

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

NAPPE ANDRELÂNDIA NO ALTO RIO INGAÍ-MG:
PADRÃO METAMÓRFICO INVERTIDO?

Cínthia Midori Sales Nakamura

Orientador: Prof. Dr. Mário da Costa Campos Neto

MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA
(TF-2010/10)

SÃO PAULO
2010

TF
N163
CMS.n

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

NAPPE ANDRELÂNDIA NO ALTO RIO INGAÍ-MG: PADRÃO METAMÓRFICO
INVERTIDO?

Cínthia Midori Sales Nakamura

Cínthia Midori S. Nakamura



Orientador: Prof. Dr. Mário da Costa Campos Neto

Mário da Costa Campos Neto

MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA
(TF-2010/10)

DEDALUS - Acervo - IGC



30900028416

SÃO PAULO
2010

Agradacimentos

A parte mais difícil de escrever deste trabalho, mas a mais importante... Mais difícil porque não consigo escrever neste papel o imenso sentimento de gratidão que sinto por todas as pessoas que fizeram parte de minha vida. E mais importante porque é neste capítulo que consigo refletir como eu sou abençoada por tido tantas pessoas especiais ao meu redor sempre.

Mãe, apesar de todas as diferenças é a maior responsável pelo meu amadurecimento em todos os sentidos.

Pai, você é o melhor!!!! O melhor pai do mundo. Te agradeço muito por ter apostado na educação de todos os seus filhos e por sempre ter acreditado em mim. Pai você sempre me falou "Gambatê" e é isso que venho tentando fazer! Muito obrigada.

Karoline e Tadashi, meus irmão que podem "mergulhar no meu coração" sempre. São duas pessoas de sexos opostos, mas muito parecidos, mesmo gênio ruim e mesmo coração de manteiga!!!! Agradeço vocês pelas brigas e muitas risadas. E não esqueçam que depois da entrega deste trabalho "segura o quitute" que eu vou dar um pau no tênis de mesa e sinuca em vocês.

A Midian, ao Bastião, a Larissa, ao Alexandre e a Sarah que são a minha segunda família querida, e que os levo como um grande exemplo.

Ao meu "munino", meu "mor", ao Thiago, a minha eterna admiração e gratidão. Você não é apenas meu namorado, marido ou namorado, você é meu grande companheiro e amigo que me stressa, alegra, mas o mais importante: me ensina a tentar ser um pouco melhor todo dia (mor, não sei se consigo, mas juro que tento)!!!. E nunca esqueça mor, te amo muito!!!

A todos os meus amigos, de Maria da Fé, Campinas e da faculdade, não da para citar todos vocês, mas sintam-se todos abraçados como meu "muito obrigada".

A Sertão e a De, minhas fumantes passivas preferidas. Vocês foram minhas grandes companheiras nestes últimos anos de faculdade, não só pelas discussões e ajudas geológicas, mas principalmente pelos conselhos, conversas, "bafões", pelos dias divertidos nos bares da vida, ah, pelas briguinhas também.

A Fabi, a pessoa admirável, a personalidade única e a companhia em vários trabalhos da graduação.

A Pinhão, a pessoa mais doce e de maior coração que já conheci neste mundo.

A Mixe, que conheci melhor neste último ano, mas que me proporcionou dias de muitas risadas.

Ao super sincero Gargalo, que é a pessoa mais chata, mas que não consigo não gostar dele.

Ao Caramello (palamelo) e a Sem Sal (Demônio) pela companhia nos churrascos em casa, pelas piadas e muitas ajudas.

Ao Indi, Xaxa e Broxa que foram os meus maiores companheiros nos primeiros anos de faculdade.

Ao meu orientador Prof. Dr. Mário da Costa Campos Neto pela paciência e pela ajuda na elaboração deste trabalho.

A Prof. Dra Lucelene Martins pelo grande esclarecimento nas lâminas petrográficas, ao Prof. Dr. Renato de Moraes pelas várias “ajudinhas” em vários assuntos desta monografia, ao Prof. Dr. Gergely Andres Julio Szabó pela montagem e desmontagem da câmera fotográfica usada para tirar fomicografias das minhas lâminas delgadas, ao Prof. Dr. Marcos Egydio da Silva pela grande ajuda em outras disciplinas e a todos os professores que me deram aula, pois todos eles têm uma grande parcela na minha formação acadêmica.

Ao Vivi (Rafael Gonçalves da Motta), um Mestre que revisou meu trabalho como um grande professor.

Ao Cérebro (Fares) e ao Flaminga (Luis Felipe) pelo auxílio na petrografia.

Ao Pink e a Regis pela grande ajuda no ArcGIS.

Ao pentelho pela grande ajuda no perfil.

A todos os funcionários da Geo.

E por fim àquele Ser Superior que chamam de Deus.

A todos vocês minhas reverências e meu MUITO OBRIGADA!!!

Sumário

1. Resumo	3
2. Abstract	4
3. Introdução	5
4. Objetivos.....	6
5. Localização da Área.....	6
6. Materiais e Métodos.....	7
7. Revisão Bibliográfica.....	8
8. Resultados Obtidos.....	10
8.1 Descrição das Unidades.....	10
8.1.1 Sequência Carrancas.....	10
8.1.2 Nappe Andrelândia	11
8.1.2.1 Sequência xisto-quartzítica (Xisto Serra da Boa Vista)	11
8.1.2.2 Granada-plagioclásio-biotita-quartzo xisto (Xisto Santo Antônio).....	11
8.1.2.3 Cianita-granada-muscovita-biotita xisto (Xisto Rio Capivari)	11
8.1.3 Nappe Liberdade	12
8.1.4 Klippe Aiuruoca	12
8.2 Descrições Microscópicas.....	12
8.2.1 Anfíbolitos intercalados ao embasamento.....	12
8.2.2 Sequência Carrancas.....	14
8.2.2.1 Quartzo-sericita xisto.....	14
8.2.3 Nappe Andrelândia	15
8.2.3.1 Cianita-granada-muscovita-biotita-plagioclásio-quartzo xisto (Xisto Rio Capivari)....	15
8.2.3.2 Granada-plagioclásio-biotita-quartzo xisto (Xisto Santo Antônio).....	17
8.2.4 Klippe Aiuruoca	24
8.2.4.1 Biotita-cianita-granada Granulito	24
8.2.4.2 Sillimanita Quartzito	26
9. Interpretação e Discussão dos Resultados	29

9.1	Metamorfismo.....	29
9.1.1	<i>Sequência Carrancas</i>	29
9.1.2	<i>Nappe Andrelândia</i>	29
9.1.3	<i>Klippe Aiuruoca</i>	36
10.	Conclusões.....	38
11.	Referências Bibliográficas	41
ANEXO I: Mapa de pontos		
ANEXO II: Seção Geológica		
ANEXO III: Tabela de Pontos		

1. Resumo

O objetivo deste trabalho é verificar as características do metamorfismo invertido da *Nappe* Andrelândia na região do alto Rio Ingaí - MG.

Foi descrito, na região, uma pilha invertida de *Nappes*, onde o alóctone superior corresponde aos cianita-granada-K feldspato granulito (*Klippe* Aiuruoca), em estrutura sinformal, sobre gnaisses metatexíticos a leucossoma estromático, que ocorrem em afloramentos alterados e provavelmente relacionados à *Nappe* Liberdade. A *Nappe* Andrelândia encontra-se em uma sinforma inclinada e rompida, vergente para NW e com o flanco inferior na base da *Nappe* Liberdade. Neste contato descreve-se granada-muscovita-biotita-plagioclásio-quartzo xisto com cianita e com bandamento centimétrico, de contorno irregular e descontínuo, de composição quartzo-feldspática (plagioclásio) a biotita e de granulação médio-grossa. Esse bandamento, com discreto enriquecimento em biotita nas bordas, foi interpretado como leucossomas, desenvolvidos em presença de H₂O, antes da quebra da muscovita e geração de feldspato potássico.

As rochas da Sequência Carrancas ocorrem na base da pilha de *Nappes*. São muscovita quartzitos granoblásticos e de granulação fina, intercalados em muscovita quartzo xistos e em rochas calciossilicáticas alteradas. Não foram descritos minerais índice para o metamorfismo. Um sericita-quartzo metarrítimito foi descrito, mas suas relações de contato não foram observadas.

A unidade dominante da *Nappe* Andrelândia, em afloramentos frescos ao longo desta seção, corresponde a um cianita-granada-muscovita-biotita-plagioclásio-quartzo xisto com apatita e turmalina (Xisto Santo Antônio). Possui textura granoblastica inequigranular na base e interlobada no topo, com lâminas descontínuas lepidoblásticas de muscovita e biotita, ou com os minerais micáceos homogêneamente distribuídos. Granada e cianita ocorrem como porfiroblastos. A biotita, no flanco superior basal da sinforma, ocorre nas bordas da muscovita, invadindo-a a partir das clivagens. Sugere um crescimento em uma trajetória de descompressão. No flanco inferior, no topo da estrutura, a biotita possui intenso pleocroísmo vermelho e apresenta contatos interlobados com o quartzo.

Apesar da ausência de estauroлита na base da *Nappe* Andrelândia, a presença, no topo, de bandamento quartzo-feldspático, de biotita fortemente pleocróica e de textura lobada entre quartzo, plagioclásio e biotita, são sugestivas de um aumento da temperatura em direção ao contato com a *Nappe* Liberdade.

2. Abstract

The aim of this study is to verify the characteristics of the inverted metamorphism of Andrelândia Nappe in the upper Rio Ingaí - MG.

An inverted stack of Nappes was reported in the region, where the upper allochthonous corresponds to the kyanite-garnet-granulite potassic feldspar (Aiuruoca Klippe) in sinformal structure over the metaxitic gneisses with stromatic leucosome, which occur in altered outcrops and probably related to Liberdade Nappe. The Andrelândia Nappe is in a steep and broken synform, NW vergent and with lower flank at the base of Liberdade Nappe. In this contact we find garnet-muscovite-biotite-plagioclase-quartz schist with kyanite and quartz-feldspathic (plagioclase) with biotite centimetric banding which has irregular and discontinuous outline and medium-coarse-grained. This banding, with a slight enrichment in biotite at the edges, was interpreted as leucosomes which were developed in the presence of H₂O, before the breakdown of muscovite and potassic feldspar generation.

The Carrancas Sequence rocks occur at the base of the stack Nappes. The rocks are fine-grained granoblastic Muscovite quartzites interlayered with quartz muscovite schist and calc silicatic changed. Mineral content were not described for the metamorphism. A quartz-sericite metarritimit has been described, but its contact relationships were not observed.

The dominant unit of Andrelândia Nappe in fresh outcrops along this section corresponds to garnet-kyanite-muscovite-biotite-plagioclase-quartz schist with tourmaline and apatite (Schist Santo Antonio). It has granoblastic texture inequigranular at the base and interlobar texture on the top, with discontinuous lepidoblastic blades of muscovite and biotite, or with homogeneously distributed micaceous minerals. Garnet and kyanite occur as porphyroblasts. The biotite in the upper basal flank of the synform occurs at the edges of muscovite, invading it from the cleavage. It suggests a growth in a decompression trajectory. On the bottom side, on the top of the structure, the biotite has intense red pleochroism and also has interlobar contacts with quartz.

Despite the absence of staurolite at the base of Andrelândia Nappe, the presence of banded quartz-feldspathic, strongly pleochroic biotite and lobed texture between quartz, plagioclase and biotite on the top of the Nappe are suggestive of a temperature increase toward the contact Liberdade Nappe.

3. Introdução

Os processos de deformação tectônica ocorrem em uma escala de tempo muito mais curta que o tempo exigido para o relaxamento térmico. Esses processos interferem na estrutura térmica da crosta, modificando-a. O término dos processos deformacionais pode ser visto como instantâneo, enquanto que as modificações térmicas decaem mais lentamente, em consonância com a taxa de denudação, ou de erosão tectônica (adelgaçamento). A história metamórfica de uma rocha será, assim, função da perturbação térmica induzida tectonicamente pela deformação e o subsequente decaimento térmico.

Conceitos de fluxo de calor no metamorfismo são fundamentais para o entendimento das diferentes histórias metamórficas ou trajetórias P - T - t de um orógeno (Spear, 1995). Os modelos físicos para a transferência de calor e condutividade térmica foram investigados por England & Thompson (1984) e aplicados para as trajetórias P - T - t de rochas submetidas a processos metamórfico-tectônicos de espessamento crustal. A interpretação das diferentes trajetórias para cada uma das séries de fácies metamórficas, a partir das informações petrológicas, resultou das investigações de England & Thompson (1984). Apesar de altas temperaturas estarem presentes na maioria dos orógenos, os modelos termodinâmicos mostram que o calor produzido pelo empilhamento de *Nappes* é insuficiente para atingi-las. Dezenas de milhões de anos são requeridas para que o pico de temperatura atinja o assoalho da pilha de *Nappes*. No geral, a duração da deformação, obtida geocronologicamente, não é suficiente para gerar uma paragênese mineral sin-tectônica somente pelo aquecimento seqüencial das rochas do assoalho da estrutura duplicada (England *et al.*, 1992). A implicação é que a duplicação da crosta ocorreu em rochas quentes, só necessitando de um pequeno incremento de temperatura para produzir a paragênese mineral observada (Johnson & Strachan, 2006).

Os estudos do padrão metamórfico invertido himalaiano mostram uma descontinuidade na trajetória P - T - t na base do *Main Central Thrust* (MCT). Kohn *et al.* (2001) descrevem, no pacote inferior, granadas que cresceram com soterramento (aumento de T e de P) há 8-9 Ma, enquanto que as granadas do pacote superior cresceram na descompressão (exumação) com aumento de temperatura, entre 10 e 22 Ma. Admitem assim que o metamorfismo no assoalho do MCT resulta da reativação térmica pelo cavalgamento há ca. 8 Ma, mas refletindo o relaxamento térmico que acompanhou o transporte mais antigo.

Goscombe & Hand (2000), investigam o Himalaia do Nepal oriental e descrevem gradiente geotérmico e trajetórias PT contrastantes e separadas pelo MCT. Sugerem uma cadeia de montanha metamorficamente pareada (*Paired Metamorphic Mountain Belt*), onde

a placa superior do *Great Himalayan Sequence* registrou uma trajetória *PT* anti-horária, ao contrário da placa inferior (*Lesser Himalayan Sequence*), que foi soterrada profundamente e possui uma trajetória metamórfica horária, com isógradas invertidas, produzida pelo avanço do cavalgamento do GHS durante o metamorfismo progressivo.

Modelos mais recentes (termo-mecânico e com consistência experimental numérica) de processos de exumação, aplicados ao Orógeno Himalaio-Tibetano (Beaumont et al., 2001 e 2004; Jamieson et al., 2002; Godin et al., 2006), explicam a inversão das isotermas na crosta médio-inferior, por canais de fluxo de material rochoso de alta viscosidade, dirigido para um domínio de crosta menos espessa e mais fria, até a exumação, na quebra topográfica da cadeia de montanhas. Deste modelo decorre uma pilha horizontal de *Nappes*, onde a crosta inferior em fácies granulito sobrepõe, nos domínios orogênicos internos, a crosta média em fácies anfibolito.

No sistema de *Nappes* Andrelândia, na extensão meridional do Orógeno Brasília, padrões metamórficos invertidos têm sido descritos por Westin, 2008 e Motta, 2009. Investigar esse padrão metamórfico, na região do alto Rio Ingaí – MG, onde granulitos da *Klippe* Aiuruoca encontram-se a uma centena de metros sobre a *Nappe* Andrelândia é onde se insere este projeto.

4. Objetivos

Os objetivos deste trabalho são:

1. Hierarquizar as estruturas deformacionais e estabelecer relações entre estas e o metamorfismo;
2. Descrição petrográfica das fases minerais, as paragêneses, texturas e microestruturas presentes nessas rochas;
3. Estimar as condições de pressão e temperatura que essas rochas foram submetidas através de grades metamórficas específicas estabelecendo o pico metamórfico das mesmas.

5. Localização da Área

A área de estudo está situada no sudeste do Estado de Minas Gerais, próximo à divisa com o Estado do Rio de Janeiro, nas redondezas da cidade de Aiuruoca e nas proximidades de Seritinga, Serranos, Carvalhos e a 45 km de Caxambu. Tem como coordenadas geográficas 21°58'30" de latitude sul e 44°36'10" de longitude W.Gr

5. A evolução petrogenética será discutida a partir de diagramas de fase (AFM) e compatibilizada em grades petrogenéticas desenvolvidas para a fácies anfibolito inferior, no sistema KFMASH (Powell & Holland, 1990; Powell *et al.*, 1998; Spear & Cheney, 1989), para a fácies anfibolito superior, com início de anatexia e para fácies granulito (Le Breton & Thompson, 1988; Spear *et al.*, 1999; Vielzeuf & Holloway, 1988).

