

UNESP - UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Campus de Rio Claro (SP)

ANDREZZA DE ALMEIDA AZZI

**“GEOLOGIA DE UMA ÁREA NA PORÇÃO CENTRO
LESTE DA FOLHA CÁSSIA (1:50.000), MG”**

Rio Claro – SP
2009

UNESP - UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Campus de Rio Claro (SP)

**“GEOLOGIA DE UMA ÁREA NA PORÇÃO CENTRO
LESTE DA FOLHA CÁSSIA (1:50.000), MG”**

ANDREZZA DE ALMEIDA AZZI

Orientador: Prof. Dr. Antenor Zanardo

*Trabalho de Conclusão do Curso de Geologia,
apresentado ao Instituto de Geociências e Ciências
Exatas – UNESP, campus de Rio Claro, como parte
das exigências para o cumprimento da disciplina
Trabalho de Conclusão de Curso no ano letivo de
2009”*

Rio Claro – SP
2009

550 Azzi, Andrezza de Almeida
A999g Geologia de uma área na porção centro leste da folha Cássia
 (1:50.000), MG / Andrezza de Almeida Azzi. - Rio Claro : [s.n.], 2009
 66 f. : il., figs. + mapa + petrografia

 Trabalho de conclusão de curso (Geologia) - Universidade Estadual
 Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas
 Orientador: Antenor Zanardo

 1. Geologia. 2. Mapeamento geológico. 3. Nappe de Passos. 4. Grupo
 Araxá. 5. Rochas metassedimentares. I. Título.

Ficha Catalográfica elaborada pela STATI - Biblioteca da UNESP
Campus de Rio Claro/SP

“Só é útil o conhecimento que nos torna melhores.”

(Sócrates)

AGRADECIMENTOS

Pelos ensinamentos a nós proferidos, agradeço a todos os docentes da Geologia da UNESP, em especial ao professor, doutor e livre docente Antenor Zanardo pelas discussões e orientações a mim designadas, sempre com paciência e maestria.

Ao CNPq pelo apoio financeiro durante os quatro anos que me dediquei à pesquisa.

À minha família: Carmen Azzi, Eduardo Leite, Sheilla Azzi e Erick Azzi por me ajudar a acreditar em mim mesma, na minha capacidade; e disporem do pouco que tinham para contribuir na formação “desta geóloga”.

Aos meus amigos mais próximos: Hélio Shimada, Alexandre Petolchckny, Henrique Giacomeli, Patrícia França e Gabriela Borini; agradeço por partilharem da minha vida. São pessoas maravilhosas, cada qual especial de alguma forma, que ao longo da minha vida me deram força, atenção e carinho, me motivando a seguir em frente e a ser como sou!

Ao Eduardo Assis, por me amar incondicionalmente, abdicando do tempo que tem e das coisas que faz, para estar ao meu lado, me acalmar e me fazer sorrir!

Agradeço todas as dificuldades que enfrentei; não fossem por elas, eu não teria saído do lugar. As facilidades nos impedem de caminhar. Mesmo as críticas nos auxiliam muito.

[Chico Xavier](#)

E se me achar esquisita,
respeite também.
até eu fui obrigada a me respeitar.

[Clarice Lispector](#)

Enfim, agradeço a todos que colaboraram na confecção deste trabalho me ajudando de forma direta ou indiretamente.

RESUMO

Este trabalho objetivou a caracterização geológica em escala 1:50.000 de uma área pertencente ao setor meridional da Faixa Brasília, posicionada na porção oeste da Nappe de Passos, próxima à cidade de Cássia-MG. Nesta região, afloram litotipos pertencentes ao Grupo Araxá, composto por metassedimentos com metavulcânicas associadas que configuram um terreno tectono-metamórfico de grande importância para o entendimento da evolução geológica do sudeste e centro-oeste brasileiro. Com o desenvolvimento do trabalho foi possível agrupar as rochas em 10 unidades litoestratigráficas, tendo sido reconhecidos 3 diferentes zonas de metamorfismo gerados durante o auge metamórfico. O padrão estrutural da área mostra que a foliação principal possui mergulho médio de 30° para NW e lineação mineral paralela à de estiramento com sentido 290°. Ainda, pode-se confirmar o gradiente metamórfico inverso presente nas rochas da Nappe de Passos em que na base detectou-se fácies xisto verde e no topo fácies anfibolito alto, como descrito por diversos autores. Também foram abordados litotipos de interesse econômico, alguns já em exploração, como argila e areia, e outros bens minerais que constituem ocorrência e podem ser utilizados: quartzo, quartzito, granada, cianita, rutilo e zircão.

