geochemical window into subduction and accretion processes: Raspas metamorphic complex, Ecuador. *Geology*, **27**: n°6, p.547-550.

Aspden, J.A., Mccourt, W.J., Brook, M. 1987. Geometrical control of subduction-related magmatism: the Mesozoic and Cenozoic plutonic history of Western Colombia. *J. Geol. Soc. London*, **144**: 893 – 905.

Aspden, J.A., Bonilla, W., Duque, P., 1995. The el oro metamorphic complex, Ecuador: geology and economic mineral deposits. *Oveseas Geology and Minerral Resources* **67**: British Geological Survey Publication, Nottingham, p.63.

Ave-Lallemant, H.G., 1996. Displacement partitioning and arc-parallel extension: example from the southeastern Carribean Plate Margin. In: Bebout, G.E., Scholl, D.W., Kirby, S.H., Platt, J.P. (Eds.), Subduction top to bottom. *American Geophysical Union, Geophysical Monograph* **96**: 113-118.

Berman, R.G. (1991) Thermobarometry using multiequilibrium calculations: a new technique with petrologic applications. *Canadian Mineralogist*, **29**: 833-855.

Bosch, D., Gabriele, P., Lapierre, H., Malfere, J-L., Jaillard, E., 2002. Geodynamic significance of the Raspas Metamorphic Complex (SW Ecuador): geochemical and isotopic constraints. *Tectonophysics* **345**: 83-102.

Bonorino, F. G., 1971. Metamorphism of the crystalline basement of central Chile. *Journal of Petrology* **12**: 149-175.

Bowes, D.R., 1989. *The encyclopedia of igneous and metamorphic petrology*. Van Nostrand Reinhold, p. 184-187.

Coleman, R.G. 1965. Eclogites and Eclogites: Their differences and similarities. *Geological Society of American Bulletin*, **76**: 483-508.

Coleman, R.G., 1972. Blueschist metamorphism and plate tectonics. Report of the Session. *International Geological Congress*, 24. Anais., USGS, **2**: 19-26.

Coleman, R. G. & Wang, X., 1995. Ultrahigh pressure metamorphism. Ed. Robert, G., Coleman., Xiaomin Wang.

Dahl, P.S., 1980. The thermal-compositional dependence of Fe^{2+} -Mg distributions between coexisting garnet and pyroxene: applications to geothermometry: *The American Mineralogist* **65**: 852-866.

Draper, G., Lewis, J.F., 1991. Metamorphic belts of central Hispaniola. In: Mann, P., Draper, G., Lewis, J.F., (Eds.), Geologic development of North American-Caribbean plate Boundary in Hispaniola: *Geological Society of America Special Paper* **262**: 29-45.

Ellis, D.J. & Green, D.J., 1979. An Experimental study of the effect of Ca upon garnet-clinopyroxene Fe-M exchange equilibria. *Contrib. Mineral. Petrol.*, **71**: 13-22.

Ernst, W.G., 1988. Tectonic history of subduction zone inferred from retrograde blueschist P-T paths. *Geology* **16**: 1081 – 1084.

Ernst, W.G., 1975. Systematics of large-scale tectonics age progression in Alpine and Circum-Pacific belts. *Tectonophysics* **26**: 229-246.

Ernst, W.G., 1972. Occurrence and mineralogic evolution of blueschist belts with time. *American Journal of Science* **272**: 657 – 688.

Feininger, T., 1980. Eclogite and related high-pressure regional metamorphic rocks from the Andes of Ecuador. *Journal of Petrology* **21**: 107-140.

Feininger, T., 1978. Geologic map of western El Oro province. 1/50000. Escuela Politecnica Nacional, Quito, Ecuador.

Gabriele, P., 2002. HP terranes exhumation in an active margin setting: geology, petrology and geochemistry of the Raspas Complex in SW Ecuador. Unpublished Ph.D. Thesis, University of Lausanne, Switzerland.

Green, T.H. & Hellman, P.L., 1982. Fe-Mg partitioning between coexisting garnet and phengite at high pressure, and comments on a garnet-phengite geothermometer. *Lithos*, **15**: 253-266.

Haar, L., Gallagher, J.S., Kell, G.S., 1984. NBS/NRC Steam Tables. Thermodynamic and transport properties and computer programs for vapor and liquid states of water in S.I. units. Hemisphere publishing Co, Washington D.C.

Hervé, F., Nelson, E., Kawashita, K., Suárez, M., 1981. New isotopic ages and the timing of orogenic events in the Cordillera Darwin, southernmost Chilean Andes. *Earth and Planetary Science Letters*, **55**: Issue 2, p. 257- 265.

Holland, T.J.B., 1980. The reaction albite = jadeite + quartz determined experimentally in the range 600–1200°C. *The American Mineralogist* **65**: 129–134.

Holland, T.J.B., 1990. Activities of components in omphacitic solid solutions: An application of Landau theory to mixture. *Contributions to Mineralogy and Petrology* **105**: 446–453.

Jaillard, E., Sole, P., Carlier, G., Mourier, T., 1990. Geodynamic evolution of the northern and central Andes during early middle Mesozoic times: a Tethyan model. *J. Geol. Soc. London*, **147**: 1009-1022.

Juliani, C., 2002. GMG 5862 – *Geotermobarometria e evolução P-T-t-d de terrenos metamórficos* – Notas de Aulas.

