

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

INTEGRAÇÃO GEOLÓGICO-ESTRUTURAL DA *KLIPPE*
CARVALHOS: GRANULITOS DE ALTA PRESSÃO DO GRUPO
ANDRELÂNDIA, SUL DO CRÁTON DO SÃO FRANCISCO

Cauê Rodrigues Cioffi

Orientador: Prof. Dr. Mário da Costa Campos Neto

MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA

TF – (2006/11)

SÃO PAULO

2006

TF
C576
CR.i

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS**

**Integração geológico – estrutural da Klippe Carvalhos:
granulitos de alta pressão do Grupo Andrelândia, sul
do Craton do São Francisco**

Cauê Rodrigues Cioffi



Monografia de Trabalho de Formatura

Banca Examinadora

Prof. Dr. Mario da Costa Campos Neto

Prof. Dr. Marcos Egydio da Silva

Prof. Dr. Maria da Glória Motta Garcia

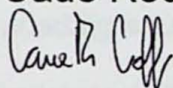
São Paulo

2006

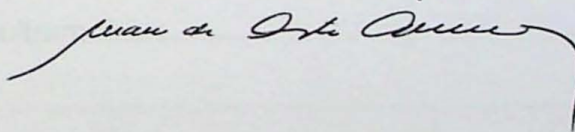
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

INTEGRAÇÃO GEOLÓGICO-ESTRUTURAL DA *KLIPPE*
CARVALHOS: GRANULITOS DE ALTA PRESSÃO DO GRUPO
ANDRELÂNDIA, SUL DO CRÁTON DO SÃO FRANCISCO

Cauê Rodrigues Cioffi



Orientador: Prof. Dr. Mário da Costa Campos Neto



MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA

TF – (2006/11)

SÃO PAULO

2006

DEDALUS - Acervo - IGC



30900024404

Índice

1. Introdução.....	1
2. Objetivos.....	1
3. Localização da área de estudo.....	2
4. Materiais e métodos.....	2
5. Cronograma.....	3
6. Revisão Bibliográfica.....	4
7. Descrição das unidades.....	7
7.1. <i>Klippe</i> Carvalhos.....	7
7.1.1. Cianita-granada-biotita gnaiss metatexítico.....	7
7.1.2. Granada gnaiss metatexítico com biotita e cianita.....	7
7.1.3. Cianita-granada granulito.....	8
7.1.4. Granada-hornblenda-biotita gnaiss.....	10
7.1.5. Granada-biotita gnaiss metatexítico.....	10
7.1.6. Gnaisses calciossilicáticos metatexíticos e metabásicas.....	11
7.1.7. Rochas metaultramáficas.....	11
7.2. <i>Nappe</i> Liberdade.....	12
7.2.1. Migmatitos Alagoa (diatexitos).....	12
7.2.2. Muscovita-silimanita-granada-biotita gnaiss.....	12
7.2.3. Cianita/silimanita-granada xisto.....	12
7.2.4. Anfibolitos.....	13
7.2.5. Rochas metaultramáficas.....	13
7.2.6. Biotita gnaiss.....	13
7.3. <i>Nappe</i> Andrelândia.....	14
7.3.1. Sequência Xisto-Quartzítica.....	14

7.3.2. Granada-plagioclásio-biotita-quartzo xisto (Xisto Santo Antônio).....	14
7.3.3. Cianita-granada-muscovita-biotita xisto porfiroblástico.	14
7.4. <i>Nappe</i> Carrancas.....	15
8. Geologia Estrutural.....	15
8.1. Estruturação da área.....	15
8.2. Foliação metamórfica.....	16
8.3. Lineações.....	17
8.4. Estrutura Pós-metamórfica.....	22
9. Metamorfismo.....	27
9.1. Evidências petrográficas.....	27
9.2. Química mineral.....	33
9.2.1. Granada.....	33
9.2.2. Biotita.....	36
9.2.3. Feldspato.....	38
9.2.4. Rutilo.....	38
9.3. Termobarometria.....	38
9.3.1. Geotermômetro de Zr em rutilo.....	39
9.3.2. Geobarômetro granada-plagioclásio- Al_2SiO_5 -quartzo (GASP)	40
10. Conclusões.....	41
11. Referências Bibliográficas.....	42

Índice de Figuras

Figura 1. Mapa de localização.....	2
Figura 2. Mapa tectônico do Orógeno Tocantins Meridional.....	5

Figura 3. Estereograma de lineações minerais e/ou estiramento no setor NW.....	20
Figura 4. Estereograma de lineações minerais e/ou estiramento no setor SE.....	20
Figura 5. Estereograma de lineações minerais e/ou estiramento na estrutura da <i>klippe</i> ..	20
Figura 6. Mapa de lineações com cinemática esboçada.....	21
Figura 7. Mapa da <i>klippe</i> com domínios estruturais demarcados.....	22
Figura 8. Estereograma de foliações da <i>klippe</i>	25
Figura 9. Estereograma de foliações do setor NW.....	25
Figura 10. Estereograma de foliações do setor SE.....	25
Figura 11. Estereograma de foliações do domínio L.....	25
Figura 12. Estereograma de foliações domínio 1A.....	25
Figura 13. Estereograma de foliações domínio 1B.....	25
Figura 14. Estereograma de foliações domínio 2A.....	26
Figura 15. Estereograma de foliações domínio 2B.....	26
Figura 16. Estereograma de foliações domínio 3.....	26
Figura 17. Estereograma de foliações domínio 4.....	26
Figura 18. Estereograma de foliações domínio 5.....	26
Figura 19. Estereograma de foliações domínio 6.....	26
Figura 20. Diagrama P-T com trajetória metamórfica esboçada.....	28
Figura 21. Gráfico dos membros finais da granada da amostra AL3-90-4.....	34
Figura 22. Gráfico dos membros finais da granada da amostra AL3-33H.....	35
Figura 23. Gráfico dos membros finais da granada da amostra AL4-120A.....	36
Figura 24. Gráfico Fe x Mg de biotita da amostra AL4-120A.....	37
Figura 25. Gráfico Fe x Mg de biotita da amostra AL3-33H.....	37
Figura 26. Gráfico XMg x Ti de biotita da amostra AL3-90-4.....	37
Figura 27. Gráfico XMg x Ti de biotita da amostra AL4-120A.....	37
Figura 28. Gráfico XMg x Ti de biotita da amostra AL3-33H.....	37

Figura 29. Gráfico T°C x Zr ppm da amostra AL3-33H, resultados dos 3 métodos..... 40

Índice de fotos

Prancha de fotos 1 (Fotos de afloramento).....	18
Prancha de fotos 2 (Fotos de afloramento).....	19
Prancha de fotos 3 (Fotos de lâmina delgada).....	30
Prancha de fotos 4 (Fotos de lâmina delgada).....	31
Prancha de fotos 5 (Fotos de lâmina delgada).....	32

Anexos

Anexo 1. Mapa Geológico da *Klippe* Carvalhos.

Anexo 2. Seções geológicas na *Klippe* Carvalhos.

Anexo 3. Tabelas de análises químicas.

Agradecimentos

Meus agradecimentos são para:

Minha família. Meus pais (Marisa e Paulo) por todo amor e por não terem medido esforços para me ajudar. Meus avós, tios, primos e minha irmã Barbara que me proporcionaram uma convivência maravilhosa e que foram e são grandes exemplos para mim.

Brenda por todo carinho, apoio, paciência e pelos belos momentos que vivemos juntos.

Amigos da geologia (Vagina, Aedes, Pulga, Bitoka, Poliânus, Pit, Coisinha, Mikuim, Argolinha, Turma 2002, galera do bosque, comunidade geológica em geral) valeu, geologia é foda pra caralho!!

Professores do Instituto de Geocências da USP pelo esforço em ensinar geologia. Professor Renato Moraes pela ajuda com a petrologia metamórfica. Professor Mario da Costa Campos Neto que muito me ensinou a respeito de geologia e que me auxiliou sempre que foi necessário, permitindo a confecção desse trabalho.

Resumo

No orógeno Tocantins Meridional ocorrem *nappes* de rochas granulíticas metassedimentares a rutilo, cianita, granada e ortoclásio (Três Pontas – Varginha e Pouso Alto) que devido a erosão deixaram como testemunhos *klippes*.

A *klippe* Carvalhos, 60 km NE da *Nappe* Pouso Alto, é uma estrutura em bacia alongada NW-SE (~18Km), devido a uma interferência regional em domos e bacias. Repousa alóctone sobre micaxistos fácies anfibolito da *Nappe* Liberdade.

A estrutura da *klippe* consiste de escamas internas de cavalgamento que preservam, em seu núcleo, rochas granulíticas de maior temperatura. A cinemática sin-metamórfica é curva, topo para E que inflete, a leste, para NE. Intensa *boudinage* e bandas extensionais de cisalhamento, com transporte para SW, são contemporâneas a estrutura da *nappe* e estão associadas a intensa remobilização de material anatético.

A análise geométrica dos dobramentos pós-xistosos destacou a presença de 3 fases superpostas, a D4, orientada NW-SE, com duplo caimento axial, define, em mapa, uma figura de interferência do tipo-2 com dobra isoclinal D3. O dobramento D5 está orientado NE-SW.

O metamorfismo da *klippe* é fácies granulito de alta pressão e alta temperatura, a rutilo, cianita e ortoclásio pertítico (ortopiroxênio ausente) nos metapelitos. É compatível, nas metamáficas, com a paragênese granada-clinopiroxênio-plagioclásio-quartzo. Foram descritas reações metamórficas retrogressivas, ainda sin-cinemáticas a S2, entre a granada e o líquido silicático residual, resultando em texturas de intercrescimentos entre biotita e quartzo, nos metapelitos. Cálculos termobarométricos, utilizando-se o geotermômetro de Zr em rutilo e o geobarômetro granada-plagioclásio- Al_2SiO_5 -quartzo (GASP) indicaram condições de pico metamórfico a $835\pm 60^\circ\text{C}$ e $15.9\pm 2\text{Kbar}$.

Abstract

In the Meridional Tocantins Orogen occur *nappes* of metasedimentary granulite rocks with the mineral assemblage represented by rutile, kyanite, garnet and orthoclase (Três Pontas – Varginha e Pouso Alto), which is preserved as *klippes*, due to erosion.

Carvalhos *Klippe* situated 60Km NE away from Pouso Alto *Nappe*, is an aligned structure NW-SE, with an extended-basin geometry due to domes and basins regional interference. It is overlying micaschists in amphibolite facies from Liberdade *Nappe*.

The klippe's structure consists of internal thrusts which preserve high temperature granulite rocks in its core. The syn-metamorphic kinematic is curved, with top to the east which turns, in the east, to the northeast. Intensive boudinage and extensional shear bands, with transport toward the SW, are contemporaneous to the *nappe* structure and are associated with a high remobilization of anatetic material.

The geometric analysis of post-metamorphic folds recognized three different superposed phases. The D4 phase, NW-SE oriented, characterizes in map a type-2 interference, with a isoclinal fold D3. The D5 fold is NE-SW oriented.

The klippe's metamorphism is high-pressure granulite facies, with rutile, kyanite and perthitic orthoclase and with absence of orthopyroxene in metapelites. In the metapelites the paragenesis garnet – clinopyroxene – plagioclase – quartz is compatible with these conditions. It were described retrogressive metamorphic reactions, being still syn-kinematics to S2, between garnet and the residual silicatic liquid, resulting in intergrowth textures between biotite and quartz. Thermobarometric calculations using the Zr in rutile geothermometer and the garnet-plagioclase- Al_2SiO_5 -quartz (GASP) geobarometer show metamorphic peak conditions at $835\pm 60^\circ\text{C}$ and $15.9\pm 2\text{Kbar}$.

1. Introdução

O estudo de rochas provenientes da crosta profunda, onde a deformação dúctil é a principal geradora de estruturas, é de importância fundamental para o entendimento da evolução estrutural e metamórfica da crosta terrestre. Através da observação das estruturas e microestruturas presentes nessas rochas é possível se chegar a uma interpretação das condições reológicas, metamórficas e dos processos deformadores nessas condições geodinâmicas extremas.

Rochas geradas em condições de crosta inferior e que sofreram uma exumação relativamente rápida, guardam o registro do metamorfismo de alto grau e da deformação em estado plástico. Em algumas regiões orogênicas são descritas rochas metassedimentares a ortoclásio, granada e cianita, que foram geradas em condições metamórficas de fácies granulito de alta pressão e que representam antigos depósitos sedimentares pelíticos soterrados a profundidades compatíveis com a crosta inferior e o manto litosférico.

Um exemplo dessas rochas ocorre na borda sul do cráton do São Francisco, no terreno Andrelândia, em uma estrutura conhecida como *Klippe* Carvalhos. Uma estrutura em forma de bacia, alongada na direção NW-SE (~18Km), formada por rochas granulíticas metassedimentares, que repousa alóctone sobre os xistos de fácies anfibolito de alta pressão da *Nappe* Liberdade. E é limitada a oeste por uma zona transcorrente que a coloca lado a lado com diatexitos da sequência dos Migmatitos Alagoa.

2. Objetivos

Os objetivos desse trabalho foram:

Integração geológica na escala 1: 50.000 da estrutura da *Klippe* Carvalhos e as suas relações de contato com a *Nappe* Liberdade e com a sequência dos Migmatitos Alagoa.

Análise estrutural com ênfase na cinemática dúctil profunda, sin-metamórfica e sua transição a níveis crustais mais rasos.

Microscopia petrográfica com ênfase nas texturas e microestruturas sin-metamórficas, descrição das principais reações metamórficas e relações entre o metamorfismo e a deformação.

Estudo geométrico das estruturas pós-metamórficas.

3. Localização da área de estudo

A área de trabalho está localizada na região dos municípios Arantina-Liberdade-Carvalhos no sul do estado de Minas Gerais (Fig.1), estando aproximadamente entre as coordenadas UTM 7562000 / 7588000 e 552000 / 572000 na zona 23S (Corrego Alegre) – parte das folhas (1:50000) Arantina (SF-23-X-C-V-3) e Liberdade (SF-23-2-A-II-1). O acesso à região de estudo é feito através da Rodovia Presidente Dutra até o cruzamento com a BR-354 no município de Engenheiro Passos (RJ), de onde se vai até Itamonte (MG) e depois se segue pela MG-267 até a cidade de Liberdade.



persistiram e nos problemas estruturais e metamórficos focados. A análise estrutural teve como base os estudos clássicos do comportamento das rochas em zonas de cisalhamento dúcteis, os elementos estruturais e microestruturais presentes e os indicadores cinemáticos resultantes (Ramsay & Huber, 1987, 1993; Passchier & Trouw, 1996; Behrmann & Mainprice, 1987; Lin & Williams, 1992).

Foram confeccionadas 5 seções geológicas ao longo da *klippe* com objetivo de definir a forma mais correta da estrutura em 3 dimensões. A análise geométrica das estruturas dúcteis sin-metamórficas e das estruturas pós-metamórficas foi realizada a partir da projeção estereográfica no hemisfério inferior em rede de igual área.

A microscopia petrográfica foi a ferramenta principal no reconhecimento de microestruturas, principais texturas e reações entre as fases minerais, na busca da correlação entre a trajetória do metamorfismo e a evolução estrutural. Os trabalhos de Spiess *et al.* (2000); Mengel *et al.* (2001); Sawyer (2001); O'Brien & Rötzler (2003) e Pattison (2003) foram utilizados como base inicial para as interpretações texturais.

Foram realizadas análises químicas pontuais de granada, feldspato, biotita e rutilo em 3 amostras de paragneisses da *Klippe* Carvalhos na microsonda JEOL JXA-8600 do Instituto de Geociências da USP. As análises de granada, feldspato e biotita foram feitas com voltagem de 15kV e corrente de 20nA com diâmetro de feixe entre 5 e 10 µm. Para o rutilo foi utilizada voltagem de 20kV e corrente de 120 nA com diâmetro de feixe em 5 µm.

5. Cronograma

	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov
Revisão Bibliográfica	-----								
Trabalhos de campo			-----						
Integração geológica	-----	-----		-----					
Análise estrutural			-----	-----	-----		-----	-----	
Petrografia				-----	-----		-----	-----	
Química Mineral								-----	-----
Relatórios/ Conclusão						-----			-----

6. Revisão Bibliográfica

A colagem brasileira no sudeste brasileiro pode ser sintetizada em dois sistemas orogênicos maiores, Tocantins e Mantiqueira (Brito Neves et al., 1999; Campos Neto, 2000). Pertencente ao primeiro o orógeno Tocantins Meridional registra episódios de subducção e colisão neoproterozóicos, no fechamento do paleo-oceano Goianides, oriundo da quebra toniana de Rodinia. E representa a convergência da Placa Sanfranciscana sob a Placa Paranapanema (Marangoni, 1994).

O orógeno Tocantins Meridional (Fig. 2) consiste em uma pilha colisional de nappes, com cunha orogênica resultante mergulhando para S/SW, em três ambientes principais (de WSW para ENE): domínio do arco magmático desenvolvido na margem continental ativa da placa Paranapanema (Nappe Socorro-Guaxupé), domínio continental subductado (Terreno Andrelândia) e domínios com afinidade de margem passiva e/ou relacionados à Placa Sanfranciscana (Sistema de nappes Carrancas e Nappe Lima Duarte). Esse sistema gigante de nappes, exposto no sul do cráton São Francisco, apresenta um descolamento sub-horizontal de pelo menos 150Km na direção nordeste (Campos Neto e Caby, 1999).

A Nappe Socorro-Guaxupé é uma espessa (~15Km) pilha alóctone e compreende três unidades distintas de crosta continental profunda: a Unidade granulítica basal, a Unidade diatexítica intermediária e a Unidade migmatítica superior. Dados geocronológicos sugerem que o metamorfismo de ultra-alta temperatura que foi o principal gerador de rochas no interior da nappe ocorreu a 625±5Ma. As unidades superiores mostram uma trajetória de aquecimento quase isobárico e atingem condições de 900±50°C – 6,5±2Kbar. E a unidade basal registra condições de alta pressão ~850°C – 14Kbar (Campos Neto & Caby, 2000).

O terreno Andrelândia representa um sistema de nappes de alta pressão, estiradas e transportadas para ENE e NE, que estão colocadas sob a nappe Socorro-Guaxupé. Consiste na pilha metassedimentar do Grupo Andrelândia redefinido por Trouw *et al.*, 1983. As nappes superiores (~5Km de espessura), de alta pressão e alta temperatura ocorrem a WSW (Três Pontas–Varginha, Pouso Alto e *Klippe* Carvalhos). São constituídas por Rt-(Sil)-Ky-Grt granulitos, com bandamento composicional herdado da estratificação sedimentar e delineado por distintas proporções entre Ky e Grt e entre Pl e Kfs. Intercalações de (Ky-Grt-Bt) quartzitos, gnaisses calciossilicáticos e granulitos básicos, são freqüentes.

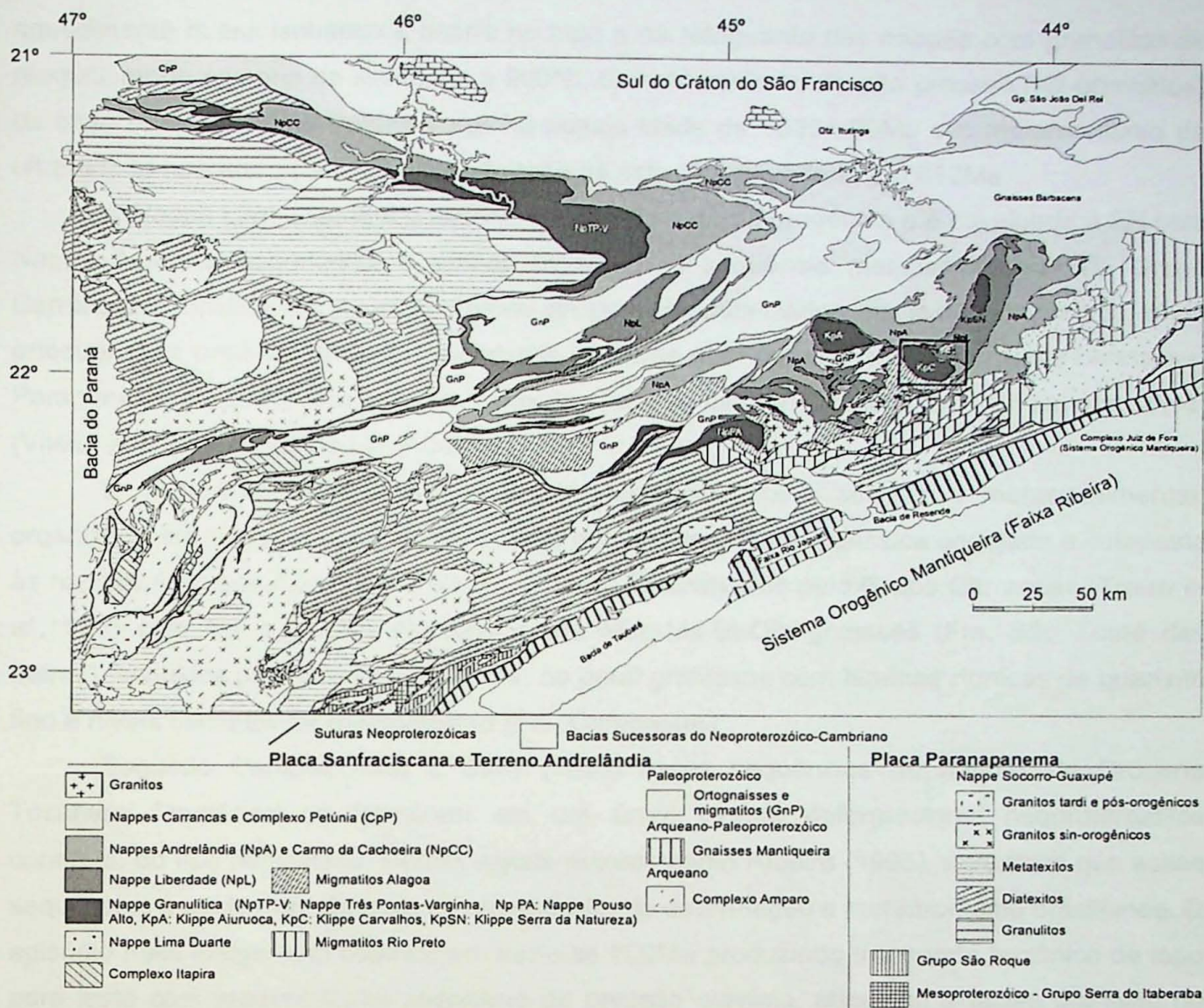


Figura 2. Mapa tectônico do orógeno Tocantins Meridional (Campos Neto 2006).