Palavras chave: Nappe de Passos; Grupo Araxá e rochas metassedimentares.

ABSTRACT

This study aimed the geological characterization at scale 1:50.000 of an area belonging to the southern sector of the Brasília Belt, located in the western portion of the Passos Nappe, near the town of Cássia, MG. In this region, outcrops rock types belonging to Araxá Group, composed of metasediments associated with metavolcanics which form a tectonometamorphic terrain of great importance for understanding the geological evolution of southeast and midwest regions of Brazil. With the development of work was possible to group the rocks in 10 lithostratigraphic units and had been identified 3 different zones of metamorphism generated during the peak metamorphism. The structural pattern of the area shows that the main foliation has average dip 30 ° NW and mineral lineation parallel to the stretching direction with 290 °. Still, we can confirm that this inverse gradient metamorphic rocks of the Passos Nappe, described by several authors. Also, were seen lithotypes of economic interest, some already in exploitation, such as clay and sand, and other mineral commodities, which are occurring and can be used: quartz, quartzite, garnet, kyanite, rutile and zircon.

Key words: Passos Nappe; Araxá Group e metasedimentary rocks.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	2
1.1 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA INVESTIGADA	2
2. OBJETIVO	2
3. MÉTODO E ETAPAS DE TRABALHO	3
3.1 LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO	3
3.2 TRABALHO DE CAMPO	4
3.3 ETAPAS DE LABORATÓRIO.....	4
3.4 ETAPAS DE ESCRITÓRIO	5
4. GEOLOGIA REGIONAL	5
4.1 CONTEXTO TECTÔNICO	5
4.2 CONTEXTO ESTRATIGRÁFICO E ESTRUTURAL	8
4.3 CONTEXTO METAMÓRFICO.....	10
4.4 CONTEXTO GEOCRONOLÓGICO.....	13
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	13
5.1 SITUAÇÃO GEOLÓGICA DA ÁREA INVESTIGADA	13
5.1.1 <i>Unidade Agm – Gnaisses tonalíticos blastomilonitizados</i>	15
5.1.2 <i>Unidade Nxq – Quartzitos com intercalações de mica-xistos</i>	16
5.1.3 <i>Unidade Nxqm – Mica-xistos com intercalações de quartzitos</i>	19
5.1.4 <i>Unidade Ngmx – Biotita gnaiss e biotita xistos</i>	21
5.1.5 <i>Unidade Nxqa – Xistos com granada e/ou cianita</i>	24
5.1.6 <i>Unidade Ngxq – biotita gnaiss com intercalações de xistos, quartzitos e anfibolitos</i>	27
5.1.7 <i>Unidades Ngtx e Ngcx – Cianita-granada-xistos, quartzitos, gnaisses e anfibolitos</i>	28
5.1.8 <i>Unidade Tcb – Coberturas indiferenciadas – Terciário/Quaternário</i>	30
5.1.9 <i>Unidade Qal – Aluviões associados às drenagens atuais</i>	33
5.2 GEOLOGIA ESTRUTURAL.....	34
5.3 ESTUDOS METAMÓRFICOS	41
5.3.1 <i>Metamorfismo no Domínio Sudeste</i>	43
5.3.2 <i>Metamorfismo no Domínio Central</i>	43
5.3.3 <i>Metamorfismo no Domínio Norte</i>	44
5.4 ESTUDOS GEOQUÍMICOS.....	50
5.4.1 <i>Geoquímica das rochas gnáissicas</i>	52
5.4.2 <i>Geoquímica das rochas anfibolíticas</i>	54
5.5 ASPECTOS ECONÔMICOS	57
5.6 EVOLUÇÃO GEOLÓGICA	61
5.6.1 <i>Evolução do Grupo Araxá</i>	61
6. CONCLUSÕES	63
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	65

ANEXOS:

ANEXO 1 - MAPA DE AFLORAMENTOS

ANEXO 2 - MAPA GEOLÓGICO-ESTRUTURAL

ANEXO 3 – DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA

1. INTRODUÇÃO

A área selecionada para o desenvolvimento do Trabalho de Formatura abrange 200 km² da porção centro leste da folha topográfica 1: 50.000 de Cássia – MG, e está geologicamente posicionada na porção oeste da Nappe de Passos. Nesta área, afloram rochas metassedimentares e meta ígneas, de natureza alóctone, atribuídas ao Grupo Araxá, cujo grau metamórfico aumenta na direção do mergulho dos estratos, caracterizando um metamorfismo invertido. Na região, o Grupo Araxá é constituído por xistos, paragneisses, ortogneisses, quartzitos, anfíbolitos e raras lentes de rochas ultramáficas e calciossilicáticas que carecem de refinamento dos estudos petrográficos e genéticos, a fim de obter dados para o entendimento da evolução geológica no espaço e no tempo, e tecer considerações sobre a potencialidade dos bens minerais de ocorrência na área.