Juliani, C.; Szabó, G.A.; Benevides, T.; Freitas, F.C.; Aguiar, A. P. (2002). Petrologia Metamórfica. Apostila do curso GMG 332-Departamento de Mineralogia e Geotectônica-IG-USP, versão preliminar. p.171.

Klein, C. & Hurlbut, C.S., 1937. Manual of Mineralogy: After James D. Dana.

Koziol, A.M. & Newton, R.C., 1988. Redetermination of the anorthite breakdown reaction and improvement of plagioclase-garnet- Al_2SiO_5 – quartz geobarometer. *Am Mineral* **73**: 216-223.

Kretz, R., Symbols for rock-forming mineral. *American Mineralogist* **68**: 277-279.

Krogh, E.J., 1988. The garnet-clinopyroxene Fe-Mg geothermometer – a reinterpretation of existing experimental data. *Contributions to Mineralogy and Petrology* **99**: 44–48.

Krögh, E.J., Raheim, A. 1978. Temperature and pressure dependence of Fe-Mg partitioning between garnet and phengite, with particular reference to eclogites. *Contrib. Mineral. Petrol.* **66**: 75-80.

Ganguly, J., Saxena, S.K., 1984. Mixing properties of aluminosilicate garnets: Constraints from natural and experimental data, and applications to geothermo-barometry. *AM mineral* **69**: 88-97.

Maekawa, H., Shozul, M., Ishii, T., Fryer, P., Pearce, J.A., 1993. Blueschists metamorphism in a active subduction zone, *Nature*, **364**: 520-523.

Maruyama, S., Liou, J.G., Terabayashi, M., 1996. Blueschists and eclogites of the world and their exhumation. *International Geology Review* **38**: 485–594.

Miller, H., 1973. Características estructurales del basamento geológico chileno. Congreso Geológico Argentino, 5. Actas..., v. **4**: 101–115.

Miyashiro, A., 1961. Evolution of metamorphic belts. *Journal of Petrology* **2**: 277–311.

Mysen, B.O., Heier, K.S., 1972. Petrogenesis of eclogite in high grade metamorphic gneisses, exemplified by the Hareidland eclogite, western Norway. *Contributions to Mineralogy and Petrology* **36**: 73–94.

Pattison, D.R.M., Newton R.C., 1989. Reversed experimental calibration of garnet–clinopyroxene Fe–Mg exchange thermometer. *Contributions to Mineralogy and Petrology* **101**: 87–103.

Platt, J.P., 1987. The uplift of high-pressure-low-temperature metamorphic rocks. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, **A321**: 87–103.

Powell, R., 1985. Regression diagnostics and robust regression in geothermometer/geobarometer calibration: the garnet–clinopyroxene geothermometer revisited. *Journal of Metamorphic Geology* **3**: 231–243.

Powell, R., Holland, T.J.B., 1988 An internally consistent thermodynamic dataset with uncertainties and correlations: III Applications to geobarometry, worked examples and a computer program. *Journal of Metamorphic Geology* **6**: 173–204.

Platt, J.P., 1987. The uplift of high-pressure–low-temperature metamorphic rocks. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London* **A321**: 87–103.

Råheim, A., GREEN, D.H., 1974. Experimental determination of the temperature and pressure dependence of the Fe–Mg partition coefficient for coexisting garnet and clinopyroxene. *Contributions to Mineralogy and Petrology* **48**: 179–203.

Reché, J., Martinez, F.J., 1996. GPT: An excel spreadsheet for thermobarometric calculation in metapelitic rock. *Computer & Geosciences* **22**: 775–784.

Sengupta, P., Dasgupta, S., Bhattacharya, P.K., Mukherjee, M., 1990. An orthopyroxene–biotite geothermometer and its applications in crystal granulites and mantle–derived rocks. *Journal of Metamorphic Geology* **8**: 191–197.

Spear, F.S., 1995. *Metamorphic phase equilibria and pressure–temperature–time paths*. Mineralogical Society of America, 799 p.

Tröger, W.E., 1979. *Optical determination of rock-forming minerals*. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart.