As nappes inferiores de alta pressão (~1500 metros de espessura) (Carmo da Cachoeira, Aiuruoca-Andrelândia e Liberdade) apresentam na base quartzitos com intercalações de micaxistos e subordinadamente gnaisses calcissilicáticos. A nappe Liberdade constitui-se de uma sequência predominantemente pelítica em fácies anfibolito de alta pressão com restos de metabásicas retroeclogíticas associadas a metaultramáficas. Associado a essa nappe ocorre um domínio de intensa anatexia neoproterozóica conhecido como Migmatitos Alagoa (Campos Neto *et al.*, 2004).

São reconhecidas duas trajetórias metamórficas distintas na pilha metassedimentar (Campos Neto e Caby, 1999 e 2000). O primeiro caminhamento metamórfico é de decompressão isotérmica e está registrado tanto no Ky granulitos basais da nappe superior como nas metabásicas retro-eclogíticas da nappe inferior. O segundo caminhamento é de

aquecimento quase isobárico e ocorre no topo e na retaguarda das nappes com granulitos se reequilibrando na zona da silimanita a 900°C. O metamorfismo de alta pressão (Ky granulitos) da base da nappe Três Pontas-Varginha possui idade de ~635±20Ma e o metamorfismo de ultra-alta temperatura (Sil granulitos) do topo da estrutura foi datado em 612Ma.

A *Nappe* Lima Duarte é o terreno oriental do sistema orogênico e é cavalgada a SE pela *Nappe* Aiuruoca-Andrelândia e ambas cavalgam a sequência metassedimentar do Grupo Carrancas. Consiste em quartzitos muito grossos, recristalizados em textura milonítica, onde ortoquartzitos predominam sobre quartzitos imaturos com restritas fácies ferríferas bandadas. Paragêneses metamórficas indicam condições de ultra-alta temperatura (Opx-Sil em quartzitos) (Vilela, 2000) na região de Lima Duarte.

E o sistema de *nappes* Carrancas compreende uma sequência metassedimentar, organizada em 4 escamas de cavalgamento com infraestrutura gnaíssica engajada e sotoposta às nappes Aiuruoca-Andrelândia e Lima Duarte. É constituído pelo Grupo Carrancas (Trouw *et al.*, 1983) com Ms quartzitos placosos sobre Mag-Ms-Bt-Qtz gnaisses (Fm. São Tomé das Letras), seguidos por (Grt)-Qtz-Ms xistos, no geral grafitosos com lâminas rítmicas de quartzito fino e níveis discretos de metacalcáreo (Fm. Campestre).

Segundo Campos Neto e Caby (1999) essas sequências de *nappes* do Orógeno Tocantins Meridional se formaram em um único evento deformacional neoproterozóico contínuo, do tipo himalaiano. Porém alguns autores como Ribeiro (1995), acreditam que essas sequências participaram de mais de um episódio de deformação e metamorfismo brasileiros. O episódio mais antigo teria ocorrido em torno de 600Ma produzindo transporte tectônico de topo para leste com metamorfismo associado de pressão elevada, atingindo a fácies granulito no campo de estabilidade da cianita e também formando rochas retroeclogíticas. Este episódio corresponderia a colisão entre o maciço Guaxupé e o protocráton São Francisco, e é considerado como equivalente ao que produziu a Faixa Móvel Brasília.

Um novo episódio tectônico ao redor de 570Ma teria resultado em um encurtamento crustal com transporte para NNW, acompanhado de dobramento em escala regional. O metamorfismo associado a esse evento foi de pressão mais baixa do que o anterior, sendo caracterizado pela presença de silimanita, cordierita e numerosos corpos anatéticos. E o último episódio seria uma compressão E-W que teria gerado zonas de cisalhamento transpressionais subverticais de orientação NE-SW e com sentido de movimentação dextral. Estes dois últimos episódios são relacionados a Faixa Móvel Ribeira, e devido a isso a região do orógeno Tocantins Meridional é considerada por alguns autores como uma zona de interferência entre as Faixas Brasília e Ribeira.

7. Descrição das unidades

7.1. Klippe Carvalhos

7.1.1. Cianita-granada-biotita gnaiss metatexítico

O principal litotipo da unidade é uma rocha gnaíssica heterogênea de coloração cinza predominantemente granoblástica (quartzo/feldspato) inequigranular média/média-grossa com leitos milimétricos lepidoblásticos formados por biotita (~15%) que envolvem porfiroblastos de granada (~0,5cm) definindo uma foliação anastomosada. Aglomerados centimétricos de feldspato e quartzo com formas lenticulares se concentram junto a porfiroblastos de granada (~5-15%) e podem representar feições de anatexia in situ. Cianita aparece geralmente como cristais milimétricos.

Por toda a unidade ocorrem bancos centimétricos a métricos quartzíticos e intrusões centimétricas a métricas de leucogranito que às vezes estão paralelas a foliação do gnaiss e às vezes truncam a mesma. O leucogranito pode ou não apresentar uma foliação incipiente e é formado basicamente por feldspato, quartzo, muscovita e turmalina. A granulação do leucogranito varia de fina a pegmatóide.

Mineralogicamente a unidade é bem semelhante a do cianita-granada granulito. Porém a estrutura que não apresenta realmente bandas de leucossoma, apenas lentes menores, pode indicar uma menor taxa de fusão nas rochas da unidade. Isso implicaria em uma pequena transição no grau metamórfico entre essa unidade e a do cianita-granada granulito.

Níveis decimétricos a métricos de anfibolito de cor de alteração ocre com estrutura foliada e textura granoblástica/nematoblástica inequi a equigranular média-fina também são comuns na unidade e apresentam mineralogia composta principalmente por hornblenda (20-40%), granada (15-30%), clinopiroxênio (10-15%), plagioclásio (andesina) (15-20%) e quartzo (5-15%). Como minerais acessórios ocorrem titanita (até ~5%), ilmenita, rutilo e apatita. Muitas vezes titanita está associada a ilmenita, bordeando a mesma.

7.1.2. Granada gnaiss metatexítico com biotita e cianita

As rochas dessa unidade tem uma coloração clara com um bandamento fino que intercala níveis granoblásticos equigranulares médio a grossos quartzo feldspáticos e níveis lepidoblásticos subordinados formados por biotita (~5%). Plagioclásio (An₂₆₋₂₈) aparece em maiores proporções do que ortoclásio que frequentemente apresenta feições de exsolução

(pertitas). Granada em geral milimétrica a sub milimétrica (~10-15%) se concentra associada a biotita nos níveis máficos e ocorre esparsa nas bandas quartzo feldspáticas. Biotita com intenso pleocroísmo castanho-avermelhado está orientada segundo a foliação e substitui cristais de granada pelas bordas. Cianita ocorre principalmente associada a megacristais de feldspato em leucossomas de espessura centimétrica. Muscovita ocorre localmente como mineral retrometamórfico assim como clorita. Como minerais acessórios frequentes ocorrem zircão, apatita, turmalina, rutilo, monazita e minerais opacos (ilmenita).

7.1.3. Cianita-granada granulito (cianita granada gnaiss metatexitico com biotita)

A unidade é heterogênea com bandamento composicional que alterna bandas texturalmente e mineralogicamente diferentes. O litotipo predominante na unidade é uma rocha de coloração clara, rica em feldspato (~10-60%) e quartzo (~15-50%), com estrutura bandada/gnaíssica e textura predominantemente granoblástica inequigranular média-grossa/grossa, com porfiroblastos de granada e cianita que chegam a até ~5cm e leitos milimétricos lepidoblásticos ricos em biotita (~5%). O bandamento da rocha é destacado pelos leucossomas paralelos a foliação.

As principais variações no gnaiss são em relação à textura/granulação e às proporções de feldspato, quartzo, biotita, granada e cianita. Essas variações ocorrem tanto em escala centimétrica (ex. níveis centimétricos ricos em cianita intercalados com níveis centimétricos onde a cianita é ausente) a métrica/decamétrica.

Em alguns pacotes a rocha é muito rica em quartzo chegando a um cianita-granada quartzito que normalmente contém porfiroblastos de granada e cianita com até 5cm. Em outros níveis a rocha é mais rica em biotita e os porfiroblastos de granada e cianita são milimétricos. Também ocorrem tipos com muito feldspato e porfiroblastos milimétricos de granada, que às vezes se concentram nas bordas de megacristais de feldspato que chegam a ter até ~10cm de comprimento. Nos leitos mais ricos em granada os cristais de feldspato são menores e ocorrem cristais milimétricos de cianita.

No geral as variações das proporções mineralógicas do gnaiss são: ortoclásio (5-35%), plagioclásio (0-35%), quartzo (15-50%), biotita (5-15%), granada (5-20%) e cianita (0-15%). Como minerais acessórios ocorrem, rutilo (em proporções de até 5%), ilmenita, apatita, zircão, monazita, silimanita (em algumas partes, principalmente na porção leste da *klippe*, silimanita ocorre em proporções elevadas como mineral retrometamórfico) e opacos. Existem exceções como níveis extremamente ricos em cianita e/ou granada.

O ortoclásio frequentemente apresenta feições de exsolução (pertitas) e alguns cristais de ortoclásio têm mirmequitas em seu redor. Também ocorrem cristais de plagioclásio

antipertítico que às vezes estão bordeados por granadas milimétricas. Quartzo aparece com extinção ondulante e às vezes estirado paralelamente a foliação. Alguns cristais de quartzo e feldspato contêm lineações de opacos que nem sempre estão paralelas a foliação.

A biotita com forte pleocroísmo castanho-vermelho envolve os porfiroblastos de granada definindo uma foliação anastomosada. Biotita ocorre tanto como inclusões nos porfiroblastos de granada como substituindo a granada pelas bordas e por fraturas, evidenciando a presença de pelo menos duas fases de geração. Normalmente a biotita que substitui a granada está associada a quartzo, algumas vezes na forma de simplectitos. Muscovita ocorre em proporções consideráveis localmente (até ~10%) e é interpretada como resultado de reações retrometamórficas

Granada como porfiroblastos milimétricos a centimétricos apresenta inclusões de quartzo, biotita, feldspato, rutilo (algumas vezes na forma de agulhas) e opacos. Alguns porfiroblastos de granada tem feições de sombra de pressão formadas por biotita, quartzo, ortoclásio, plagioclásio e cianita. Também ocorrem mirmequitas nas bordas de alguns cristais. Grande parte dos porfiroblastos de granada está substituído por biotita nas bordas e em fraturas, essa substituição chega localmente a graus expressivos, substituindo quase que totalmente os porfiroblastos.

Cianita normalmente orientada paralelamente a foliação contém inclusões de quartzo (gotas) e em alguns casos a cianita está deformada (encurvada, boudinada). Normalmente a cianita está associada a granada ocorrendo muitas vezes na sombra de pressão da mesma. Em alguns locais aparece bastante substituída.

Cristais de rutilo chegam a ter aproximadamente 4cm, porém em geral são sub-milimétricos, parecem se associar a granada e muitas vezes estão inclusos em porfiroblastos da mesma. Como minerais acessórios frequentes ocorrem zircão e opacos.

Boudins de rochas calcissilicáticas e metabásicas com dimensões centimétricas a métricas concordantes com a foliação do gnaiss são comuns na unidade. Esses boudins tem uma coloração verde escuro/preto e estrutura foliada/bandada com textura nematoblástica e granoblástica bandada geralmente inequi a equigranular fina-média. Essas rochas são compostas principalmente por hornblenda, clinopiroxênio e plagioclásio. Hornblenda aparece substituindo o clinopiroxênio belas bordas e pelas clivagens. Em alguns leitos essas rochas apresentam quantidades significativas de granada (até ~25%). Quartzo ocorre em pequenas proporções (~5%). Escapolita e carbonato ocorrem tardiamente substituindo clinopiroxênio e plagioclásio. Titanita aparece como mineral acessório importante chegando a proporções de até ~5-10%.

7.1.4. Granada-hornblenda-biotita gnaïsse

Unidade composta por rocha de estrutura gnaïssica e textura predominantemente inequigranular média-grossa que intercala leitos milimétricos a centimétricos granoblásticos de coloração clara compostos por feldspato/quartzo e níveis milimétricos a centimétricos escuros nematoblásticos/lepidoblásticos formados por hornblenda e biotita. Granada ocorre como porfiroblastos de ~1mm a 1cm em proporções de 5-10%. Em alguns leitos hornblenda porfiroblástica (cristais de ~5cm) ocorre dentro de leucossoma quartzo feldspático. Alguns níveis da rocha são muito ricos em anfibólio e ocorrem níveis de anfibólito que geralmente estão boudinados paralelamente a foliação.

O feldspato que ocorre é plagioclásio (oligoclásio-andesina) em proporções de ~30-55%. Quartzo com extinção ondulante aparece em proporções ~10-20%. Hornblenda (~10-20%) como cristais bem formados, às vezes com inclusões de quartzo, está associada com biotita (~10-20%), que tem pleocroísmo amarelo-verde, marcando a foliação da rocha. Granada com inclusões de biotita, quartzo, plagioclásio, opacos e rutilo, está substituída nas bordas por hornblenda, feldspato, biotita e quartzo.

Como minerais acessórios ocorrem apatita (1-3%), rutilo (as vezes incluso na granada), opacos, zircão e escapolita.

7.1.5. Granada-biotita gnaïsse metatexítico

As rochas dessa unidade são caracterizadas pela coloração escura que é resultado do alto teor de biotita (~20-30%). Apresentam um bandamento anatético centimétrico com textura inequigranular grossa lepidoblástica/granoblástica (feldspato e quartzo) localmente com porfiroblastos de granada (10-15%). São frequentes lentes centimétricas (1-3cm) quartzo feldspáticas concordantes com a foliação (leucossoma) e que muitas vezes estão associadas a granada.

Cianita ocorre localmente e está parcialmente substituída por intercrescimentos de silimanita e biotita. Porfiroblastos de granada ocorrem muito fraturados, com inclusões frequentes de quartzo, rutilo, biotita e monazita. Ortoclásio apresenta lamelas de exsolução (pertitas). Os minerais acessórios frequentes são zircão, monazita, apatita, rutilo, titanita e minerais opacos (ilmenita).

7.1.6. Gnaisses calcissilicáticos metatexíticos e metabásicas

Essa unidade é caracterizada pela intercalação entre granada hornblenda biotita gnaisses com bandamento anatético e rochas calcissilicáticas e metabásicas. Em muitos locais essa unidade ocorre como bancos alterados bandados que intercalam material ocre/ vermelho e material claro.

Corpos de granada anfíbolitos e rochas calcissilicáticas decimétricos a métricos ocorrem boudinados paralelamente a foliação do hornblenda biotita gnaiss. Granada, hornblenda e clinopiroxênio frequentemente estão associados aos leucossomas.

Dentro da estrutura da *klippe* ocorrem corpos de granada plagioclásio biotita gnaiss homogêneo que podem ser relacionados ao Xisto Santo Antônio. Devido a isso estão representados no mapa com a mesma cor. A rocha tem estrutura gnaissica/bandada, em consequência de uma intensa fusão parcial, contrastando com a estrutura homogênea característica, quando na Nappe Andrelândia. Também ocorrem anfíbolitos e rochas calcissilicáticas que são do mesmo tipo dos encontrados na *nappe* Liberdade e que estão representados com a mesma cor.

7.1.7. Rochas metaultramáficas

Esta unidade é composta por um pacote de rochas metaultramáficas que compreendem serpentinitos, talco-antofilita fels e antofilita xistos, cujas colorações variam entre preta, cinza escuro, verde claro e amarelada. Os antofilita fels tem uma estrutura maciça com textura fibro-radiada grossa e apresentam núcleos de olivina preservados. E os serpentinitos apresentam granulação fina a média com textura foliada.

Em um corpo de rocha ultramáfica no leste da *klippe* existe uma mineração que explorava níquel dos veios de garnierita (provavelmente produto de alteração de peridotitos ricos em Ni). Porém devido ao baixo teor do minério, a exploração está voltada, atualmente, para magnésio e fósforo como fertilizantes.

7.2. Nappe Liberdade

7.2.1. Migmatitos Alagoa (diatexitos)

Essa unidade é constituída por rochas de cor cinza claro com bandamento gnaissico milimétrico a centimétrico e textura predominantemente granoblástica (quartzo e feldspato) com

leitos lepidoblásticos formados por biotita (até ~10%). Em algumas porções o estágio de fusão da rocha é mais avançado e passa a predominar o neossoma. Nesses locais a rocha é bem clara com estruturas do tipo schillieren e pode ser considerada como um granito leucocrático foliado.

Mineralogicamente as rochas são constituídas principalmente por quartzo e feldspato, tendo também biotita, muscovita secundária, opacos, turmalina e localmente granada em proporções e dimensões pequenas.

7.2.2. Muscovita-silimanita-granada-biotita gnaiss

Unidade é composta por um muscovita-silimanita-granada-biotita gnaiss gradando localmente para um silimanita-granada-muscovita-biotita-quartzo xisto com feldspato. Parece existir uma relação inversamente proporcional entre as proporções de muscovita e silimanita sendo que quando aumenta a proporção de muscovita diminui a de silimanita e vice-versa.

Essa unidade ocorre bastante alterada e apresenta um bandamento centimétrico que intercala bandas amareladas e avermelhadas. A textura é inequigranular fina a média lepidoblástica/granoblástica com porfiroblastos milimétricos (~1 a 3mm) de granada. A rocha está bastante estirada e ocorrem lentes centimétricas quartzo feldspáticas na foliação que podem representar feições de anatexia in-situ.

7.2.3. Cianita/silimanita-granada xisto

A rocha predominante na unidade tem cor de alteração vinho com estrutura xistosa e textura predominantemente lepidoblástica inequigranular média, localmente com fibrolita e/ou porfiroblastos de cianita (até ~3cm). Granada ocorre em alguns níveis como porfiroblastos de até 2cm. A mineralogia da rocha é composta essencialmente por muscovita, quartzo, grafita, granada, silimanita/cianita, alguma biotita e rutilo como mineral acessório.

As principais variações do xisto são em relação às proporções de quartzo (20-50%), granada (0-15%) e silimanita/cianita (0-10%). A muscovita marca a foliação da rocha e silimanita ocorre na forma de aglomerados de fibrolita com formas radiais alongados na direção da foliação e como cristais prismáticos maiores orientados ortogonalmente a fibrolita. Em alguns locais silimanita pseudomorfa de cianita chega até ~3cm de comprimento. A grafita está orientada paralelamente a foliação. Intrusões de leucogranito geralmente contidas na foliação são comuns e apresentam dimensões variando de centimétricas a até mesmo decamétricas.

7.2.4. Anfibolitos

Os anfibolitos presentes na *nappe* tem uma estrutura foliada com textura nematoblástica / granoblástica média com porfiroblastos milimétricos a centimétricos de granada. São compostos basicamente por hornblenda (~50%), plagioclásio (andesina) (~20%), granada (~10%), quartzo (~10%) e clinopiroxênio (~5%). Como acessórios ocorrem opacos, titanita e rutilo. Sendo que muitas vezes os opacos estão bordeados por titanita ou rutilo. Os porfiroblastos de granada estão com as bordas e os núcleos substituídos por intercrescimentos de hornblenda, plagioclásio e quartzo. E os cristais de clinopiroxênio apresentam inclusões de quartzo na forma de gotas.

7.2.5. Rochas metaultramáficas

As rochas ultramáficas apresentam uma estrutura maciça fibrorradiada grossa definida por grandes "ripas" de antofilita. São constituída por antofilita (~45%), talco (~35%), clorita (~10%), olivina (~5%) e ortopiroxênio (~5%). Como acessórios ocorrem carbonato e opacos que normalmente se alojam entre as "ripas" de antofilita. A olivina está bastante substituída, restando apenas alguns núcleos preservados. Ortopiroxênio tem inclusões de olivina, talco e está bastante substituído nas bordas.

7.2.6. Biotita gnaiss

A unidade é composta por uma rocha quartzo feldspática com baixo índice de cor (~5-10%) e estrutura gnaíssica predominantemente granoblástica inequigranular média-grossa constituída por feldspato, quartzo e leitos milimétricos lepidoblásticos formados por biotita. Ocorrem porfiroclastos de feldspato/quartzo de até ~10cm que muitas vezes estão estirados e/ou rotacionados, e granada tem ocorrência isolada e em pequenas quantidades.

A principal variação na unidade é com relação a proporção de biotita que varia aproximadamente de 5 a 20%. Como feldspato ocorrem tanto feldspato potássico (~50%) (principalmente microclínio mas também aparece ortoclásio peritítico) como plagioclásio (~20%). Biotita marca a foliação. Quartzo ocorre em proporções de 10-15%. Como minerais acessórios aparecem apatita, carbonato, muscovita, turmalina, zircão e clorita.

As rochas dessa unidade são lascas do embasamento paleoproterozóico (~ 2,1 Ga, Campos Neto *et al.*, 2004) engajadas na *nappe*.

O gnaiss é cortado por diversas fases de intrusões centimétricas a métricas de leucogranito composto principalmente por feldspato, quartzo, biotita, turmalina e granulação variando de fina a pegmatóide. Essas intrusões são em grande parte concordantes com a foliação regional, como soleiras, e englobam xenólitos do gnaiss, conferindo, localmente, um aspecto de “migmatito de injeção”. No entanto diques e a passagem entre diques e soleiras são as formas mais frequentes destes corpos graníticos.

7.3. Nappe Andrelândia

7.3.1. Seqüência Xisto-Quartzítica (Xisto Serra da Boa Vista)

Cianita-granada-muscovita-biotita-quartzo xisto lepidoblástico com porfiroblastos de cianita e granada (até ~3cm), localmente a estaurolita. Alterna-se com lentes, espessas na centena de metros a decimétricas, de quartzito granoblástico médio a muscovita. O xisto está geralmente alterado para material de coloração vermelho / laranja. No geral na base destes xistos, ou lateralmente a eles, ocorrem muscovita quartzito granoblástico médio e muscovita-quartzo xisto, com granada porfiroblástica (~3cm) e, localmente, com agregados porfiroblásticos de cianita. Essa unidade constitui o topo do pacote litoestratigráfico da *Nappe Andrelândia* e foi denominada de Xisto Serra da Boa Vista (Campos Neto *et al.*, 2006).

7.3.2. Granada-plagioclásio-biotita-quartzo xisto (Xisto Santo Antônio)

Granada-plagioclásio-biotita-quartzo xisto, com cianita e localmente com estaurolita, é uma rocha com textura granoblástica, a porfiroblastos e microporfiroblastos de granada, de cor cinza e estrutura homogênea, onde são frequentes lentes e vênulas de quartzo. Essa unidade ocorre em extensas lajes arredondadas, escuras e pouco alteradas, destacando-se na paisagem. Constitui a unidade intermediária da *Nappe Andrelândia* (Campos Neto *et al.*, 2005), denominada de Xisto Santo Antônio por Trouw *et al.* (1984)

7.3.3. Cianita-granada-muscovita-biotita xisto porfiroblástico (Xisto Rio Capivari)

Representa a base da *nappe Andrelândia*. Aflora na maioria das vezes alterado formando solos homogêneos avermelhados. Apresenta contato normal com a unidade do xisto Santo Antônio. É um cianita-granada-muscovita-biotita xisto porfiroblástico da base da *Nappe Andrelândia* (Campos Neto *et al.*, 2005 e 2006).