O seguinte trabalho apresenta através do mapeamento geológico-estrutural, estudos petrográficos e litoquímicos a caracterização das rochas contidas na área de estudo e alguns aspectos do potencial econômico dos minerais contidos nas unidades mapeadas.

1.1 Localização da Área Investigada

A área investigada situa-se na porção sudoeste do Estado de Minas Gerais, mais precisamente na porção centro-leste da folha Cássia (1:50.000) delimitada pelas coordenadas UTM 304 e 314 W e 7728 e 7708 S, o que totaliza 200 km² (Figura 1).

A região possui um bom sistema viário, com rodovias federais, estaduais e municipais, asfaltadas ou não. O acesso à área pode ser feito pela SP-330, seguindo até Ribeirão Preto, onde se tem acesso a SP-351 que adentra a área de estudo em sua porção sudoeste, passando pela cidade de São Sebastião do Paraíso; ou pela SP-343 passando por Franca (SP) e pela cidade de Cássia (MG). Ainda, no sentido Belo Horizonte através da Rodovia MG-050 atinge-se a área de estudo em sua porção sudoeste passando pela cidade de Passos (MG) e Itaú de Minas (MG).

2. OBJETIVO

O objetivo do presente trabalho visa primeiramente o aprendizado da formanda, em decorrência das multidisciplinas utilizadas em um trabalho de mapeamento geológico, e a obtenção de dados mineralógicos, petrográficos, estruturais e litoquímicos para a confecção do mapa geológico - estrutural em escala 1:50.000, com o intuito de fornecer subsídios que possibilitem entender a evolução geológica da área e tecer considerações sobre os potenciais econômicos da mesma.



Figura 1 – Mapa de localização esquemática da área investigada.

3. MÉTODO E ETAPAS DE TRABALHO

3.1 Levantamento Bibliográfico

A aluna buscou através de bibliotecas e via online, os principais trabalhos relativos à área investigada, incluindo:

- textos sobre a geologia estrutural, estratigrafia e caracterização metamórfica, uma vez que estes são de essencial importância para o entendimento da Geologia Regional; levantamento das fotos aéreas que recobrem a região de estudo (VM AST-10 - Escala 1:60.000 – SAF 31 – Faixas: 4472-4475, 4350-4353 e 1396-1399), as quais geraram o mapa de zonas homólogas que auxiliou nos contatos prévios do mapa geológico da área;
- livros e artigos em periódicos com ênfase em geologia estrutural, estratigrafia, metamorfismo e cinturões colisionais abordados para a Região da Nappe de Passos.

Foram utilizadas às cadernetas e lâminas petrográficas descritas no “Projeto Cássia”, de 1981, numa atividade de mapeamento da região homônima, realizada em convênio entre o Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM) e a Universidade Estadual Paulista (UNESP).

3.2 Trabalho de Campo

As etapas de trabalhos geológicos foram realizadas em 13 dias não consecutivos, sendo em parte acompanhado do orientador Prof. Dr. Antenor Zanardo. Nestas, foram obtidas e lançadas em mapa 230 descrições de afloramentos, e coletadas 60 amostras, das quais as 25 mais representativas foram selecionadas para a confecção de lâminas petrográficas e 6 destinadas para estudos litoquímicos.

Sem dúvida, o trabalho de mapeamento foi uma das etapas de maior importância na realização deste projeto, tendo sido reconhecidos em campo os diferentes tipos litológicos e domínios estruturais presentes, o que contribui ativamente na reconstrução da história geológica, bem como na formação da aluna.

3.3 Etapas de Laboratório

Fez-se a preparação das amostras para estudos petrográficos, litoquímicos e sedimentológicos.

Para os estudos petrográficos, 25 amostras foram selecionadas e encaminhadas ao Laboratório de Laminação do Departamento de Petrologia e Metalogenia IGCE / UNESP, campus Rio Claro (SP), e analisadas através de microscopia de luz polarizada convencional. Estas análises compreenderam a identificação e quantificação da mineralogia modal, da textura e estrutura das rochas coletadas. Além disso, as análises petrográficas foram fundamentais para a seleção das amostras enviadas à análise litoquímica.