7. Revisão Bibliográfica

O domínio orogênico marginal sul do Cráton do São Francisco, corresponde ao Orógeno Brasília Meridional, que registra episódios de subducção e de colisão no Neoproterozóico, decorrentes do fechamento do paleo-oceano Goianides, quando da convergência da Placa Sanfranciscana sob a Placa Paranapanema (Brito Neves *et al.*, 1999; Campos Neto, 2000). É caracterizado por uma pilha de *Nappes*, organizada, dos domínios internos (W-SW) aos externos (E-NE), nas estruturas (Figura 2): i- *Nappe* Socorro-Guaxupé, espessa lasca (~15km) de crosta continental profunda, granulito-granito-migmatítica, oriúnda da raiz de arco magmático (Campos Neto & Caby, 2000); ii- Sistema de *Nappes* Andrelândia, domínio continental subductado, representado por *Nappes* de metassedimentos em fácies anfibolito e granulito de alta pressão, engajados em zona de subducção (Campos Neto & Caby, 1999 e Campos Neto *et al.*, 2007); iii-domínio de provável margem continental passiva constituído pelo Sequência Carrancas (Trouw *et al.*, 2000) e pela *Nappe* Lima Duarte (Campos Neto *et al.*, 2004).

Essas *Nappes* são estruturas dúcteis sin-metamórficas, com removimentação rúptil pós-metamórfica, onde o deslocamento agregado mínimo foi de 300 km. A trajetória cinemática sin-metamórfica foi contínua e em arco anti-horário, com o topo transportado para E no domínio interno, à N-NW no externo. Apesar de padrão metamórfico regional invertido, o sistema caracteriza-se por alóctonos com distintos campos de gradientes metamórficos, delimitados pelos contatos rúpteis de empurrão ou pelas rampas laterais, resultando em segmentos de distintos ambientes tectônicos (Campos Neto *et al.*, 2007).

Do domínio oriental do Sistema de *Nappes* Andrelândia, a *Nappe* Liberdade (Trouw *et al.*, 2000) constitui-se de uma sequência metapelítica, metapsamitos e gnaisses calcissilicáticos subordinados, metamorfisados em fácies anfibolito de alta pressão e contendo lascas de rochas metabásicas retroeclogíticas e associadas a rochas metaultramáficas. Trata-se do registro metamórfico de crosta continental soterrada, em zona de subducção, a profundidades mínimas de 60 km ($T \sim 680^{\circ}\text{C}$ e $P \sim 17$ kbar, Campos Neto & Caby, 1999). (Ortognaisses constituem a infraestrutura paleoproterozóica e predominam na retaguarda, em domínio de intensa anatexia neoproterozóica (Migmatitos Alagoa, Campos Neto *et al.*, 2004)) e de intrusões de turmalina leucogranitos a duas micas.

A *Nappe* Andrelândia define fatia espessa de cerca de 1500m, no substrato da *Nappe* Liberdade e repousa, regionalmente, sobre as unidades da Sequência Carrancas. Caracteriza-se por coluna litoestratigráfica coerente, onde predominam metapelitos na base (Xisto Rio Capivari), seguidos por metawackes (Xisto Santo Antonio) e por sequência metapelito-psamítica no topo (Xisto Serra da Boa Vista; Campos Neto *et al.*, 2005 e 2007), essas rochas foram submetidas a um pico metamórfico de $T \sim 680^{\circ}\text{C}$ e $P \sim 12$ kbar (Santos *et al.*, 2004).

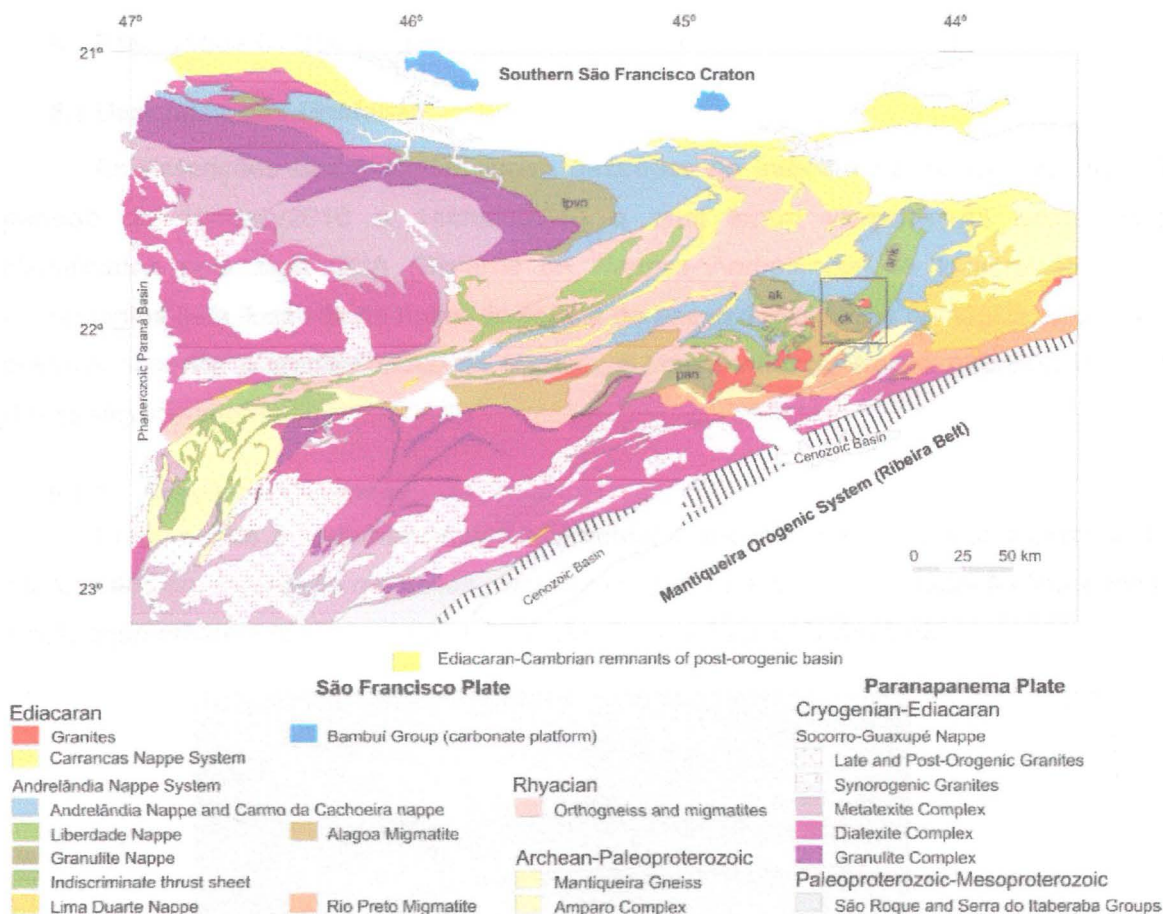


Figura 2: Mapa Tectônico do Sistema de *Nappes* da extensão meridional do Orógeno Brasília (Campos Neto *et al.*, inédito).

A trajetória do metamorfismo na retaguarda destas *Nappes* é marcada por descompressão quase isotérmica, enquanto que trajetórias progressivas, no geral na zona da estauroлита, estão preservadas na *Nappe* inferior (Santos *et al.*, 2004 e Santos, 2004).

No sul da Serra de Santo Antônio, sul de Andrelândia e nordeste de Cruzília Minas Gerais, ocorrem afloramentos de micaxistos e de metawackes da *Nappe* Andrelândia, cortados por injeções de muscovita-turmalina leucogranitos e com leucossomas sincinemáticos à foliação metamórfica principal-S2 (Campos Neto *et al.*, 2004). Esses metatextitos estão presentes na *Nappe* Andrelândia, no contato tectônico com a *Nappe* Liberdade, superior. Neste local, a *Nappe* Andrelândia aflora por cerca de 7 km, entre a *Nappe* Liberdade e a Sequência Carrancas, configurando um pacote metamórfico espesso de ~ 2,5 km (Meira, 2005).

8. Resultados Obtidos

8.1 Descrição das Unidades

As descrições das unidades foram baseadas no trabalho de campo realizado no período de 10/maio/2010 a 14/maio/2010 o qual foram visitados 43 afloramentos identificados pela sigla SNA (Sistema de *Nappes* Andrelândia). A localização destes afloramentos está ilustrada no mapa de pontos do anexo 1. Na seção geológica, anexo 2, é possível observar o empilhamento de *Nappes*, o dobramento da *Nappe* Andrelândia e sua litoestratigrafia interna.

8.1.1 Sequência Carrancas

Compreende a sequência metassedimentar composta por muscovita-quartzo xistos intercalados em muscovita quartzitos placosos (Figura 3). Possuem granulação fina a média e coloração amarelada. Este sistema é cavalgado pela *Nappe* Andrelândia



Figura 3: Muscovita quartzito placoso (SNA-81)

8.1.2 *Nappe Andrelândia*

8.1.2.1 *Sequência xisto-quartzítica (Xisto Serra da Boa Vista)*

Ocorre no topo do pacote litoestratigráfico da *Nappe Andrelândia*, no interior de uma sinforme inclinada (anexo 2). É representada por muscovita-quartzo xisto e muscovita quartzito, com intercalações métricas de cianita-granada-muscovita-biotita-quartzo xisto porfiroblástico.

8.1.2.2 *Granada-plagioclásio-biotita-quartzo xisto (Xisto Santo Antônio)*

Compreende o granada-biotita-plagioclásio-quartzo xisto, com cianita, de coloração acinzentada, homogêneo de textura predominantemente granoblástica com leitos lepidoblásticos (figura 4). Nas proximidades do contato com a *Nappe Liberdade* lentes e bolsões quartzo-feldspáticos comumente são encontrados.

Ocorre em cortes de estradas e em extensas lajes de forma arredondada e pouco alterada. Litoestratigraficamente encontra-se sob o Xisto Serra da Boa Vista e sobre o Xisto Rio Capivari.

Na seção de campo, era notório que, ao caminharmos sobre as rochas da *Nappe Andrelândia* do topo para a base, as lentes e bolsões quartzo-feldspáticos no xisto Santo Antônio iam diminuindo em direção da base da estrutura, indicando maior taxa de fusão parcial nas rochas do topo



Figura 4: Xisto Santo Antônio (SNA-68 e SNA-67)

8.1.2.3 *Cianita-granada-muscovita-biotita xisto (Xisto Rio Capivari)*

Representa a base da *Nappe Andrelândia* e é formado por cianita-granada-muscovita-biotita xisto porfiroblástico e de textura granoblástica a quartzo e plagioclásio, alternada com lâminas lepidoblásticas. Geralmente ocorre muito alterado com coloração alaranjada.

8.1.3 *Nappe Liberdade*

Na área de estudo da *Nappe Liberdade* afloram xistos muito alterados , de coloração branca arroxeada e localizados em uma ravina de erosão. Ocorrem intercalações de rochas de coloração ocre de alteração (metamáficas) Esta *Nappe* encontra-se sobreposta à *Nappe* Andrelândia e sotoposta à *Klippe* Aiuruoca.

8.1.4 *Klippe Aiuruoca*

A *Klippe* Aiuruoca encontra-se sobre a *Nappe* Liberdade. Aflora em barrancos muito alterados e cortes de estradas, possui granulação média a grossa e coloração acinzentada. Corresponde a um cianita-granada-biotita-feldspato-quartzo granulito, predominantemente granoblástico com níveis nematolepidobásticos a biotita e cianita.

8.2 *Descrições Microscópicas*

As descrições microscópicas foram realizadas a partir das lâminas listadas abaixo (tabela 1).

Tabela 1: Listagem das Lâminas petrográficas descritas

Lâminas	<i>Klippe</i> Aiuruoca	<i>Nappe</i> Andrelândia	Sistemas de <i>Nappes</i> Carrancas
NESG	NESG-601E, NESG-601G, NESG-702B-I, NESG-702B-II, NESG-1050A, NESG-1050B, NESG-1050C, NESG-1051A, NESG-1051B, NESG-1054A,	NESG-1064A, NESG-1065A, NESG-1067, NESG-1069, NESG1071,	NESG-1074
SNA	SNA-62, SNA-64	SNA-67A-I, SNA-67A-II, SNA-67B, SNA-67C, SNA-67D, SNA-67E, SNA-67F, SNA-68, SNA-71A, SNA-71B, SNA-71B, SNA-71C, SNA-72A, SNA-72B, SNA-72C, SNA-76, SNA-77A, SNA-77B, SNA-77C, SNA 102	

Nas rochas descritas a foliação principal é definida como S2. Relíquias de xistosidade pretérita estão preservadas tanto na recristalização em arcos poligonais, quanto através das inclusões orientadas de quartzo, mica, rutilo e minerais opacos no interior de granada. Tem-se a alternância entre texturas granoblásticas com cristais de quartzo e plagioclásio alongados na S2, com fábrica de forma e com orientação ótica preferencial e texturas lepidoblásticas, definindo um bandamento diferenciado milimétrico a submilimétrico.

8.2.1 *Anfibolitos intercalados ao embasamento*

Foi descrita apenas uma lâmina desta rocha que possui textura nematoblástica de granulação média (0,5 a 3 mm). É composta por hornblenda (~70%), plagioclásio (16%),

quartzo (5%), epidoto (5%) (Figura 18, fotomicrografia a e b) e apresenta como acessórios titanita, ilmenita e outros minerais opacos.

Os cristais de homblenda definem a foliação principal (S2) e formam a textura nematoblástica. Possuem pleocroísmo variando do verde amarelado ao verde escuro. A grande maioria dos cristais são xenoblásticos e muitos deles possuem inclusões de quartzo em forma de gotas, epidoto e titanita.

Os cristais de quartzo e plagioclásio formam a textura granoblástica e ocorrem principalmente nos interstícios dos cristais de homblenda, mas podem ocorrer inclusos nestes minerais. Os cristais de quartzo possuem extinção ondulante e alguns cristais de plagioclásio possuem geminação em grade (albita-periclíneo). Estes cristais localmente aparecem como subgrãos.

Os cristais de epidoto ocorrem com formatos arredondados ou xenoblásticos, às vezes alongados na direção da foliação principal. São cristais pequenos que podem ocorrer inclusos ou nas bordas dos cristais de homblenda (Figura 5, fotomicrografia c). Em alguns locais os cristais de epidoto estão com contatos lobados com os cristais de homblenda.

Os cristais de titanita são acessórios de granulação muito fina e normalmente estão orientados na direção da foliação principal (S2), mas podem ocorrer desordenados, distribuídos aleatoriamente pela rocha.

Os minerais opacos e os cristais de ilmenita estão dispostos aleatoriamente pela lâmina sem nenhuma orientação preferencial.

O quadro 1 mostra a blastese da rocha.

Quadro 1: Sequência de cristalização dos anfíbolitos

Mineral	%	S1	inter	S2	pós
Hbl	70			_____	--
Pl	16	-----		_____	--
Qtz	5	-----		_____	--
Ep	5			_____	
Tin	2			_____	

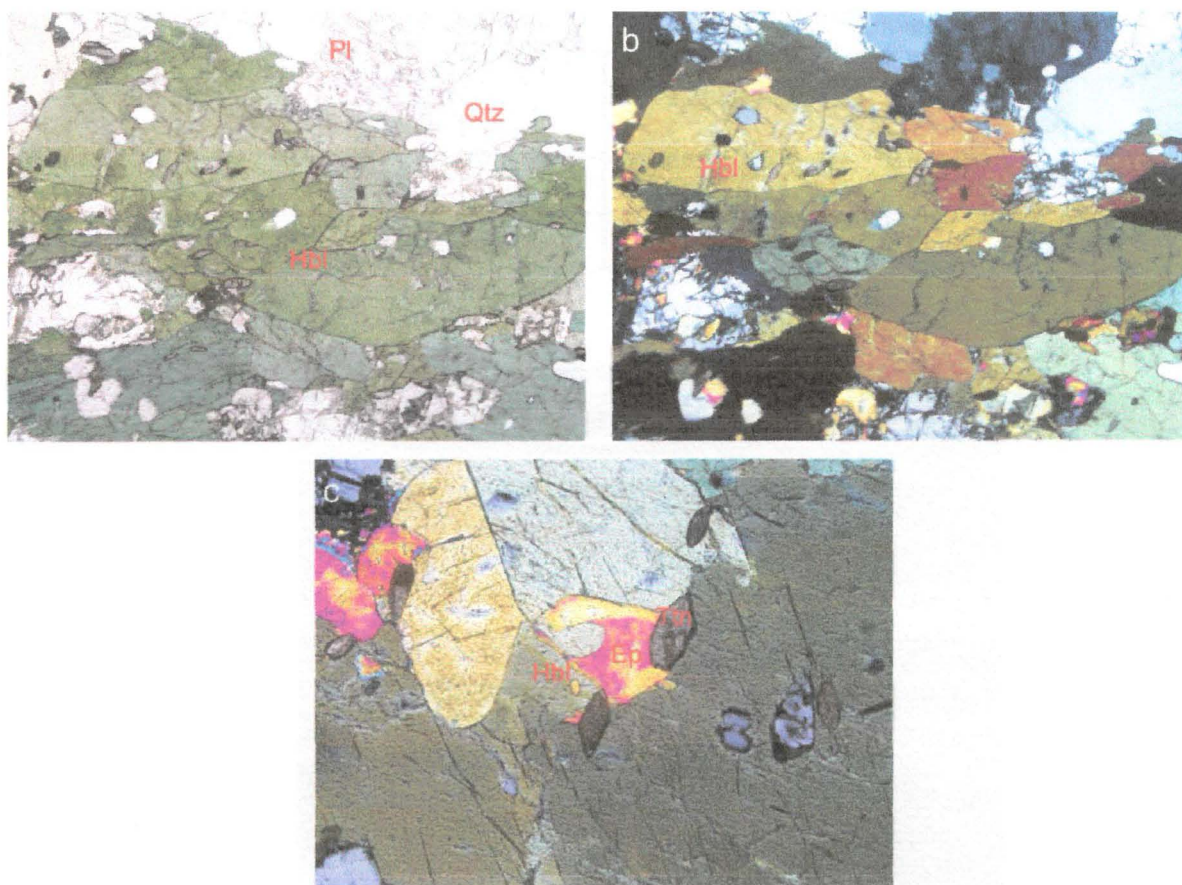


Figura 5: Fotomicrografia do anfibolito; a: visão geral do anfibolito, objetiva: 4x, com eixo horizontal = 3.25 mm polarizadores descruzados (SNA-102). b: ídem com polarizadores cruzados. c: horblenda e epidoto em contato lobado, objetiva: 10x, com eixo horizontal = 1,3 mm polarizadores cruzados (SNA-102).