7.4. Nappe Carrancas

Corresponde a uma sequência metapsamítica com predomínio de muscovita-quartzitos e intercalações de muscovita quartzitos e quartzitos puros. Apresenta afloramentos alterados de coloração amarela a alaranjada. Existem intercalações de rochas metabásicas subordinadas. Ocorre no extremo norte da área e é cavalgado pela sequência metapelítica da *Nappe Andrelândia*.

8. Geologia Estrutural

8.1. Estruturação da área

As rochas da *Klippe* Carvalhos, em fácies granulito de alta pressão, estão colocadas sobre as rochas em fácies anfibolito de alta pressão da *Nappe Liberdade* por uma superfície de cavalgamento com indicadores cinemáticos mostrando um transporte principal de topo para leste-nordeste. A *Nappe Liberdade* estende-se para nordeste em uma calha sinformal orientada NE. E a *klippe* encontra-se dobrada, tardiamente, em uma estrutura braquisinormal orientada NW-SE.

Em um domínio da borda nordeste da *klippe*, a mesma encontra-se em contato direto sobre a *Nappe Andrelândia*, devido a um sistema de imbricações da nappe inferior (seção IJ).

Dentro da estrutura da *klippe* ocorre uma importante superfície de cavalgamento que limita a unidade do cianita-granada granulito e a possível unidade de transição (em relação ao grau metamórfico) do cianita-granada-biotita gnaiss metatexitico (seções AB, EF e GH). Nessa unidade de transição foi mapeada (anexo 1) uma dobra fechada, quase-isoclinal, delineada pelo nível de granada plagioclásio biotita gnaiss, destacando uma figura de interferência (incompleta pela descontinuidade da unidade litológica) do tipo 2 com a estrutura sinformal tardia (seção CD). Uma zona de cisalhamento dextral, orientada NW-SE (rampa lateral), define a borda oeste-sudoeste da *klippe* e coloca suas rochas em contato com gnaisses paleoproterozóicos e com diatexitos neoproterozóicos dos Migmatitos Alagoa (seções CD, EF e GH). Esta zona de cisalhamento trunca o contato de cavalgamento da *klippe* e deforma ductilmente as rochas no interior da estrutura.

O domínio dos Migmatitos Alagoa que ocorre no sudoeste da região, está estruturado em um antiforme normal, relativamente fechado, de eixo NW-SE e plano axial sub-vertical (seção EF). No sul deste migmatito, os gnaisses mais antigos ocorrem em um imbricado de falhas dúcteis, em uma geometria grosseiramente sinformal (seção GH).

Próximo à borda sudeste da *klippe* está a zona de cisalhamento Liberdade que tem orientação aproximadamente sudoeste-nordeste com movimentação dextral e que coloca as rochas da *Nappe* Liberdade em contato com as rochas da *Nappe* Andrelândia. Esta zona de cisalhamento provavelmente funcionou como uma rampa lateral para o avanço das *nappes*.

8.2. Foliação metamórfica

Na estrutura da *Klippe* Carvalhos a foliação é definida por uma textura granoblástica inequigranular médio-grossa dos minerais félsicos (quartzo-feldspatos), acompanhada pelo enfileiramento descontínuo e lepidoblástico de biotita e/ou nematoblástico de cianita (sillimanita). Essa foliação é paralela a um bandamento lenticular e irregular de um leucossoma estromático (Fotos 1 e 2). Uma textura milonítica recristalizada, acompanhada por uma estrutura linear e por arranjos assimétricos em S-C também ocorre com frequência. Bandas miloníticas com estiramento, recristalização em sub-grãos e manteamento de porfiroclastos com caudas assimétricas, superimpõem-se (Fotos 3 e 4).

Essas estruturas definem um arranjo paralelo e passam, em continuidade geométrica, para a foliação S_2 da *Nappe* Liberdade.

A dobra quase-isoclinal que delineia, em mapa, a figura de interferência entre dobramentos não-homoaxiais, admite uma xistosidade de transposição paralela a foliação principal e estruturas lineares-B estiradas, do tipo mullions. Esse dobramento foi interpretado como D_3 . Pequenas dobras fechadas da foliação metamórfica, também interpretadas como D_3 , podem ser observadas localmente (Foto 5).

Um intenso estiramento ocorreu, durante o metamorfismo, ao longo da foliação. É evidenciado por frequentes boudins (muitas vezes assimétricos) de leucossomas e de rochas máficas e calcissilicáticas (Fotos 6 e 7). Bandas extensionais de cisalhamento, com transporte em sentido contrário ao avanço das *nappes*, alternam-se com as estruturas compressivas e prevalecem tardiamente (Fotos 8 e 9). Leucossomas conectados a fraturas de tração (Fotos 10 e 11), indicam uma ascensão a níveis crustais mais rasos ainda sob temperaturas elevadas, evidenciando uma exumação rápida em uma trajetória na crosta de decompressão quase isotérmica.

8.3. Lineações

Na *Klippe* Carvalhos, as lineações minerais são definidas pela orientação, nas rochas granulíticas, de cianita (porfiroblastos), biotita, feldspato e quartzo. Nos granulitos máficos o

anfibolio define a lineação. Essas estruturas são interpretadas como resultado da orientação de minerais na direção do transporte da *klippe*.

No setor noroeste da *klippe* as lineações minerais apresentam uma dispersão considerável no quadrante sudeste e sudoeste, e encontram-se contidas no plano da foliação principal. Essa dispersão é atribuída, em parte, a recristalizações estáticas de cianita no plano da foliação. A orientação estatística preferencial da lineação é assim mal definida, sugerindo uma orientação em torno de EW (Fig. 3). No entanto, uma segunda orientação preferencial de lineações não pode ser descartada, o que será discutido a seguir.

No setor sudeste as lineações encontram-se menos dispersas e é possível definir o transporte na direção N77E (Fig. 4).

A projeção das lineações minerais de toda a estrutura da *klippe*, apresenta uma dispersão razoável, mas define a orientação preferencial para $257^{\circ}/6^{\circ}$ (Fig. 5).

A direção destas lineações associadas aos indicadores cinemáticos evidencia um transporte de topo para N77E. Porém também existem indicadores cinemáticos subordinados que indicam transporte de topo em sentido contrário e que podem ser relacionados a zonas de cisalhamento normais, sin-metamórficas.

No mapa de lineações (Fig. 6) pode-se reconhecer a cinemática da *klippe* e da *Nappe* Liberdade, em uma trajetória curva, de E-NE para NE em direção ao *front* da *Nappe* Liberdade.

Um segundo conjunto de lineações minerais e sobretudo de estiramento mineral ocorre orientado NW-SE. Essas estruturas estão relacionadas aos cavalgamentos rúpteis-dúcteis que rompem as dobras de terceira geração na *Nappe* Andrelândia (Meira, 2005), transportando essas estruturas no sentido da vergência (NW).

PRANCHA DE FOTOS 1



Foto 1. Bandamento paralelo a leucossoma estromático (bloco não está *in situ*).



Foto 2. Bandamento paralelo a leucossoma estromático (bloco não está *in situ*).

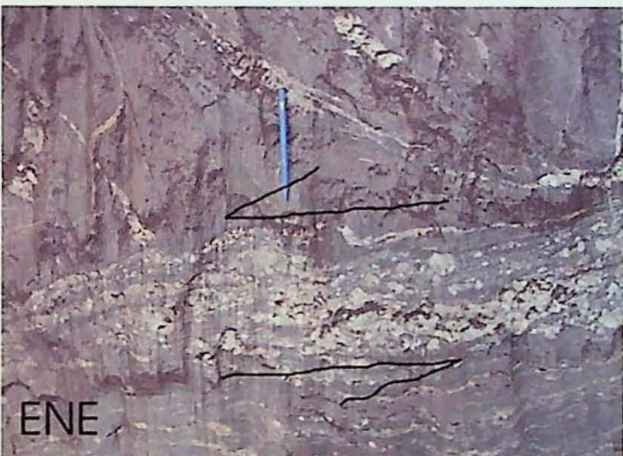


Foto 3. Banda milonítica na porção inferior da foto (topo para ENE).



Foto 4. Porfiroclasto de feldpato assimétrico (bloco não está *in situ*).



Foto 5. Dobra fechada da foliação metamórfica.



Foto 6. Boudins assimétricos indicando transporte de topo para N70E.

PRANCHA DE FOTOS 2



Foto 7. Boudin de rocha básica no gnaiss.



Foto 8. Banda extensional de cisalhamento.



Foto 9. Banda extensional de cisalhamento indicando transporte de topo para SW.



Foto 10. *Boudins* com leucossomas surreicos e conexões com fraturas.



Foto 11. Leucossoma conectado a fraturas.

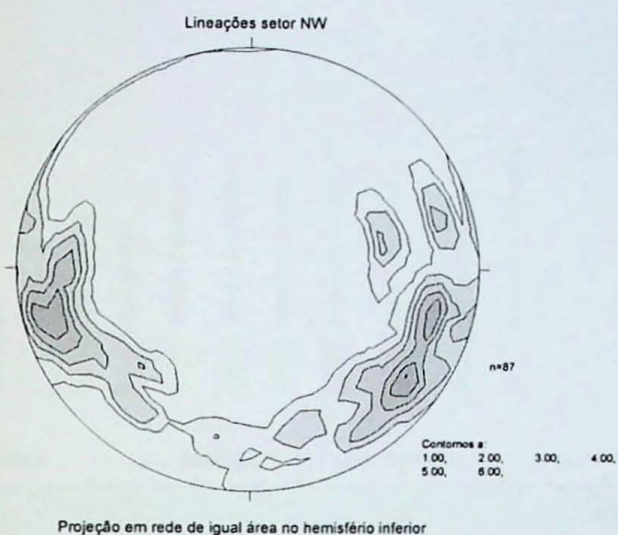


Figura 3: Estereograma de contornos das lineações minerais e/ou estiramento no setor NW.

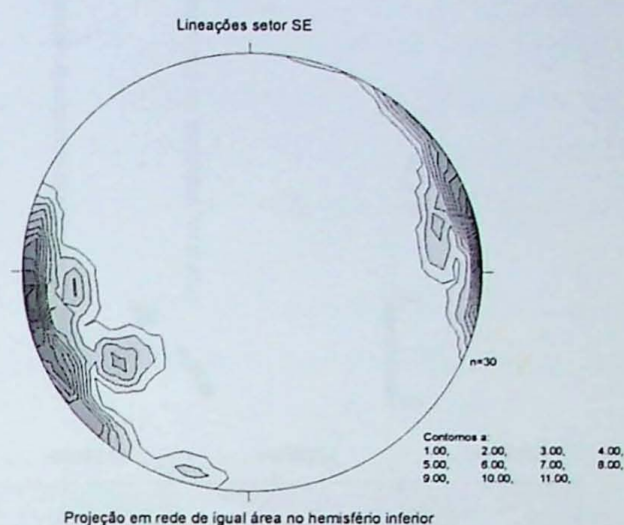


Figura 4: Estereograma de contornos das lineações minerais e/ou estiramento no setor SE.

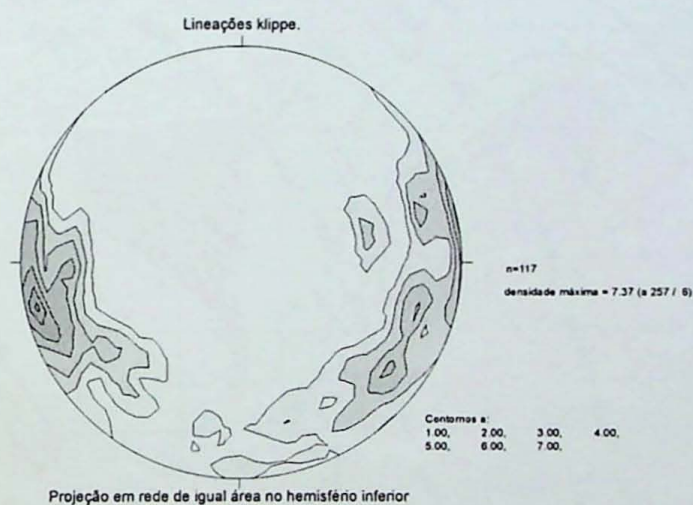


Figura 5: Estereograma de contornos das lineações minerais e/ou estiramento na estrutura da klippe.

OBS- As projeções estereográficas foram realizadas em rede de igual área no hemisfério inferior

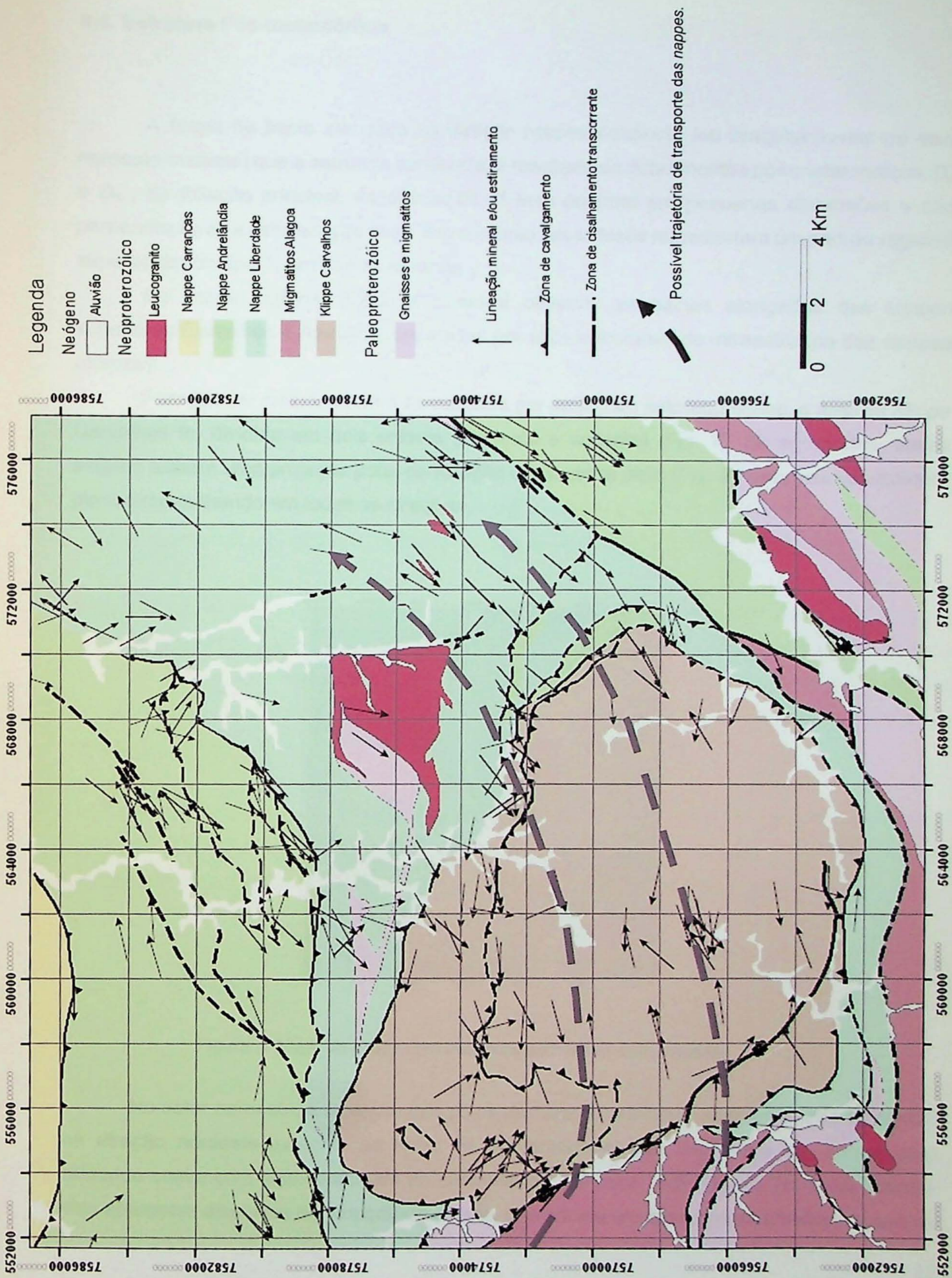


Figura 6. Mapa de lineações da Klippe Carvalhos com cinemática sin-metamórfica esboçada.

8.4. Estrutura Pós-metamórfica

A forma de bacia alongada na direção noroeste-sudeste (ou braquisinformal de eixo noroeste-sudeste) que a estrutura apresenta, é resultado de dobramentos pós-metamórficos, D_4 e D_5 , da foliação principal. As dobras de 5ª fase ocorrem em pequenas dimensões e são perpendiculares a estruturação geral. Em conjunto essas fases representam um padrão regional superposto, do tipo-1, em domos e bacias.

No mapa regional (Fig.2) é possível observar as bacias alongadas das *klippen* superiores Carvalhos e Aiuruoca, separadas por altos estruturais da infraestrutura das nappes (domos).

Para ilustrar melhor a forma da estrutura por projeções estereográficas, a área da *Klippe* Carvalhos foi dividida em dois setores (noroeste e sudeste) (Fig. 7). Se agrupados, esses setores exibem uma projeção polar da foliação em simetria axial (Fig. 8), uma vez que existem planos mergulhando em todas as direções.

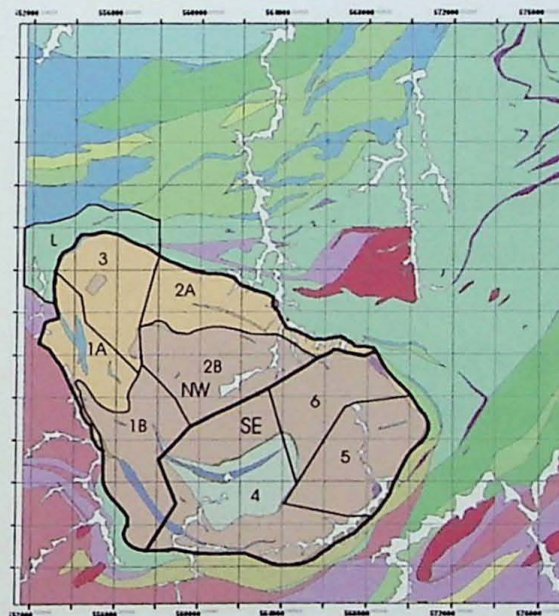


Figura 7. Mapa da klippe com domínios estruturais demarcados.

No setor noroeste, a projeção dos polos da foliação principal apresenta uma dispersão na direção nordeste-sudoeste ao redor de um grande círculo, indicando um dobramento cilíndrico suave com eixo construído de caimento de 10° para 145° (Fig. 9). No setor sudeste eles aparecem dispersos em um grande círculo, que admite um dobramento cilíndrico suave de

eixo construído para $305^{\circ}/15^{\circ}$, no sentido quase que contrário ao do eixo no setor noroeste, evidenciando a geometria braquisinformal da estrutura (Fig. 10).

No esteograma de polos da foliação principal da *Nappe* Liberdade a norte-noroeste da *klippe* (domínio L), observa-se uma dispersão com geometria triclinica, indicando um dobramento cônico com geratriz no quadrante sudeste. O padrão cônico destas foliações S_2 sugere superposição de dobramentos ou dobra em bainha (Fig. 11).

No interior da *Klippe* Carvalhos, os dois setores descritos foram subdivididos, na tentativa de identificar a superposição de dobramentos. Foram realizadas projeções estereográficas dos polos da foliação principal dentro de domínios relativamente homogêneos em relação orientação da foliação principal. O setor NW foi dividido no domínios 1A, 1B, 2A, 2B e 3. E o setor SE nos domínios 4, 5 e 6. Abaixo estão as interpretações de tais estereogramas.

Setor NW

Domínio 1A – Apresenta uma dispersão norte-sul dos polos ao redor de um grande círculo no quadrante oeste, o que sugere um dobramento cilíndrico suave (comprimento de onda $\gg$ amplitude) com plano axial sub-vertical e eixo de caimento de 25° para N85E (Fig. 12).

Domínio 1B – Mostra uma pequena dispersão leste-oeste no quadrante sudoeste. Essa dispersão poderia ser orientada ao redor de um grande círculo indicando um dobramento isoclinal de vergência para oeste-sudoeste. Porém não foi interpretada nenhuma estrutura desse tipo no domínio, levando a crer que essa dispersão é apenas resultado de pequenas variações na orientação da foliação e não um dobramento (Fig.13).

Domínio 2A – Dispersão noroeste-sudeste dos polos da foliação no quadrante nordeste definindo um grande círculo. O dobramento cilíndrico suave (comprimento de onda $\gg$ amplitude) estaria com plano axial sub-vertical e eixo $215^{\circ}/25^{\circ}$ (Fig.14).

Os domínios 2B e 3 apresentam uma dispersão axial dos polos da foliação principal, o que não permite interpretações sobre dobramentos (Figs. 15 e 16).

Setor SE

Domínio 4 - O estereograma de polos da foliação principal do domínio, mostra uma dispersão secundária de direção leste-oeste no quadrante sul, que não foi interpretada como sendo um dobramento e sim uma dispersão ocasional causada por pequenas variações e incerteza das medidas (Fig.17).

Domínio 5 – No estereograma do domínio observa-se um padrão cônico (triclínico) de dispersão dos polos da foliação (ao redor de um pequeno círculo), que é resultado de um padrão de interferência entre os dobramentos D_4 e D_5 . É possível distinguir dois planos-AC para o dobramento orientado NW-SE e um plano AC para o dobramento orientado sudoeste. Essa relação geométrica sugere que a estrutura NE-SW dobrou o eixo do dobramento NW-SE (Fig 18).

Domínio 6 – Apresenta uma dispersão cônica (triclínica) dos polos da foliação principal, devido a uma interferência dos dobramentos D_4 e D_5 . Apresenta as mesmas relações geométricas descritas no domínio anterior (Fig.19).

A partir da análise dessa série de estereogramas é possível se observar a presença do dobramento D_5 (aproximadamente nordeste-sudoeste), que é um dobramento suave (comprimento de onda $\gg$ amplitude) com plano axial sub-vertical. Esse dobramento provavelmente é o responsável pela geometria braquisinormal da estrutura, por dobramento do eixo sinformal do dobramento D_4 .