Para os estudos litoquímicos, 6 amostras foram analisadas para elementos maiores, menores e em especial para elementos terras raras. As amostragens para elementos maiores e menores foram feitas no Laboratório de Geoquímica do Departamento de Petrologia, IGCE/UNESP de Rio Claro (SP) por fluorescência de raios X, para óxidos de elementos maiores (SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MgO , CaO , Na_2O , K_2O , TiO_2 e P_2O_5) e elementos-traços (Cr e Ni). Para a análise dos elementos terras raras as amostras foram enviadas à *ACME Analytical Laboratories*, e analisadas pelo *Group 4B Trace Elements by ICP-MS* que abrange os seguintes elementos: Ba, Be, Co, Cs, Ga, Hf, Nb, Rb, Sn, Sr, Ta, Th, U, V, W, Zr, Y, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb e Lu. Os dados litoquímicos obtidos foram interpretados com o objetivo de reconhecer os protólitos e qualificar as transformações químicas que ocorreram durante a evolução tectono-metamórfica das rochas inseridas na área da pesquisa.

O estudo sedimentológico consistiu da caracterização da cobertura terciária/quaternária, que constitui uma unidade de mapeamento na área, com enfoque genético e voltado para a possível utilização deste material na indústria cerâmica e construção civil. Neste sentido, foram feitos testes de granulometria por peneiramento e decantação, além da obtenção da mineralogia da fração argila por meio do difratômetro de raios X e morfoscópicos/ mineralógicos por microscopia de luz transmitida.

3.4 Etapas de Escritório

Neste item enquadram-se as atividades de confecção de tabelas, diagramas, mapas, e a elaboração da monografia. No tratamento dos dados obtidos pela difração de raios X e fluorescência de raios X/ ICP-MS foram utilizados respectivamente os softwares EVA e MINPET. No desenvolvimento dos mapas de ponto, estrutural, metamórfico e geológico o *software ArcGis®* foi de fundamental importância, utilizando-se do programa Excel para a prévia organização dos dados em tabelas. Na confecção do relatório a aluna utiliza do programa Microsoft Word para confeccionar o texto e do *software CorelDraw®* para o tratamento das fotos, finalização dos mapas e digitalização das figuras.

4. GEOLOGIA REGIONAL

4.1 Contexto Tectônico

A região investigada está inserida na Província Tocantins (PT), cuja origem, segundo Almeida et al. (1981), parece estar relacionada à um domínio orogênico, decorrente da aproximação e colisão dos crátons Amazônico e São Francisco (Figura 2) durante o Ciclo Brasileiro (Neoproterozóico).

A presença de um terceiro bloco (Cráton do Paranapanema), que estaria completamente encoberto por rochas paleozóicas da Bacia do Paraná, é postulada por alguns autores como Brito Neves et al. (1999), Valeriano et al. (2004), entre outros (Figura 3); que utilizaram de recentes dados gravimétricos abordados em Mantovani & Brito Neves (2005) para inferir os limites deste bloco.

A Província Tocantins constitui-se de três faixas orogênicas, com evoluções provavelmente diacrônicas, sendo denominadas de Araguaia (FA) e Paraguai (FP) as faixas que bordejam o Cráton Amazônico a sul e leste, respectivamente, e de Brasília (FB) a faixa que limita o Cráton do São Francisco em sua porção sudoeste (ALMEIDA & HASUI, 1984).

De acordo com Dardenne (2000), a FB é definida como um conjunto de empurrões e terrenos de escala crustal, que foram empurrados sobre a margem ocidental do Cráton do São Francisco (CSF) e segmentada em dois grandes compartimentos: Faixa Brasília Setentrional (FBS), de orientação NE, e Faixa Brasília Meridional (FBM), de orientação NW, (Figura 4).



Figura 2 - Esboço tectônico do Brasil Central, com destaque para a Província Tocantins . Extraído de Valeriano et al. (2004).