8.2.2 Sequência Carrancas

8.2.2.1 *Quartzo-sericita xisto*

Foi descrita uma lâmina desta rocha de textura predominantemente granoblástica dada pelos cristais de quartzo, com leitos lepidoblásticos ricos em sericita, com granulação muito fina (0,01 a 0,1 mm) e com porfiroblastos de minerais opacos de até 0,2 mm (Figura 6, fotomicrografia a). É composta por quartzo (55%), sericita (35%) e opacos (10%).

Os cristais de quartzo de granulação muito fina possuem extinção ondulante apresentando contatos tríplexes com outros cristais. Muitas vezes estão alongados na direção da foliação principal.

Os cristais de sericita, também de granulação muito fina, definem a foliação principal (S1) que se apresenta toda deformada formando crenulações. Estas crenulações possuem planos axiais perpendiculares a S1 definindo uma clivagem. Minerais opacos ocorrem muito finos na matriz ou como porfiroblastos. Estes minerais aparecem alongados/estirados concordantemente à foliação principal e localmente, ocorrem em forma de sigmóides.

O quadro 2 mostra a relação da cristalização dos minerais com as fases deformacionais.

Quadro 2: Sequência de cristalização do quartzo-sericita xisto

Mineral	%	S1	inter	S2	pós
Qtz	55	-----		-----	---
sericita	35	-----		-----	---
opacos	10	-----		-----	



Figura 6: a: Fotomicrografia do quartzo-sericita xisto, objetiva: 1,25x, com eixo horizontal = 10,4 mm e polarizadores cruzados (NESG-1074).

8.2.3 Nappe Andrelândia

8.2.3.1 Cianita-granada-muscovita-biotita-plagioclásio-quartzo xisto (Xisto Rio Capivari)

Sete lâminas deste litotipo foram descritas, sendo que uma delas corresponde a um quartzo-muscovita xisto que ocorre intercalado ao cianita-granada-muscovita-biotita-plagioclásio-quartzo xisto.

O muscovita-quartzo xisto possui granulação fina, é composto basicamente por quartzo (55%), muscovita (44%) e minerais opacos. Possui textura lepidogranoblástica, com os níveis lepidoblásticos a muscovita entrelaçando-se aos níveis granoblásticos (Figura 7, fotomicrografia c e d).

Os cristais de quartzo possuem extinção ondulante estão bastante recrystalizados. Os cristais de muscovita, juntamente com os cristais de minerais opacos definem a foliação principal S2, e muitas vezes as micas formam “mica fish”.

O cianita-granada-muscovita-biotita-plagioclásio-quartzo xisto é composto por quartzo (30-35%), plagioclásio (20-24%), biotita (23-28%), muscovita (4-7%), granada (4-10%) e cianita (2-3%).

A textura da rocha é granoblástica, dada pelos cristais de quartzo e plagioclásio, intercalando-se com níveis lepidoblásticos a biotita e muscovita (Figura 7, fotomicrografia a e b). Possui granulação fina a média com porfiroblastos de granada e cianita.

Os cristais de quartzo e plagioclásio possuem tamanhos variados, às vezes porfiroblásticos. Podem apresentar contatos tríplexes, poligonizados, muitas vezes lobados e como subgrãos. Os cristais de quartzo sempre possuem extinção ondulante e os cristais de plagioclásio possuem geminação em grade (albita-periclineo) ou polissintética.

Os cristais de biotita e muscovita definem a foliação principal e a textura lepidoblástica. Os cristais de biotita possuem pleocroísmo variando do marrom claro ao marrom avermelhado. Ambos podem aparecer como inclusões em cristais de granada e cianita e as biotitas podem estar consumindo as bordas dos mesmos.

Os cristais de granada são porfiroblastos amoldados pela foliação e possuem formas arredondadas ou alongadas na direção da S₂. Possuem inclusões de quartzo, biotita, muscovita, clorita, rutilo e minerais opacos, que, localmente não definem uma fábrica de forma (cristais precinemáticos), mas são freqüentes as inclusões orientadas obliquamente e descontínua em relação a foliação externa (crescimento intercinemático). Os cristais de muscovita podem estar em suas bordas consumindo-as. Cristais de cianita podem ser porfiroblásticos ou com tamanhos semelhantes aos outros cristais da matriz. Eles definem a foliação principal juntamente com os cristais de biotita e muscovita. Podem apresentar inclusões de quartzo, muscovita e biotita, e os dois últimos podem estar consumindo suas bordas.

Ocorrem acessórios como apatita, rutilo, zircão, monazita, turmalina e minerais opacos. Apatita, rutilo e turmalina podem estar orientados segundo a direção da foliação principal ou sem alguma orientação. Zircão e monazita ocorrem dispersos pela lâmina, quando inclusos em biotita formam halos pleocróicos.

O quadro 3 mostra a seqüência de cristalização dos minerais.

Quadro 3: Sequência de cristalização do Xisto Rio Capivari

Mineral	%	S1	inter	S2	inter	S3	pós
Ms	até 7	-----		-----			---
Bt	até 28	-----		-----		---	---
Grt	até 10		-----	---			
Ky	até 3			-----			
Qtz	até 35	-----	-----	-----	-----	-----	---
Plg	até 24	-----	-----	-----	-----	-----	---
Chl	traço	---					

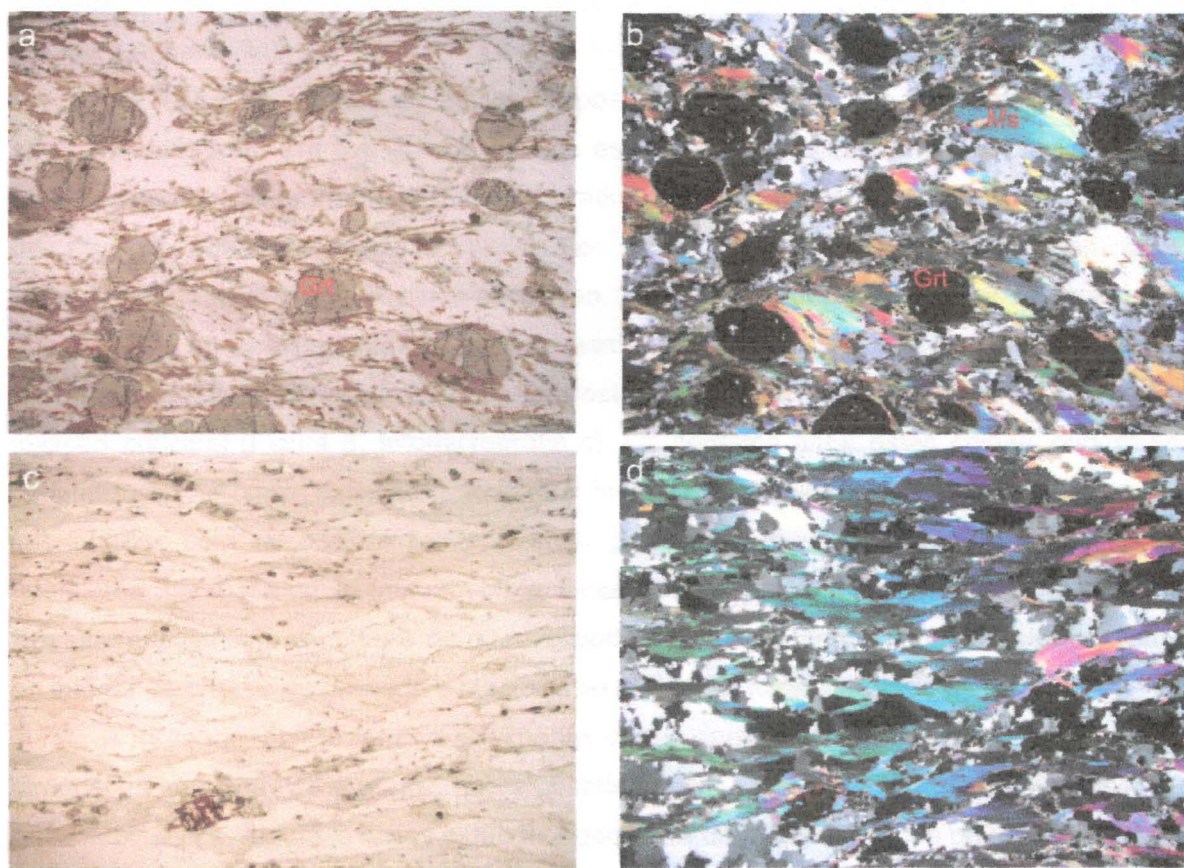


Figura 7: Fotomicrografias do Xisto Rio Capivari; a: foliação em banda extensional de cisalhamento (topo para a esquerda) se amoldando aos cristais de granada. Muscovita em mica-fish indicando o mesmo sentido de movimento, objetiva: 1,25x, com horizontal = 10,4 mm e polarizadores descruzados (NESG-1064A). b: foliação em arranjo S-C associada à mica-fish de muscovita com polarizador cruzado. c: muscovita-quartzo xisto, objetiva: 1,25x, com eixo horizontal = 10,4 mm e polarizadores descruzados (SNA-76). d: idem com polarizador cruzado.

8.2.3.2 Granada-plagioclásio-biotita-quartzo xisto (Xisto Santo Antônio)

Foram descritas 14 lâminas correspondentes a este litotipo que é composto por quartzo (25-40%), plagioclásio (20-28%), biotita (20-25%), granada (7-15%), cianita (0-8%),

muscovita (1-15%), clorita ($\leq 1\%$) e localmente sillimanita. Como acessórios ocorrem: rutilo, monazita, turmalina, zircão, apatita, alanita e minerais opacos.

A estrutura da rocha é xistosa e a textura é granoblástica com biotita homogeneamente dispersa, a granulação é fina-média (0,01-2 mm) com porfiroblastos de granada, cianita, plagioclásio e quartzo.

Os cristais de biotita possuem granulação fina a média e pleocroísmo em algumas rochas varia do marrom avermelhado ao amarelo claro e em outras de verde claro ao verde escuro (Figura 8, fotomicrografia a). Estes cristais ocorrem orientados definindo a foliação principal (S2) ou oblíquos à foliação principal marcando foliações posteriores. Ocorrem também como inclusões em cristais de granada e cianita. A biotita pode envolver cristais de granada e de muscovita, invadindo-os a partir de fraturas (granada) ou de planos de clivagem (muscovita).

Os cristais de quartzo e plagioclásio possuem granulação fina a média, e localmente são porfiroblásticos. Em sua grande maioria estão dispostos aleatoriamente pelas lâminas, mas podem ocorrer em bandas hololeucocráticas de granulação médio-grossa. Os cristais de quartzo possuem extinção ondulante e os plagioclásios possuem geminação polisintéticas na lei albita e albita-periclíneo. Em alguns locais observam-se cristais de quartzo e de plagioclásio como subgrãos mantendo cristais maiores da mesma fase. Os cristais de quartzo e de plagioclásio podem estar alongados, com fábrica de forma paralela foliação principal (Figura 8, fotomicrografia c). Os contatos entre estes cristais podem ser poligonizados e sem extinção ondulante, indicando recristalização pós-cinemática, ou interlobados com feições de recristalização por migração de borda de grão (Figura 8, fotomicrografia d). Ocorrem também como inclusões em cristais de granada, biotita e cianita. Em algumas lâminas os cristais de quartzo podem estar em forma de gotas (intercrescidos) no interior de cristais de granada e plagioclásio (Figura 8, fotomicrografia g).

A granada ocorre preferencialmente como porfiroblastos de até 1 cm, ou com dimensões semelhantes a matriz. Estes cristais podem ser arredondados, sub-idioblásticos ou xenoblásticos. Algumas vezes estão alongados na direção da foliação principal. Possuem muitas inclusões de quartzo, plagioclásio, biotita, muscovita, cianita, clorita, rutilo e minerais opacos, em proporções variáveis. Os cristais de quartzo podem estar intercrescidos aos cristais de granada (Figura 8, fotomicrografia n). As estruturas mimetizadas pelas inclusões passivas nas granadas sugerem diferentes estágios de cristalização. Algumas possuem inclusões orientadas numa direção oblíqua e sem continuidade com a foliação externa, sugerindo cristalização intercinemática. Outras possuem inclusões desordenadas, mas amoldadas pela foliação externa, sugerindo um crescimento pré-cinemático (Figura 8, fotomicrografia f).

Os cristais de cianita muitas vezes são porfiroblásticos, mas podem ocorrer com tamanhos semelhantes aos cristais da matriz. Estes cristais em sua grande maioria estão orientados na direção da foliação principal S2 (Figura 8, fotomicrografia i, j, k e l), podendo também ocorrer oblíquos a esta. Desta forma as cianitas são sin S2, com foliação externa se amoldando a estes cristais. É comum inclusões de quartzo e biotita nos cristais de cianita (Figura 8, fotomicrografia m) além de muscovitas e biotitas consumindo suas bordas. Ocorre também quartzo intercrescido aos cristais de cianita. Em algumas lâminas estes cristais estão microdobrados e muitas vezes apresentam extinção ondulante (Figura 8, fotomicrografia e).

Os cristais de muscovita possuem granulação fina a média e são pouco presentes na lâmina, mas quando ocorrem estão definindo a foliação principal S2 juntamente com os cristais de biotita. Também ocorrem nas bordas dos cristais de granada, cianita e biotita ou inclusas nos cristais de cianita.

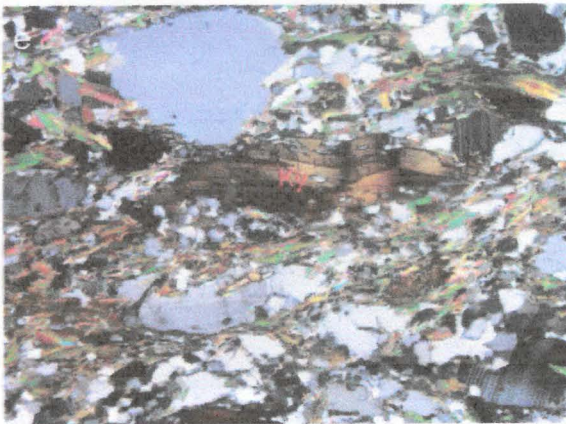
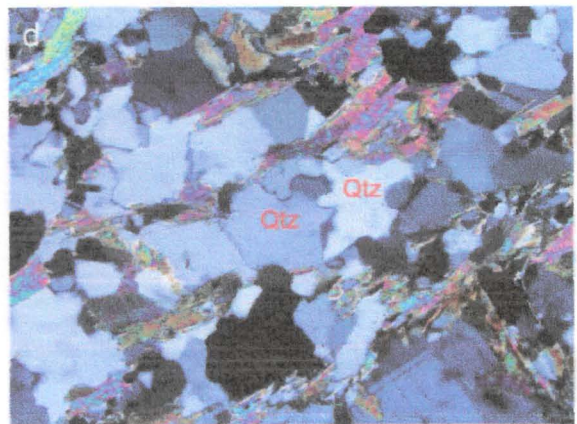
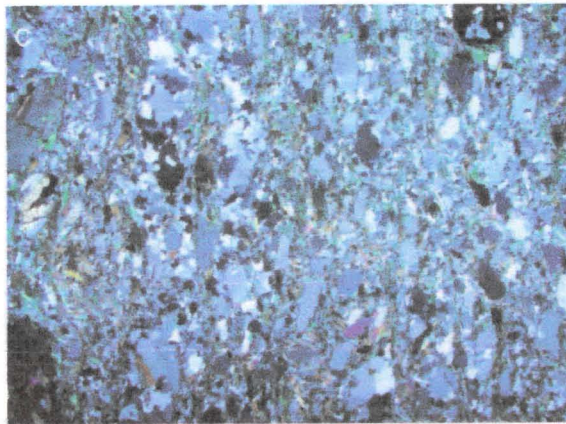
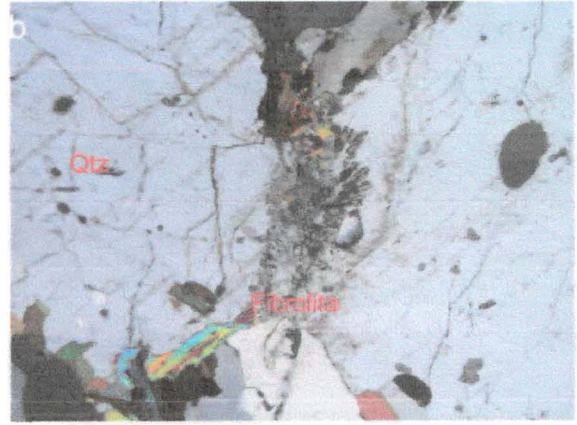
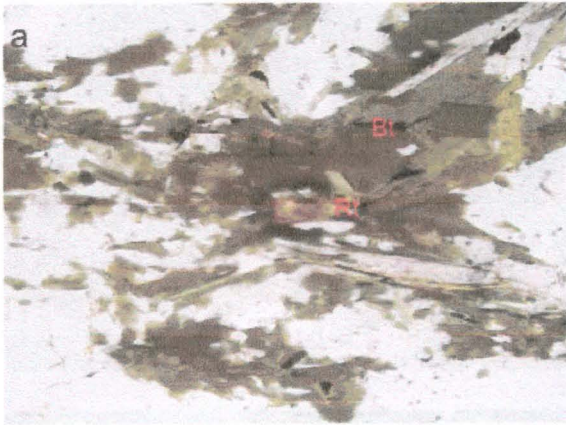
Os cristais de sillimanita ocorrem localmente com granulação muito fina e na forma de fibrolita (Figura 8, fotomicrografia b). Estes cristais podem estar orientados na direção da foliação principal S2 ou, em sua grande maioria, em aglomerados desorientados.