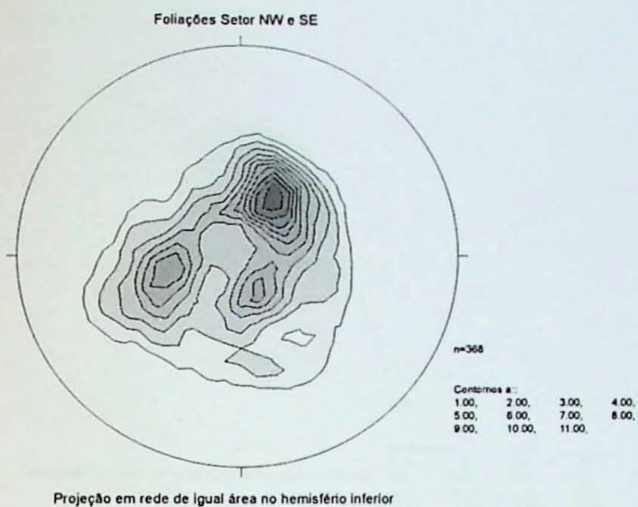


Figura 8: Estereograma de contornos dos polos da foliação principal de toda a estrutura da klippe.

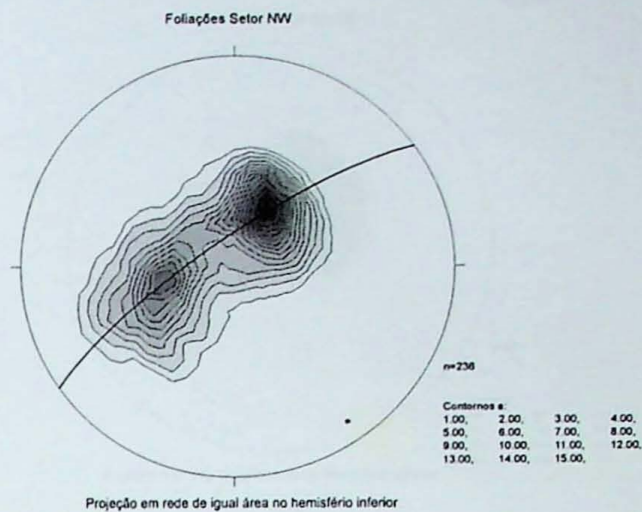


Figura 9: Estereograma de contornos dos polos da foliação principal no setor NW.

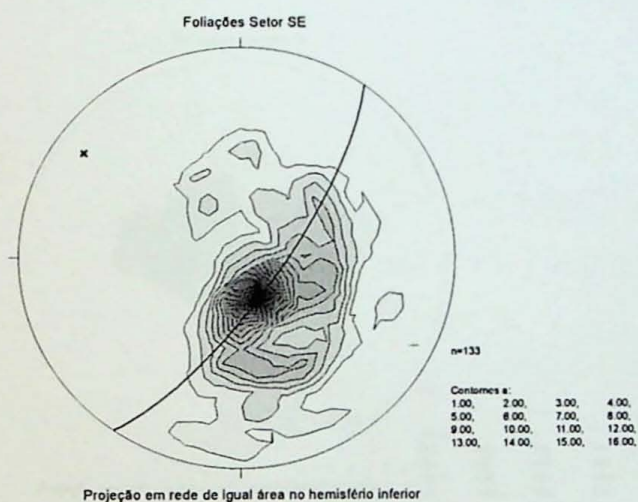


Figura 10: Estereograma de contornos dos polos da foliação principal no setor SE.

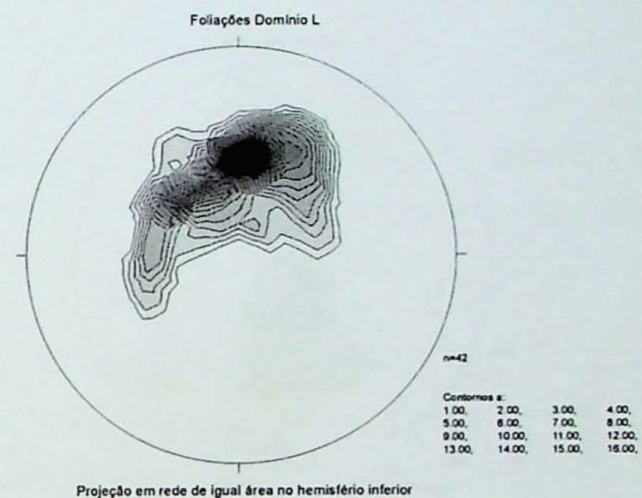


Figura 11: Estereograma de contornos dos polos da foliação principal no domínio L.

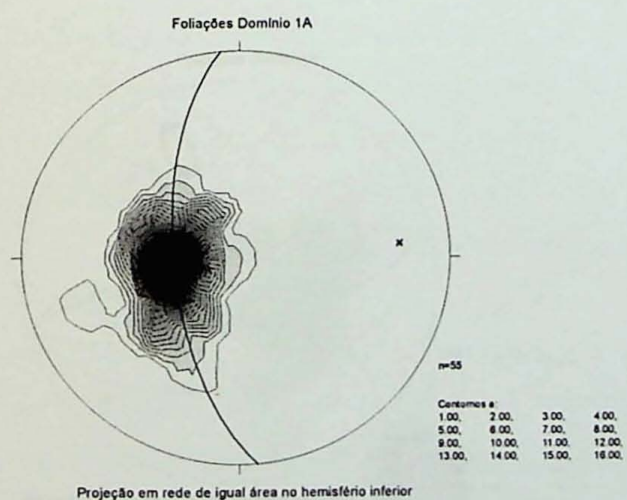


Figura 12: Estereograma de contornos dos polos da foliação principal no domínio 1A.

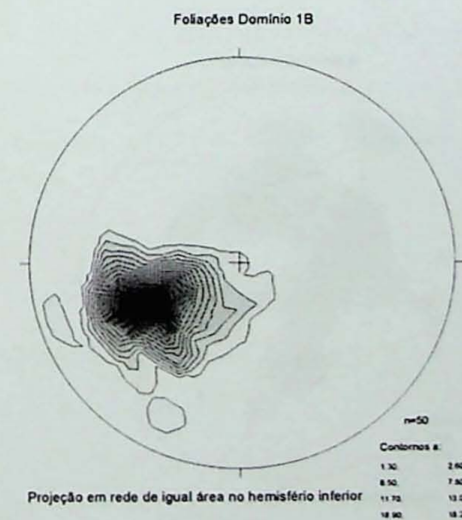


Figura 13: Estereograma de contornos dos polos da foliação principal no domínio 1B.

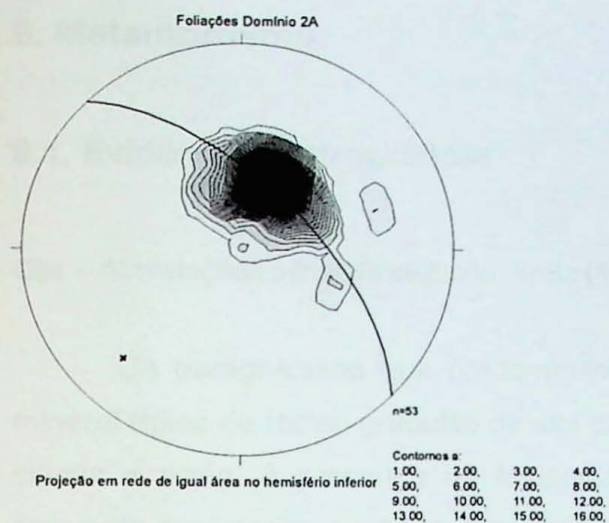


Figura 14 :Estereograma de contornos dos polos da foliação principal no domínio 2A.

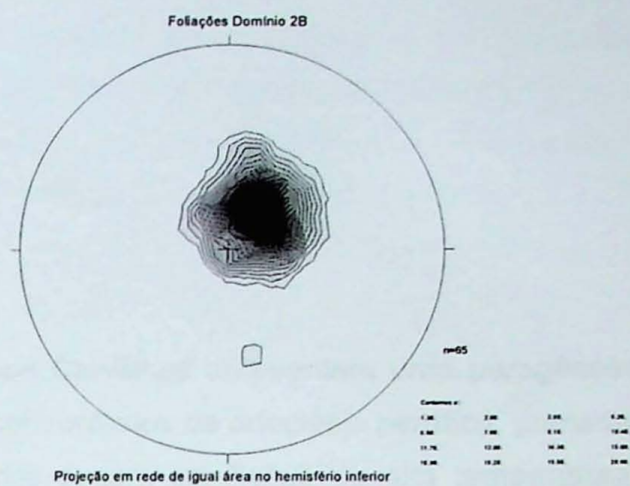


Figura 15:Estereograma de contornos dos polos da foliação principal no domínio 2B.

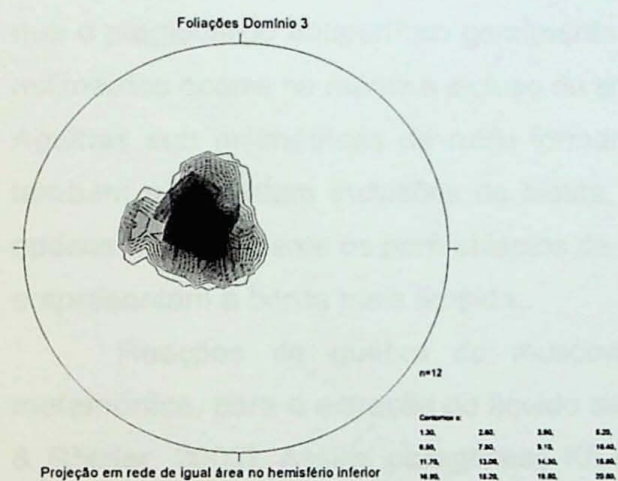


Figura 16: Estereograma de contornos dos polos da foliação principal no domínio 3.

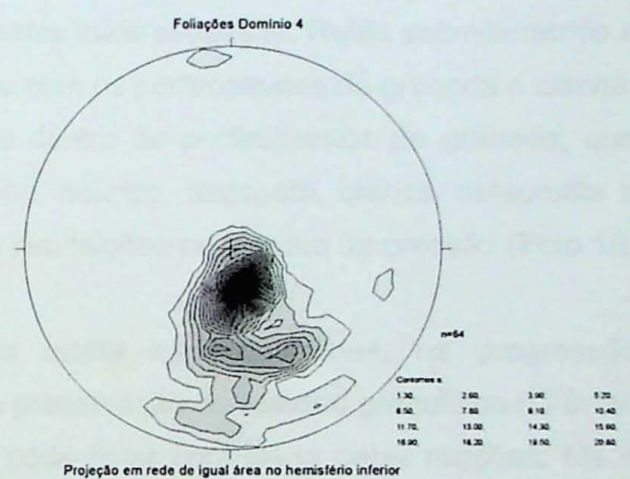


Figura 17: Estereograma de contornos dos polos da foliação principal no domínio 4.

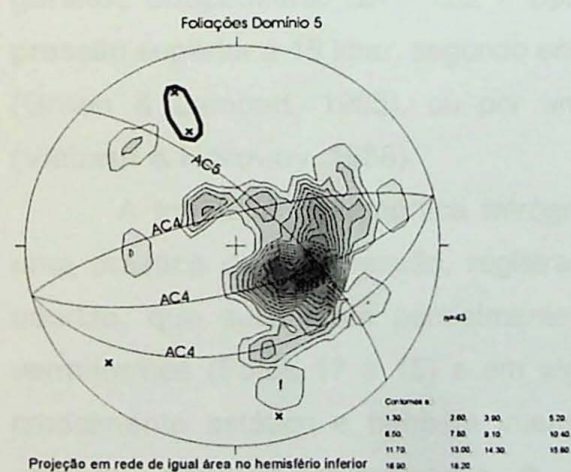


Figura 18: Estereograma de contornos dos polos da foliação principal no domínio 5.

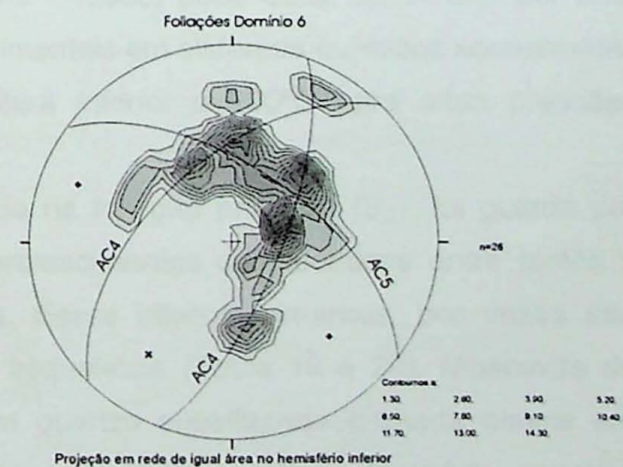


Figura 19: Estereograma de contornos dos polos da foliação principal no domínio 6.

9. Metamorfismo

9.1. Evidências Petrográficas

Obs – Abreviações minerais segundo Kretz (1983)

Os paragnaisses que predominam na *Klippe* Carvalhos apresentam uma paragênese mineral típica de fácies granulito de alta pressão: porfiroclastos de ortoclásio pertítico, granada, cianita e rutilo. A presença de feldspatos ternários sugere condições de alta temperatura, enquanto que cianita + rutilo e ortopiroxênio ausente, indicam condições de alta pressão.

Ocorrem tanto cristais de ortoclásio pertítico (Fotos 12 e 13) como de plagioclásio antipertítico (Fotos 14 e 15). As espessuras das lamelas variam de fina a mesopertita, sendo que o plagioclásio antipertítico geralmente tem lamelas mais espessas. Rutilo submilimétrico a milimétrico ocorre na matriz e incluso ou em contato com os porfiroblastos de granada e cianita. Agulhas sub milimétricas de rutilo formam dobras dentro de porfiroblastos de granada, que também apresentam inclusões de biotita, muscovita, quartzo, feldspato, cianita, estauroлита e opacos. Normalmente os porfiroblastos de granada tem feições de sombra de pressão (Foto 16) e apresentam a borda mais límpida..

Reações de quebra de muscovita e de biotita são requeridas, na progressão metamórfica, para a extração do líquido silicático e preservação do resíduo granulítico (O'Brien & Rötzler, 2003). Assim, paragênese $Kfs+Ky+Grt$ pode estar controlada pelas reações: $Ms + Qtz = Kfs + Ky + fusão$ e $Bt + Ky + Qtz = Grt + Kfs + fusão$; nesta última reação, temperaturas superiores a 850°C seriam necessárias (Fig. 20). A ausência de reações de quebra de biotita gerando ortopiroxênio ($Bt + Qtz = Opx + Grt + Kfs + fusão$) pode estar controlada por uma pressão superior a 15 kbar, segundo estudos experimentais em sistemas químicos semelhantes (Green & Lambert, 1965), ou por uma temperatura inferior a 900°C para altas pressões (Vielzeuf & Holloway, 1988).

A trajetória metamórfica retrogressiva, ainda na foliação principal (S_2), foi guiada por uma drástica descompressão, registrada nos intercrescimentos simplectíticos entre biotita e quartzo, que substituem parcialmente a granada. Esses intercrescimentos, por vezes são vermiformes (Fotos 17 e 18) e em alguns locais esqueléticos (Fotos 19 e 20). Muscovita de crescimento estático e também intercrescida com quartzo substituindo granada ocorre em porções onde a retrogressão é mais intensa. Nessas porções também ocorrem intercrescimentos de biotita e sillimanita substituindo granada (Foto 21). Substituições diretas, por *net transfer reactions*, da cianita pela sillimanita são observadas, principalmente nas bordas

da *klippe*. O ortoclásio, em contato com plagioclásio, é parcialmente substituído por mirmequitas (Fotos 22 e 23). A principal reação, responsável pela textura simplectítica de substituição da granada e rehidratação da rocha é $\text{Grt} + \text{Kfs} + \text{líquido} = \text{Bt} + \text{Als} + \text{Qtz}$, que para uma pressão máxima de 10 kbar, é obtida a uma temperatura de 850°C (Vielzeuf & Holloway, 1988).

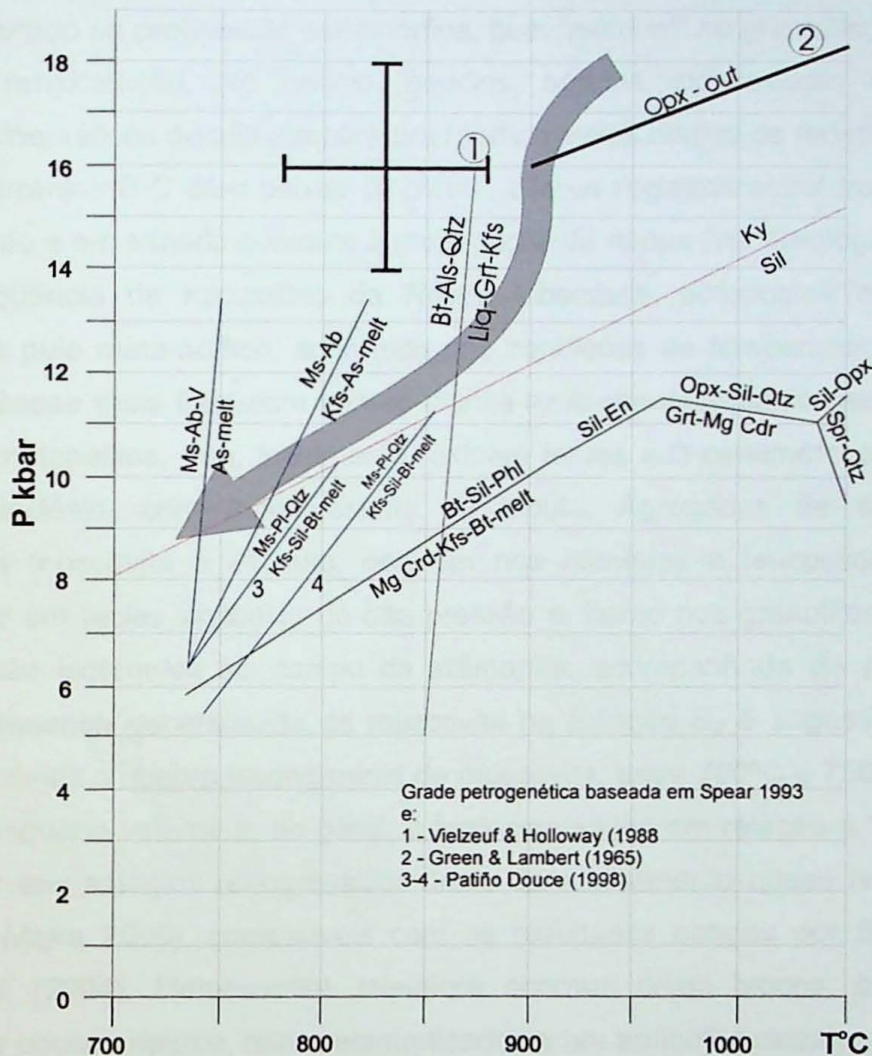


Figura 20. Diagrama P-T com esboço da possível trajetória metamórfica a partir da petrografia.

Barra de erro de temperatura e pressão baseada na temobarometria (Zr em Rt e GASP, ver capítulo 9.3).

Corpos métricos de rochas máficas, prováveis metabasaltos toleíticos, encontram-se como "lentes" boudinadas nos granulitos. São granada anfibolitos com registros de uma paragênese reliquear de granada-clinopiroxênio-plagioclásio-quartzo, compatível com as condições de fácies granulito de alta pressão ($P_{\text{mínimo}}$ de 11,5 kbar para $T_{\text{mínimo}}$ de 850°C; Pattison, 2003). Nestas rochas o registro da descompressão sob altas temperaturas, na foliação S_2 , está nas texturas coroníticas de plagioclásio + hornblenda em granada (Fotos 24 a 26) e a

substituição parcial do clinopiroxênio (diopsídio) pela hornblenda. Nas rochas com composições gerais mais cálcicas, a escapolita (Foto 27) ocorre juntamente com a hornblenda e o diopsídio.

Uma deformação por extensão é admitida para explicar a drástica e “instantânea” descompressão (perda mínima de cerca de 18 km de carga litostática), ainda na história da foliação metamórfica principal. A rapidez do processo não permitiu a perda do líquido magmático gerado na progressão metamórfica, que, “residual” no granulito, facilitou as reações de volta e rehidratação. No campo, *boudins*, bandas extensionais de cisalhamento e indicadores cinemáticos de alta temperatura (porfiroclastos alados de feldspatos potássicos), ou envolvendo arranjos S-C e/ou peixes de biotita, são os registros estruturais de um transporte contemporâneo e em sentido contrário à propagação da *nappe* (ver Geologia Estrutural).

A seqüência de micaxistos da *Nappe* Liberdade, sotopostos a *Klippe* Carvalhos, registram um pulo metamórfico, sobretudo nas condições de temperatura do metamorfismo. Como paragênese mais frequente tem-se cianita-rutilo-granada-plagioclásio-muscovita-biotita-quartzo em metapelitos, que, localmente, exibem lentes sub-centimétricas de leucossoma a quartzo+plagioclásio, com melanossoma de biotita. Agregados de sillimanita fibrolítica, associados a muscovita e ilmenita, ocorrem nos domínios a leucossomas. Essas rochas encontram-se em fácies anfibolito de alta pressão e, como nos granulitos, registram drástica descompressão isotérmica ao campo da sillimanita, acompanhada de pequeno volume de fundido. A presença generalizada de muscovita na foliação S_2 é sugestiva de temperaturas máximas próximas a quebra incongruente de muscovita, entre 700°C e 750°C. Estaurolita pode ocorrer em pequeno volume e, no geral, é tardi-cinemática em relação a foliação S_2 e parece corresponder aos estágios retrogressivos finais de resfriamento quase isobárico ($T=650^\circ\text{C}$ e $P=7,5$ kbar, Meira 2005), compatíveis com os resultados obtidos por Santos (2004) e por Santos *et al.* (2004). Metabasaltos toleíticos ocorrem como blocos, *boudins* e/ou corpos alongados de poucos metros, retrometamorfizados a um anfibolito cinza escuro com fantasmas esqueletais de granada, substituídas por plagioclásio e por plagioclásio+hornblenda em coronas symplectíticas. Essas rochas exibem, no geral em núcleos de *boudins*, a paragênese onfacita+quartzo+albita em presença de granada (Campos Neto & Caby, 1999) e/ou clinopiroxênio rico em SiO_2 e Al_2O_3 e com aspecto poiquiloblástico devido a intercrescimento com quartzo arredondado, “em gotas” (Meira, 2005). São assinaturas de um estágio metamórfico, em fácies eclogito, de uma zona de subducção continental.