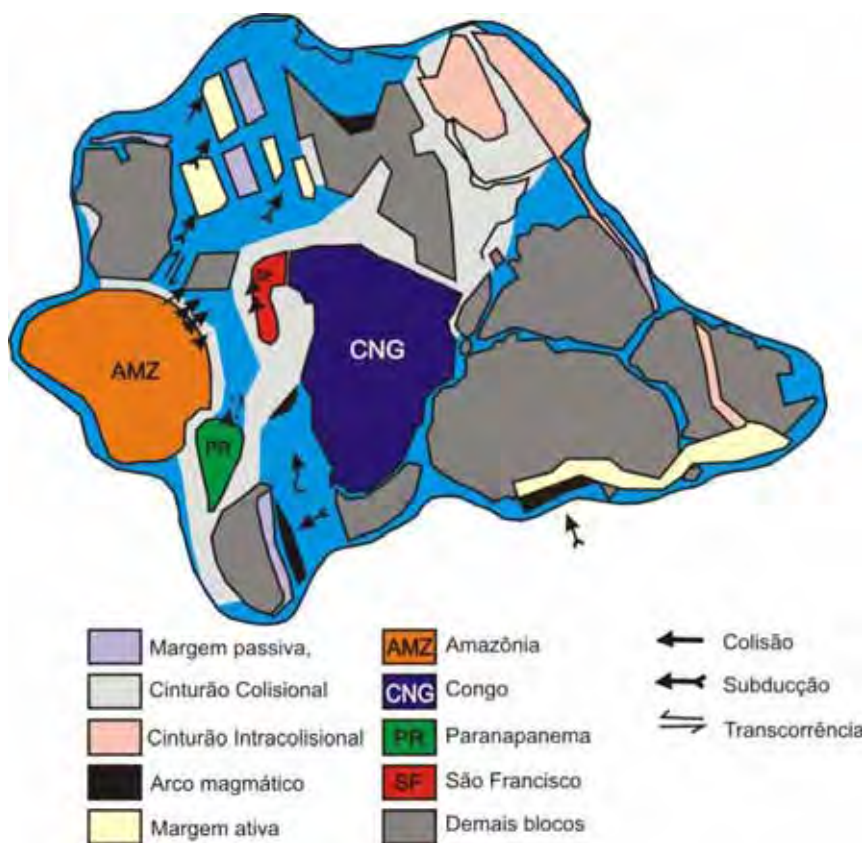


Figura 3 – Modelo esquemático do Supercontinente Rodínea, mostrando os crátons Amazônico, São Francisco e Paranapanema em possível direção de colisão, simplificado de Cordani et al. (2000).