Tabela com resultados das análises de Microsonda Eletrônica para Granada

Amostra	159	159	159	159	159	159	176	176
Análise	4	5	6	7	8	9	28	29
SiO2	37.812	37.627	38.244	37.146	37.751	38.179	38.423	38.348
TiO2	0.012	0.125	0.028	0.123	0.015	0.012	0.114	0.062
Al2O3	21.993	22.014	4.1032	21.556	21.956	22.212	22.335	22.17
Cr2O3			0.017	0.001	0.017	0.014	0.017	0.003
FeO	30.585	30.621	26.785	27.684	27.457	27.806	23.459	23.654
MnO	0.358	0.315	0.273	0.933	0.467	0.426	0.432	1.126
MgO	3.735	3.954	5.864	3.265	5.251	6.473	6.032	4.066
CaO	6.583	6.244	6.849	9.001	7.667	5.288	9.221	11.025
Total	101.078	100.9	82.1632	99.709	100.581	100.41	100.033	100.454
Fórmula Estrutural calculada para 12 oxigênios								
FeOcalc	30.585	30.621	26.785	27.684	27.457	27.806	23.459	23.654
TSi	2.959	2.948	3.739	2.94	2.931	2.957	2.965	2.975
TAI	0.041	0.052	0	0.06	0.069	0.043	0.035	0.025
Sum_T	3	3	3.739	3	3	3	3	3
AlVI	1.986	1.979	0.472	1.949	1.939	1.983	1.994	2.001
Ti	0.001	0.007	0.002	0.007	0.001	0.001	0.007	0.004
Cr	0	0	0.001	0	0.001	0.001	0.001	0
Sum_A	1.987	1.987	0.476	1.957	1.941	1.985	2.002	2.005
Fe2	2.002	2.006	2.19	1.832	1.783	1.801	1.514	1.535
Mg	0.436	0.462	0.855	0.385	0.608	0.747	0.694	0.47
Mn	0.024	0.021	0.023	0.063	0.031	0.028	0.028	0.074
Ca	0.552	0.524	0.717	0.763	0.638	0.439	0.762	0.916
Sum_B	3.013	3.013	3.785	3.043	3.059	3.015	2.998	2.995
Sum_cat	8	8	8	8	8	8	8	8
O	12	12	12	12	12	12	12	12
Alm	66.432	66.585	57.865	60.208	58.279	59.733	50.49	51.236
Gross	18.319	17.395	18.68	25.076	20.795	14.51	25.374	30.586
Pyrope	14.461	15.326	22.582	12.658	19.868	24.787	23.142	15.699
Spess	0.788	0.694	0.597	2.055	1.004	0.927	0.942	2.47
Uvaro	0	0	0.276	0.003	0.054	0.043	0.052	0.009
XCagnt	0.183	0.174	0.189	0.251	0.208	0.146	0.254	0.306
XFegnt	0.664	0.666	0.579	0.602	0.583	0.597	0.505	0.513
XMggnt	0.145	0.153	0.226	0.127	0.199	0.248	0.231	0.157
Fe_Mggnt	4.592	4.342	2.561	4.758	2.933	2.411	2.182	3.266

Tabela com resultados das análises de Microsonda Eletrônica para Granada

Amostra Análise	174A 1	174A 2	174A 3	174A 4	174A 5	159 1	159 2	159 3
SiO ₂	37.81	37.228	37.523	37.358	37.428	38.285	37.584	37.752
TiO ₂	0.113	0.263	0.0244	0.122	0.104	0.065	0.079	0.031
Al ₂ O ₃	22.205	22.04	22.227	22.119	22.298	22.151	21.761	21.814
Cr ₂ O ₃	0.02	0.053	0.066		0.031	0.057		0.003
FeO	27.026	27.19	28.175	27.997	28.338	28.267	30.862	30.277
MnO	1.655	2.31	1.556	1.298	1.318	0.344	0.441	0.595
MgO	3.275	2.32	2.571	2.723	2.783	6.745	3.58	3.408
CaO	9.314	9.571	9.265	9.373	9.466	4.691	0.9996	6.258
Total	101.418	100.975	101.4074	100.99	101.766	100.605	95.3066	100.138
Fórmula Estrutural calculada para 12 oxigênios								
FeOcalc	27.026	27.19	28.175	27.997	28.338	28.267	30.862	30.277
TSi	2.939	2.925	2.931	2.927	2.91	2.96	3.137	2.988
TAI	0.061	0.075	0.069	0.073	0.09	0.04	0	0.012
Sum_T	3	3	3	3	3	3	3.137	3
AlVI	1.971	1.964	1.976	1.968	1.952	1.977	2.139	2.021
Ti	0.007	0.016	0.001	0.007	0.006	0.004	0.005	0.002
Cr	0.001	0.003	0.004	0	0.002	0.003	0	0
Sum_A	1.979	1.983	1.982	1.975	1.96	1.984	2.144	2.023
Fe ₂	1.757	1.786	1.841	1.834	1.843	1.828	2.154	2.004
Mg	0.379	0.272	0.299	0.318	0.323	0.777		0.402
Mn	0.109	0.154	0.103	0.086	0.087	0.023	0.031	0.04
Ca	0.776	0.806	0.775	0.787	0.789	0.389	0.089	0.531
Sum_B	3.021	3.017	3.018	3.025	3.04	3.016	2.72	2.977
Sum_cat	8	8	8	8	8	8	8	8
O	12	12	12	12	12	12	12	12
Alm	58.154	59.203	60.98	60.634	60.602	60.595	79.192	67.324
Gross	25.615	26.533	25.485	26.007	25.838	12.708	3.286	17.818
Pyrope	12.562	9.005	9.919	10.512	10.609	25.775	16.375	13.508
Spess	3.607	5.094	3.411	2.847	2.855	0.747	1.146	1.34
Uvaro	0.062	0.166	0.205	0	0.097	0.175	0	0.009
XCagnt	0.257	0.267	0.257	0.26	0.259	0.129	0.033	0.178
XFegnt	0.582	0.592	0.61	0.606	0.606	0.606	0.792	0.673
XMggnt	0.125	0.09	0.099	0.105	0.106	0.258	0.164	0.135
Fe_Mggnt	4.636	6.566	6.157	5.767	5.706	2.353	4.84	4.985

Tabela com resultados das análises de Microsonda Eletrônica para Granada

Amostra	176A	176A
Análise	26	27
SiO2	37.881	37.634
TiO2	0.065	0.052
Al2O3	21.635	21.852
Cr2O3		0.03
FeO	22.789	25.769
MnO	1.316	0.533
MgO	3.895	5.056
CaO	11.646	8.823
Total	99.227	99.749