Os cristais de zircão e monazita ocorrem dispersos pela lâmina com granulação muito fina e podem ocorrer como inclusões em granada. Localmente alguns cristais de monazita aparecem inclusos em biotita produzindo halos pleocróicos, assim como os cristais de alanita. Os cristais de apatita ocorrem dispersos na matriz da rocha. Os cristais de rutilo e minerais opacos muitas vezes aparecem orientados segundo a foliação principal, outras vezes aparecem como inclusões em granadas, biotitas e cianitas. Os cristais de clorita em sua grande parte ocorrem como inclusões em cristais de granada, mas podem ocorrer em bordas de granada (Figura 8, fotomicrografia h).

A blastese do Xisto Santo Antonio é mostrada no quadro 4.

Quadro 4: Sequência de cristalização do Xisto Santo Antônio

Mineral	%	S1	inter	S2	inter	S3	pós
Ms	até 15	-----		-----		---	---
Bt	até 25	-----		-----			
Grt	até 15		-----	---			
Ky	até 8			-----		---	---
Qtz	até 40	-----	-----	-----	-----	-----	---
Plg	até 28	-----	-----	-----	-----	-----	---
Sill	traço						---
Chl	traço	---					---



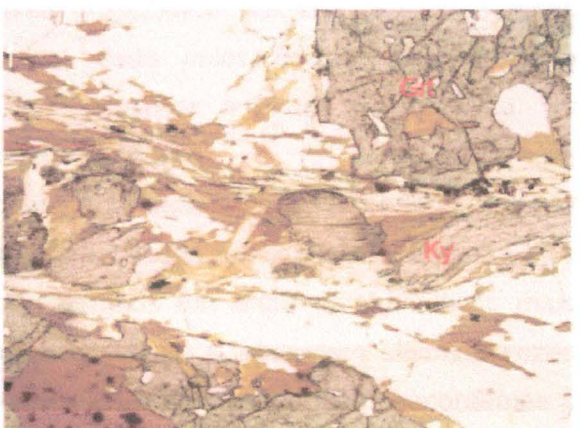
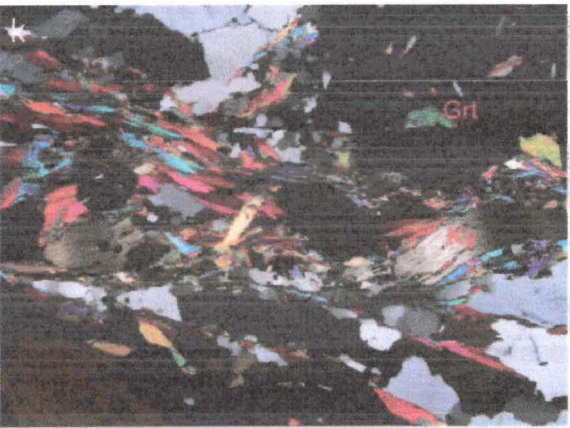
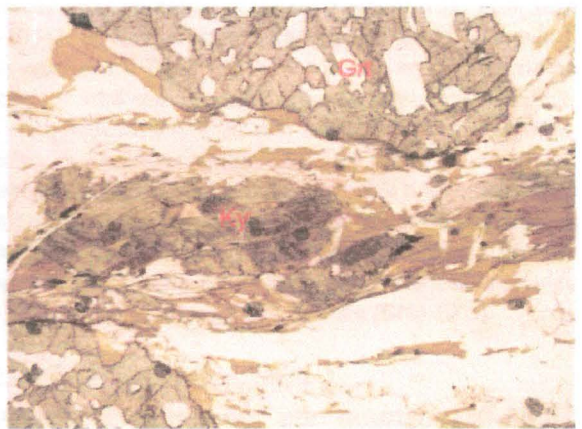
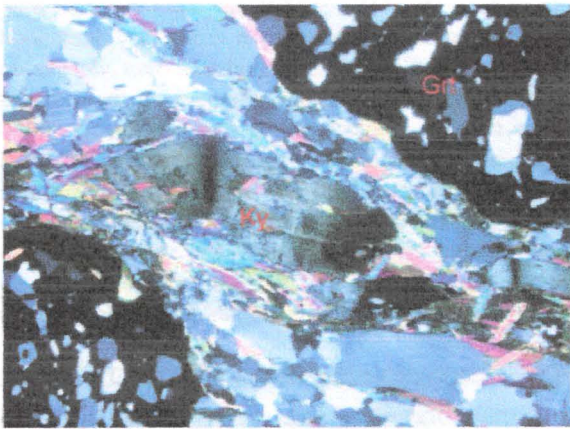
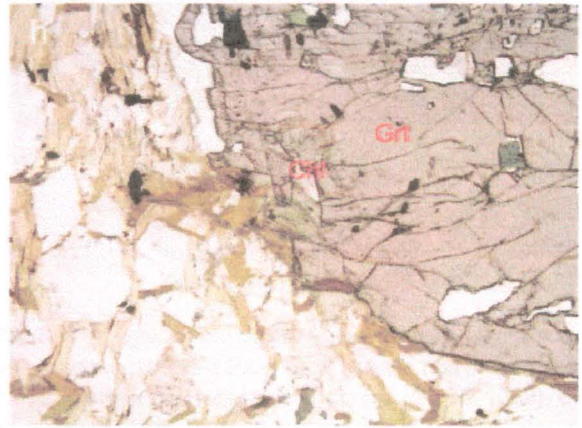




Figura 8: Fotomicrografias do Xisto Santo Antônio; **a:** cristal de rutilo incluído em biotita formando halo pleocróico, objetiva: 10X, com eixo horizontal = 1,3 mm e polarizadores cruzados (NESG-1069). **b:** sillimanita nos interstícios de cristais de quartzo, objetiva: 50x, com eixo horizontal = 0,260 mm e polarizadores cruzados (NESG-1069). **c:** cristais de quartzo e plagioclásio com fábrica de forma, objetiva: 1,25x, com eixo horizontal = 10,4 mm e polarizadores cruzados (NESG-1071). **d:** cristais de quartzo com contatos lobados, objetiva: 10x, com eixo horizontal = 1,3 mm e polarizadores cruzados (NESG-1071). **e:** cristal de cianita apresentando kink band, objetiva: 4x, com eixo horizontal = 3,25 mm e polarizadores cruzados (NESG-1071). **f:** foliação se amoldando ao porfiroblasto de granada, objetiva: 1,25x, com eixo horizontal = 10,4 mm e polarizadores descruzados (NESG-1069). **g:** porfiroblasto de plagioclásio, objetiva 4x, com eixo horizontal = 3,25 mm e polarizadores cruzados, (SNA-67D). **h:** cristal de clorita em borda de granada, objetiva 4x, com eixo horizontal = 3,25 mm e polarizadores descruzados (NESG-1067). **i:** cristal de cianita definindo foliação principal, objetiva 4x, com eixo horizontal = 3,25 mm e polarizadores descruzados (SNA-67E). **j e k:** idem com polarizador cruzado. **l:** idem com polarizadores descruzados. **m:** inclusões de biotita na cianita orientadas concordantemente com a foliação externa, objetiva: 4x, com eixo horizontal = 3,25 mm e polarizadores descruzados (SNA-68). **n:** cristais de quartzo intercrecidos com cristal de granada, objetiva: 4x, com eixo horizontal = 3,25 mm e polarizadores cruzados (SNA-67D).

Granada-muscovita-biotita-plagioclásio-quartzo xisto (Xisto Serra da Boa Vista)

Três lâminas deste litotipo foram descritas. É composto por quartzo (30-35%), plagioclásio (4-10%), biotita (18-25%), muscovita (15-22%) e granada (3-9%). A rocha possui textura predominantemente granoblástica, dada pelos cristais de quartzo e plagioclásio, contendo lâminas descontínuas lepidoblásticas a biotita e muscovita. Os cristais de granada podem chegar a porfiroblastos de até 4 mm.

Os cristais de quartzo e plagioclásio possuem tamanhos variados podendo ocorrer como porfiroblastos (Figura 9, fotomicrografia a), com foliação amoldando-se a eles. Estes minerais ocorrem dispersos pela matriz, ou aglomerados em leitos de granulação mais grossa. Os cristais de quartzo possuem extinção ondulante e aparecem algumas vezes como subgrãos recristalizados nas bordas de outros cristais, além de fitas concordantes a foliação. Os cristais de plagioclásio comumente possuem geminação polissintética.

Os cristais de biotita e muscovita possuem granulação média e definem a foliação principal S2. As biotitas podem ocorrer em bordas de granada consumindo-as. Algumas vezes estes cristais formam arcos poligonais mimetizando, na S2, micas da foliação precedente (S1) crenulada. Os cristais de biotita possuem pleocroísmo marrom avermelhado.

Os cristais de granada em sua grande maioria são porfiroblásticos, podem ocorrer alongados na direção da foliação principal. São cristais límpidos ou com inclusões orientadas obliquamente a foliação externa, sugerindo um crescimento intercinemático ou pré-cinemático, quando possuem inclusões desorientadas (Figura 9, fotomicrografia b, c e d), indicando cristalização pré S2. Quando a granada possui inclusões essas são de quartzo, biotita, muscovita, clorita, rutilo, zircão, monazita, apatita e minerais opacos.

Como minerais acessórios a rocha apresenta turmalina, apatita, zircão, monazita, rutilo, ilmenita e clorita. Rutilo e ilmenita são concordantes ou não com a foliação principal ou ocorrem como inclusões em granada e biotita. Clorita ocorre inclusa em cristais de granada. Turmalina pode ser concordante ou não à foliação da rocha. Apatita, zircão e monazita estão dispersos na matriz ou inclusos em porfiroblastos de granada.

O quadro 5 apresenta a sequência de cristalização do Xisto Serra da Boa Vista estudado.

Quadro 5: Sequência de cristalização do Xisto Serrada Boa Vista

Mineral	%	S1	inter	S2	inter	S3	pós
Ms	até 22	-----		-----		---	----
Bt	até 25	-----		-----		---	----
Grt	até 9		-----	---			
Qtz	até 35	-----	-----	-----	-----	-----	---
Plg	até 10	-----	-----	-----	-----	-----	---
Chl	traço	----					

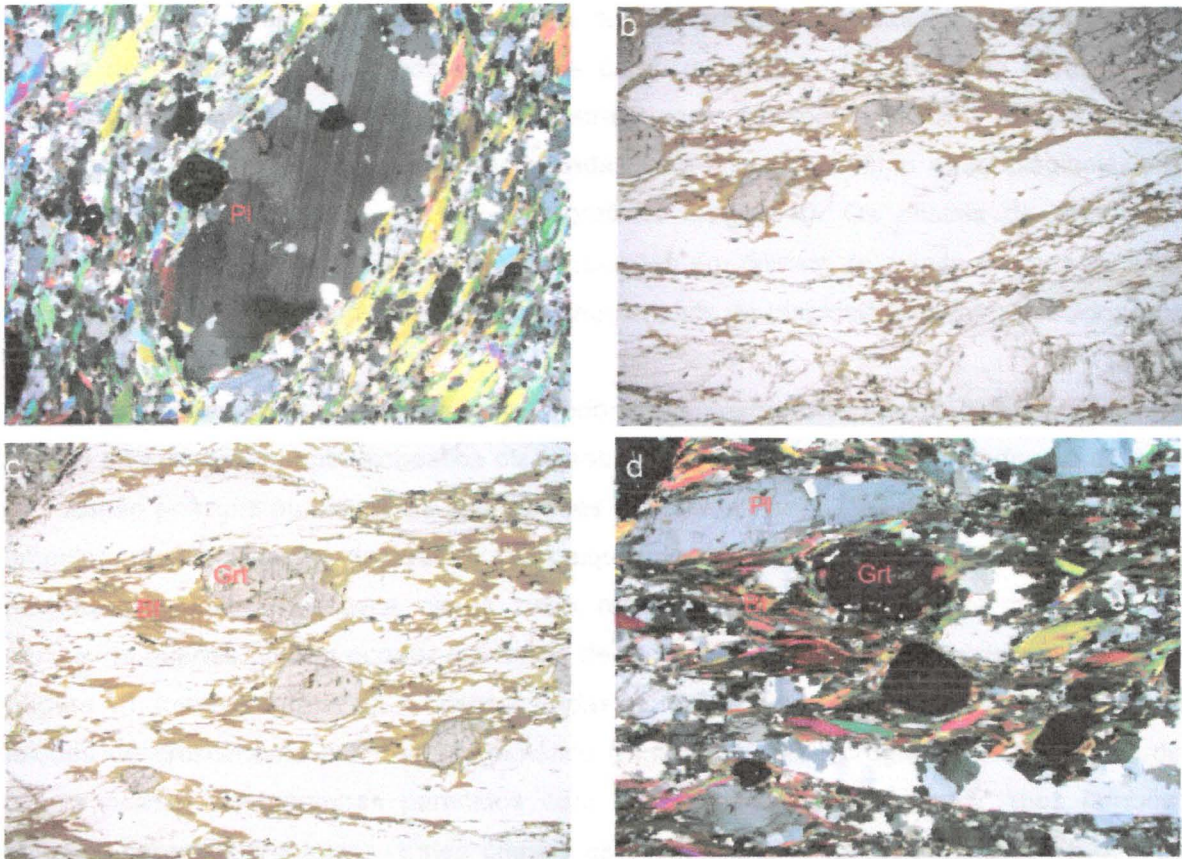


Figura 9: Fotomicrografias do Xisto Serra da Boa Vista; a: porfiroblasto de plagioclásio com foliação amoldando-se ao grão, objetiva: 1,25x, com eixo horizontal = 10,4 mm e polarizadores cruzados (SNA-71C). b: e c: foliação se amoldando aos cristais de granada e plagioclásio e fitas de quartzo, objetiva: 1,25x, com eixo horizontal = 10,4 mm e polarizadores descruzados (SNA-71A). d: idem a c com polarizadores cruzados.

8.2.4 Klippe Aiuruoca

8.2.4.1 Biotita-cianita-granada Granulito

Foram descritas 12 lâminas deste litotipo que é composto por quartzo (30-40%), plagioclásio (5-15%), feldspato alcalino (1-10%), granada (10-20%), cianita (5-15%), biotita (5-15%), muscovita (~1%), clorita (~1%) e possui como minerais acessórios monazita, zircão, apatita, rutilo, fibrolita e minerais opacos.

A rocha tem granulação fina a média com porfiroblastos de granada e cianita, possui textura granoblástica dada por cristais de quartzo, plagioclásio e feldspato alcalino com níveis nematoblásticos com cianita intercalando-se com os leitos granoblásticos.

Os cristais de quartzo, plagioclásio e feldspato alcalino são os minerais mais abundantes na rocha e possuem tamanhos variados. Podem ocorrer alongados numa direção preferencial, como subgrãos. Os contatos entre estes cristais podem ser interlobados seriados com recristalização por migração de borda de grão, mas observam-se também texturas ígneas preservadas como mimetização destes cristais apresentando

contatos triplices, poligonizados. Os cristais de quartzo possuem extinção ondulante e os cristais de feldspato alcalino podem ocorrer como microclínio, ou ortoclásio perítico e o plagioclásio com antipertitas. Nas amostras com feldspato alcalino é comum o desenvolvimento de mirmequitas caracterizadas pelo intercrescimento entre plagioclásio e quartzo vermiforme (Figura 10, fotomicrografias c, g e h). Os cristais de quartzo e plagioclásio também podem ocorrer como inclusões em cristais de cianita e granada, e os de quartzo podem estar em forma de gotas nos cristais de plagioclásio e intercrescidos aos cristais de granada.

Os cristais de granada aparecem predominantemente como porfiroblastos, possuem formas arredondadas, sub-idiobástica ou xenoblástica, e alguns estão alongados na direção da foliação principal ou dispersos nas porções granoblásticas. Estes cristais podem ocorrer límpidos, mas na maioria das vezes são poiquiloblasticos e possuem muitas inclusões de plagioclásio, biotita, muscovita, clorita, rutilo, minerais opacos e localmente de cianita. Os cristais de quartzo podem ocorrer em forma de gotas intercrescidas aos cristais de granada (Figura 10, fotomicrografia e). A orientação das inclusões dessas granadas também exibem feições de crescimento pré e intercinemático (Figura 10, fotomicrografia i). Os cristais de cianita podem ter tamanhos parecidos com os outros cristais da matriz, mas também ocorrem como porfiroblastos. Estes cristais estão definindo a foliação principal (S₂), mas podem estar dispersos nas porções quartzo-feldspáticas. Em muitos locais as cianitas estão deformadas apresentando extinção ondulante (Figura 10, fotomicrografia f). Cristais de muscovita, biotita, rutilo e quartzo podem ocorrer como inclusões em cianitas ou consumindo suas bordas. Localmente notam-se cristais de cianita nas bordas dos cristais de granada (Figura 10, fotomicrografia j).