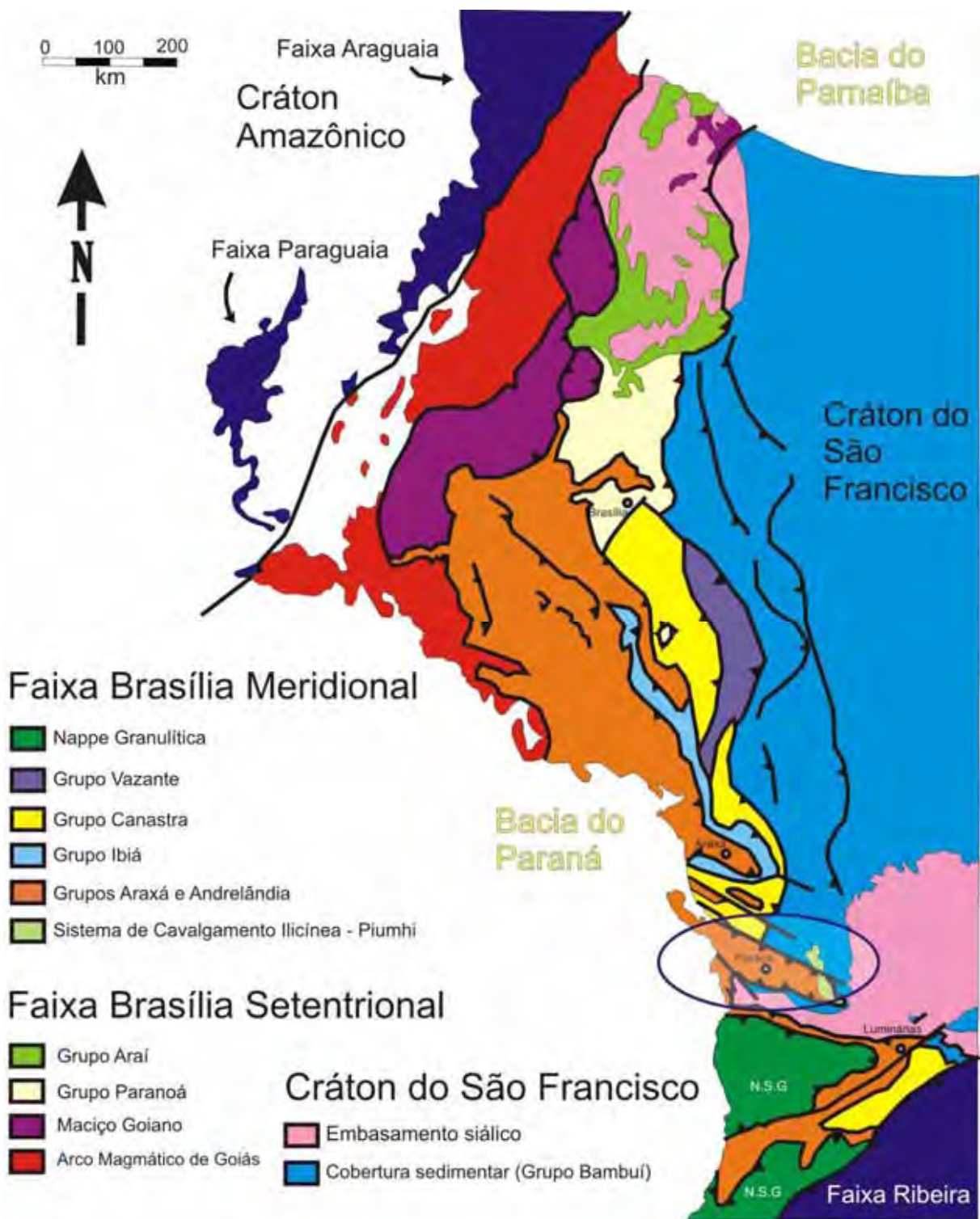


Figura 4 - Unidades tectônicas da Faixa Brasília, com destaque para a Nappe de Passos. Simplificado de Valeriano et al. (2004).

A porção alóctone da FBM, segundo Valeriano et al. (2004), consiste no empilhamento tectônico por extensas *nappes* de cavalcamento subhorizontais formadas por vários terrenos tectono-estratigráficos limitadas por superfícies de cavalcamento, na maioria, representados por unidades metassedimentares, que por empilhamento tectônico, tem-se da base para o topo, o Grupo Bambuí, Vazante, Canastra, Ibiá, Araxá e Andrelândia. Essas

nappes percorreram uma distância mínima da ordem de 100 km e, nas fases finais de desenvolvimento, geraram dobramentos mais abertos e empinados, associados à falhamentos transcorrentes sinistrais de direção NW-SE, que acabam por fragmentar a FBM em segmentos deslocados (Passos, Luminárias, Araxá, Goiânia e Tapira). Para os mesmos autores esse empilhamento tectônico se deu após o auge térmico do evento metamórfico.

4.2 Contexto Estratigráfico e Estrutural

Uma das estruturas mais reconhecidas na área de ocorrência do Grupo Araxá é a Nappe de Passos, na região de Passos e Cássia, (Figura 5).