Fórmula Estrutural calculada para 12 oxigênios

FeOcalc	22.789	25.769
TSi	2.975	2.939
TAI	0.025	0.061
Sum_T	3	3
AlVI	1.976	1.95
Ti	0.004	0.003
Cr	0	0.002
Sum_A	1.98	1.954
Fe2	1.497	1.683
Mg	0.456	0.589
Mn	0.088	0.035
Ca	0.98	0.738
Sum_B	3.02	3.046
Sum_cat	8	8
O	12	12
Alm	49.557	55.268
Gross	32.446	24.149
Pyrope	15.099	19.33
Spess	2.898	1.158
Uvaro	0	0.095
XCagnt	0.324	0.242
XFegnt	0.496	0.553
XMggnt	0.151	0.193
Fe_Mggnt	3.283	2.857

Tabela com resultados das análises de Microsonda Eletrônica para Granada

Amostra Análise	176A 19	176A 2	176A 20	176A 21	176A 22	176A 23	176A 24	176A 25
SiO ₂	38.011	37.634	37.639	37.972	37.544	37.851	37.95	37.854
TiO ₂	0.086	0.052	0.124	0.248	0.099	0.056	0.08	0.049
Al ₂ O ₃	21.564	21.852	22.003	21.682	21.397	21.822	21.723	21.778
Cr ₂ O ₃	0.027	0.03	0.017	0.071	0.013	0.032	0.026	0.028
FeO	25.141	25.769	24.968	24.618	25.498	25.187	25.586	24.709
MnO	0.419	0.533	0.509	0.653	0.588	0.451	0.483	0.571
MgO	5.237	5.056	5.552	4.225	4.57	5.532	5.092	4.733
CaO	8.517	8.823	8.82	10.339	9.389	8.343	8.911	9.413
Total	99.002	99.749	99.632	99.808	99.098	99.274	99.851	99.135
Fórmula Estrutural calculada para 12 oxigênios								
FeOcalc	25.141	25.769	24.968	24.618	25.498	25.187	25.586	24.709
TSi	2.987	2.939	2.932	2.97	2.959	2.961	2.96	2.973
TAI	0.013	0.061	0.068	0.03	0.041	0.039	0.04	0.027
Sum_T	3	3	3	3	3	3	3	3
AlVI	1.983	1.95	1.951	1.968	1.944	1.972	1.956	1.988
Ti	0.005	0.003	0.007	0.015	0.006	0.003	0.005	0.003
Cr	0.002	0.002	0.001	0.004	0.001	0.002	0.002	0.002
Sum_A	1.989	1.954	1.959	1.987	1.951	1.977	1.962	1.992
Fe ₂	1.652	1.683	1.627	1.611	1.68	1.648	1.669	1.623
Mg	0.614	0.589	0.645	0.493	0.537	0.645	0.592	0.554
Mn	0.028	0.035	0.034	0.043	0.039	0.03	0.032	0.038
Ca	0.717	0.738	0.736	0.867	0.793	0.699	0.745	0.792
Sum_B	3.011	3.046	3.041	3.013	3.049	3.023	3.038	3.008
Sum_cat	8	8	8	8	8	8	8	8
O	12	12	12	12	12	12	12	12
Alm	54.878	55.268	53.487	53.452	55.109	54.525	54.943	53.969
Gross	23.734	24.149	24.153	28.539	25.956	23.039	24.434	26.253
Pyrope	20.377	19.33	21.202	16.353	17.607	21.348	19.492	18.428
Spess	0.926	1.158	1.104	1.436	1.287	0.989	1.05	1.263
Uvaro	0.084	0.095	0.053	0.221	0.041	0.1	0.082	0.087
XCagnt	0.238	0.242	0.242	0.288	0.26	0.231	0.245	0.263
XFegnt	0.549	0.553	0.535	0.535	0.551	0.545	0.549	0.54
XMggnt	0.204	0.193	0.212	0.164	0.176	0.213	0.195	0.184
Fe_Mggnt	2.691	2.857	2.522	3.268	3.128	2.555	2.819	2.93

Tabela com resultados das análises de Microsonda Eletrônica para Granada

Amostra Análise	176A 11	176A 12	176A 13	176A 14	176A 15	176A 16	176A 17	176A 18
SiO ₂	38.525	38.39	38.573	37.412	37.599	37.8	38.465	38.341
TiO ₂	0.047	0.003	0.037	0.059	0.155	0.077	0.028	0.068
Al ₂ O ₃	21.879	22.183	22.097	21.55	21.618	21.744	22.246	21.704
Cr ₂ O ₃	0.076	0.018	0.009	0.051	0.012	0.02	0.015	0.04
FeO	23.636	26.803	26.087	24.02	25.375	26.54	24.862	25.426
MnO	0.591	0.483	0.417	1.143	0.498	0.391	0.481	0.427
MgO	4.433	5.656	5.4	3.335	4.812	5.267	6.323	4.641
CaO	11.313	7.364	8.037	11.462	9.841	8.009	8.343	9.979
Total	100.5	100.9	100.657	99.032	99.91	99.848	100.763	100.626
Fórmula Estrutural calculada para 12 oxigênios								
FeOcalc	23.636	26.803	26.087	24.02	25.375	26.54	24.862	25.426
TSi	2.981	2.962	2.983	2.958	2.933	2.952	2.951	2.972
TAI	0.019	0.038	0.017	0.042	0.067	0.048	0.049	0.028
Sum_T	3	3	3	3	3	3	3	3
AlVI	1.975	1.978	1.995	1.964	1.919	1.952	1.962	1.953
Ti	0.003	0	0.002	0.004	0.009	0.005	0.002	0.004
Cr	0.005	0.001	0.001	0.003	0.001	0.001	0.001	0.002
Sum_A	1.982	1.979	1.997	1.971	1.929	1.957	1.964	1.959
Fe ₂	1.53	1.73	1.687	1.588	1.656	1.733	1.595	1.648
Mg	0.511	0.651	0.622	0.393	0.56	0.613	0.723	0.536
Mn	0.039	0.032	0.027	0.077	0.033	0.026	0.031	0.028
Ca	0.938	0.609	0.666	0.971	0.823	0.67	0.686	0.829
Sum_B	3.018	3.021	3.003	3.029	3.071	3.043	3.036	3.041
Sum_cat	8	8	8	8	8	8	8	8
O	12	12	12	12	12	12	12	12
Alm	50.688	57.261	56.183	52.437	53.915	56.97	52.552	54.195
Gross	30.848	20.1	22.148	31.896	26.75	21.963	22.547	27.125
Pyrope	16.946	21.539	20.731	12.978	18.225	20.154	23.825	17.634
Spess	1.284	1.045	0.91	2.527	1.072	0.85	1.03	0.922
Uvaro	0.234	0.055	0.028	0.162	0.038	0.063	0.046	0.125
XCagnt	0.311	0.202	0.222	0.321	0.268	0.22	0.226	0.273
XFegnt	0.507	0.572	0.562	0.524	0.539	0.57	0.526	0.542
XMggnt	0.169	0.215	0.207	0.13	0.182	0.202	0.238	0.176
Fe_Mggnt	2.994	2.657	2.712	4.041	2.957	2.827	2.206	3.075