Os cristais de biotita possuem pleocroísmo variando do marrom ao vermelho e, em sua maioria, são secundários. Podem ocorrer em bordas de granada.

Os cristais de muscovita são raros nesta rocha, mas quando ocorrem aparecem como inclusões em cristais de granada e cianita ou nas bordas dos mesmos.

Os cristais de zircão, e monazita ocorrem dispersos pela lâmina com granulação muito fina e podem ocorrer como inclusões em granada. Os cristais de apatita ocorrem dispersos na matriz da rocha. Os cristais de rutilo, ilmenita e outros minerais opacos muitas vezes aparecem orientados segundo a foliação principal, outras vezes aparecem como inclusões em granadas, biotitas e cianitas. Os cristais de clorita em ocorrem como inclusões em cristais de granada.

O quadro 6 mostra a relação de cristalização dos minerais.

Quadro 6: sequência de cristalização do biotita-cianita-granada granulito

Mineral	%	S1	inter	S2	inter	S3	pós
Ms	até 1	-----					-----
Bt	até 15	-----		-----			-----
Grt	até 20		-----	---			
Ky	até 15			-----			
Qtz	até 40	-----	-----	-----	-----	-----	--
Plg	até 15	-----	-----	-----	-----	-----	--
Kfs	até 10			-----			
Sill	traço						--
Chl	traço	---					

8.2.4.2 *Sillimanita Quartzito*

Foi descrita apenas uma lâmina deste litotipo o qual possui textura granoblástica com níveis nematoblásticos definidos por cristais de sillimanita (Figura 10, fotomicrografia a), granulação fina a média (0,05 a 1,5 mm) e composta por quartzo (~68%), sillimanita (~25%), granada (~3%), biotita (~3%) e minerais acessórios como rutilo, zircão e minerais opacos.

Os cristais de quartzo possuem tamanhos variados, apresentam contatos tríplexes, poligonizados. Observam-se feições de subgrãos recristalizados nas bordas de outros cristais. Os cristais de quartzo possuem extinção ondulante e localmente possui formas lenticularizadas. Podem ocorrer como inclusões em granadas.

Os cristais de sillimanita ocorrem na rocha definindo a foliação principal (S2), que se apresenta deformada/dobrada. Localmente observam-se relíquias de cristais de cianita que foram substituídos pelos cristais de sillimanita. Há cristais de sillimanita que se desenvolveram obliquamente a foliação metamórfica.

Os cristais de granada possuem formas xenoblásticas ou sub-idioblásticas. A maioria deles são porfiroblásticos, mas alguns deles possuem tamanhos semelhantes aos outros minerais que compõem a rocha. A granada pode ocorrer livre de inclusões e com inclusões de quartzo, rutilo e minerais opacos, que por sua vez ocorrem sem nenhuma orientação preferencial. A foliação externa se amoldando aos cristais de granada, sugerindo um crescimento pré S2. Ocorrem cristais de biotita consumindo bordas das granadas.

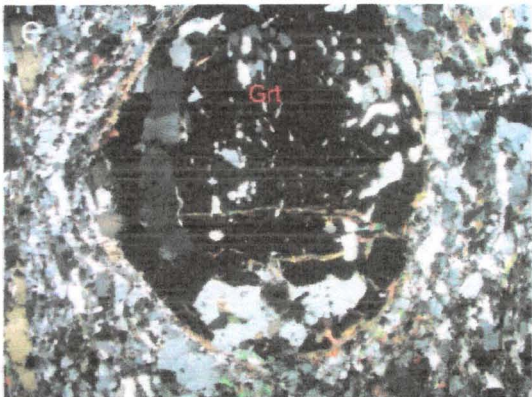
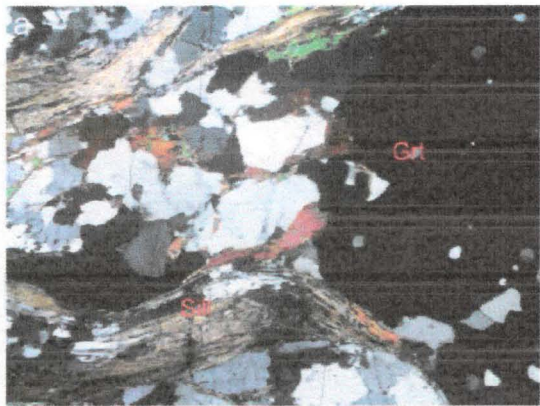
Os cristais de biotita estão orientados na direção da foliação principal (S2), mas podem ocorrer numa direção oblíqua definindo uma foliação posterior (S3). Aparecem também como inclusões ou associados às bordas dos cristais de granada.

Zircão, rutilo e minerais opacos são acessórios e em grande parte ocorrem dispersos pela lâmina sem nenhuma orientação principal. Estes minerais são de granulação muito fina e ocorrem também como inclusões principalmente nos cristais de granada.

O quadro 7 apresenta a blastese da rocha.

Quadro 7: Sequência de cristalização do sillimanita quartzito

Mineral	%	S1	inter	S2	pós
Qtz	68	_____	_____	_____	--
Sill	25			_____	--
Grt	3		_____	_____	
Bt	3			_____	--



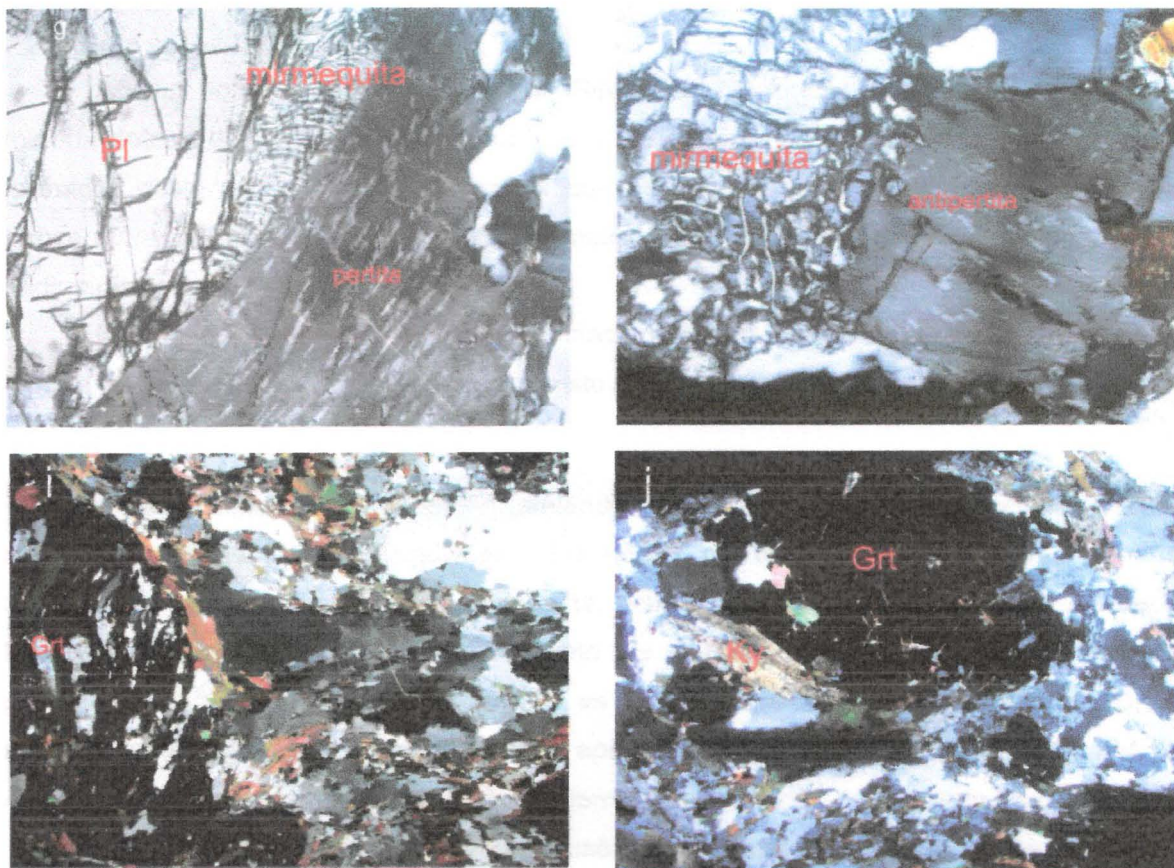


Figura 10: Fotomicrografias da *Klippe Aiuruoca*; **a:** sillimanita-quartzo xisto com porfiroblasto de granada, objetiva: 4x, com eixo horizontal = 3,25 mm e polarizadores cruzados (NESG-601G). **b:** visão geral do granulito, objetiva : 1,25x, com eixo horizontal = 10,4 mm e polarizadores descruzados (NESG-1050A). **c:** mirmequita, objetiva 10x, com eixo horizontal = 1,3 mm e polarizadores cruzados (NESG-1051A). **d:** porfiroblasto de plagioclásio com gotas de quartzo, objetiva: 10x, com eixo horizontal = 1,3 mm e polarizadores cruzados (NESG-1050C). **e:** granada poiquiloblástica, objetiva : 1,25x, com eixo horizontal = 10,4 mm e polarizadores cruzados (NESG-702B). **f:** cianita apresentando kink band, objetiva: 4x, com eixo horizontal = 3,25 mm e polarizadores cruzados (NESG-1050A). **g:** mirmequita entre cristais de plagioclásio e ortoclásio peritítico objetiva: 10x, com eixo horizontal = 1,3 mm e polarizadores cruzados (SNA-64). **h:** mirmequita em contato com plagioclásio antipertítico, objetiva: 10x, com eixo horizontal = 1,3 mm e polarizadores cruzados (SNA-64). **i:** porfiroblasto de granada com inclusões orientadas obliquamente a foliação externa, objetiva : 1,25x, com eixo horizontal = 10,4 mm e polarizadores cruzados (NESG-1054A). **j:** cristal de cianita consumindo borda de granada, objetiva: 1,25x, com eixo horizontal = 10,4 mm e polarizadores cruzados (NESG-1051B).

9. Interpretação e Discussão dos Resultados

9.1 Metamorfismo

9.1.1 Sequência Carrancas

Apesar do sericita quartzo xisto da Sequência Carrancas não possuir paragênese mineral dotada de algum mineral índice capaz de exprimir com precisão as condições de formação desta rocha, é possível estimar que esta tenha se formado em condições de temperatura baixas devido a granulação muito fina e às relíquias de um acamamento sedimentar presentes nela

No muscovita-quartzo xisto com granada visto em campo a presença da granada mostra que este litotipo encontra na fácies xisto verde na zona da granada

9.1.2 Nappe Andrelândia

Regionalmente, na *Nappe* Andrelândia a associação estaurolita-cianita-biotita-muscovita-granada-quartzo±plagioclásio-rutilo ocorre na base da estrutura, e a mesma associação, só que desprovida de estaurolita, ocorre próxima aos contatos com a *Nappe* Liberdade. A isógrada do desaparecimento da estaurolita (estaurolita-out) é traçada paralelamente ao contato tectônico entre as estruturas e a diferença entre as zonas metamórficas indica que o metamorfismo apresenta padrão invertido dentro da *Nappe* Andrelândia, com a associação de mais alta temperatura no topo da estrutura (Motta, 2009).

No presente trabalho, apesar da ausência de estaurolita algumas evidências de inversão metamórficas foram observadas.

Primeiramente, no perfil realizado em campo, é notório que ao caminharmos sobre as rochas da *Nappe* Andrelândia, do topo para a base, as lentes e bolsões quartzo-feldspáticos diminuem, sugerindo uma taxa de fusão parcial destas rochas do topo da nappe (Figura 11). Microscopicamente estas feições de maior grau de fusão parcial no topo também se confirmaram.

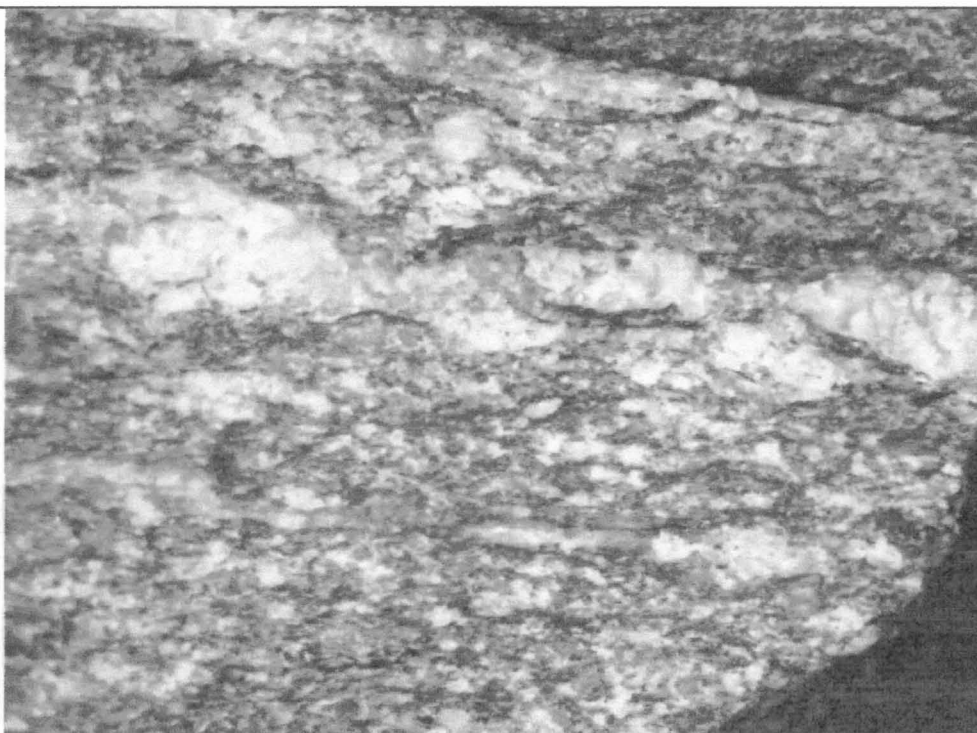


Figura 11: Lentes quartzo-feldspáticas do Xisto Santo Antônio do topo (SNA-68)

As lâminas petrográficas correspondente ao topo (Tabela 2) da estrutura mostram bandas quartzo-feldspáticas de granulação grossa, pobre em minerais micáceos. As biotitas presentes nessas rochas são de coloração marrom avermelhada (Figura 12, fotomicrografia b e f), sugerindo que são de altas temperaturas. Aspectos texturais nas lentes de leucossoma, como; contatos lobados entre cristais de quartzo, entre cristais de quartzo e biotita (Figura 12, fotomicrografia k e l), cristais de plagioclásio e biotita (Figura 12, fotomicrografia j) e entre cristais de quartzo e plagioclásio (Figura 12, fotomicrografia i), confirmam as condições de alta temperatura.