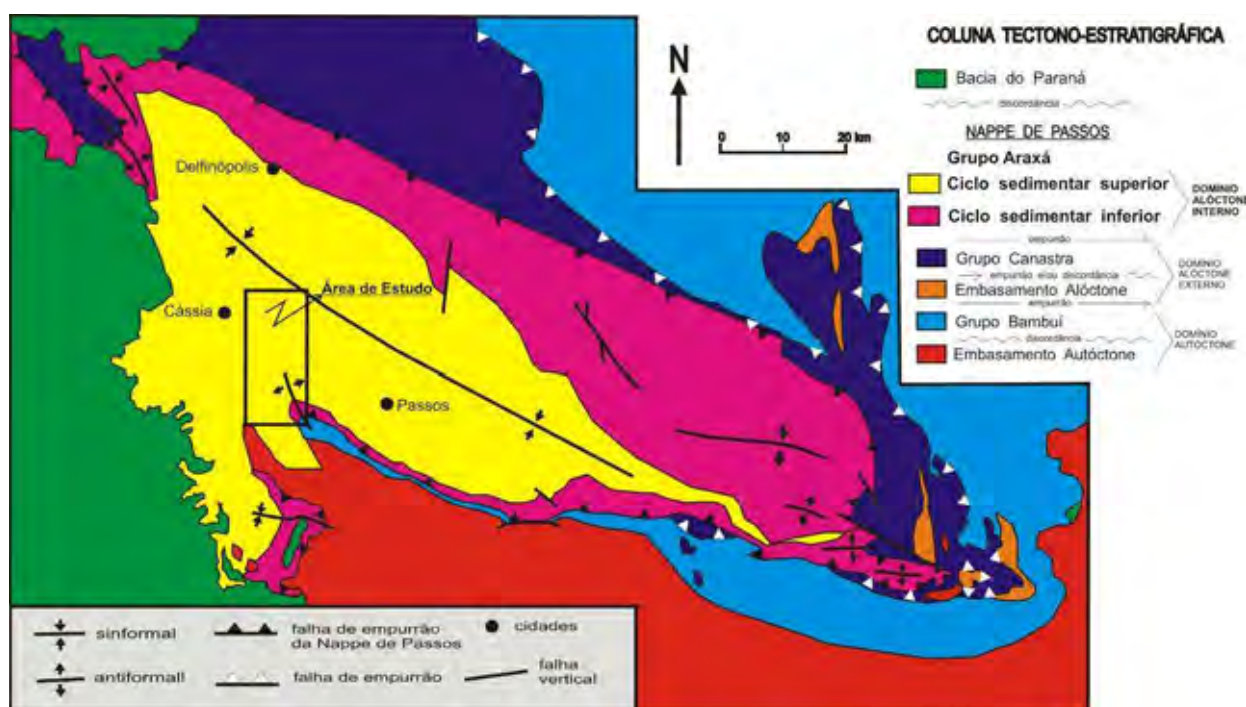


Figura 5 – Mapa geológico simplificado da Nappe de Passos contendo o retângulo representativo da área de estudo (SIMÕES, 1995).

Valeriano et al. (2000) descreve o Grupo Araxá, na área de ocorrência, como uma sucessão de metassedimentos plataformais, sendo na base (seqüência sedimentar inferior) constituído por quartzitos e xistos metapelíticos intercalados por lentes de metacalcário, que, de forma gradacional, passam a sedimentos de água profunda de talude continental (seqüência sedimentar superior) representados por xistos e gnaisses, com finas camadas de metachert. Também é provável que durante a deposição sedimentar tenha havido um evento vulcânico básico toleítico, com afinidade N-MORB, que resultou na ocorrência subordinada de metabásicas. Também ocorrem intrusões de corpos leucograníticos sin-colisionais intensamente deformados, que estão atualmente representados por xistos e gnaisses de idade U-Pb (zircão) de 637 Ma.

Simões (1995) dividiu o Grupo Araxá em nove unidades denominadas, da base para o topo, de A a I (Figura 6). Dentre as unidades definidas pelo autor, as três primeiras correspondem ao Ciclo Depositional Inferior, caracterizado por uma sedimentação essencialmente matura, representada por quartzitos associados a metapelitos. A partir da unidade D, torna-se comum a ocorrência de metassedimentos imaturos, representados por paragneisses. Desta forma, as unidades D até I, definidas pelo autor, correspondem ao Ciclo deposicional Superior da Nappe de Passos.