Tabela com resultados das análises de Microsonda Eletrônica para Granada

Amostra	176	176	176	176	176	176	176	176A
Análise	30	31	32	33	34	35	36	10
SiO ₂	38.185	38.095	38.638	38.46	38.834	38.599	38.354	38.325
TiO ₂	0.115	0.056	0.043	0.072	0.015	0.025	0.053	0.099
Al ₂ O ₃	22.231	22.017	21.863	22.363	22.401	22.177	22.024	21.816
Cr ₂ O ₃	0.054	0.05	0.273	0.017	0.038	0.059	0.013	
FeO	24.24	24.625	21.948	22.259	24.13	23.101	24.099	26.086
MnO	0.939	0.936	1.474	0.837	0.643	0.686	0.304	0.364
MgO	5.19	5.152	5.118	5.138	6.545	5.12	5.792	4.472
CaO	9.468	9.302	10.88	11.102	8.051	11.213	8.677	9.464
Total	100.422	100.233	100.237	100.248	100.657	100.98	99.316	100.626
Fórmula Estrutural calculada para 12 oxigênios								
FeOcalc	24.24	24.625	21.948	22.259	24.13	23.101	24.099	26.086
TSi	2.953	2.955	2.986	2.966	2.977	2.96	2.988	2.976
TAI	0.047	0.045	0.014	0.034	0.023	0.04	0.012	0.024
Sum_T	3	3	3	3	3	3	3	3
AlVI	1.978	1.966	1.976	1.997	1.999	1.962	2.009	1.971
Ti	0.007	0.003	0.002	0.004	0.001	0.001	0.003	0.006
Cr	0.003	0.003	0.017	0.001	0.002	0.004	0.001	0
Sum_A	1.988	1.972	1.995	2.002	2.002	1.967	2.013	1.977
Fe ₂	1.568	1.597	1.418	1.435	1.547	1.481	1.57	1.694
Mg	0.598	0.596	0.59	0.591	0.748	0.585	0.673	0.518
Mn	0.062	0.061	0.096	0.055	0.042	0.045	0.02	0.024
Ca	0.785	0.773	0.901	0.917	0.661	0.921	0.724	0.787
Sum_B	3.012	3.028	3.005	2.998	2.998	3.033	2.987	3.023
Sum_cat	8	8	8	8	8	8	8	8
O	12	12	12	12	12	12	12	12
Alm	52.048	52.759	47.197	47.88	51.601	48.852	52.563	56.037
Gross	25.879	25.378	29.139	30.543	21.942	30.197	24.207	26.046
Pyrope	19.865	19.677	19.619	19.701	24.949	19.3	22.519	17.125
Spess	2.042	2.031	3.21	1.823	1.393	1.469	0.672	0.792
Uvaro	0.166	0.155	0.835	0.052	0.115	0.182	0.04	0
XCagnt	0.261	0.255	0.3	0.306	0.22	0.304	0.242	0.26
XFegnt	0.52	0.528	0.472	0.479	0.516	0.488	0.526	0.56
XMggnt	0.198	0.197	0.196	0.197	0.249	0.193	0.225	0.171
Fe_Mggnt	2.622	2.68	2.403	2.428	2.068	2.532	2.333	3.27

Resultados das Análises de Microsonda para Anfibólio

Amostra Análise	176 9	176A 1	176A 2	176A 3	176A 4	176A 5	176A 6	174A 1
SiO2	50.063	55.617	55.237	50.627	50.634	47.661	47.984	58.194
TiO2	0.266	0.07	0.13	0.196	0.187	0.413	0.325	0.02
Al2O3	12.862	8.891	8.544	9.14	9.578	12.821	13.103	11.085
FeO	9.429	6.881	7.036	12.879	11.578	10.815	10.403	9.881
MnO	0.104	0	0.014	0.083	0.046	0.006	0.035	0.043
MgO	14.328	9.288	9.149	12.887	13.318	12.852	13.238	10.987
CaO	9.026	15.244	14.899	8.813	8.26	8.948	9.164	1.53
Na2O	3.593	6.021	5.799	3.628	3.686	3.869	3.636	6.764
K2O	0.323	0.013	0	0.205	0.237	0.526	0.56	0.029
F	0.056	0.002	0.051	0.126	0.104	0.142	0.2	0
Cl	0.011	0.027	0.006	0.004	0.027	0	0	0.004
Total	100.06	102.054	100.865	98.59	97.66	98.053	98.648	98.537