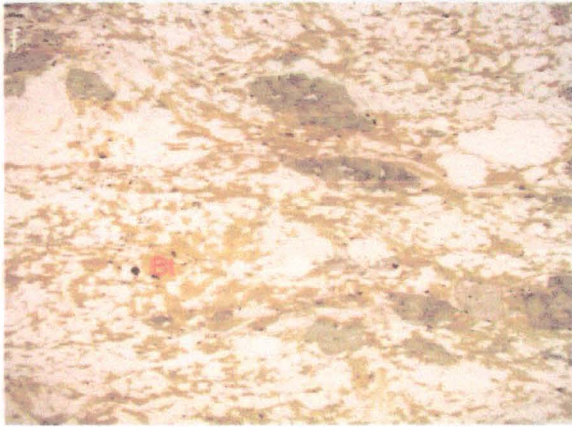
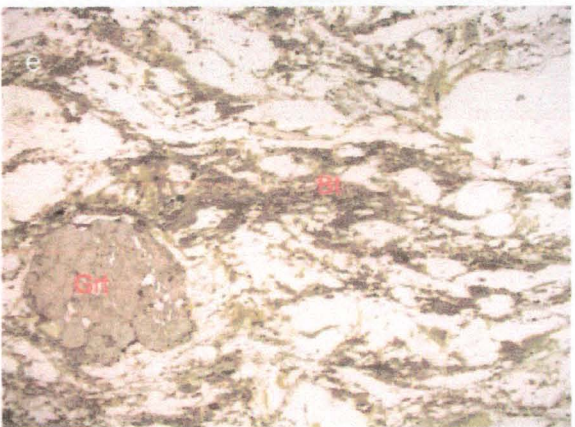
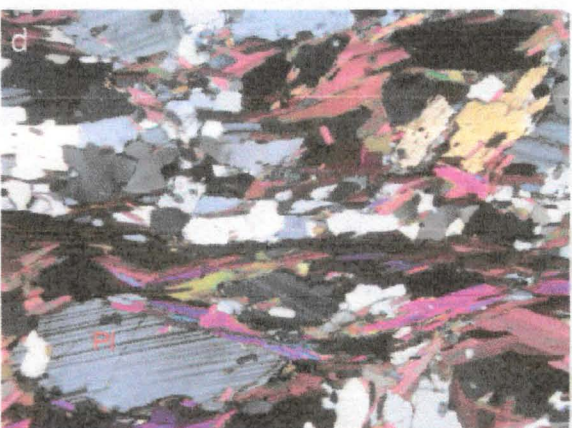
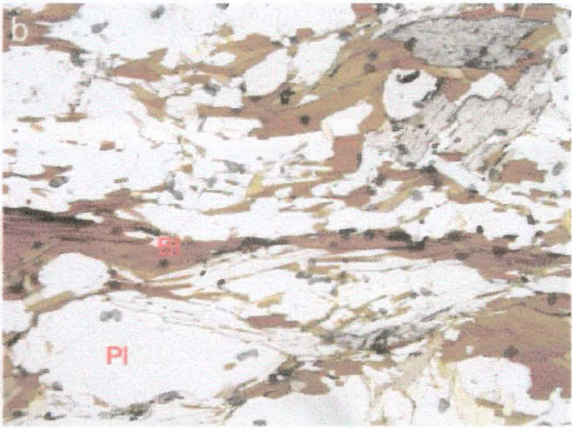
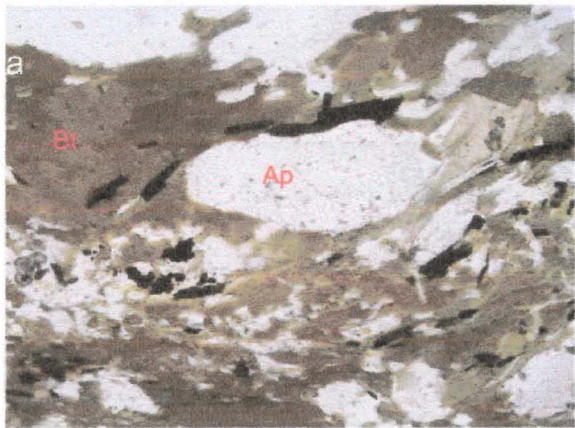
Em direção à base da estrutura o as lentes quartzo-feldspáticas do xisto Santo Antonio são menos frequentes (Figura 12, fotomicrografia g) e os contatos lobados não são tão evidentes quanto às rochas do topo. Além disso, os cristais de biotita possuem tons esverdeados (Figura 12, fotomicrografia a e e), o que não caracteriza rochas de temperaturas muito elevadas.

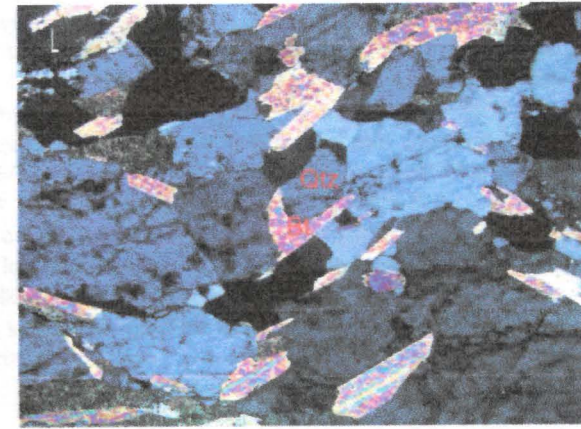
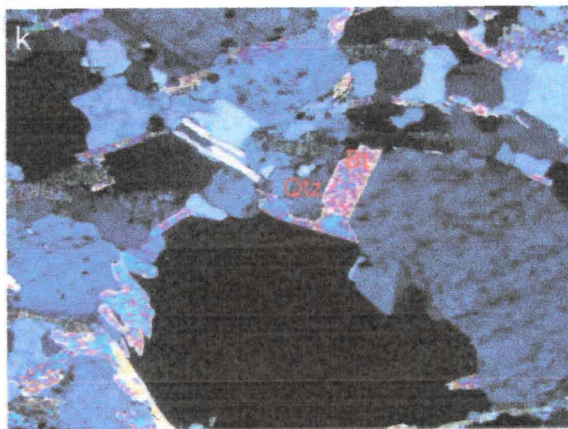
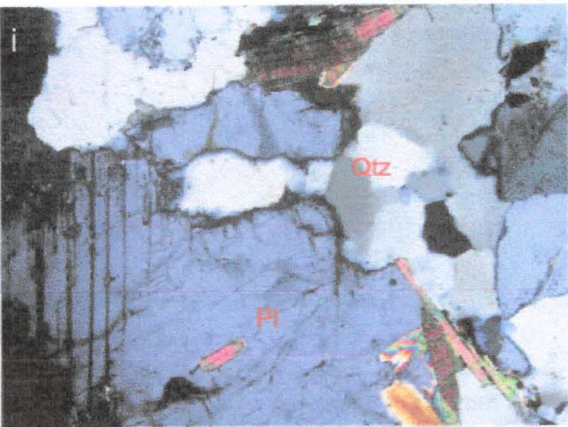
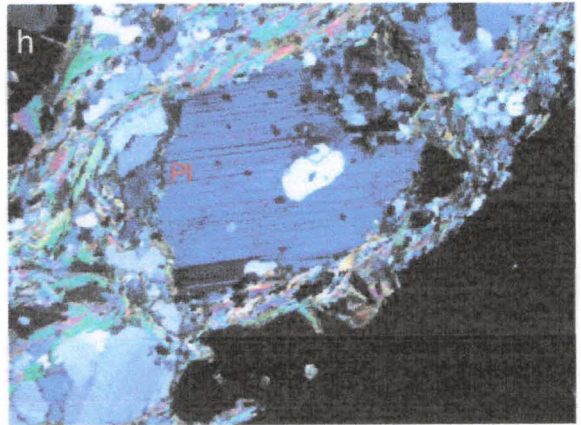
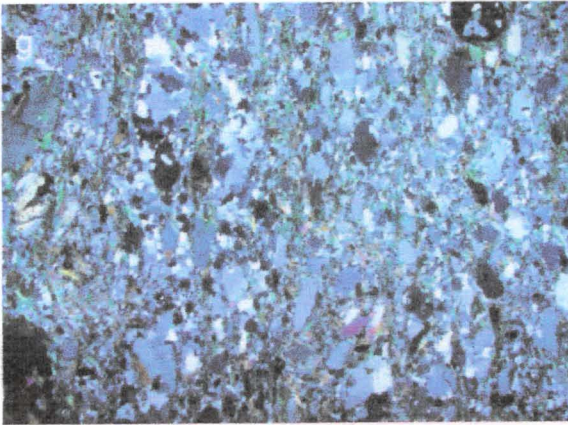
É muito comum encontrar cristais de sillimanita muito finos, como fibrolitas, nos interstícios dos contatos entre cristais de quartzo e plagioclásio (Figura 11, fotomicrografia m, n, o e p), sugerindo uma contemporaneidade entre as bandas quartzo-feldspáticas e a trajetória de decompressão. A evidência de decompressão quase instantânea, em temperaturas acima de 650°C, faz com que as rochas sofram anatexia por decompressão, e, como consequência, as rochas passam por processos de fusão parcial mesmo não tendo atingido temperaturas de quebra de muscovita total e aparecimento de feldspato alcalino.

As lâminas referentes à base e ao topo da *Nappe Andrelândia* estão listadas na tabela 2.

	Topo	Base
Lâminas	SNA-67AI, SNA-67AII, SNA67B, SNA-67C, SNA- 67D, SNA-67E, SNA-67F, SNA-68	NESG-1067, NESG-1069, NESG1071, SNA-72A, SNA-72B, SNA-72C

Tabela 2: lâminas referentes à base e ao topo da *Nappe Andrelândia*





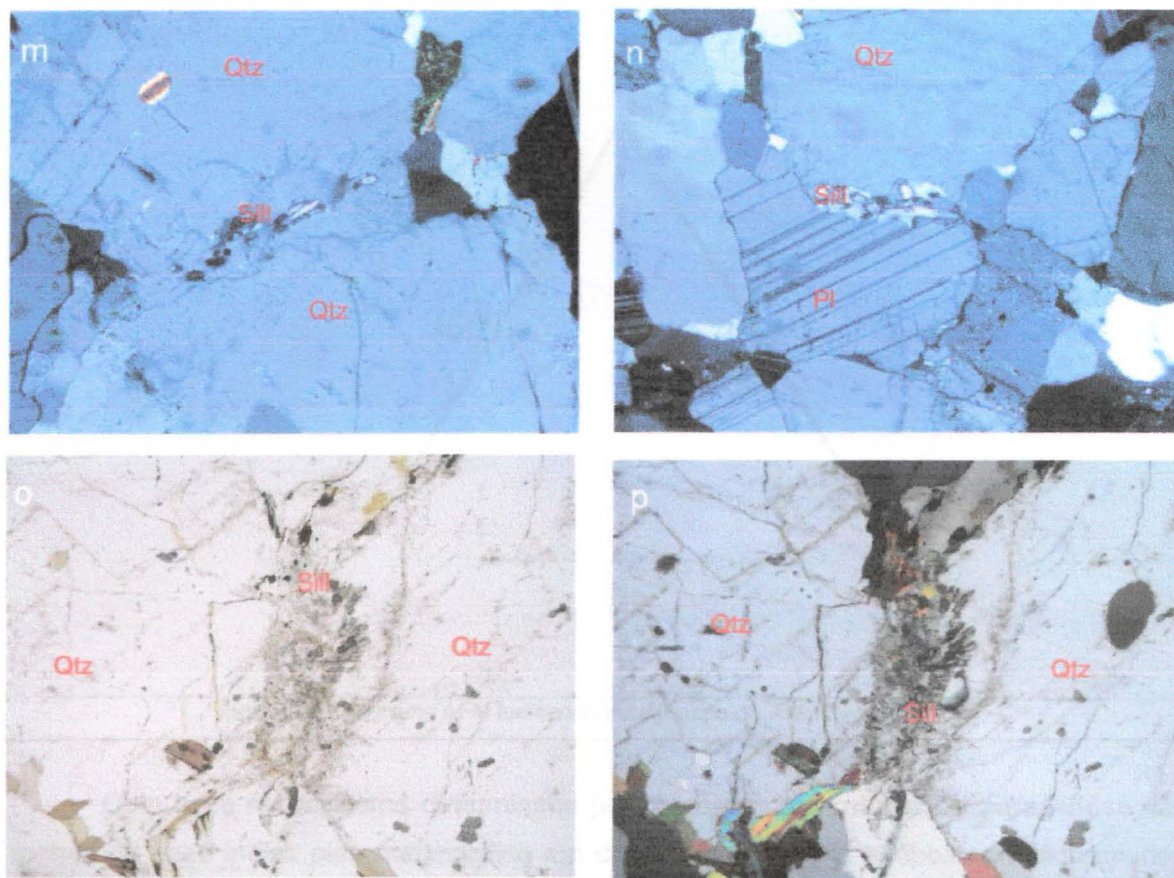
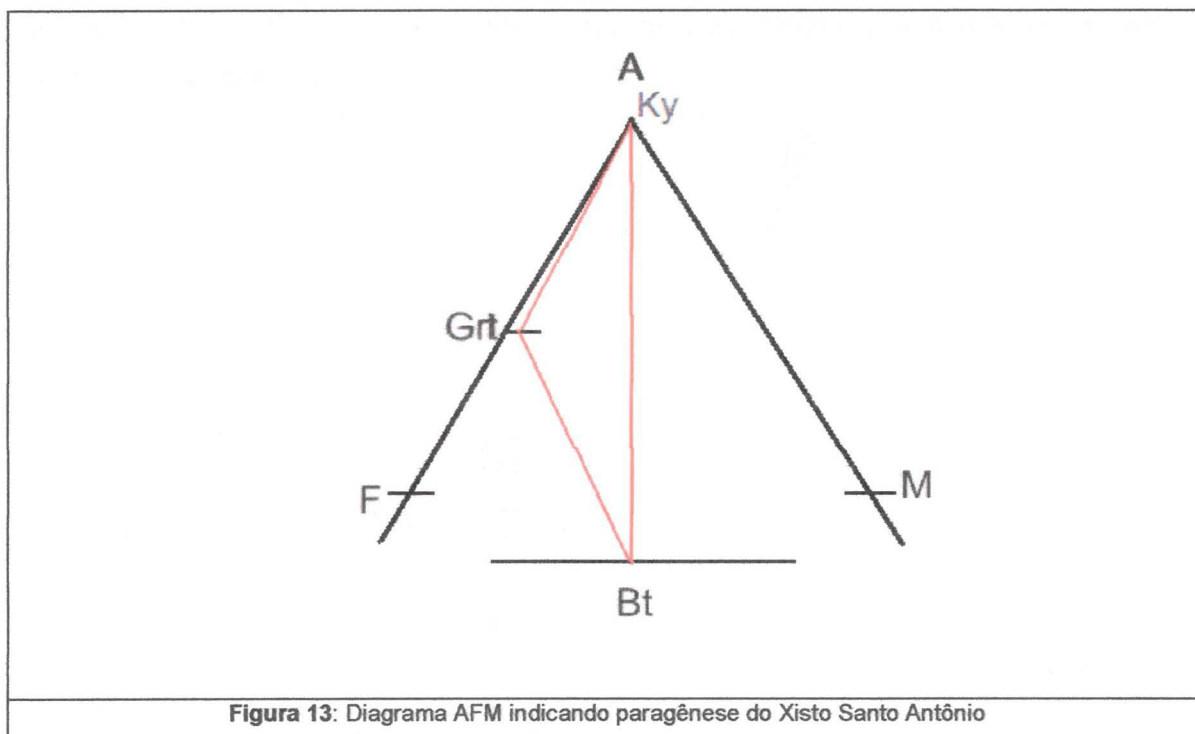


Figura 12: Fotomicrografia do Xisto Santo Antônio da base e do topo; a: biotitas esverdeadas definindo foliação, objetiva: 10x, com eixo horizontal = 1,3 mm polarizadores descruzados (NESG-1069). b: biotitas marrom-avermelhadas definindo a foliação, objetiva: 4x, com eixo horizontal = 3,25 mm polarizadores descruzados (SNA-68). c: visão geral do Xisto Santo Antônio da base, objetiva: 1,25x, com eixo horizontal = 10,4 mm polarizadores cruzados (NESG-1069). d: idem a b com polarizadores cruzados. e: idem a c com polarizador descruzado. f: visão geral do Xisto Santo Antônio do topo, objetiva: 1,25x, com eixo horizontal = 10,4 mm polarizadores descruzados (SNA-67F). g: visão geral do Xisto Santo Antônio da base, objetiva: 1,25x, com eixo horizontal = 10,4 mm polarizadores cruzados (NESG-1071). h: visão geral do Xisto Santo Antônio da base, objetiva: 4x, com eixo horizontal = 3,25 mm polarizadores cruzados (NESG-1071). i: cristal de quartzo em contato lobado com cristal de plagioclásio, objetiva: 10x, com eixo horizontal = 1,3 mm polarizadores cruzados (SNA-67A). j: cristal de biotita e plagioclásio em contato lobado, objetiva: 10x, com eixo horizontal = 1,3 mm polarizadores cruzados (SNA-67A). k: cristal de quartzo e biotita em contato lobado, objetiva: 10x, com eixo horizontal = 1,3 mm polarizadores cruzados (SNA-67A). l: idem a k. m e n: sillimanita intersticial, objetiva: 10x, com eixo horizontal = 1,3 mm polarizadores cruzados (SNA-67E). o: sillimanita intersticial, objetiva: 10x, com eixo horizontal = 1,3 mm polarizadores descruzados (SNA-67A). p: idem com polarizador cruzado.

As rochas da *Nappe* Andrelândia da base e do topo possuem a associação biotita+granada+cianita na unidade do Xisto Santo Antônio (Figura 12), e campo metamórfico dessas rochas podem ser observados nos diagramas da figura 13.



Com base no diagrama determinado por reações experimentais, a paragênese das rochas da base indica pico metamórfico em condições de fácies anfibolito médio-superior, com temperaturas entre 620 a 725 °C e pressões no intervalo de 12 a 15 kbar (figura 13).

A ausência de estaurólita sugere que a rocha ultrapassou reações de quebra da estaurólita e o surgimento da cianita expressas por:

- estaurólita → granada + cianita

que ocorre à temperaturas entre 600 a 650 °C e pressões entre 7 a 13 Kbar (Spear e Cheney, 1989)

- estaurólita + muscovita → granada + biotita + cianita + H₂O,

que ocorre à temperaturas entre 600 e 660 °C (Powell *et al.*, 1998).

- estaurólita + clorita → biotita + cianita + H₂O,

que ocorre à temperaturas entre 600 a 620 °C (Spear, 1993)

A presença de biotita consumindo as bordas de cristais de muscovita e a presença de sillimanita nestes xistos sugere descompressão isotérmica que essas rochas sofreram, com pequena variação na temperatura e queda significativa de pressão (Figura 13), e a reação que mostra esta descompressão através dos cristais de biotita consumindo bordas de muscovita é expressa por:

- Granada + muscovita → biotita + cianita que ocorre à temperaturas entre 620 a 715 °C e pressões aproximadas de 12 Kbar. (Le Breton & Thompson, 1988)

Evidências de retrometamorfismo não são muito evidentes. Podem ser observadas apenas quando se visualizam cristais de muscovita consumindo bordas de cianita, cloritas e

biotitas consumindo bordas de granadas que ocorrem devido a uma possível queda de temperatura e reidratação da rocha.