PRANCHA DE FOTOS 3

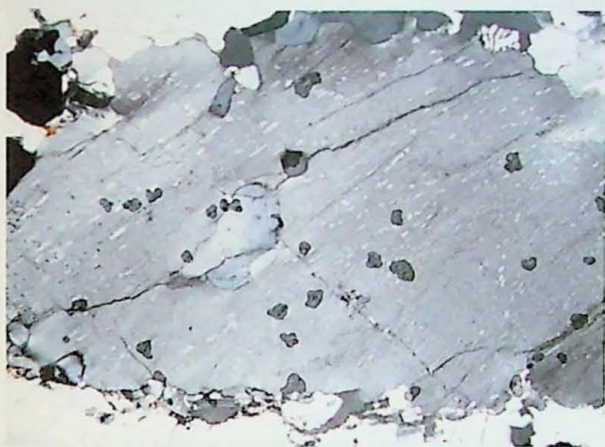


Foto 12. Ortoclásio pertítico. Nicois cruzados. Lado maior da foto = 3,2mm.

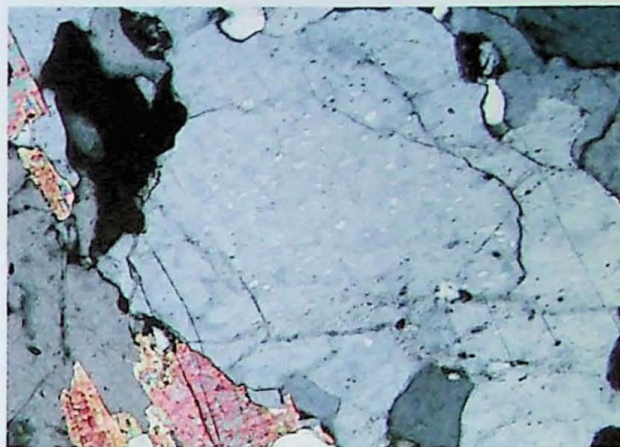


Foto 13. Ortoclásio pertítico. Nicois cruzados. Lado maior da foto = 1,04mm.

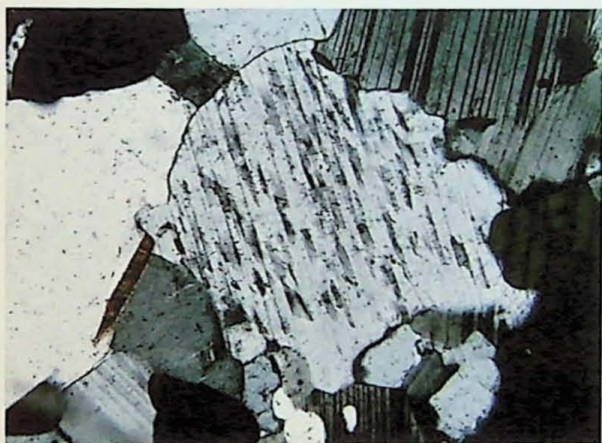


Foto 14. Plagioclásio antipertítico. Nicois cruzados. Lado maior da foto = 1,3mm.



Foto 15. Plagioclásio antipertítico bordeado por granadas euédricas. Nicois cruzados. Lado maior da foto = 8,2mm.



Foto 16. Granada com sombra de pressão formada por Bt, Qtz, Felds, Ky. Nicois descruzados. Lado maior da Foto = 10,2mm.

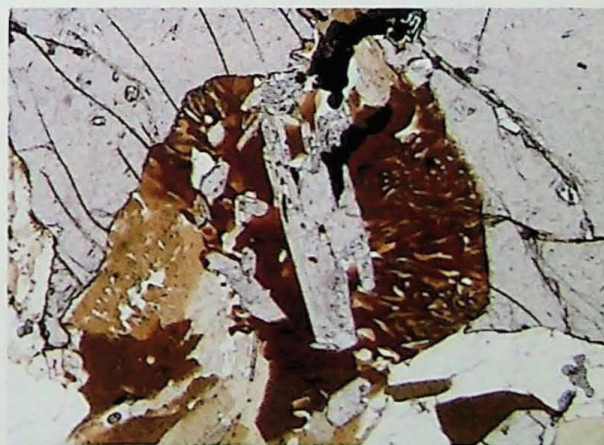


Foto 17. Simplectito de granada + quartzo associado a cianita, substituindo granada. Nicois descruzados. Lado maior da foto = 2,6mm.

PRANCHA DE FOTOS 4

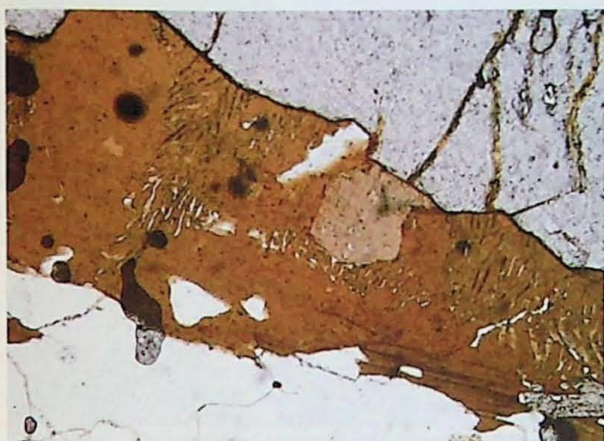


Foto 18. Intercrescimentos simplectíticos de biotita + quartzo substituindo granada. Nicois descruzados. Lado maior da foto = 1,6mm.



Foto 19. Intercrescimento esquelético de biotita + quartzo ± feldspato substituindo granada. Nicois descruzados. Lado maior da foto = 2,6mm.



Foto 20. Intercrescimento esquelético de biotita + quartzo ± feldspato substituindo granada. Nicois descruzados. Lado maior = 1,3mm.



Foto 21. Intercrescimento de biotita + silimanita substituindo granada. Nicois descruzados. Lado maior da foto = 2mm.



Foto 22. Mirmequita substituindo ortoclásio. Nicois cruzados. Lado maior da foto = 1,3mm.



Foto 23. Mirmequita substituindo ortoclásio pertítico. Nicois cruzados. Lado maior = 2mm.

PRANCHA DE FOTOS 5

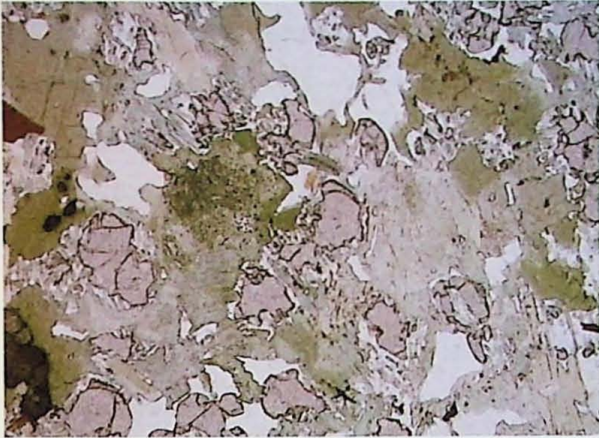


Foto 24. Granada substituída parcialmente por hornblenda + plagioclásio. Nicois descruzados. Lado maior da foto = 2mm.

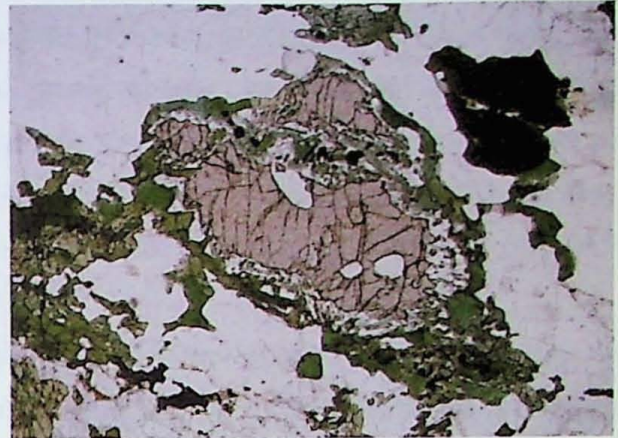


Foto 25. Granada com corona de hornblenda + plagioclásio. Nicois descruzados. Lado maior da foto = 2,6mm.



Foto 26. Granada substituída parcialmente por hornblenda + plagioclásio. Nicois descruzados. Lado maior da foto = 3,2mm.



Foto 27. Megacristal de escapolita. Nicois cruzados. Lado maior da foto = 8,2mm.

9.2. Química Mineral

Foram realizadas análises químicas pontuais de granada, biotita, feldspato e rutilo em 3 amostras (AL3-33H, AL3-90-4, AL4-120A) de paragneisses da *Klippe* Carvalhos, na microsonda eletrônica JEOL JXA-8600 do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo. As análises de granada, feldspato e biotita foram feitas com voltagem de 15kV e corrente de 20nA com diâmetro de feixe entre 5 e 10 μm . Para o rutilo foi utilizada voltagem de 20kV e corrente de 120 nA com diâmetro de feixe em 5 μm .

As 3 amostras analisadas são gnaisses de textura granoblástica grossa com porfiroblastos de granada (1mm a 2cm) e cianita (até ~0,5cm). As granadas analisadas apresentam uma zonação textural conferida por domínios a inclusões orientadas de agulhas de rutilo e de agregados lobados de quartzo, onde biotita e cianita podem ocorrer; e bordas mais límpidas, livres de inclusões ou com inclusões não orientadas de rutilo. A biotita ocorre em proporções de 5-10% , tanto na matriz como inclusa ou substituindo porfiroblastos de granada. O feldspato predominante é o ortoclásio, muitas vezes peritítico, sendo que plagioclásio ocorre em proporções acessórias (1-2%). Rutilo, sub-milimétrico, ocorre na matriz e incluso em granada e cianita. Grafita, opacos, apatita e zircão, são acessórios frequentes.

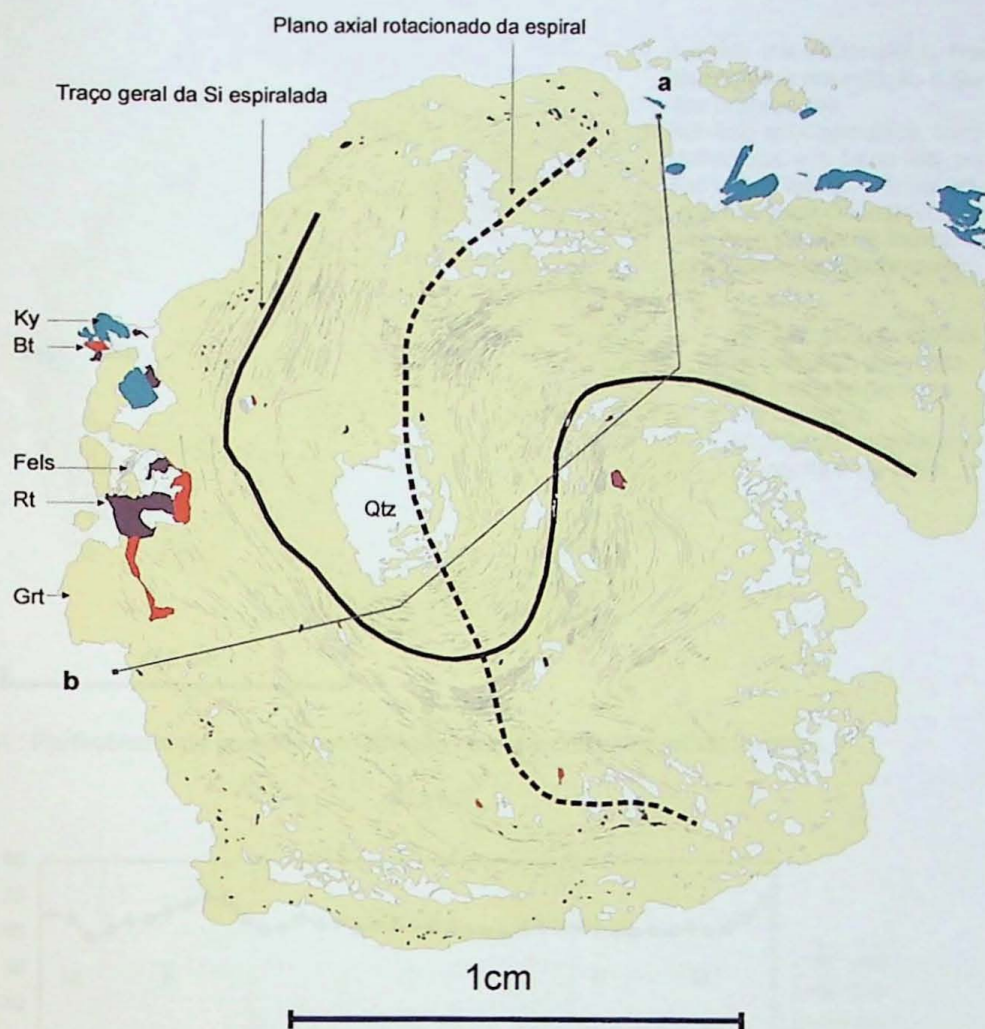
9.2.1. Granada

Nas 3 amostras analisadas a granada é rica em almandina e tem baixos teores de manganês. A granada da amostra AL3-90-4 apresentou os maiores valores de almandina Alm_{68-78} Prp_{12-23} Grs_{5-12} Sps_{1-3} . Nas outras duas amostras a granada possui maior conteúdo em Mg, apresentando as seguintes proporções de membros finais:

AL3-33H – Alm_{59-65} Prp_{11-31} Grs_{5-19} Sps_{1-2}

AL4-120A – Alm_{59-64} Prp_{27-32} Grs_{6-8} $\text{Sps}_{1-1.5}$

Na amostra AL3-90-4 (Fig. 21) o porfiroblasto de granada é sin-tectônico e cresceu durante uma deformação rotacional por cisalhamento dúctil. É composicionalmente homogêneo e apresenta um pequeno aumento no conteúdo em piropo junto à borda.



A : Granada espiralada, com rotação anti-horária de cerca de 180° (destaque para a forma espiralada da foliação Si, com o plano axial já encurvado). Localização da seção química a-b (fig.21B). As fraturas foram omitidas.

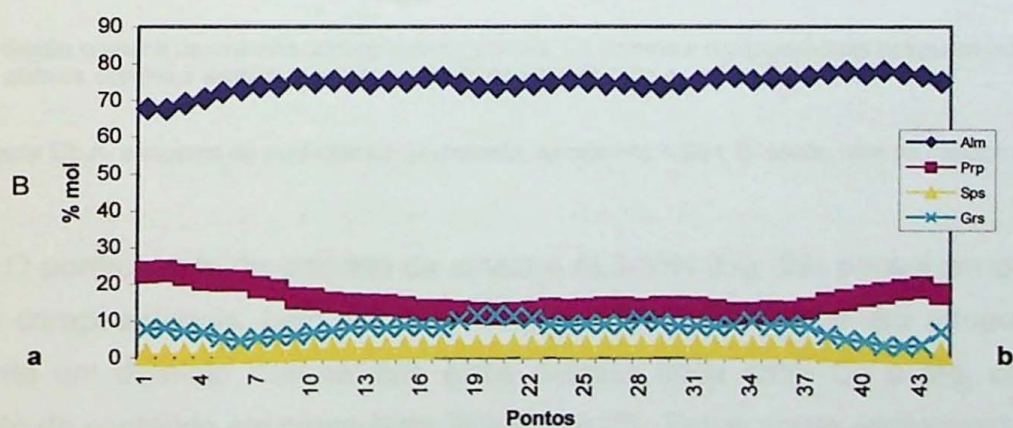
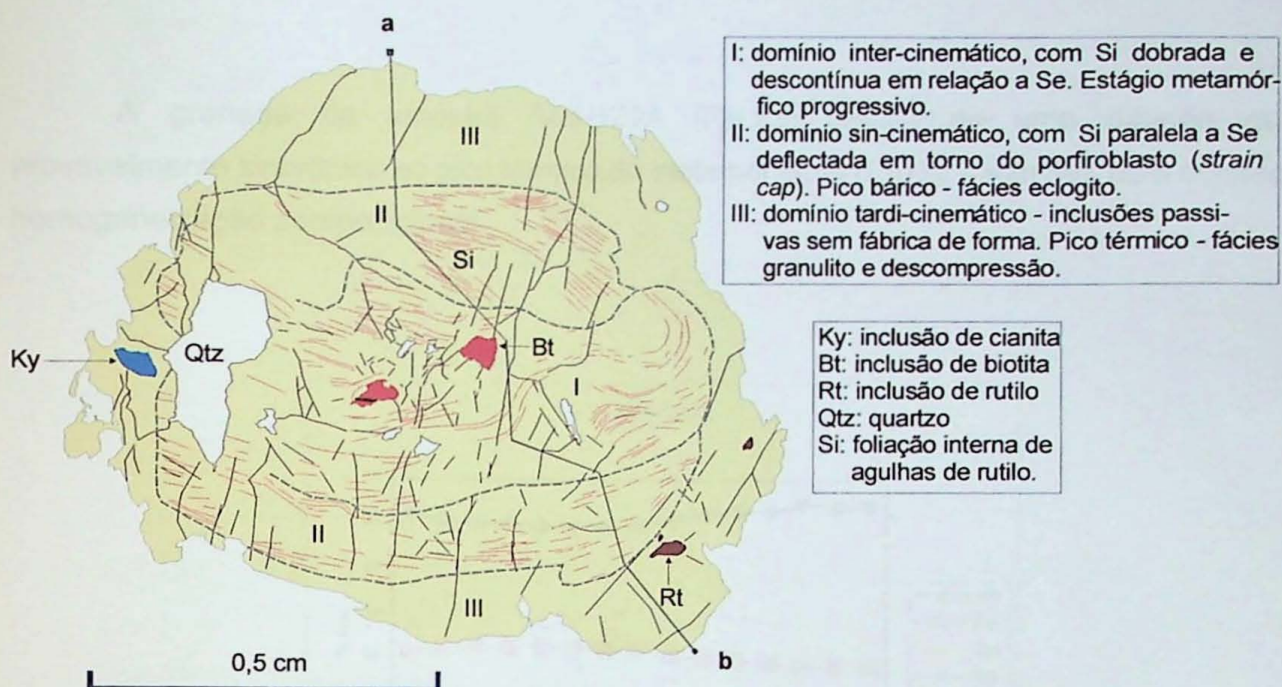
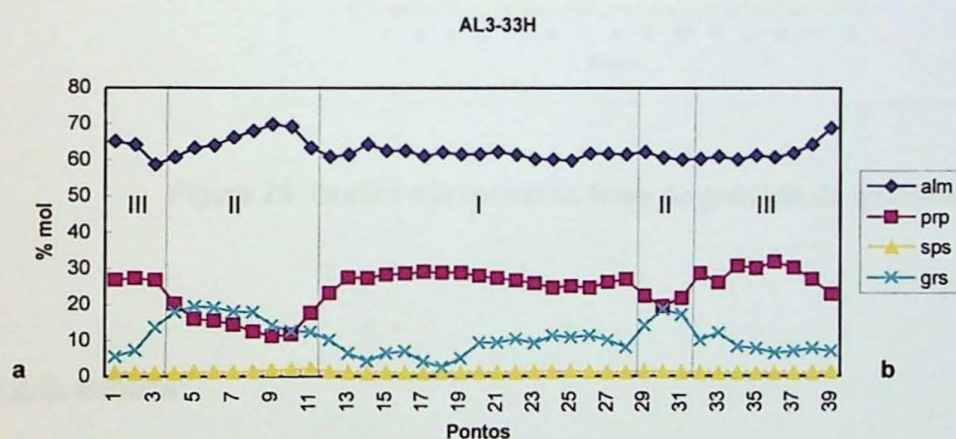


Figura 21: A- esquema do porfiroblasto de granada da amostra AL3-90-4; B- seção com os membros finais



A: Porfiroblasto de granada com foliação interna e diferentes zonas texturais.



B: Seção química da granada com os membros finais. Os domínios composicionais possuem boa correlação com os domínios texturais, com exceção do domínio III, lado-a.

Figura 22: A- esquema de porfiroblasto de granada, amostra AL3-33H; B- seção com os membros finais.

O porfiroblasto de granada da amostra AL3-33H (Fig. 22) possui zonas, tanto texturais quanto composicionais, bem definidas. Núcleo e borda são ricos em piropo (Prp30 Alm60), enquanto um domínio intermediário exhibe drástica troca entre Ca e Mg, com conseqüente aumento do conteúdo em grossulária (Grs20 Prp10). Essas zonas (domínios) correspondem a estágios de crescimento inter-cinemático, sin-cinemático e tardi-cinemático. As inclusões de rutilo analisadas são contemporâneas ao estágio sin-cinemático, provavelmente relacionado ao pico bárico (Grs alta).

A granada da amostra AL4-120A (Fig.23) resulta de uma difusão química, provavelmente sincrônica ao pico térmico do metamorfismo (Prp32 – Alm 59), com conseqüente homogeneização composicional.

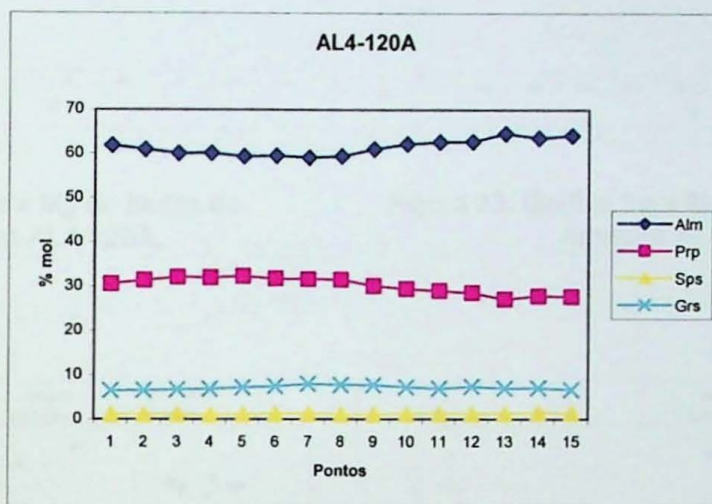


Figura 23: Gráfico dos membros finais da granada da amostra AL4-120A.

9.2.2. Biotita

Foram analisados cristais de biotita da matriz, inclusos em granada e nas bordas de granada. Nas amostras AL3-33H e AL4-120A é bem claro o aumento de magnésio e queda de ferro na biotita inclusa em granada se comparada à biotita da matriz e da borda da granada (Figs. 24 e 25). Em geral a razão $Mg/Fe+Mg$ da biotita da matriz é de $\sim 0,62-0,66$ enquanto que na biotita inclusa é de $\sim 0,76-0,81$. Nas 3 amostras a biotita da matriz apresenta mais Ti do que a biotita inclusa em granada (Figs. 26 a 28).

Na amostra AL3-90-4 a biotita apresenta teores de Fe mais elevados ($\sim 17-19,7\%$ FeO) do que nas outras duas amostras ($\sim 7,5-14,5\%$ FeO). Esse fato provavelmente é resultado do protolito mais rico em Fe, tendo em vista que a granada dessa amostra também se mostrou a mais rica em almandina.