Fórmula Estrutural Calculada

O_F_Cl	0.03	0.01	0.02	0.05	0.05	*	*	*
O_F	0.02	0	0.02	0.05	0.04	0.06	0.08	*
TSi	7.102	7.653	7.763	7.588	7.605	7.192	7.338	7.935
TAI	0.898	0.347	0.237	0.412	0.395	0.808	0.662	0.065
Sum_T	8	8	8	8	8	8	8	8
CAI	1.251	1.094	1.178	1.202	1.299	1.471	1.697	1.715
CTi	0.028	0.007	0.014	0.022	0.021	0.047	0.037	0.002
CMg	3.03	1.905	1.917	2.88	2.982	2.891	3.018	2.233
CFe2	0.691	0.792	0.827	0.897	0.698	0.591	0.248	1.05
CMn	0	0	0.002	0	0	0	0	0
CCa	0	1.202	1.063	0	0	0	0	0
Sum_C	5	5	5	5	5	5	5	5
BMg	0	0	0	0	0	0	0	0
BFe2	0.428	0	0	0.718	0.756	0.774	1.083	0.077
BMn	0.012	0	0	0.011	0.006	0.001	0.005	0.005
BCa	1.372	1.045	1.181	1.272	1.238	1.225	0.913	0.224
BNa	0.188	0.955	0.819	0	0	0	0	1.694
Sum_B	2	2	2	2	2	2	2	2
ACa	0	0	0	0.144	0.091	0.221	0.589	0
ANa	0.8	0.652	0.761	1.054	1.073	1.132	1.078	0.094
AK	0.058	0.002	0	0.039	0.045	0.101	0.109	0.005
Sum_A	0.859	0.654	0.761	1.237	1.21	1.455	1.776	0.099
Sum_cat	15.859	15.654	15.761	16.237	16.21	16.455	16.776	15.099
CCI	0.003	0.006	0.001	0.001	0.007	0	0	0.001
CF	0.025	0.001	0.023	0.06	0.049	0.068	0.097	0
Sum_oxy	23.54	23.23	23.455	24.108	24.123	24.216	24.737	23.029

Resultados das Análises de Microsonda para Anfibólio

Amostra		176	176	176	176	176	176	176
Análise	10	11	12	13	14	15	7	8
SiO2	49.257	49.279	56.563	56.607	49.856	49.767	50.063	49.257
TiO2	0.296	0.435	0.08	0.12	0.277	0.286	0.266	0.296
Al2O3	13.312	13.165	10.732	11.725	12.496	12.693	12.862	13.312
FeO	9.264	8.923	4.845	4.376	8.814	8.954	9.429	9.264
MnO	0.046	0.031	0.053	0.014	0.072	0.062	0.104	0.046
MgO	14.151	13.918	9.201	8.761	14.46	14.223	14.328	14.151
CaO	9.021	9.025	14.686	13.682	8.653	8.752	9.026	9.021
Na2O	3.658	3.632	6.316	6.932	3.849	3.65	3.593	3.658
K2O	0.363	0.351	0	0	0.334	0.36	0.323	0.363
F	0.095	0.063	0.065	0.037	0	0.137	0.056	0.095
Cl	0	0	0	0	0	0.007	0.011	0
Total	99.463	98.822	102.541	102.254	98.811	98.89	100.06	99.463

Fórmula Estrutural Calculada

O_F_Cl	*	*	*	*	*	0.06	0.03	*
O_F	0.04	0.03	0.03	0.02	*	0.06	0.02	0.04
TSi	7.107	7.059	7.735	7.653	6.974	7.333	7.102	7.107
TAI	0.893	0.941	0.265	0.347	1.026	0.667	0.898	0.893
Sum_T	8	8	8	8	8	8	8	8
CAI	1.368	1.28	1.463	1.519	1.032	1.536	1.251	1.368
CTi	0.032	0.047	0.008	0.012	0.029	0.032	0.028	0.032
CMg	3.044	2.972	1.876	1.766	3.015	3.124	3.03	3.044
CFe2	0.556	0.701	0.554	0.495	0.923	0.308	0.691	0.556
CMn	0	0	0.006	0.002	0	0	0	0
CCa	0	0	1.093	1.207	0	0	0	0
Sum_C	5	5	5	5	5	5	5	5
BMg	0	0	0	0	0	0	0	0
BFe2	0.562	0.368	0	0	0.108	0.795	0.428	0.562
BMn	0.006	0.004	0	0	0.009	0.008	0.012	0.006
BCa	1.394	1.385	1.059	0.775	1.297	1.197	1.372	1.394
BNa	0.038	0.243	0.941	1.225	0.587	0	0.188	0.038
Sum_B	2	2	2	2	2	2	2	2
ACa	0	0	0	0	0	0.185	0	0
ANa	0.985	0.766	0.734	0.592	0.457	1.043	0.8	0.985
AK	0.067	0.064	0	0	0.06	0.068	0.058	0.067
Sum_A	1.052	0.83	0.734	0.592	0.517	1.295	0.859	1.052
Sum_cat	16.052	15.83	15.734	15.592	15.517	16.295	15.859	16.052
CCI	0	0	0	0	0	0.002	0.003	0
CF	0.043	0.029	0.028	0.016	0	0.064	0.025	0.043
Sum_oxy	23.777	23.51	23.503	23.282	22.997	24.206	23.54	23.777