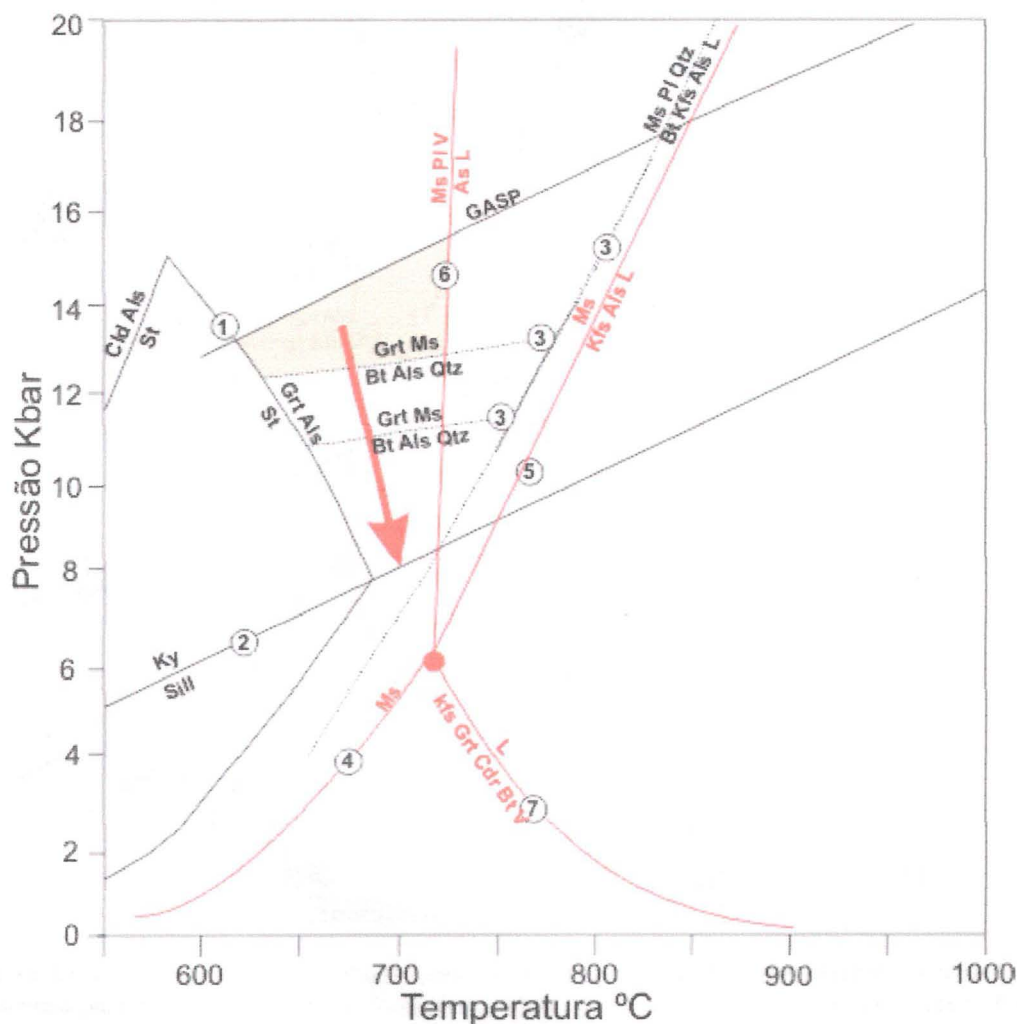


Figura 13: Condições estimadas de formação para as rochas da base da *Nappe* Andrelândia. Linhas 3: reações experimentais para pelitos (Le Breton & Thompson, 1988); Linha 1: campo da estauroлита (Spear & Cheney, 1989); linha 2: reação cianita-sillanita (Berman, 1988); GASP (Newton & Haselton, 1981); Linhas 4, 5 6 7: (Spear *et al.*, 1999)

O campo metamórfico do Xisto Santo Antônio do topo da estrutura está esquematizado na figura 14, que mostra que essas rochas atingiram o pico metamórfico em fácies anfibolito superior com temperaturas variando de 725 a 840 °C e pressões próximas de 18 Kbar.

A presença de lentes de leucossoma em presença de muscovita e antes do aparecimento de K-feldspato pode ser expressa pela reação:

- Muscovita + plagioclásio → Cianita + líquido que ocorre em temperaturas entre 725 a 730 °C pressões acima de 5 Kbar. (Spear *et al.*, 1999)
- Muscovita + quartzo + H₂O → cianita + líquido (Spear *et al.*, 1999)

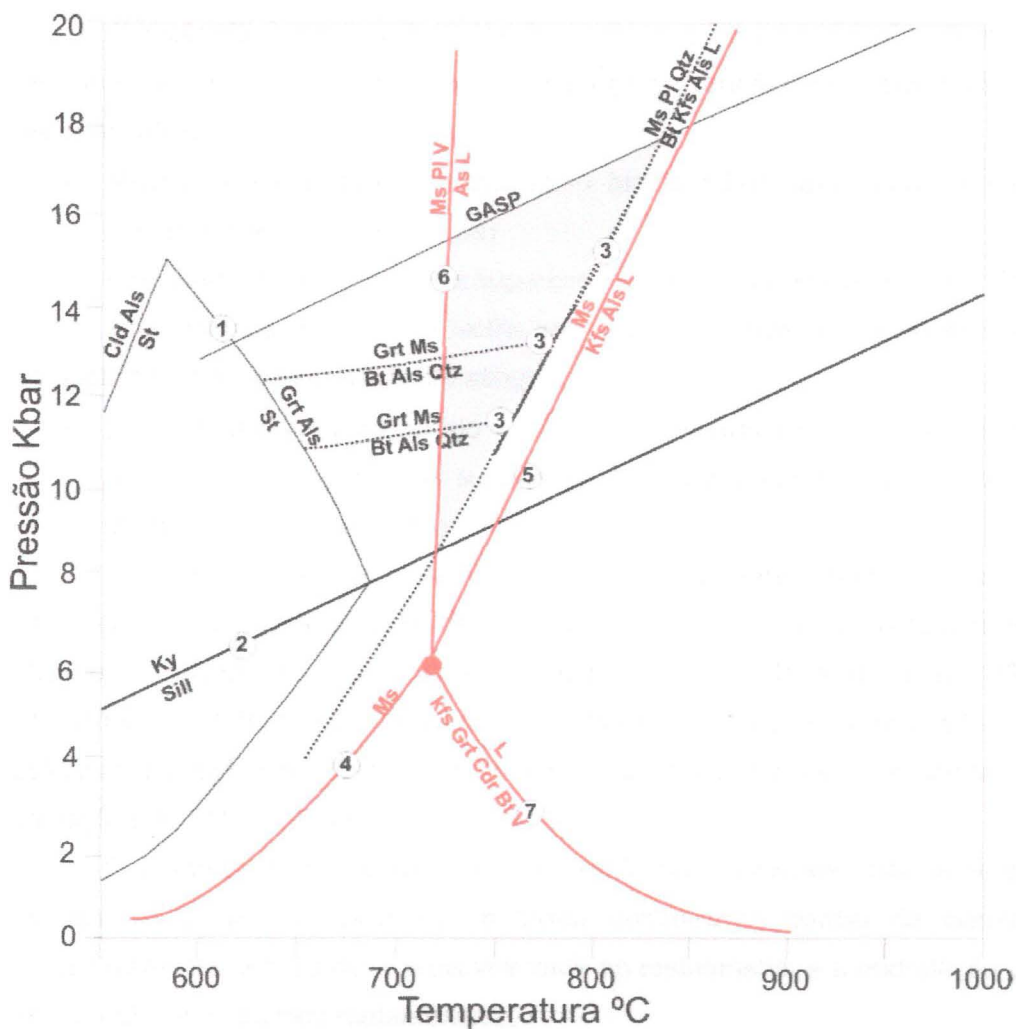


Figura 14: Condições estimadas de formação para as rochas do topo da *Nappe Andreilândia*. Linhas 3: reações experimentais para pelitos (Le Breton & Thompson, 1988); Linha 1: campo da estauroлита (Spear & Cheney, 1989); linha 2: reação cianita-sillimanita (Berman, 1988); GASP (Newton & Haselton, 1981); Linhas 4, 5 6 7: (Spear *et al.*, 1999)

9.1.3 *Klippe Aiuruoca*

As rochas da *Klippe Aiuruoca* possuem a associação a quartzo+plagioclásio+feldspato alcalino+granada+cianita+biotita. As bandas felsicas com plagioclásio + quartzo + feldspato alcalino sugerem leucossoma, ou seja, líquido. A presença de texturas ígneas como mimetização de minerais félsicos, contatos tríplices entre estes minerais, cianita e granada cristalizada no leucossoma como produto sólido das reações de fusão, presença de granadas com intercrescimento de quartzo (Waters, 2001) e a paragênese rutilo+feldspato alcalino+cianita+granada (O'Brien & Rötzler, 2003) confirmam que estas rochas passaram por processos de anatexia e que se formaram em fácies granulito, com temperaturas variando de 700 a 950 °C e, superiores a 8 Kbar (Figura 15).

A ausência de muscovita estável com a paragênese principal sugere que condições de quebra incongruente do mineral foram atingidas, reações de desidratação e geração de feldspato alcalino:

- Muscovita + plagioclásio + quartzo \rightarrow biotita + feldspato alcalino + cianita + líquido (Le Breton e Thompson, 1988)

que ocorre em temperaturas superiores a 700°C e pressões mínimas de 8 kbar

A quantidade escassa de biotita em texturas progressivas é sugestiva que reações de quebra do mineral pode ter sido atingidas:

- biotita + cianita + plagioclásio + quartzo \rightarrow granada + feldspato alcalino + líquido que ocorrem em temperaturas superiores 850°C e pressões mínimas de 10 kbar. (Le Breton e Thompson, 1988)

As condições do pico metamórfico observado pela petrografia são concordantes com os cálculos realizados através geotermobarometria em outros trabalhos realizados em *Nappes* e *Klippen* correlacionáveis a *Klippe* Aiuruoca. Moraes *et al.* (2003) calculam condições de 920°C / 12,5 kbar na *Nappe* Três Pontas-Varginha; Campos Neto *et al.*, (2009) calculam condições de 850°C / 15 kbar para a *Klippe* Carvalhos; e, Motta (2009) calcula condições de 815°C / 14 kbar.

O retrometamorfismo desta rocha não é muito evidente, mas pode ser observado através de cristais de muscovita e biotita consumindo bordas de cianita e granada, respectivamente. Isto se deve provavelmente ao resfriamento e a reidratação da rocha após esta ter atingido seu pico metamórfico.

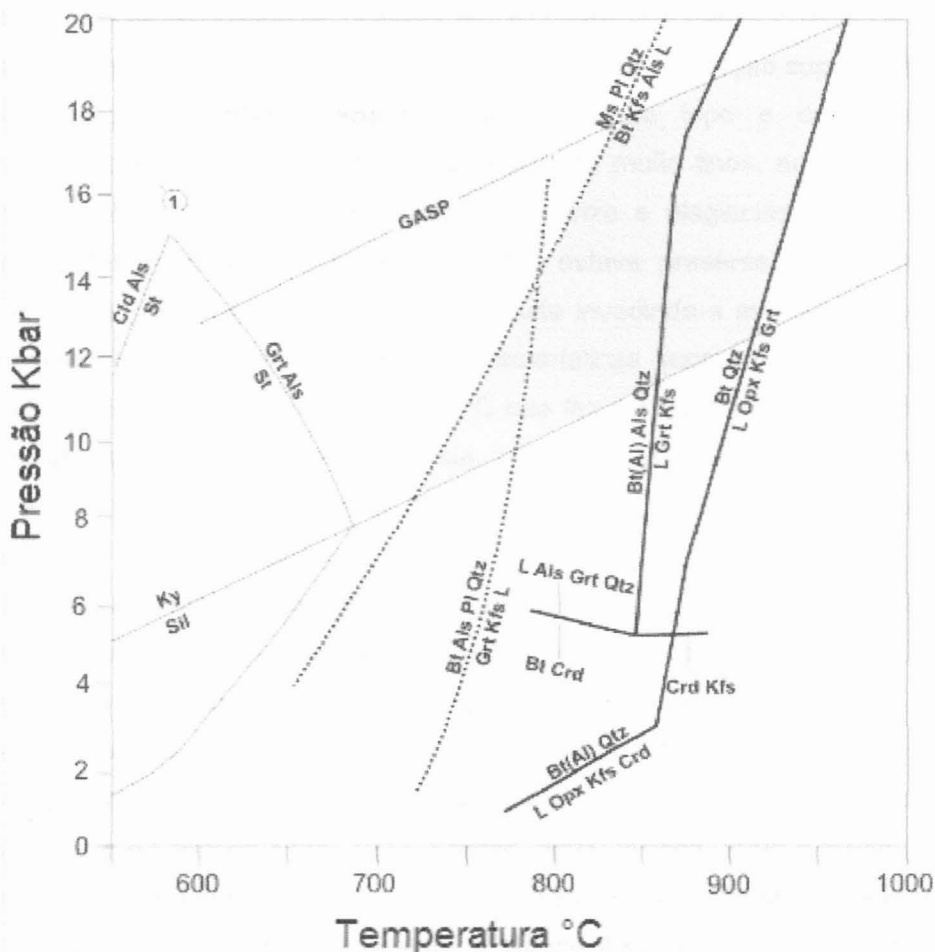


Figura 14: Condições estimadas de formação para as rochas da *Klippe Aiuruoca*. Linhas pontilhadas: reações experimentais para pelitos (Le Breton & Thompson, 1988); linha grossa: reações experimentais para wacke (Vielzeuf & Holloway, 1988); campo da estaurolita (Spear & Cheney, 1989); reação cianita-sillimanita (Berman, 1988); GASP (Newton & Haselton, 1981);

10. Conclusões

Através do perfil realizado no trabalho de campo e das descrições petrográficas foi possível estimar as condições de pressão e temperatura que as rochas da *Nappe Andrelândia* e *Klippe Aiuruoca* se formaram.

O Xisto Santo Antônio estudado na *Nappe Andrelândia* possui paragêneses sem estaurolita, com muscovita, o par cianita-biotita e plagioclásio configurando condições metamórficas em fácies anfibolito médio-superior, na zona da cianita. Indícios de metamorfismo invertido foram encontrados no interior desta *nappe*. Lentes e bolsões de leucossoma foram encontrados nas rochas do topo e diminuem gradativamente em direção a base da estrutura. Petrograficamente, no topo da estrutura as lentes quartzo-feldspáticas possuem granulação mais grossa e pouco micáceas. As biotitas possuem coloração marrom avermelhadas no topo da estrutura, sugerindo que são de altas temperaturas, ao passo que na base a biotita possui pleocroísmo esverdeado, sugestivo de temperaturas mais baixas.

Contatos lobados entre cristais de quartzo, entre cristais de quartzo e biotita e entre cristais de quartzo e plagioclásio, confirmam a presença de líquido na porção superior da estrutura.

Nas porções quartzo-feldspática das rochas do topo e da base da *Nappe* Andrelândia é comum encontrar cristais de sillimanita muito finos, na variedade fibrolitas, nos interstícios dos contatos entre cristais de quartzo e plagioclásio, sugerindo que no momento da descompressão o material fundido estava presente. Nas rochas da base cristais de biotita consumindo bordas de muscovita invadindo-a através de suas clivagens também evidencia descompressão. Estas características sugerem descompressão quase instantânea, em temperaturas acima de 650°C que faz com que as rochas sofram anatexia por descompressão, e, como consequência, as rochas passam por processos de fusão parcial mesmo não tendo atingido temperaturas de quebra de muscovita total e aparecimento de feldspato alcalino.

A *Klippe* Aiuruoca possui granulitos que apresenta indícios de quebra de biotita e muscovita e condições anteriores ao aparecimento do ortopiroxênio campo que exprime condições de metamorfismo em fácies granulito de alta pressão.

As feições de leucossoma mais desenvolvidas no topo da *Nappe* Andrelândia, portanto sugere metamorfismo invertido na estrutura. A inversão já foi observada em outros trabalhos (Garcia e Campos Neto, 2003; Santos, 2004; Westin, 2008 e Motta, 2009). Motta (2009) interpreta que a sobreposição de lascas tectônicas mais profundas (*Nappe* Liberdade e *nappes* superiores, a qual se enquadra a *Klippe* Aiuruoca aqui estudada) ocorre em caráter sin metamórfico, podendo neste caso fornecer calor para o topo da *Nappe* Andrelândia, gerando o caráter inverso do metamorfismo na estrutura.

Esse modelo é concordante com os modelos de fluxo de canal (Jamieson. *et al.*, 2003) para o MCT, em que a subducção de crostas mais frias, criam um canal preferencial para porções mais profundas e quentes, portanto menos densas, extrudirem, gerando configuração invertida do metamorfismo entre lascas tectônicas e dentro dos pacotes extrudidos tectonicamente. Isso é observado no Sistemas de *Nappes* Andrelândia, onde as rochas da *Klippe* Aiuruoca, pertencentes as *nappes* superiores, de fácies granulito, encontra-se sobreposta tectonicamente sobre *Nappe* Liberdade, de grau metamórfico mais baixo. O mesmo ocorre entre as *nappes* Liberdade e Andrelândia e entre a *Nappe* Andrelândia e a Sequência Carrancas. Dentro dos pacotes de *nappes* inversão metamórfica também é observada como nos trabalhos de Garcia & Campos Neto (2003), Westin (2008), Cioffi (2009) e Motta (2009), assim como neste.