Os conteúdos mais elevados em flogopida, com mais baixo titânio, das biotitas inclusas (no geral no núcleo das granadas), podem representar estágios de mais baixa temperatura do metamorfismo progressivo (destaca-se a presença local de inclusões de estaurolita).

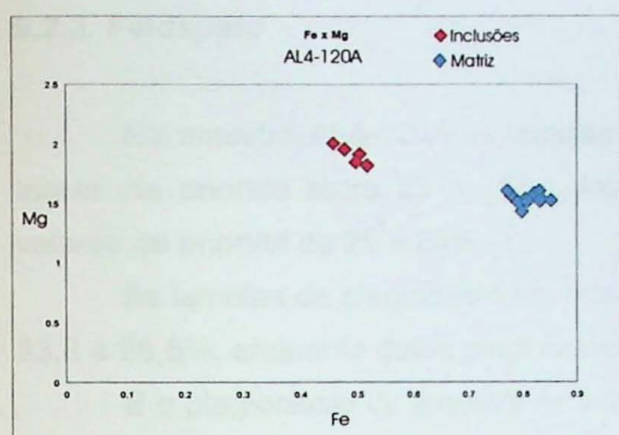


Figura 24. Gráfico Fe x Mg de biotita da Amostra AL4-120A.

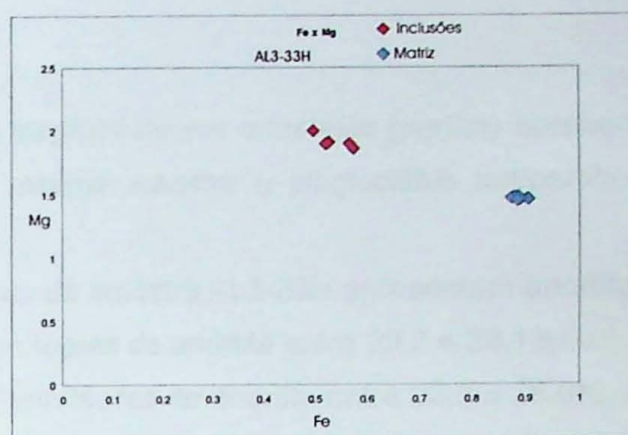


Figura 25. Gráfico Fe x Mg de biotita da Amostra AL3-33H.

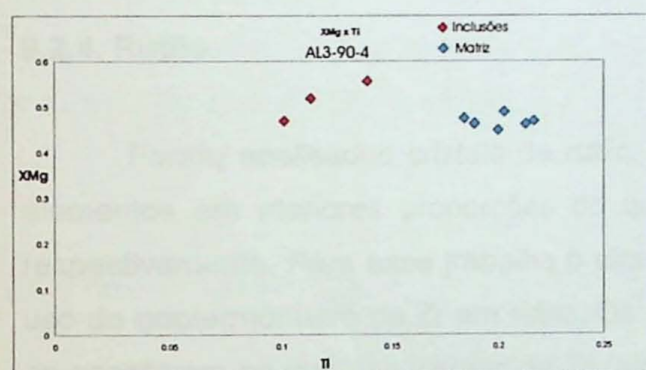


Figura 26. Gráfico XMg x Ti de biotita da amostra AL3-90-4.

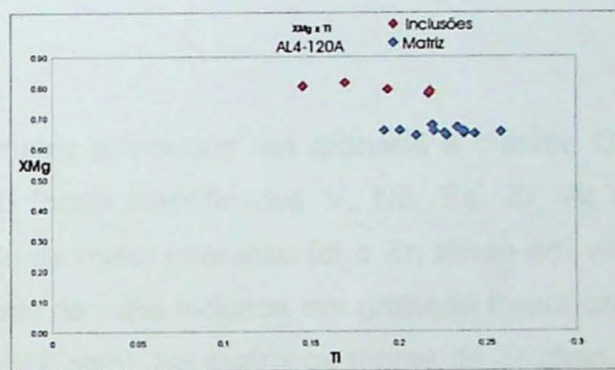


Figura 27. Gráfico XMg x Ti de biotita da amostra AL4-120A.

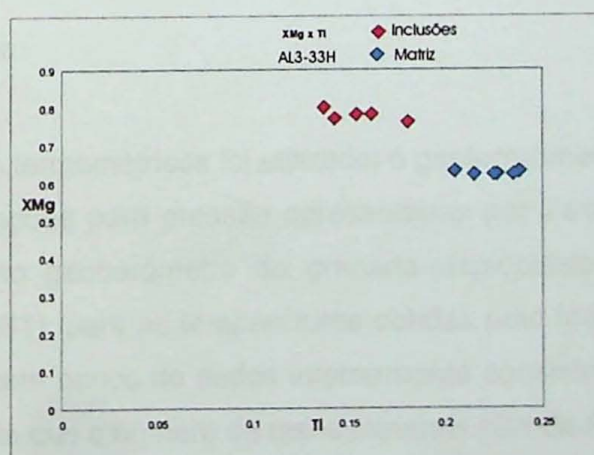


Figura 28. Gráfico XMg x Ti de biotita da amostra AL3-33H

9.2.3. Feldspato

Na amostra AL4-120A as lamelas de plagioclásio em ortoclásio (pertita) apresentaram teores de anortita entre 23 e 25%. Nessa mesma amostra o plagioclásio antipertítico tem valores de anortita de 26 a 28%.

As lamelas de plagioclásio em ortoclásio da amostra AL3-33H apresentam anortita entre 23,8 e 26,5%, enquanto que o plagioclásio tem teores de anortita entre 29,2 e 30,1%.

E o plagioclásio da amostra AL3-90-4 tem teores de anortita entre 22,9 e 25,6%. Sendo que um dos cristais de plagioclásio analisados dessa amostra apresentou teores de anortita bem mais baixos An16-17.

Os baixos teores em anortita para plagioclásios de rochas em fácies granulito (oligoclásio e localmente albita) deve refletir o campo bórico de alta pressão.

9.2.4. Rutilo

Foram analisados cristais de rutilo da matriz e inclusos em granada e cianita. Como elementos em menores proporções do que Ti foram identificados V, Nb, Fe, Zr, Al e Cr respectivamente. Para esse trabalho o elemento de maior interesse foi o Zr, tendo em vista o uso do geotermômetro de Zr em rutilo. Os cristais de rutilo inclusos em granada foram os que apresentaram os maiores valores de Zr (até ~1617 ppm). Na matriz os teores de Zr chegaram até ~1530ppm. Rutilo incluso em cianita apresentou os valores mais baixos de Zr (~650-1050ppm).

9.3. Termobarometria

Para os cálculos termométricos foi utilizado o geotermômetro de Zr em rutilo (Watson *et al.*, 2006, com as correções para pressão apresentadas por Zack *et al.*, 2006). O cálculo da pressão foi baseado no geobarômetro de granada-plagioclásio-Al₂SiO₅-quartzo (GASP) de Newton & Haselton (1981), para as temperaturas obtidas pelo método anterior. A utilização do *software Thermocalc*, com banco de dados internamente consistente (Powell & Holland, 1988) não foi viável, na medida que o número de fases minerais (Grt-Bt-Pl-Qtz-Ky) foi muito inferior ao de membros finais envolvidos, não sendo assim possível alcançar as reações independentes necessárias.

9.3.1 Geotermômetro de Zr em rutilo

Recentemente foram publicados estudos sobre a dependência da temperatura nos teores de zircônio em rutilo (maior temperatura - maior conteúdo em Zr), nos sistemas em que rutilo, quartzo e zircão coexistem. Nesse sistema a equação balanceada pode ser escrita da seguinte forma: $\text{SiO}_2 (\text{Qtz}) + \text{ZrO}_2 (\text{Bd em Rt}) = \text{ZrSiO}_4 (\text{Zrc})$.

Zack *et al.* (2004) realizaram uma calibração empírica do geotermômetro de Zr em rutilo utilizando amostras de 31 localidades onde estudos prévios já haviam determinado uma temperatura para o pico metamórfico (430 – 1100°C). Os autores compararam os teores de Zr com as temperaturas previamente descritas e através de uma regressão chegaram a seguinte fórmula: $T(^{\circ}\text{C}) = 127,8 \times \ln (\text{Zr em ppm}) - 10$. Esse estudo diz que não foi observada dependência da pressão e destaca o uso de inclusões, tanto em granada como em piroxênio, para se alcançar a temperatura de pico metamórfico, pois o rutilo está muito sujeito a perda de Zr por difusão durante o resfriamento.

Watson *et al.* (2006) fizeram uma calibração experimental do termômetro chegando a seguinte equação: $T(^{\circ}\text{C}) = \frac{4470 \pm 120}{(7,36 \pm 0,1) - \log(\text{Zr})} - 273$.

E Zack *et al.* (2006) apresentaram uma equação baseada em calibração experimental que leva em conta a dependência de pressão: $T(^{\circ}\text{C}) = \frac{4233 + P \cdot 237}{7,36 - \log(\text{Zr})} - 273$.

O estudo empírico tem a desvantagem de ter que assumir os erros inerentes aos métodos previamente utilizados. Enquanto que a calibração experimental tem a desvantagem de não poder alcançar intervalos de tempo semelhantes aos naturais para o equilíbrio dos experimentos.

No presente trabalho foram analisados cristais de rutilo da matriz e inclusos em granada e cianita. Não foram analisadas as minúsculas agulhas de rutilo inclusas em granada, devido o seu tamanho diminuto que dificulta as análises.

Os valores mais altos de Zr nos cristais de rutilo inclusos em granada resultam da menor taxa de difusão de Zr, durante o resfriamento, devido a “proteção” exercida pela granada. Nos cristais de rutilo inclusos em cianita esse efeito não ocorre provavelmente por causa da estrutura mais “aberta” deste mineral.

O gráfico (Fig. 29) da amostra AL3-33H destaca a diferença nos teores de Zr de cristais inclusos em granada para os diferentes métodos. Através da análise dos resultados, foi adotado o método de Zack *et al.* (2006) – termometro experimental com correção de pressão – que, para 15Kbar admite uma temperatura de 835 ± 60 °C para o pico metamórfico. Assume-se que o

método empírico de Zack *et al.* (2004) estaria com as temperaturas superestimadas, provavelmente pela necessidade de assumir os erros dos cálculos prévios.

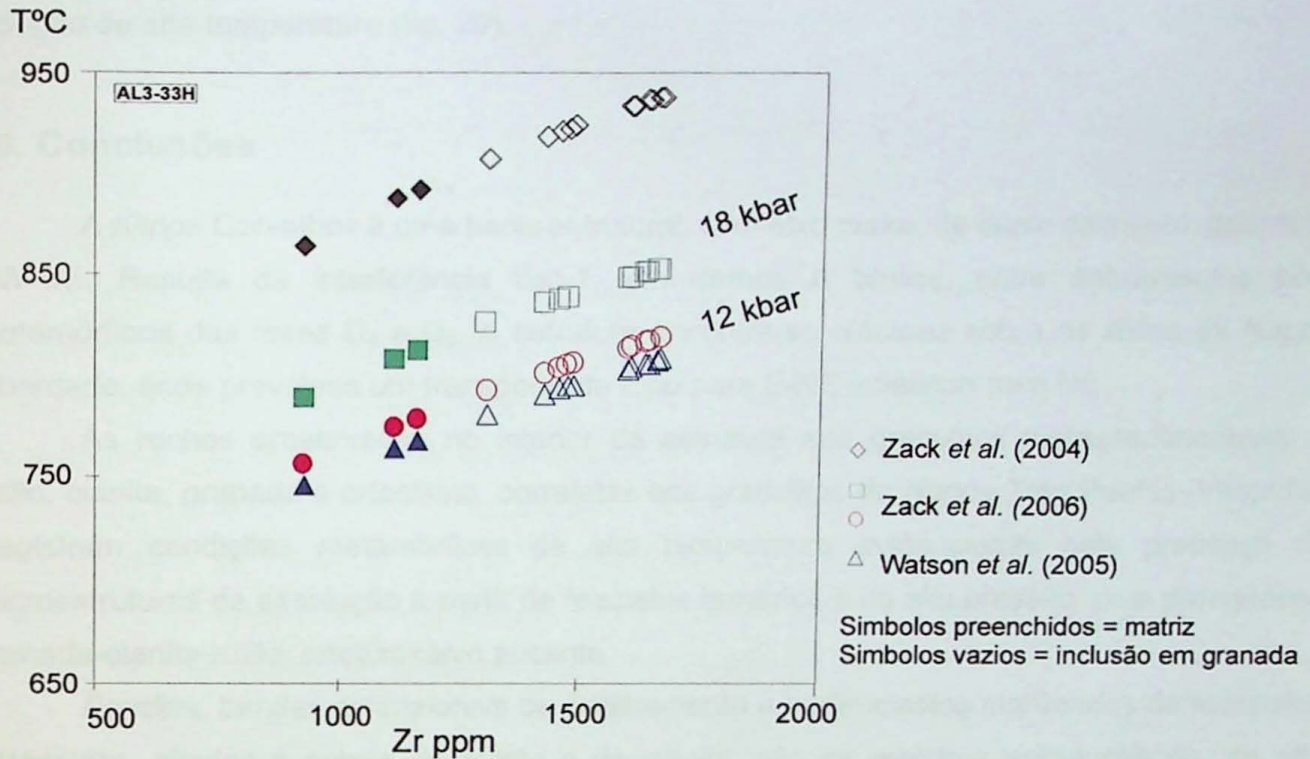
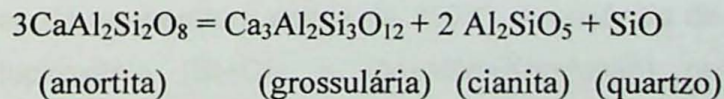


Figura 29. Gráfico T°C x Zr ppm da amostra AL3-33H com resultados dos 3 métodos analisados.

9.3.2 Geobarômetro granada – plagioclásio - Al_2SiO_5 – quartzo (GASP)

Obs: Os cálculos do GASP foram realizados no Thermocalc (Powell & Holland, 1988)

Esse geobarômetro pode ser utilizado para uma assembléia mineral frequente em rochas metamórficas: granada – plagioclásio – Al_2SiO_5 – quartzo. Ele se baseia na seguinte reação univariante no sistema $\text{CaO} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2$:



O pico bórico foi alcançado na amostra AL3-33H (com zonação composicional da granada), utilizando-se a composição da borda interna do porfiroblasto (maior conteúdo em grossulária), juntamente com a composição de plagioclásio com An_{25} . Para uma temperatura Zr em Rt de 835°C obteve-se a pressão de $15.9 \pm 2\text{Kbar}$. E para uma temperatura de 800°C se chega a pressão de $15,2 \pm 2\text{Kbar}$. As composições do núcleo da granada não foram utilizadas

por não se obter temperaturas Grt-Bt nos limites da confiabilidade e pela ocorrência, esparsa, de diminutas inclusões de estaurolita, refletindo o estágio progressivo em fácies anfibolito.

As condições metamórficas obtidas – $T=835\pm60^{\circ}\text{C}$ e $P=15,9\pm2\text{kbar}$ – são de fácies eclogito de alta temperatura (fig. 20).

10. Conclusões

A *Klippe* Carvalhos é uma bacia estrutural, com eixo maior, de duplo caimento, orientado NW-SE. Resulta da interferência tipo-1, em domos e bacias, entre dobramentos pós-metamórficos das fases D_4 e D_5 . A estrutura encontra-se alóctone sobre os xistos da *Nappe* Liberdade, onde prevalece um transporte de topo para E-NE infletindo para NE.

As rochas preservadas no interior da estrutura são granulitos metassedimentares a rutilo, cianita, granada e ortoclásio, correlatas aos granulitos da *Nappe* Três Pontas–Varginha. Registram condições metamórficas de alta temperatura evidenciadas pela presença de microestruturas de exsolução a partir de feldspatos ternários e de alta pressão pela paragênese granada-cianita-rutilo, ortopiroxênio ausente.

Boudins, bandas extensionais de cisalhamento e porfiroclastos manteados de feldspatos potássicos, aliados a peixes de biotita e de cianita, são os registros estruturais de, de alta temperatura, no geral associados a leucossomas, de um transporte também sin-metamórfico, mas em sentido contrário à propagação da *nappe*.

Dobras quase-isoclinais, com cerca de 500m de meio comprimento de onda ($\lambda/2$), transpõem a foliação metamórfica S_2 e foram mapeadas em figura de interferência incompleta, do tipo-2 (meia-lua), com dobra tardia. Estas ocorrem, como mega-estruturas, em duas fases fortemente oblíquas; a primeira orientada NW-SE, com $\lambda/2=6,5\text{ km}$ e pequena amplitude (A) e a segunda, NE-SW, também com alta razão λ/A , ocorre em dimensões menores e configura a calha principal da *Nappe* Liberdade.

Nos metapelitos a paragênese de $Kfs+Grt+Ky$ pode estar controlada pelas reações: $Ms+Qtz = Kfs+Ky+fusão$ e $Bt+Ky+Qtz = Grt+Kfs+fusão$, sendo que nesta última são necessárias condições de temperatura acima de 850°C . A ausência de reações de quebra de biotita gerando ortopiroxênio ($Bt+Qtz = Opx+Grt+Kfs+fusão$) restringe o campo do metamorfismo entre as temperaturas de 850°C e 950°C , sob altas pressões (14-16 Kbar), segundo os experimentos de Green & Lambert (1965) e de Vielzeuf & Holloway (1988).

Uma drástica descompressão, com o cruzamento de volta daquelas reações de desidratação, ainda na foliação S_2 , está registrada nos intercrescimentos simplectíticos, que substituem a granada. São os simplectitos entre biotita e quartzo (mais frequentes) e entre

biotita e sillimanita, e , ainda, pelas substituições diretas, por *net transfer reactions*, da cianita pela sillimanita, observadas, sobretudo na porção leste da *klippe*.

Nas rochas máficas, budinadas dentro dos gnaisses, a paragênese de granada-clinopiroxênio-plagioclásio-quartzo é compatível com as condições limites de fácies granulito de alta pressão. Nestas rochas o registro da descompressão, sob altas temperaturas na foliação S_2 , está nas texturas simplectíticas entre plagioclásio e hornblenda, que substituem, em coronas, os porfiroblastos de granada. O clinopiroxênio (diopsídio) está parcialmente substituído pela hornblenda.

A evidência microestrutural daquelas reações e a entrada no campo bórico da sillimanita, configuram uma drástica e “instantânea” (sin- S_2) descompressão (perda mínima de cerca de 18 km de carga litostática). Esta descompressão foi facilitada pelo estiramento e pelo transporte em zonas profundas de cisalhamento normal. A rapidez do processo pode não ter permitido a perda total do líquido magmático, gerado na progressão metamórfica, que, residual, teria facilitado as reações de volta e rehidratação. Leucossomas conectados a fraturas de tração indicam a ascensão, a níveis de crosta rasa, sob temperaturas elevadas. Uma trajetória metamórfica de descompressão quase isotérmica pode ser admitida.

As condições máximas do metamorfismo, obtidas pelos cálculos termobarométricos em metapelitos (termômetro Zr em Rutilo e barômetro GASP), indicam condições de fácies eclogito de alta temperatura, a cerca de 850°C - 16Kbar.

A rápida descompressão (exumação) da fácies eclogito (zona de subducção) à fácies granulito no limite cianita-sillimanita, se deu na pilha estirada de *nappes* durante a convergência colisional.

11. Referências Bibliográficas

- BEHRMAM, J.H. & MAINPRICE, D., 1987. Deformation mechanisms in a high temperature quartz-feldspar mylonite: evidence for superplastic flow in the lower continental crust, *Tectonophysics*, 140: 297-305.
- BRITO NEVES, B. B.; CAMPOS NETO, M.C.; FUCK, R. A. 1999. From Rodinia to Western Gondwana: An approach to the Brasiliano – Pan African Cycle and orogenic collage. *Episodes*, v.22, p. 155-166,
- 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*, v. 97, p. 3-26,

- CAMPOS NETO, M.C.; CABY, R. 2000. Terrane accretion and upward extrusion of high – pressure garnulites in the Neoproterozoic nappes of southeast Brazil: Petrologic and structural constraints. *Tectonics*, v. **19**, p. 669-687,
- CAMPOS NETO, M. C. 2000. Orogenic Systems from Southwestern Gondwana, an approach to Brasileiro – Pan African Cycle and orogenic collage in Southeastern Brazil. In: CORDANI, U. G. *et al.* *Tectonic Evolution of South America*. Rio de Janeiro: s.n., 2000. p.335-365.
- CAMPOS NETO, M. C.; BASEI, M. A. S.; VLACH, S. R. F., CABY, R.; SZABÓ, G. A. J.; VASCONCELOS, P. 2004. Migração de Orógenos e Superposição de Orogêneses: Um esboço da Colagem Brasileira no Sul do Cráton do São Francisco. SE – Brasil. 2004. *Geologia USP, Série Científica*, **4** (1) : 13-40.
- CAMPOS NETO, M. C.; BASEI, M. A. S.; JANASI, V. A.; SIGA Jr, O.; CORDANI, U. G. 2005. O Grupo Andrelândia no sistema de *nappes* Andrelândia Oriental. In: Anais do III Simpósio sobre o cráton do São Francisco, Salvador – BA. P. 143 –146.
- CAMPOS NETO, M.C.; JANASI V.A.; BASEI, M.A.S.; & SIGA Jr., O. 2006. O sistema de Nappes Andrelândia, setor oriental: Litoestratigrafia e posição estratigráfica. *Revista Brasileira de Geociências*, no prelo.
- GREEN, D. H & LAMBERT, I. B., 1965. Experimental crystallisation of anhydrous granite at high pressure and temperatures. *Journal of Geophysical Research*, **70**, 5259-5268.
- KRETZ, R. 1983. Symbols for rock-forming minerals. *American mineralogist*. **68**. 277-279.
- LIN, W. & WILLIAMS, P.F., 1992. The Geometrical relationship between the stretching lineation and the movement direction of shear zones, *J. Str.Geol.* **14** (4): 491-497.
- MARANGONI, Y. R. *Modelo crustal para o norte de Goiás a partir de dados gravimétricos*. 1994., 105 f. Tese (Doutorado) – Instituto Astronômico e Geofísico, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- MEIRA, V. T. 2005. *Integração metamórfica e estrutural da serra de Santo Antônio: neoproterozóico da borda sul do cráton do São Francisco*. 47f. Monografia de trabalho de formatura, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- MENGEL, K.; RICHTER, M.; JOHANNES, W. 2001. Leucosome-forming small-scale geochemical processes in the metapelitic migmatites of the Turku area, Finland. *Lithos*, v. **56**, p.47-73.