Resultados das Análises de Microsonda para Anfibólio

Amostra Análise	174A 10	174A 11	174A 12	174A 2	174A 3	174A 4	174A 5	174A 6
SiO2	56.225	57.698	57.055	57.164	38.572	38.4	48.882	49.737
TiO2	0.069	0	0.098	0.049	0.09	0.08	0.363	0.246
Al2O3	11.26	11.096	11.066	10.861	27.405	27.307	12.248	11.438
FeO	11.03	10.144	10.772	10.268	7.421	8.183	11.928	11.948
MnO	0.106	0.092	0.094	0.105	0.257	0.263	0.103	0.092
MgO	10.87	10.827	11.073	11.157	0.03	0.051	12.238	12.294
CaO	2.926	1.503	1.738	1.894	24.812	24.584	7.764	7.559
Na2O	6.15	6.851	6.558	6.618	0	0	4.648	4.453
K2O	0.023	0.032	0.011	0.083	0.01	0.001	0.33	0.256
F	0.022	0.037	0.009	0	0.012	0.016	0.176	0.162
Cl	0	0	0	0.005	0.001	0	0.007	0.004
Total	98.681	98.28	98.474	98.204	98.61	98.885	98.69	98.19

Fórmula Estrutural Calculada

O_F_Cl	*	*	*	*	0.01	*	0.08	0.07
O_F	0.01	0.02	0	*	0.01	0.01	0.07	0.07
TSi	7.798	8	7.852	7.867	5.613	5.598	7.451	7.546
TAI	0.202	0	0.148	0.133	2.387	2.402	0.549	0.454
Sum_T	8	8	8	8	8	8	8	8
CAI	1.637	1.812	1.645	1.627	2.309	2.286	1.65	1.59
CTi	0.007	0	0.01	0.005	0.01	0.009	0.042	0.028
CMg	2.247	2.238	2.272	2.289	0.007	0.011	2.781	2.781
CFe2	1.109	0.95	1.073	1.078	0.903	0.998	0.527	0.601
CMn	0	0	0	0	0.032	0.032	0	0
CCa	0	0	0	0	1.74	1.664	0	0
Sum_C	5	5	5	5	5	5	5	5
BMg	0	0	0	0	0	0	0	0
BFe2	0.17	0.226	0.166	0.103	0	0	0.993	0.915
BMn	0.012	0.011	0.011	0.012	0	0	0.013	0.012
BCa	0.435	0.223	0.256	0.279	2	2	0.993	1.073
BNa	1.382	1.54	1.566	1.605	0	0	0	0
Sum_B	2	2	2	2	2	2	2	2
ACa	0	0	0	0	0.129	0.175	0.275	0.155
ANa	0.271	0.302	0.183	0.161	0	0	1.374	1.31
AK	0.004	0.006	0.002	0.015	0.002	0	0.064	0.05
Sum_A	0.276	0.307	0.185	0.175	0.131	0.175	1.713	1.515
Sum_cat	15.276	15.307	15.185	15.175	15.131	15.175	16.713	16.515
CCl	0	0	0	0.001	0	0	0.002	0.001
CF	0.01	0.016	0.004	0	0.006	0.007	0.085	0.078
Sum_oxy	23.171	23.289	23.068	23.038	23.101	23.126	24.586	24.431

Resultados das Análises de Microsonda para Anfibólio

Amostra Análise	174A 7	174A 8	174A 9
SiO2	58.088	58.12	48.903
TiO2	0.098	0.069	0.324
Al2O3	11.009	11.038	12.058
FeO	11.202	10.569	12.573
MnO	0.074	0.071	0.124
MgO	10.395	10.231	11.795
CaO	1.099	1.002	7.764
Na2O	7.102	7.094	4.454
K2O	0.02	0.002	0.293
F	0.138	0.1	0.053
Cl	0	0.002	0.012
Total	99.225	98.3	98.35

Fórmula Estrutural Calculada

O_F_Cl	*	0.04	0.03
O_F	0.06	0.04	
TSi	8.301	8.244	7.168
TAI	0	0	0.832
Sum_T	8.301	8.244	8
CAI	1.853	1.844	1.249
CTi	0.011	0.007	0.036
CMg	2.215	2.163	2.577
CFe2	0.922	0.986	1.138
CMn	0	0	0
CCa	0	0	0
Sum_C	5	5	5
BMg	0	0	0
BFe2	0.417	0.268	0.403
BMn	0.009	0.009	0.015
BCa	0.168	0.152	1.219
BNa	1.406	1.571	0.362
Sum_B	2	2	2
ACa	0	0	0
ANa	0.562	0.38	0.903
AK	0.004	0	0.055
Sum_A	0.566	0.38	0.958
Sum_cat	15.867	15.624	15.958
CCl	0	0	0.003
CF	0.062	0.045	0.025
Sum_oxy	24.12	23.821	23.542