Portanto neste trabalho foi possível observar que as rochas da *Nappe* Andrelândia possuem evidências de padrão metamórfico invertido e que o Grupo Carrancas, a *Nappe* Andrelândia, a *Nappe* Liberdade e a *Klippe* Aiuruoca estão dispostos, nesta ordem da base

para o topo, num empilhamento tectônico onde as rochas do topo possuem grau metamórfico maior que as rochas da base desta pilha.

11. Referências Bibliográficas

- BEAUMONT, C.; JAMIESON, R.A.; NGUYEN, M.H. & LEE, B. 2001. Himalayan tectonics explained by extrusion of a low-viscosity crustal channel coupled to focused surface denudation. *Nature*, **414**, 738-742.
- BEAUMONT, C.; JAMIESON, R.A.; NGUYEN, M.H.; MEDVEDEV, S. 2004. Crustal channel flows: 1. Numerical models with applications to the tectonics of the Himalayan-Tibetan orogen. *Journal of Geophysical Research*, **109**, 1-29.
- BERMAN, R. G., 1988. Internally consistent thermodynamic data for stoichiometric minerals in the system $\text{Na}_2\text{O}-\text{K}_2\text{O}-\text{Fe}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2-\text{TiO}_2-\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2$. *Journal of Petrology*, **29**, 445-522.
- 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*, **22** (3): 155-166.
- CAMPOS NETO M.C. & CABY R. 1999. Tectonic constraint on Neoproterozoic high-pressure metamorphism from the *Nappe* system south of the São Francisco Craton, southeast Brazil. *Precambrian Research*, **97**, 3-26.
- CAMPOS NETO M.C. & CABY R. 2000. Terrane accretion and upward extrusion of high-pressure granulites in the Neoproterozoic *Nappes* of southeast Brazil: Petrologic and structural constraints. *Tectonics*, **19**, 669-687.
- CAMPOS NETO M.C. 2000. Orogenic Systems from Southwestern Gondwana: an approach to Brasiliano-Pan African cycle and orogenic collage in southeastern Brazil. *Tectonic Evolution of South America*, 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. *Geologia- USP, Série Científica*, **4** (1): 13-40.
- CAMPOS NETO, M.C.; JANASI V.A.; BASEI M.A.S.; SIGA JR O. 2007. Sistema de *Nappes* Andrelândia, setor oriental: Litoestratigrafia e posição estratigráfica. *Revista Brasileira de Geociências*, **37** (4 - suplemento): 47-60.
- CAMPOS NETO M.C., CIOFFI C.R., MORAES R., MOTTA R.G., SIGA JR O., BASEI M.A.S. 2009. Structural and metamorphic control on the exhumation of high-*P* granulites: the

Carvalhos *Klippe* example, from the oriental Andrelândia *Nappe* system, southern portion of the Brasília Orogen, Brazil. *Precambrian Research*.

CIOFFI, C.R. 2006. *Integração geológica-estrutural da Klippe Carvalhos: Granulitos de alta pressão do Grupo Andrelândia, sul do Cráton do São Francisco*. Monografia de Trabalho de Formatura, IGc-USP, 45pp.

CIOFFI, C.R. 2009. *Geologia dos granulitos de alta pressão da Klippe Carvalhos, extensão sul da Faixa Brasília*. Dissertação de Mestrado, IGc-USP, 104 pp.

ENGLAND, P.C. & THOMPSON, A.B. 1984. Pressure-temperature-time paths of regional metamorphism I. Heat transfer during the evolution of regions of thickened continental crust. *Journal of Petrology*, **25**: 894-928.

GARCIA M.G.M. & CAMPOS NETO M.C. 2003. Contrasting metamorphic conditions in the Neoproterozoic collision-related nappes south of São Francisco Craton, SE Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, **15** (8): 853-870.

GODIN, L.; GRUJIC, D.; LAW, R.D. & SEARLE, M.P. 2006. Channel flow, ductile extrusion and exhumation in continental collision zones: an introduction. In: Law, L.R.D., Searle, M.P. & Godin, L. (eds) *Channel Flow, Ductile Extrusion and Exhumation in Continental Collision Zones*. *Geological Society, London, Special Publications*, **268**, 1-23.

GOSCOMBE, B. & HAND, M. 2000. Contrasting P-T paths in the Eastern Himalaya, Nepal: Inverted isograds in a Paired Metamorphic Mountain Belt. *Journal of Petrology*, **41**: 1673-1719.

JAMIESON, R.A.; BEAUMONT, C.; NGUYEN, M.H. & LEE, B. 2002. Interaction of metamorphism, deformation and exhumation in large convergent orogens. *Journal of metamorphic Geology*, **20**, 9-24.

JOHNSON, M.R.W. & STRACHAN, R.A. 2006. A discussion of possible heat sources during *Nappe* stacking: the origin of Barrovian metamorphism within the Caledonian thrust sheets of NW Scotland. *Journal of the Geological Society, London*, **163**: 579-582.

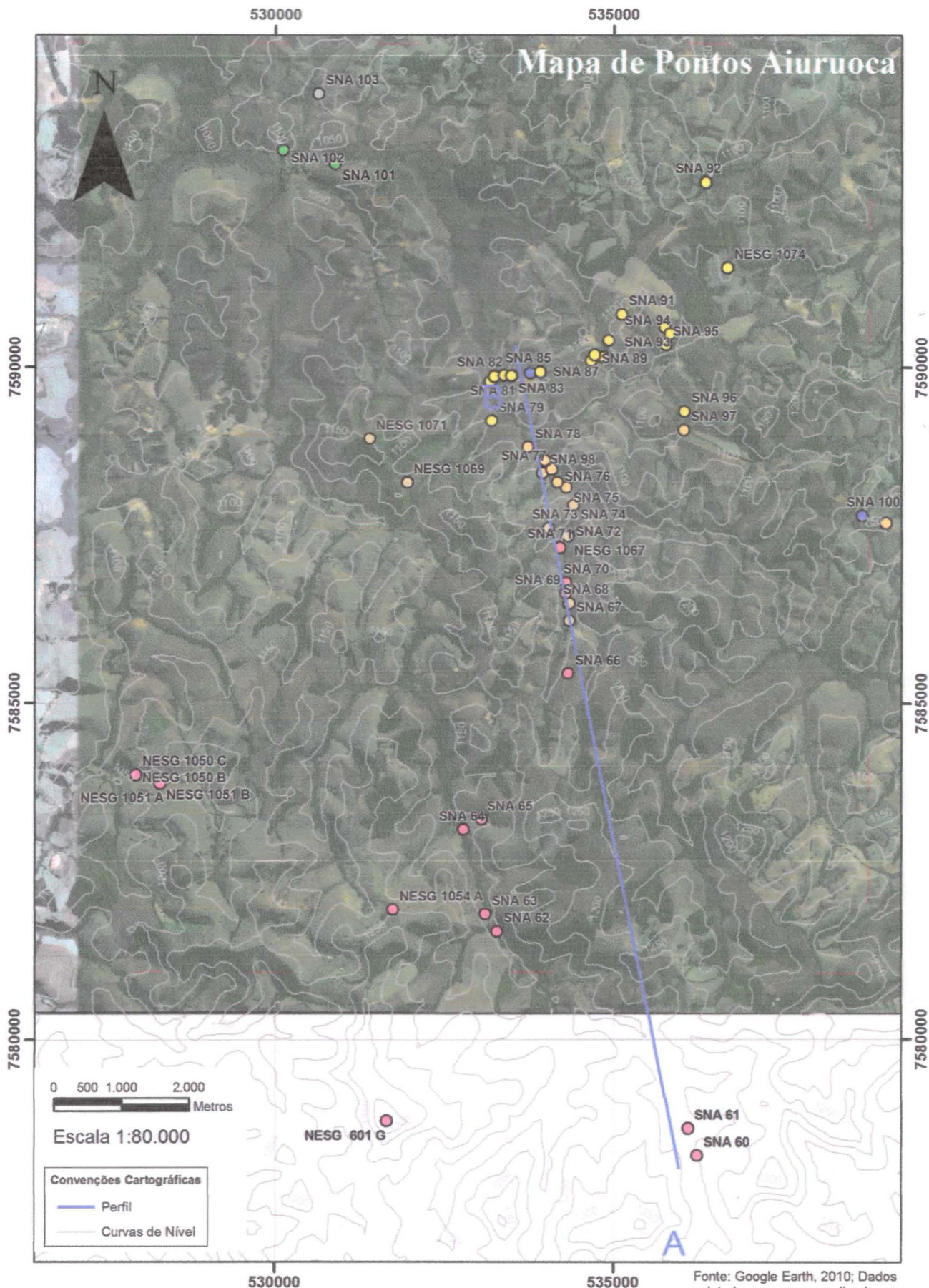
KOHN, M.; CATLOS, E.J.; RYERSON, F.J. & HARRISON, T.M. 2001. Pressure-temperature-time path discontinuity in the Main Central thrust zone, central Nepal. *Geology*, **29** (7): 571-574.

- LE BRETON, N. & THOMPSON, A.B. 1988. Fluid-absent (dehydration) melting of biotite in metapelites in the early stages of crustal anatexis. *Contribution to Mineralogy and Petrology*, **99**, 226-237.
- MEIRA, V.T. 2005. *Integração metamórfica e estrutural da Serra de Santo Antônio: Neoproterozóico da borda sul do cráton do São Francisco*. Monografia de Trabalho de Formatura, IGc-USP (inédita): 47 pp.
- MORAES R., PETERNEL R., TROUW R.A.J., BROWN M., PICCOLI P.M. 2003. *P-T* path of a kyanite – K-feldspar (*HP*) granulite of the Andrelândia Sequence, Brasília Fold Belt, Brazil. In: GSA, Geological Society of America Annual Meeting, Seattle, EUA, *Abstracts*.
- MOTTA, R.G. 2006. *Estudo Comparativo das Condições do Metamorfismo e Trajetórias P-T na Nappe de Liberdade e Klippe de Carvalhos, Sequência Andrelândia, MG*. Monografia de Trabalho de Formatura, IGc-USP, 49 pp.
- MOTTA, R.G. 2009. *Evolução Tectono-Metamórfica do Domínio Serra da Natureza, Terreno Andrelândia, MG*. Dissertação de Mestrado, IGc-USP, 157 pp.
- NEWTON, R.C., HASELTON, H.T., 1981. Thermodynamics of the garnet-plagioclase- Al_2SiO_5 -quartz geobarometer. In: NEWTON, R.C., NAVROSTSKY, A., WOOD, B.J. (eds) *Thermodynamics of Minerals and Melts*. Springer, Berlin, pp. 129-145.
- O'BRIEN P.J. & RÖTZLER J. 2003. High-pressure granulites: formation, recovery of peak conditions and implication for tectonics. *Journal of Metamorphic Geology*, **21** (1): 3-20.
- PASSCHIER, C.W. & TROUW, R.A.J. 1996. Microtectonics. *Springer*, 289 pp.
- POWELL, R. & HOLLAND, T.J.B. 1990. Calculated mineral equilibria in the pelitic system, KFMASH (K_2O - FeO - MgO - Al_2O_3 - SiO_2 - H_2O). *American Mineralogist*, **75**, 367-380.
- POWELL, R.; HOLLAND, T. & WORLEY, B. 1998. Calculating phase diagrams involving solid solutions via non-linear equations, with examples using THERMOCALC. *Journal of metamorphic Geology*, **16**, 577-588.
- RIBEIRO, A.; TROUW, R.A.J.; ANDREIS, R.R.; PACIULLO, F.V.P.; VALENÇA, J.G. 1995. Evolução das bacias neoproterozóicas e termo-tectonismo Brasileiro na margem sul do Cráton do São Francisco. *Revista Brasileira de Geociências*. **25** (4): 235-248.

- ROCHA, B.C. 2007. *Assinaturas metamórficas contrastantes: granulitos máficos de alta pressão e metatexitos pelíticos da Nappe Lima Duarte, Sul do Cráton do São Francisco*. Monografia de Trabalho de Formatura, IGc-USP, 74 pp.
- SANTOS, L.P.; CAMPOS NETO, M.C. & CARVALHO, C.H.G. 2004. Metamorphic path constrained by metapelitic rocks from the inner Aiuruoca-Andrelândia Nappe, Southern of the São Francisco craton, SE Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, **16**: 725-741.
- SANTOS, L.P. 2004. *Trajatórias metamórficas de ambientes colisionais: Domínios frontais das Nappes Aiuruoca-Andrelândia e Lima Duarte, borda sul do Cráton do São Francisco, Minas Gerais*. Dissertação de Mestrado, IGc-USP, 90 pp.
- SAWYER, E.W. 2001. Melt segregation in the continental crust: distribution and movement of melt in anatectic rocks. *Journal of metamorphic Geology*, **19**: 291-309.
- SPEAR, F.S. 1993. *Metamorphic Phase Equilibria and Pressure-Temperature-Time Paths*. Mineralogical Society of America, Washington, DC: 799pp.
- SPEAR, F.S. & CHENEY J.T. 1989. A petrogenetic grid for pelitic schists in the system SiO_2 - Al_2O_3 - FeO - MgO - K_2O - H_2O . *Contribution to Mineralogy and Petrology*, **101**, 149-164.
- SPEAR, F.S.; KHON, M.J. & CHENEY, J.T. 1999. P-T paths from anatectic pelites. *Contribution to Mineralogy and Petrology*, **134**, 17-32.
- THOMPSON, A.B. & ENGLAND, P.C. 1984. Pressure-temperature-time paths of regional metamorphism II. Their interference and interpretation using mineral assemblages in metamorphic rocks. *Journal of Petrology*, **25**: 894-928.
- TROUW, R.A.J.; PACIULLO, F.V.P. & RIBEIRO, A. 1994. A Faixa alto Rio Grande reinterpretada como zona de interferência entre a Faixa Brasília e a Faixa ribeira, In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 38, Res. Exp., **3**, 234-235.
- TROUW, R.A.J.; HEILBRON, M.; RIBEIRO, A.; PACIULLO, F.; VALERIANO, C.M.; ALMEIDA, J.C.H.; TUPINAMBÁ, M. & ANDREIS, R.R. 2000. The central segment of Ribeira Belt. *Tectonic Evolution of Sout America*, Rio de Janeiro, 2000: 287-310.
- VERNON, R.H. 2004. *A pratical guide to Rock Microstructure*. Cambridge University Press, 594 pp.

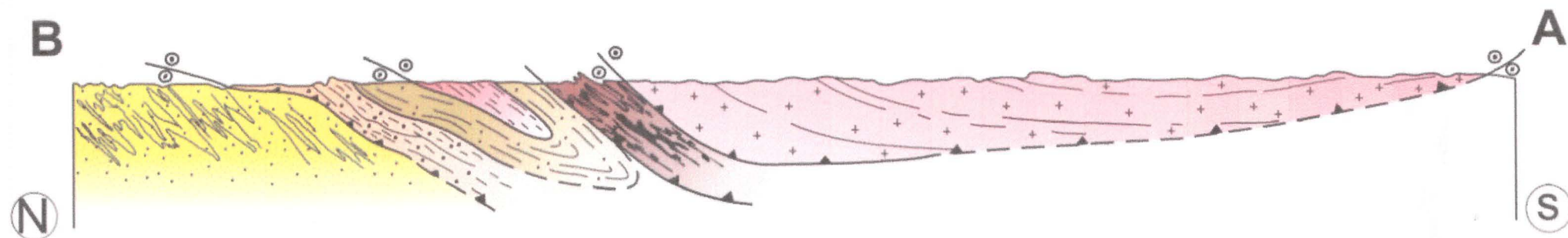
- VERNON, R.H.; WHITE, R.W. & CLARKE, G.L. 2008. False metamorphic events inferred from misinterpretation of microstructural evidence and P-T data. *Journal of metamorphic Geology*, **26**, 437-449.
- VIELZEUF D. & HOLLAWAY J.R. 1988. Experimental determination of the fluid-absent melting relations in the pelitic system. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **98** (3): 257-276.
- WATERS D.J. 2001. The significance of prograde and retrograde quartz-bearing intergrowth microstructures in partially melted granulite-facies rocks. *Lithos*, **56**: 97-110.
- WESTIN, A.T. 2008. *Influência da pilha de Nappes na trajetória metamórfica da Nappe Andrelândia, borda sul do Cráton do São Francisco*. Monografia de Trabalho de Formatura, IGc-USP, 42 pp.
- ZACK, T.; MORAES, R. & KRONZ, A. 2004. Temperature dependence of Zr in rutile: empirical calibration of a rutile thermometer. *Contribution to Mineralogy and Petrology*, **148**: 471-488.

ANEXO I: Mapa de pontos



ANEXO II: Seção Geológica

SEÇÃO GEOLÓGICA DA ÁREA



LEGENDA



Klippe Aurioca



Nappe Liberdade



Xisto Serra da Boa Vista



Xisto Santo Antônio



Xisto Rio Capivari



Sistema de Nappes Carrancas



Sentido do Cavalgamento Inferido



Direção do Cavalgamento

→ Nappe Andrelândia

0 1000 2000 m



DOAÇÃO

IGC-USP

Date: 01.02.11