- NEWTON, R. C.; HASELTON, H. T. 1981. Thermodynamics of the Garnet – Plagioclase – Al_2SiO_5 – Quartz Geobarometer. In: Newton, R. C.; Navrotsky, A.; Wood, B. J. (eds). Thermodynamics of minerals and melts. Springer, Berlin : 129 –145.
- O'BRIEN, P. J.; RÖTZLER, J. 2003. High-pressure granulites: formation, recovery of peak conditions and implications for tectonics. *Journal of Metamorphic Geology*, v. 21, p.3-20.
- PASSCHIER, C.W. & TROUW, R.A.J., 1996. Microtectonics. *Springer*. 289pp.
- PATINO DOUCE, A. E.; HARRIS, N. 1998. Experimental constrains on Himalayan anatexis. *Journal of Petrology*. 39, 689-710.
- PATTISON, D. R. M. 2003. Petrogenetic significance of orthopyroxene-free garnet + clinopyroxene + plagioclase $\pm$ quartz-bearing metabasites with respect to the amphibolite and granulite facies. *Journal of Metamorphic Geology*, v.21, p.21-34.
- POWELL, R.; HOLLAND, T. J. B. 1988. An internally consistent thermodynamic data set with uncertainties and correlations: 3. Application methods, a worked example and computer program. *Journal of metamorphic Geology*, 16. p. 577-588.
- RAMSAY, J.G. & HUBER, M.I., 1983. The techniques of Modern Structural Geology, Volume 1: Strain Analysis. Academic Press: 1-305.
- RAMSAY, J.G. & HUBER, M.I., 1987. The techniques of Modern Structural Geology, Volume 2: Folds and Fractures. Academic Press: 309-700.
- RIBEIRO, A.; TROUW, R. A. J.; ANDREIS, R. R.; PACIULLO, F. V. P.; VALENÇA, J. 1995. Evolução das bacias Proterozóicas e o termo-tectonismo Brasileiro na margem sul do cráton do São Francisco. *Revista Brasileira de Geociências*, v.25, p. 235-248.
- SANTOS, L.P. 2004. *Trajetórias metamórficas de ambientes colisionais: domínios frontais das nappes airuoca-andrelândia e lima duarte, borda sul do cráton do são francisco, minas gerais*. Dissertação de mestrado. Instituto de Geociências – Universidade de São Paulo, São Paulo.
- SANTOS, L. P.; CAMPOS NETO, M. C.; GROHMANN, C. H. 2004. Metamorphic path constrained by metapelitic rocks from the inner Airuoca-Andrelândia nappe, south of the São Francisco craton, SE Brazil.

- SPEAR, F. S. 1993. Metamorphic Phase Equilibria and Pressure-Temperature-Time paths. 798p. Mineralogical Society of America, Washington, D.C.
- SPIESS, R.; BERTOLO, B.; BORGHI, A.; CHINELLATO, M.; TINOR CENTI, M. 2000. Microtextures of opaque inclusions: their use as indicators for hiatuses during garnet porphyroblast growth. *Journal of Metamorphic Geology*, v.18, p.591-603.
- SAWYER, E. W. 2001. Melt segregation in the continental crust: distribution and movement of melt in anatetic rocks. *Journal of Metamorphic Geology*, v.19, p. 291-309.
- TROUW, R. A. J.; RIBEIRO, A.; PACIULLO, F. V. P. 1983. Geologia estrutural dos Grupos São João del Rei, Carrancas e Andrelândia, Sul de Minas Gerais. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v.55, p. 71-85.
- VIELZEUF, D.; HOLLOWAY, J. R. 1988. Experimental determination of the fluid-absent melt relations in the pelitic system. *Contributions to mineralogy and petrology*. 98. 257-276.
- VILELA, L. G. G. 2000. *Petrografia, geotermobarometria e evolução metamórfica de granulitos básicos de alta pressão e rochas transicionais para fácies eclogito na região de Lima Duarte, MG*. 180p. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- WATSON, E. B.; WARK, D. A.; THOMAS, J. B. 2006. Crystallization thermometers for zircon and rutile. *Contributions to mineralogy and petrology*. 151. 413 – 433.
- ZACK, T.; MORAES, R.; KRONZ, A. 2004. Temperature dependence of Zr in rutile: empirical calibration of a rutile thermometer. *Contributions to mineralogy and petrology*. 148. 471-488.
- ZACK, T.; LUVIZOTTO, G. L.; MORAES, R.; MOLLER, A.; KRONZ, A. 2006. Rutile and zircon thermometry of granulites: premetamorphic relicts, prograde growth, disequilibrium and diffusional resetting. In: Brown, M. and Piccoli, M. (eds). *Granulites and granulites 2006, Program and abstracts*. p 98.

ANEXOS

Tabela de análises químicas de granada

Sample	g1	g2	g3	g4	g5	g6	g7	g8	g9	g10	g11	g12	g13	g14	g15	g16	g17	g18	g19	g20	g21	g22	g23	g24	g25	g26	g27	g28	g29	g30	
Min	90-1	90-2	90-3	90-4	90-5	90-6	90-7	90-8	90-9	90-10	90-11	90-12	90-13	90-14	90-15	90-16	90-17	90-18	90-19	90-20	90-21	90-22	90-23	90-24	90-25	90-26	90-27	90-28	90-29	90-30	
SiO2	38.17	38.25	38.12	37.91	37.68	37.55	37.56	37.19	37.71	37.62	37.87	37.73	37.82	37.82	37.4	37.65	37.8	37.69	37.65	37.62	37.59	37.57	37.42	37.64	37.31	37.19	37.92	37.83	37.54	37.73	
TiO2	0.06	0	0.06	0.09	0.03	0.14	0.09	0.01	0	0.06	0.04	0.06	0.05	0.02	0.03	0.01	0	0	0.11	0	0.09	0.07	0	0	0	0	0.01	0.09	0	0.02	0.05
Al2O3	22.16	22.31	22.36	22.23	22.24	22.14	22.13	22.06	22.16	21.82	21.77	21.9	21.84	22.17	22.09	22	22.23	21.89	21.87	21.79	21.86	21.8	22.02	22.11	22.24	21.93	22.21	23.12	21.99	22.27	22.7
Fe2O3	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FeO	29.43	29.72	30.6	31.19	31.82	31.48	32.38	32.1	34.16	32.34	32.34	32.16	32.18	32.08	32.49	33.09	32.91	31.62	31.73	32.19	32.19	32.19	31.77	32.6	31.92	31.43	31.68	31.4	31.28	32.07	32.07
MnO	0.37	0.32	0.41	0.49	0.51	0.6	0.68	0.73	0.86	0.93	0.97	0.99	1.02	1.03	1.08	1.12	1.27	1.23	1.27	1.25	1.27	1.2	1.17	1.24	1.21	1.27	1.21	1.26	1.28	1.31	1.31
MgO	5.7	5.83	5.62	5.29	5.25	5.12	4.72	4.5	4.08	3.87	3.72	3.49	3.44	3.36	3.14	3.3	3.01	3.01	2.91	2.88	2.9	3.14	3.14	3.12	3.21	3.21	3.26	3.14	3.29	3.32	3.32
CaO	2.7	2.75	2.49	2.42	1.89	1.58	1.87	1.99	2.17	2.35	2.49	2.71	2.86	2.73	2.94	2.85	2.75	3.31	3.83	3.96	3.71	3.54	2.96	2.97	3.02	3	3.03	3.36	3.18	2.91	2.91
Na2O	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
K2O	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Totals	98.65	99.22	99.66	99.72	99.44	98.65	99.45	98.58	101.33	98.98	99.12	99.07	99.27	99.29	99.38	99.86	100.09	98.74	99.37	99.51	99.03	99.37	98.58	99.7	98.83	98.05	99.72	100.11	98.57	99.66	99.66
Oxygens	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
Si	3.013	3.005	2.993	2.985	2.982	2.991	2.983	2.981	2.966	3.009	3.024	3.016	3.018	3.013	2.989	3.001	3.002	3.023	3.008	3.007	3.011	3.005	3.008	3	2.994	3.004	3.011	2.984	3.012	3	3
Al	0.003	0	0.003	0.006	0.002	0.008	0.006	0.001	0	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.002	0.001	0	0	0.007	0	0.006	0.004	0	0	0	0	0.001	0.006	0	0.001	0.003
Fe3	2.963	2.966	2.969	2.97	2.975	2.978	2.972	2.985	2.955	2.958	2.958	2.955	2.955	2.955	2.955	2.955	2.955	2.955	2.955	2.955	2.955	2.955	2.955	2.955	2.955	2.955	2.955	2.955	2.955	2.955	2.955
Al2	1.943	1.953	2.009	2.054	2.106	2.097	2.151	2.152	2.248	2.163	2.16	2.149	2.147	2.137	2.172	2.206	2.185	2.121	2.12	2.139	2.118	2.154	2.136	2.173	2.142	2.123	2.123	2.071	2.099	2.133	2.133
Fe2	0.025	0.021	0.027	0.032	0.034	0.04	0.046	0.05	0.057	0.063	0.066	0.067	0.069	0.069	0.073	0.076	0.085	0.083	0.083	0.085	0.086	0.082	0.086	0.084	0.082	0.087	0.082	0.084	0.087	0.089	0.089
Mn	0.67	0.682	0.657	0.62	0.619	0.607	0.559	0.538	0.479	0.462	0.433	0.419	0.416	0.408	0.4	0.373	0.371	0.36	0.346	0.343	0.346	0.358	0.376	0.372	0.373	0.386	0.386	0.369	0.394	0.393	0.393
Mg	0.228	0.232	0.21	0.204	0.161	0.135	0.159	0.171	0.183	0.201	0.213	0.232	0.245	0.233	0.251	0.243	0.234	0.284	0.328	0.339	0.319	0.304	0.255	0.254	0.259	0.26	0.258	0.284	0.273	0.248	0.248
Ca	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Na	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
K	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sum	7.95	7.961	7.969	7.973	7.979	7.96	7.976	7.976	8	7.959	7.949	7.95	7.952	7.945	7.969	7.965	7.968	7.942	7.955	7.966	7.951	7.963	7.948	7.961	7.955	7.951	7.944	7.942	7.946	7.953	7.953
Alm	67.9484	67.62465	69.20427	70.58419	72.12329	72.83779	73.90074	73.92649	75.76677	74.8702	75.20891	74.9564	74.62635	75.06147	75	76.12146	76	74.47331	73.61111	73.60633	73.82363	74.32712	74.86856	75.37288	75	74.33473	74.54354	73.75356	73.5168	74.50227	74.50227
Prp	23.37753	23.61496	22.83176	21.30584	21.16863	21.08371	19.17667	18.48162	16.14425	15.99169	15.0766	14.61458	14.45951	14.33087	13.81215	12.87055	12.90435	12.64035	12.01389	11.80317	12.05995	12.35335	13.17891	12.90323	13.06022	13.51541	13.51826	13.14103	13.81062	13.72686	13.72686
Sps	0.872296	0.727147	0.930072	1.090656	1.164384	1.389371	1.578045	1.717623	1.921132	2.180485	2.29805	2.336938	2.398332	2.423604	2.520718	2.622498	2.956522	2.914326	2.986111	2.924983	2.99756	2.829538	3.014371	2.913632	2.871148	3.046218	2.879213	2.991453	3.049422	3.108627	3.108627
Grs	7.955338	8.033241	7.233896	7.010309	5.513699	4.689128	5.454545	5.87422	6.162041	6.657425	7.416435	8.092082	8.515815	8.184053	8.667127	8.385093	8.13913	9.97191	11.38889	11.66552	11.11886	10.48999	8.93796	8.810267	9.103641	9.059869	10.11396	9.568875	8.682242	8.682242	8.682242
And	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sample	g31	g32	g33	g34	g35	g36	g37	g38	g39	g40	g41	g42	g43	g44	g45	g46	g47	g48	g49	g50	g51	g52	g53	g54	g55	g56	g57	g58	g59	g60	
Min	90-31	90-32	90-33	90-34	90-35	90-36	90-37	90-38	90-39	90-40	90-41	90-42	90-43	90-44	90-45	90-46	90-47	90-48	90-49	90-50	90-51	90-52	90-53	90-54	90-55	90-56	90-57	90-58	90-59	90-60	
SiO2	37.86	37.3	37.6	37.44	37.51	37.5	37.89	37.65	37.42	37.67	37.41	37.72	38.01	37.75	37.55	37.75	38.43	37.95	37.37	37.57	37.62	36.95	36.73	37.16	37.45	37.99	37.9	38.16	38.05	38.16	
TiO2	0.04	0	0	0	0	0.08	0.05	0	0.03	0.03	0.03	0.05	0	0.08	0	0	0.04	0.05	0.07	0.03	0.04	0.07	0.08	0.06	0	0.06	0.03	0.02	0.07	0.06	0.06
Al2O3	22.33	22.18	21.98	21.99	21.83	22.04	21.9	21.9	21.87	22.11	23.67	22.15	22.35	22.39	22.1	22.31	22.17	22.13	22.05	22.02	22.04	21.68	21.91	22.1	22.28	22.58	22.82	22.91	22.76	22.89	22.89
Fe2O3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.51	0.14	0	0	0	0	0	0	1	1.62	1.6	1.56	1.26	1.14	0.55	0.35
FeO	32.38	32.5	32.7	32.48	32.49	32.81	32.96	33.29	33.52	33.45	33.62	33.19	33.23	32.92	32.9	32.92	29	26.48	27.17	28.09	27.79	29.49	30.74	30.79	28.4	27.72	27.88	29.37	28.49	28.52	28.49
MnO	1.17	1.15	1.18	1.12	1.15	1.07	0.93	0.78	0.65	0.67	0.58	0.5	0.47	0.41	0.47	0.41	0.39	0.43	0.54	0.53	0.56	0.62	0.61	0.68	0.96	0.66	0.52	0.44	0.5	0.46	0.46
MgO	3.29	3.08	2.9	2.88	3.04	3	3.19	3.57	3.78	4.13	4.22	4.5	4.63	4.17	6.77	6.89	6.77	5.07	6.83	3.79	3.65	3.06	2.77	2.91	4.43	5.9	7	7.01	7.24	7.24	7.24
CaO	2.86	2.61	2.92	3.34	2.87	2.99	2.79	2.07	1.67	1.5	1.01	1.01	1.1	2.3	2.44	2.68	4.79	6.26	6.73	6.49	6.35	6.06	5.65	5.94	5.85	5.12	3.48	2.8	2.65	2.81	2.81
Na2O	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
K2O	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Totals	99.9	99.05	99.28	99.25	98.89	99.51	99.71	99.26	98.94	99.66	100.44	99.55	99.74	99.38	99.02	99.18	99.08	99.07	98.84	98.22	100.03	97.93	99.78	101.3	100.82	101.43	100.77	101.53	100.45	100.46	100.46
Oxygens	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	1									

Sample

Min

90-31

90-32

90-33

90-34

90-35

90-36

90-37

90-38

90-39

90-40

90-41

90-42

90-43

90-44

90-45

90-46

90-47

90-48

90-49

90-50

90-51

90-52

90-53

90-54

90-55

90-56

90-57

90-58

90-59

90-60

90-61

90-62

90-63

90-64

90-65

90-66

90-67

90-68

Sample

Min

90-31

90-32

90-33

90-34

90-35

90-36

90-37

90-38

90-39

90-40

90-41

90-42

90-43

90-44

90-45

90-46

90-47

90-48

90-49

90-50

90-51

90-52

90-53

90-54

90-55

90-56

90-57

90-58

90-59

90-60

90-61

90-62

90-63

90-64

90-65

90-66

90-67

90-68

Tabela de análises químicas de granada

Sample	917	918	919	920	921	922	923	924	925	926	927	928	929	930	931	932	933	934	935	936	937	938	939	940	941	942	943	944	945	946	947
Min	33H-17	33H-18	33H-19	33H-20	33H-21	33H-22	33H-23	33H-24	33H-25	33H-26	33H-27	33H-28	33H-29	33H-30	33H-31	33H-32	33H-33	33H-34	33H-35	33H-36	33H-37	33H-38	33H-39	120A-1	120A-2	120A-3	120A-4	120A-5	120A-6	120A-7	
SiO2	38	37.36	37.91	37.82	38.32	38.69	38.21	38.49	38.11	38.09	38.28	38.1	37.78	37.58	37.89	38.29	38.63	38.52	38.73	38.75	38.53	38.73	38.24	38.89	39.05	38.89	39.14	39	39.15	38.78	
TiO2	0.02	0.01	0.09	0.86	0.07	0	0	0.07	0.07	0	0	0	0.07	0.16	0	0.19	0.03	0.01	0.01	0.09	0	0.04	0	0.03	0	0.08	0.07	0.01	0	0	
Al2O3	22.72	22.76	22.74	22.59	22.79	22.59	22.69	22.7	22.75	22.35	22.63	22.53	22.45	22.33	22.31	22.65	22.64	22.52	22.56	22.44	22.7	22.44	22.25	22.81	22.96	22.75	22.68	22.65	22.74	22.7	
Fe2O3	1.79	2.02	1.31	0	1.24	0.94	1.04	0.38	0.39	0.86	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
FeO	27.78	27.78	27.95	27.99	28.49	28.46	27.56	27.74	27.32	28.15	28.26	28.04	27.88	27.17	26.97	26.73	27.29	26.54	27.59	26.72	28.15	28.52	30.3	27.81	27.24	27.04	27.07	26.43	26.68	26.75	
MnO	0.41	0.47	0.49	0.47	0.48	0.46	0.57	0.59	0.61	0.57	0.46	0.52	0.59	0.55	0.45	0.48	0.39	0.39	0.38	0.41	0.4	0.43	0.57	0.48	0.46	0.47	0.45	0.48	0.53	0.54	
MgO	7.39	7.21	7.33	7.1	6.93	6.63	6.37	6.43	6.27	6.71	6.87	6.59	4.89	5.47	7.12	6.5	7.58	7.59	7.83	7.73	6.71	6.53	7.72	7.88	7.72	7.88	8.1	8.08	8	8.02	
CaO	3.18	2.79	3.05	3.31	3.35	3.88	4.48	4.99	4.86	4.4	3.96	3.69	4.98	6.5	5.99	3.45	4.22	2.85	2.7	2.22	2.47	2.69	2.4	2.26	2.27	2.35	2.39	2.47	2.6	2.81	
Na2O	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
K2O	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Totals	101.11	100.2	100.73	100.16	100.5	101.16	101.24	101.8	101.09	100.18	100.66	100.53	99.32	99.19	99.08	98.91	99.71	98.41	99.57	98.48	98.98	99.57	99.39	100.01	99.86	99.68	99.88	99.32	99.72	99.8	
Oxygens	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	
Si	2.919	2.899	2.923	2.931	2.961	2.973	2.937	2.946	2.934	2.964	2.958	2.948	2.967	2.961	2.977	2.984	2.996	3.006	2.999	3.018	2.978	3.012	3.007	2.996	3.003	2.997	3.009	3.007	3.011	2.993	
Ti	0.001	0.001	0.005	0.05	0.004	0	0	0.004	0.004	0	0	0	0.004	0.009	0	0.011	0.002	0.001	0.001	0.006	0	0.002	0	0.002	0	0.004	0.004	0.001	0	0	
Al	2.057	2.082	2.087	2.064	2.076	2.048	2.056	2.047	2.065	2.05	2.062	2.055	2.078	2.073	2.067	2.081	2.02	2.072	2.06	2.068	2.057	2.062	2.062	2.081	2.067	2.055	2.078	2.063	2.066	0	
Fe3	0.103	0.116	0.076	0	0	0.008	0.071	0.054	0.076	0.022	0.022	0.05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Fe2	1.785	1.604	1.803	1.814	1.841	1.829	1.772	1.776	1.759	1.833	1.827	1.815	1.831	1.79	1.772	1.742	1.77	1.732	1.787	1.74	1.82	1.855	1.993	1.792	1.752	1.742	1.74	1.704	1.717	1.720	
Mn	0.026	0.031	0.032	0.031	0.031	0.03	0.037	0.038	0.04	0.038	0.03	0.034	0.039	0.037	0.032	0.032	0.026	0.025	0.027	0.028	0.03	0.031	0.03	0.031	0.03	0.029	0.031	0.035	0.035	0	
Mg	0.647	0.634	0.642	0.642	0.652	0.806	0.793	0.759	0.726	0.738	0.727	0.773	0.793	0.654	0.574	0.64	0.826	0.881	0.876	0.909	0.89	0.778	0.659	0.837	0.904	0.917	0.922	0.928	0.917	0.922	
Ca	0.262	0.232	0.252	0.275	0.278	0.32	0.369	0.409	0.401	0.367	0.328	0.306	0.417	0.549	0.504	0.288	0.351	0.238	0.224	0.186	0.205	0.224	0.202	0.187	0.187	0.194	0.197	0.204	0.215	0.232	
Na	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
K	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Sum	61.13014	62.18545	61.55685	61.70068	62.28011	61.54105	60.33387	60.2238	59.87066	61.82125	61.76471	61.58716	62.25773	60.77767	60.14936	60.31856	61.05554	60.2016	61.36076	60.79665	61.88371	64.29809	68.91425	61.85709	60.98155	60.13117	60.16598	59.43495	59.53537	59.21098	
Alm	29.00685	28.74871	28.74701	27.26058	26.68237	25.8427	25.8427	24.61851	25.11913	24.51939	26.13252	26.89959	27.23734	19.45763	21.72437	28.60111	25.39988	30.62218	30.08242	31.76101	30.26182	26.96707	32.10217	32.01767	31.46738	31.96537	32.10217	32.01767	32.36833	31.62595	
Grp	8.900411	1.065897	1.092523	1.054422	1.048714	1.009421	1.253789	1.288572	1.268572	1.36147	1.281619	1.014919	1.153324	1.32608	1.01833	1.108033	0.986661	0.903719	0.858516	0.943396	0.884053	0.970537	1.31397	1.070072	1.044205	1.070072	1.002766	1.08127	1.002766	1.200686	
Sps	4.204084	2.630060	5.057189	9.353741	9.404601	10.37768	9.225806	11.2989	10.8251	11.31596	10.03291	8.004622	14.17885	18.61017	17.10794	9.972299	12.10762	8.272506	7.692308	6.498952	6.970418	7.764298	6.984766	6.454953	6.508876	6.696583	6.811895	7.115452	7.454924	7.958534	
And	4.766519	5.363636	3.54643	0	0	0.389484	3.338035	2.570205	2.823529	1.061778	1.055662	2.375297	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

[illegible]