Tabela com os Resultados da Microsonda Eletrônica para Micas

Amostra Análise	176A 8	176A 9	174A 1	174A 2	174A 3	174A 4
SiO ₂	46.969	48.95	49.738	49.449	46.802	46.741
TiO ₂	0.518	0.349	0.238	0.407	0.07	0.1
Al ₂ O ₃	12.026	27.802	28.332	28.651	39.178	39.386
FeO	10.752	2.424	2.447	2.317	0.599	0.666
MnO	0.052	0.005	0.01	0.036	0	0
MgO	12.994	3.41	3.177	3.133	0.176	0.153
CaO	9.284	0.008	0	0	0.2	0.216
Na ₂ O	3.764	0.768	0.661	0.729	6.828	7.096
K ₂ O	0.577	9.951	9.739	9.976	0.92	0.751
F	0.122	0.02	0.04	0.064	0	0.049
Cl	0.017	0	0.008	0	0	0.01
Total	97.075	93.687	94.39	94.762	94.773	189.535
Fórmula Estrutural Calculada para 24 oxigênios						
O_F_Cl	0.06	*	0.02	*	*	0.02
CTotal	*	*	*	*	*	*
BaO		0.157	1.287	1.031	0.021	0.059
Si	6.525	6.653	0.03	0.026	0.018	
Al _{IV}	1.475	1.347	6.668	6.621	6.015	5.99
Sum_T	8	8	1.332	1.379	1.985	2.01
Al _{VI}	0.493	3.103	8	8	8	8
Ti	0.054	0.036	3.141	3.139	3.944	3.934
Fe ₃	0	0	0.024	0.041	0.007	0.01
Fe ₂	1.249	0.276	0	0	0	0
Cr	0	0	0.274	0.259	0.064	0.071
Mn	0.006	0.001	0	0	0	0
Mg	2.691	0.691	0.001	0.004	0	0
Ca	1.382	0.001	0.635	0.625	0.034	0.029
Na	1.014	0.202	0	0	0.028	0.03
K	0.102	1.725	0.172	0.189	1.701	1.763
Cations	14.991	14.035	1.666	1.704	0.151	0.123
CF	0.107	0.017	13.913	13.961	13.929	13.96
CCl	0.008	0.008	0.034	0.054	0.054	0.04
OH	0	0	0.004	0.004	0.004	0.004
O	24	24	24	24	24	24
Fe_FeMg	0.32	0.29	0.3	0.29	0.65	0.71
Mg_FeMg	0.68	0.71	0.7	0.71	0.35	0.29

Tabela com os Resultados da Microsonda Eletrônica para Micas

Amostra Análise	159 1	159 2	159 3	159 4	159 5	159 6	176A 10	176A 7
SiO ₂	48.543	48.72	45.842	48.932	46.848	46.586	49.406	48.415
TiO ₂	0.441	0.315	0.155	0.418	0.142	0.149	0.458	0.568
Al ₂ O ₃	31.588	31.759	39.181	30.842	39.62	39.627	27.591	27.467
FeO	1.55	1.073	0.315	1.223	0.258	0.258	2.336	2.5
MnO	0	0.008	0.02	0.014	0	0.009	0.008	0
MgO	2.431	2.435	0.146	2.661	0.192	0.205	3.366	3.263
CaO	0.017	0.027	0.383	0	0.321	0.306	0	0
Na ₂ O	0.922	0.696	6.546	0.882	6.748	6.758	0.793	0.755
K ₂ O	8.225	8.222	1.324	8.15	1.056	1.186	10.056	9.895
F	0.164	0.186	0	0.139	0	0.048	0	0
Cl	0	0	0.023	0	0	0.002	0.005	0.018
Total	93.881	93.441	93.935	93.261	95.185	95.134	94.019	92.881

Fórmula Estrutural Calculada para 24 oxigênios

O_F_Cl	*	*	*	*	*	0.02	*	*
CTotal	*	*	*	*	*	*	*	*
BaO	0.387	0.347	0.059	0.356	0.073	0.013	0.106	0.085
Si	6.479	6.508	5.956	6.555	5.99	5.971	6.689	6.645
Al _{IV}	1.521	1.492	2.044	1.445	2.01	2.029	1.311	1.355
Sum_T	8	8	8	8	8	8	8	8
Al _{VI}	3.444	3.504	3.951	3.421	3.956	3.953	3.088	3.085
Ti	0.044	0.032	0.015	0.042	0.014	0.014	0.047	0.059
Fe ₃	0	0	0	0	0	0	0	0
Fe ₂	0.173	0.12	0.034	0.137	0.028	0.028	0.264	0.287
Cr	0	0	0	0	0	0	0	0
Mn	0	0.001	0.002	0.002	0	0.001	0.001	0
Mg	0.484	0.485	0.028	0.531	0.037	0.039	0.679	0.668
Ca	0.002	0.004	0.053	0	0.044	0.042	0	0
Na	0.239	0.18	1.649	0.229	1.673	1.68	0.208	0.201
K	1.4	1.401	0.219	1.393	0.172	0.194	1.737	1.733
Cations	13.786	13.727	13.951	13.755	13.924	13.951	14.024	14.033
CF	0.138	0.157	0.157	0.118	0.118	0.039	0.039	0.039
CCl	0	0	0.01	0.01	0.01	0.001	0.002	0.008
OH	0	0	0	0	0	0	0	0
O	24	24	24	24	24	24	24	24
Fe_FeMg	0.26	0.2	0.55	0.21	0.43	0.42	0.28	0.3
Mg_FeMg	0.74	0.8	0.45	0.79	0.57	0.58	0.72	0.7