Tabela de análises químicas de Biotita

Sample	bi 1	bi 2	bi 3	bi 4	bi 5	bi 6	bi 7	bi 8	bi 9	bi 1	bi 2	bi 3	bi 4	bi 5	bi 6	bi 7	bi 8	bi 9	bi 10	bi 11	bi 12	bi 13	bi 14	bi 15	bi 16
AL3-90-4	90-1	90-2	90-3	90-4	90-5	90-6	90-7	90-8	90-9	120A-1	120A-2	120A-3	120A-4	120A-5	120A-6	120A-7	120A-8	120A-9	120A-10	120A-11	120A-12	120A-13	120A-14	120A-15	120A-16
SiO2	35.78	35.07	35.4	35.28	35.63	35.77	35.5	31.68	34.38	36.53	36.73	36.1	36.59	36.74	36.96	36.72	37.22	37.31	36.74	36.89	36.8	37.94	38.51	37.45	38.01
TiO2	3.32	3.46	3.8	3.71	3.22	3.56	2.43	1.69	1.97	3.98	4.58	4.16	4.01	4.32	3.72	4.21	3.9	3.43	3.57	4.18	3.92	3.98	4	3.52	3.1
Al2O3	19.47	18.46	18.78	18.5	19.11	19	17.76	19.6	18.95	16.24	16.5	16.4	16.24	16.47	17.8	16.72	16.85	16.73	16.42	17.09	17.2	17.32	17.37	17.19	17.05
Fe2O3	0	0	0	0	0	0	0	3.87	3.36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FeO	17.98	19.31	18.16	18.62	17.92	17.49	17.05	19.76	17.12	13.18	12.94	13.16	13.54	13.29	12.75	12.82	12.61	13.2	13.23	12.55	12.46	8.19	8.61	8.2	7.5
MnO	0.04	0.01	0.01	0.03	0.03	0.03	0.03	0	0.01	0	0.03	0.03	0.04	0.03	0.01	0.01	0.03	0	0	0	0	0.03	0.01	0	0
MgO	8.65	8.83	8.95	8.93	9.1	9.38	12.04	9.81	10.35	13.73	13.66	13.56	13.62	13.7	12.82	13.69	13.52	14.27	14.36	14.16	14.51	17.07	16.93	17.49	18.43
CaO	0	0	0.01	0	0.03	0	0.02	0.03	0.03	0.02	0.02	0.01	0.04	0	0.03	0.01	0.08	0.03	0	0	0.03	0	0.04	0.11	0.06
Na2O	0.09	0.12	0.11	0.08	0.1	0.11	0.19	0.09	0.18	0.08	0.13	0.1	0.11	0.09	0.08	0.09	0.1	0.11	0.08	0.12	0.12	0.11	0.11	0.11	0.37
K2O	9.48	9.53	9.6	9.74	9.93	9.78	9.27	4.03	6.89	10	9.85	9.75	9.83	9.14	9.66	9.66	8.86	9.59	9.77	9.76	9.84	9.8	9.76	9.51	8.91
Totals	94.83	94.8	94.83	94.89	95.08	95.14	94.3	90.56	93.24	93.76	94.45	93.3	94.17	94.49	93.32	93.93	93.17	94.67	94.17	94.77	94.9	94.45	95.34	93.59	93.44
Oxygens	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
Si	2.713	2.688	2.695	2.694	2.705	2.705	2.704	2.511	2.638	2.757	2.746	2.738	2.755	2.749	2.771	2.753	2.792	2.774	2.756	2.737	2.728	2.761	2.777	2.75	2.775
Ti	0.189	0.2	0.217	0.213	0.184	0.203	0.139	0.101	0.113	0.226	0.258	0.237	0.227	0.243	0.21	0.237	0.22	0.201	0.233	0.233	0.219	0.218	0.217	0.194	0.17
Al	1.74	1.668	1.685	1.666	1.71	1.694	1.595	1.832	1.714	1.445	1.454	1.466	1.442	1.453	1.574	1.478	1.49	1.467	1.452	1.495	1.503	1.486	1.476	1.488	1.467
Fe3	0	0	0	0	0	0	0	0.231	0.194	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fe2	1.14	1.238	1.156	1.189	1.138	1.106	1.087	1.31	1.099	0.832	0.809	0.835	0.853	0.831	0.799	0.804	0.791	0.821	0.83	0.779	0.772	0.499	0.519	0.504	0.458
Mn	0.003	0.001	0.001	0.002	0.002	0.002	0.002	0	0	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0	0	0.002	0	0	0	0	0.002	0	0	0
Mg	0.978	1.009	1.015	1.016	1.029	1.057	1.366	1.159	1.184	1.545	1.521	1.533	1.528	1.528	1.433	1.53	1.511	1.582	1.606	1.566	1.603	1.851	1.819	1.914	2.005
Ca	0	0	0.001	0	0.002	0	0.002	0.003	0.002	0.001	0.001	0.001	0.004	0	0.002	0.001	0.007	0.002	0	0.002	0	0.003	0.003	0.008	0.005
Na	0.013	0.017	0.016	0.012	0.015	0.016	0.028	0.013	0.026	0.011	0.019	0.015	0.016	0.014	0.014	0.013	0.014	0.015	0.012	0.017	0.018	0.016	0.015	0.016	0.053
K	0.917	0.932	0.932	0.949	0.962	0.943	0.901	0.408	0.675	0.963	0.939	0.944	0.956	0.938	0.874	0.924	0.848	0.91	0.934	0.924	0.931	0.91	0.898	0.891	0.83
Sum	7.693	7.753	7.772	7.741	7.746	7.726	7.824	7.568	7.646	7.782	7.75	7.772	7.783	7.758	7.676	7.74	7.675	7.763	7.791	7.753	7.776	7.742	7.725	7.766	7.763
XMg	0.461756	0.449043	0.467526	0.460771	0.47485	0.488673	0.556869	0.469421	0.518616	0.499979	0.65279	0.647382	0.641747	0.647732	0.642025	0.655527	0.656386	0.658344	0.659278	0.667804	0.674947	0.78766	0.778015	0.791563	0.814048

DOAÇÃO
<u>IGC-USP</u>
Data: 02/05/08

Tabela de análises químicas de rutilo

Amostra	AL3-33H		AL3-33H		AL3-33H		AL3-33H		AL3-33H		AL3-33H		AL3-33H		AL3-33H		AL3-33H		AL3-33H		AL3-90-4		AL3-90-4	
	R11-1	R11-2	R11-3	R11-4	R11-5	R11-6	R11-7	R11-8	R11-9	R11-10	R11-11	R11-12	R11-13	R11-14	R11-15	R11-16	R11-17	R11-18	R11-19	R11-20	R11-21	R11-22		
Análise Mineral	Rutilo	Rutilo	Rutilo	Rutilo	Rutilo	Rutilo	Rutilo	Rutilo	Rutilo	Rutilo	Rutilo	Rutilo	Rutilo	Rutilo	Rutilo	Rutilo	Rutilo	Rutilo	Rutilo	Rutilo	Rutilo	Rutilo		
Local	incl. Grt	incl. Grt	incl. Grt	incl. Grt	matriz	matriz	matriz	Bd Grt			incl. Grt	incl. Grt	incl. Grt	incl. Grt	incl. Grt	incl. Grt	incl. Grt	incl. Grt	incl. Grt	incl. Ky	incl. Ky	incl. Ky		
TiO2	98.642	97.668	97.584	96.977	97.191	97.893	96.799	96.448	96.304	96.402	94.835	96.608	94.679	96.081	95.919	97.09	96.82	95.598	98.942	93.783	96.721			
SiO2	0.008	0.005	0.01	0.011	0.002	0.006	0.005	0.01	0.008	0.007	0.007	0.004	0.004	0.029	0.004	0.013	0.005	0.269	0.109	0.017	0.015			
V2O5	0.856	0.857	0.887	0.838	0.622	0.611	0.602	0.615	0.616	0.641	0.863	0.884	0.848	0.8	0.79	0.752	0.76	0.748	0.397	0.847	0.972			
Cr2O3	0.143	0.135	0.145	0.137	0.088	0.088	0.085	0.08	0.079	0.083	0.145	0.147	0.142	0.113	0.118	0.12	0.118	0.109	0.071	0.11	0.138			
Al2O3	0.033	0.037	0.048	0.053	0.041	0.039	0.041	0.043	0.041	0.043	0.039	0.051	0.034	0.191	0.066	0.147	0.058	5.666	0.731	0.082	0.052			
Nb2O5	0.422	0.408	0.401	0.415	0.267	0.243	0.262	0.338	0.327	0.351	0.422	0.414	0.414	0.349	0.347	0.424	0.429	4.08	0.334	0.311	0.358			
ZrO2	0.222	0.225	0.225	0.177	0.157	0.151	0.126	0.201	0.221	0.193	0.217	0.224	0.24	0.308	0.329	0.229	0.243	0.303	0.284	0.274	0.174			
FeO	0.165	0.185	0.175	0.362	0.139	0.127	0.122	0.179	0.171	0.18	0.312	0.24	1.951	0.308	0.329	0.229	0.243	0.303	0.284	0.274	0.174			
Total	100.491	99.522	99.474	98.969	98.507	99.157	98.041	97.914	97.767	97.9	96.839	98.573	98.293	98.072	97.77	98.976	98.649	103.3	100.925	95.566	98.517			
Ti	0.9835	0.9833	0.9829	0.9824	0.988	0.9884	0.9885	0.9868	0.9869	0.9865	0.9819	0.9823	0.973	0.9817	0.9834	0.9829	0.9837	0.9181	0.9807	0.9831	0.9829			
Si	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0004	0	0.0002	0.0001	0.0034	0.0014	0.0002	0.0002			
V	0.0075	0.0076	0.0078	0.0075	0.0056	0.0054	0.0054	0.0055	0.0055	0.0058	0.0079	0.0079	0.0077	0.0072	0.0071	0.0067	0.0068	0.0063	0.0035	0.0078	0.0087			
Cr	0.0015	0.0014	0.0015	0.0015	0.0009	0.0009	0.0009	0.0009	0.0008	0.0008	0.0016	0.0016	0.0015	0.0012	0.0013	0.0013	0.0013	0.0011	0.0007	0.0012	0.0015			
Al	0.0005	0.0006	0.0008	0.0008	0.0007	0.0006	0.0007	0.0007	0.0007	0.0007	0.0006	0.0008	0.0005	0.0031	0.0011	0.0023	0.0009	0.0853	0.0114	0.0013	0.0008			
Nb	0.0025	0.0025	0.0024	0.0025	0.0016	0.0015	0.0016	0.0021	0.002	0.0022	0.0026	0.0025	0.0026	0.0021	0.0021	0.0026	0.0026	0.0024	0.002	0.002	0.0022			
Zr	0.0014	0.0015	0.0015	0.0012	0.001	0.001	0.0008	0.0013	0.0015	0.0013	0.0015	0.0015	0.0015	0.0013	0.0013	0.0013	0.0014	0.0012	0.0004	0.001	0.0006			
Fe	0.0018	0.0021	0.002	0.0041	0.0016	0.0014	0.0014	0.002	0.0019	0.002	0.0036	0.0027	0.0023	0.0035	0.0038	0.0026	0.0027	0.0032	0.0031	0.0032	0.002			
Total	0.9989	0.999	0.999	1.0001	0.9994	0.9994	0.9993	0.9995	0.9995	0.9994	0.9997	0.9993	1.0091	1.0005	1.0001	0.9999	0.9996	1.021	1.0032	0.9998	0.9988			

SEÇÕES GEOLÓGICAS NA KLIPPE CARVALHOS

Legenda

leucogranito

Nappe Andrelândia

cianita-granada-muscovita-biotita-quartzo xisto porfiroblástico e lentes métricas a decimétricas de muscovita quartzito médio-grosso.

Nappe Liberdade

Migmatitos Alagoa: gnaisses diatexiticos a muscovita e biotita.

cianita/silimanita-granada-muscovita-biotita xisto porfiroblástico.

biotita gnaisse.

Klippe Carvalhos

cianita-granada-biotita gnaisse metatexitico.

granada-plagioclásio-biotita gnaisse homogêneo metatexitico.

anfibolitos e gnaisses calciossilicáticos

granada gnaisse metatexitico com biotita e cianita (granada granulito)

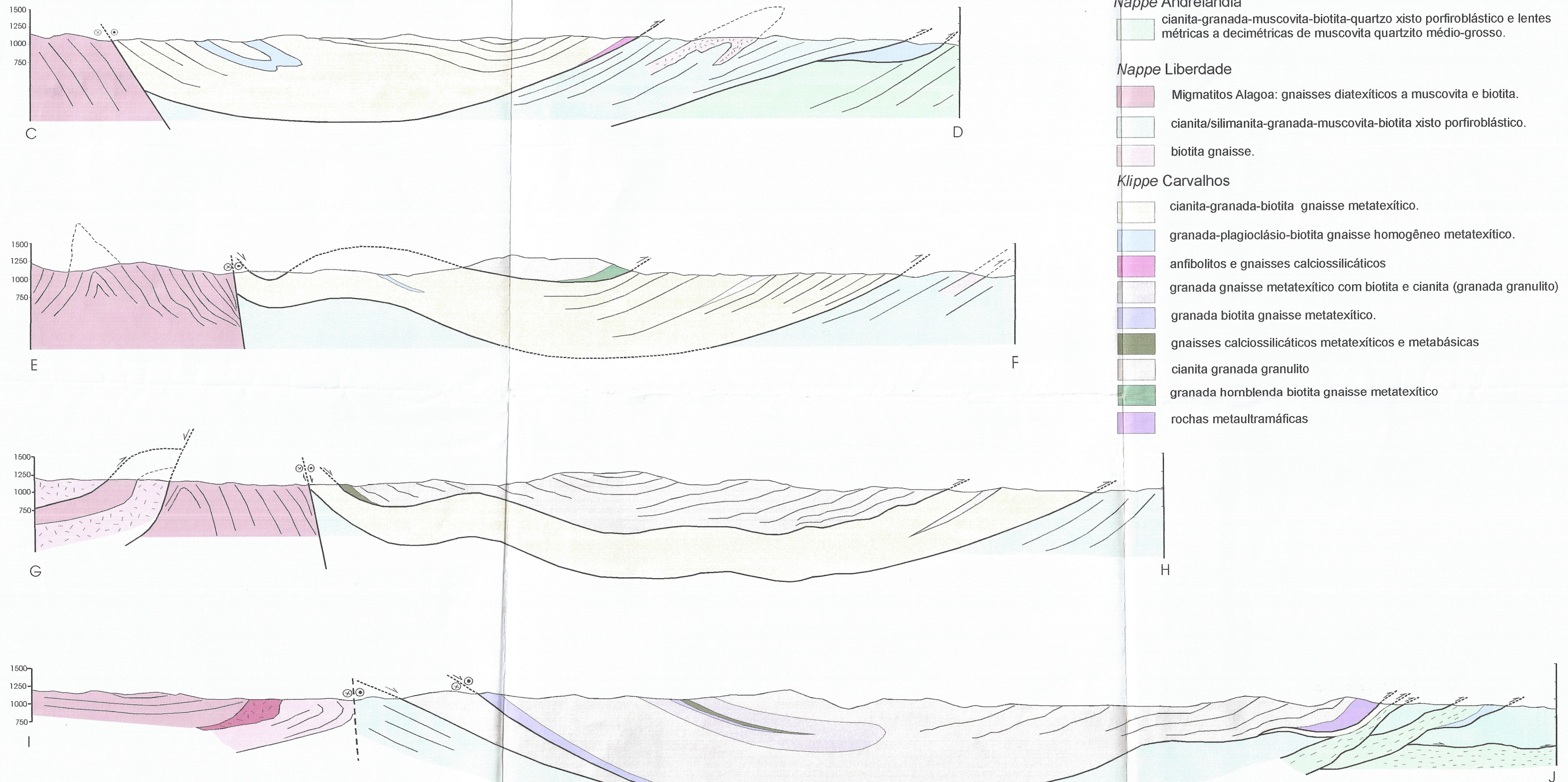
granada biotita gnaisse metatexitico.

gnaisse calciossilicáticos metatexiticos e metabásicas

cianita granada granulito

granada hornblenda biotita gnaisse metatexitico

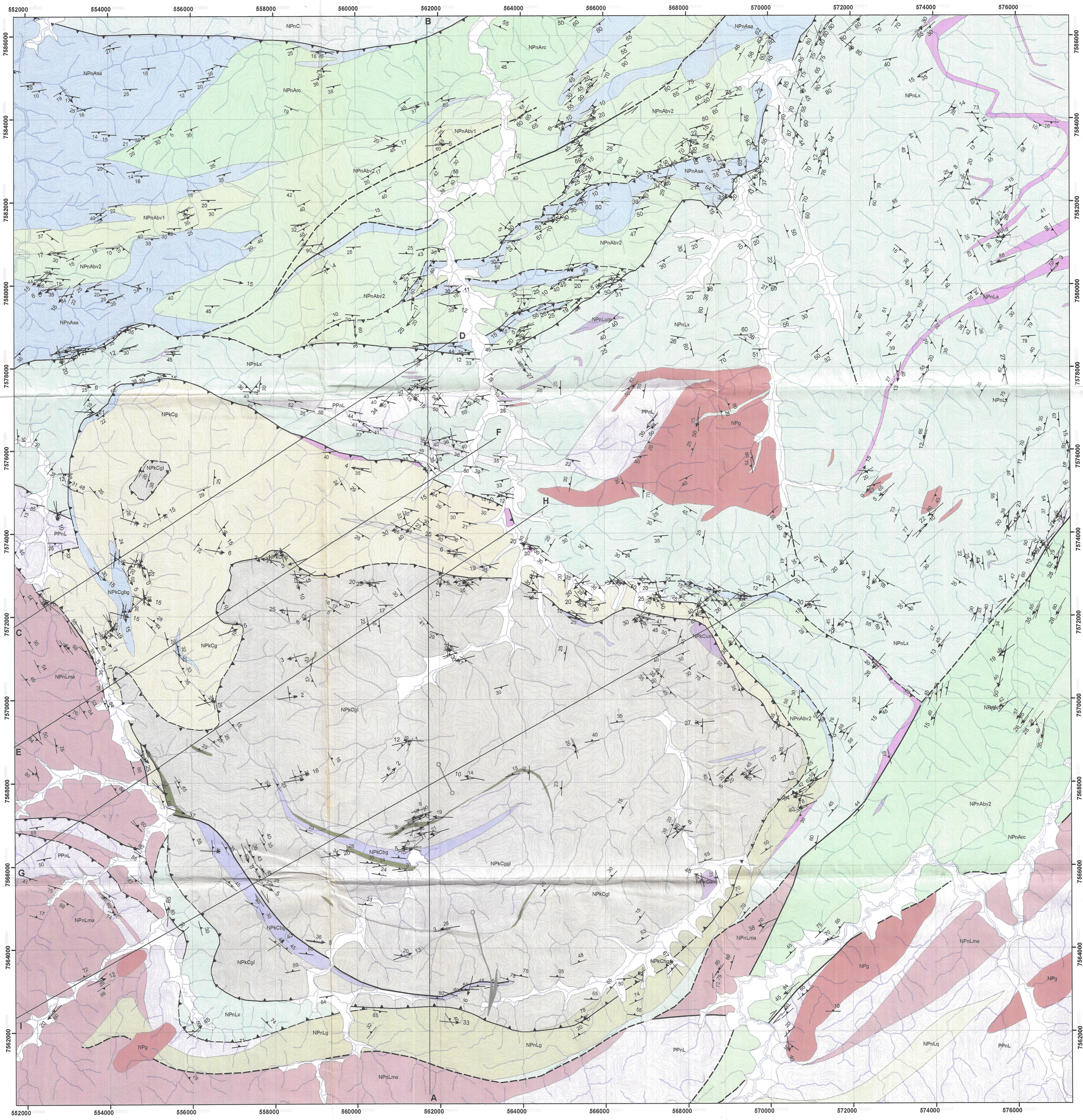
rochas metaultramáficas



0 1 2 3 4 km

Folhas IBGE 1:50000
Araçatuba e Liberdade - MG
(parciais)

MAPA GEOLÓGICO DA KLIPPE CARVALHOS



Legenda

Organização Tectono-Litoestratigráfica

Neógeno

Aluvião

Cretáceo

Diques de diabásio

Neoproterozóico

NPg

Nappe Carrancas

NPrC

Nappe Andreilândia

Xisto Serra da Boa Vista

NPrAbv2

NPrAbv1

Xisto Santo Antônio

NPrAsa

Xisto Rio Capivari

NPrArc

Nappe Liberdade

Migmatitos Alagoa

NPrLma

Metapelitos

NPrLg

NPrLx

NPrLq

Klippe Carvalhos

NPKCg

NPKCa

NPKCbg

NPKCgl

NPKCm

NPKChg

NPKCum

Paleoproterozóico

PPnL

NPg - leucogranito

Nappe Carrancas

NPrC - muscovita-quartzito xisto e intercalações de muscovita quartzitos e quartzitos puros.

Nappe Andreilândia

NPrAbv2 - cianita-granada-muscovita-biotita-quartzito xisto lepidoblástico com porfiroblastos de cianita e granada e lentes métricas a decimétricas de muscovita quartzito granoblástico médio-grosso.

NPrAbv1 - muscovita quartzito médio-grosso granoblástico.

NPrAsa - granada-plagioclásio-biotita-quartzito xisto cinza homogêneo com lentes quartzito feldspáticas localmente porfiroblásticas.

NPrArc - cianita-granada-muscovita-biotita xisto porfiroblástico

Nappe Liberdade

NPrLma - diatexitos gnaissicos a muscovita e biotita.

NPrLg - sillimanita-muscovita-granada-biotita gnaisses metatexiticos.

NPrLx - cianita/sillimanita-granada-muscovita-biotita xisto porfiroblástico.

NPrLq - rochas metatramáficas.

NPrL - anfibolitos e gnaisses calciossilicáticos.

NPrLq - quartzito.

PPnL - biotita gnaisses.

Klippe Carvalhos

NPKCg - cianita granada biotita gnaisses metatexiticos.

NPKCbg - granada-plagioclásio-biotita gnaisses homogêneo metatexitico.

NPKCa - anfibolitos e gnaisses calciossilicáticos.

NPKCgl - granada gnaisses metatexiticos com biotita e cianita (granada granulito).

NPKCm - gnaisses calciossilicáticos metatexiticos e metabásicas.

NPKChg - cianita granada granulito.

NPKCum - granada homblenda biotita gnaisses metatexiticos.

NPKCum - rochas metatramáficas.

Convenções Geológicas

10

Foliação S2

10

Foliação S3

5

Linhas mineral e/ou estriamento

Contato normal

Zona de cavalgamento observada

Zona de cavalgamento inferida

Zona de cisalhamento transcorrente observada

Zona de cisalhamento transcorrente inferida

Falha normal

NM

NG

20°29'

A declinação magnética cresce 8' anualmente

2006

48°

42°

16°

20°

MG

SITUAÇÃO DA ÁREA NO ESTADO

0 0.5 1 2 3 4 Quilômetros

1:50000

IGC-USP 2006

Geologia por Mario da Costa Campos Neto, Oswaldo Siga Junior, Renato de Moraes e alunos do Mapeamento Geológico (IGC-USP) de 2004 e 2005.
Integração Geológica por Mario da Costa Campos Neto, Cauê Rodrigues Cliffo e Vinícius Tieppo Meira.