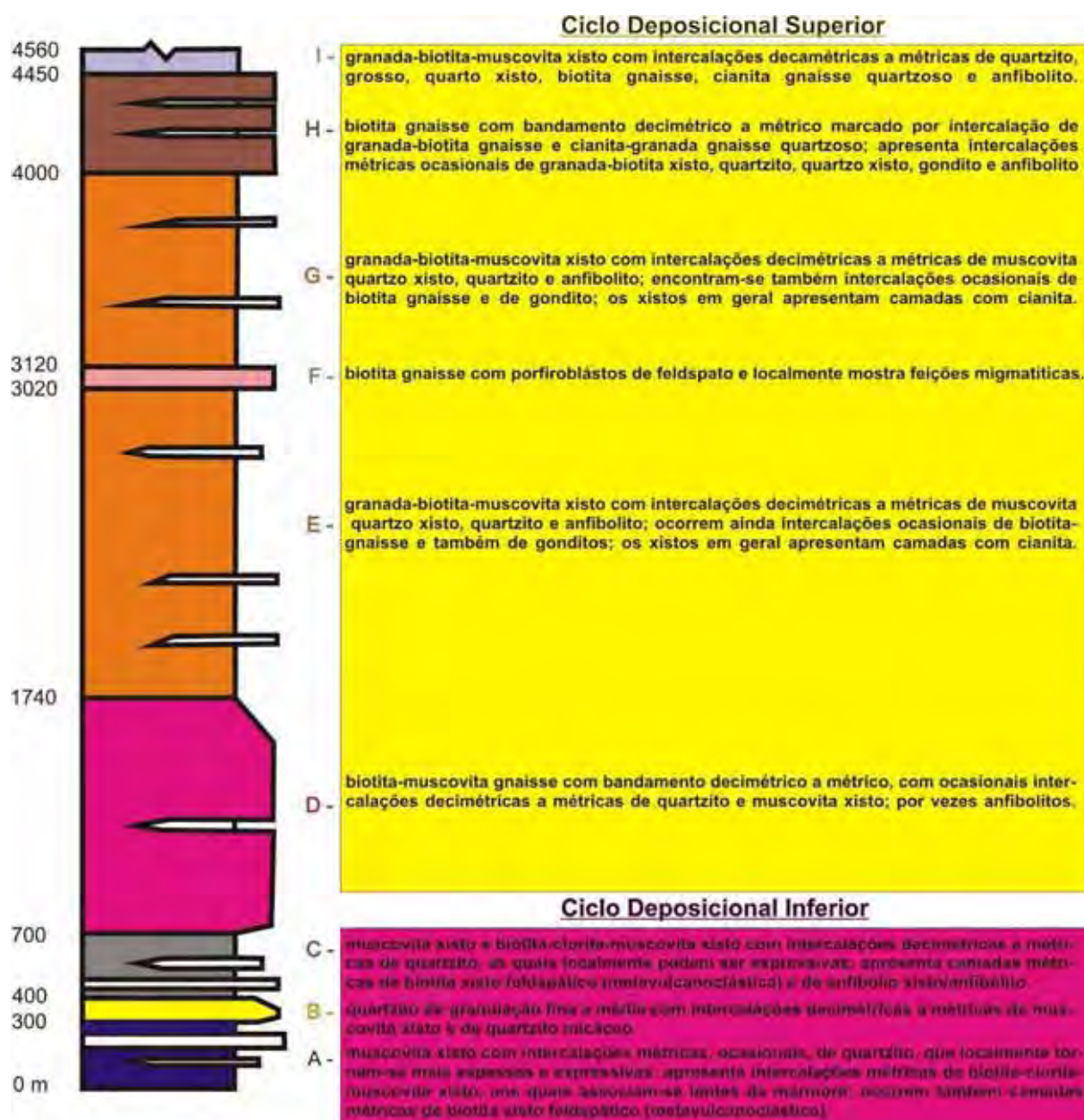


Figura 6- Coluna estratigráfica do Grupo Araxá, Nappe de Passos. (SIMÕES 1995).

A estruturação da Nappe de Passos – MG foi estudada pioneiramente por Teixeira & Danni (1978), que a descreveram como uma extensa *nappe de charriage* associada a um meganticlinal recumbente com seu flanco inverso exposto regionalmente. Os autores

afirmaram ainda que esta estrutura condiciona a disposição do pacote litológico, que achasse dobrado em três principais feições estruturais: a sinclinal de Passos, a anticlinal de Itaú e a sinclinal do Chapadão. Tal suposição foi contestada por Heilbron et al. (1987) utilizando-se do argumento de que as dobras parasíticas da fase principal (em “Z” olhando para NW) são incompatíveis com o flanco inverso de um anticlinal recumbente. Simões (1995) afirma que as dobras pós-metamórficas presentes na Nappe de Passos são incongruentes com um flanco inverso. Ainda, Simões et al. (1988) estudando estratificações cruzadas em quartzitos da Serra do Chapadão afirma que os estratos estão em posição normal. Dessa forma, a Nappe de Passos aguça o interesse científico devido à peculiaridade do seu metamorfismo invertido, sem, contudo haver inversão dos estratos.

Na região entre Itaú de Minas e Carmo do Rio Claro, Heilbron et al. (1987) propuseram um modelo onde as estruturas foram agrupadas em quatro fases de deformação. Simões & Valeriano (1990) reconheceram que o modelo era válido para toda a Nappe de Passos. Até o presente momento este é o modelo mais aceito. Essas quatro fases de deformação foram caracterizadas por Simões (1995) e constam abaixo de forma sucinta:

- Fase D1: marcada por uma xistosidade S1, paralela ao bandamento composicional. Seu reconhecimento é confiável nas charneiras de dobras D2, onde S1 faz alto ângulo com a foliação principal S2;
- Fase D2: gerou a foliação principal da área, consistindo assim um importante evento deformacional na evolução estrutural da Nappe de Passos. Em alguns locais aparece como uma xistosidade, em outros, como clivagem de crenulação, onde a superfície crenulada é a foliação S1 paralela a S0. Em praticamente todos os afloramentos apresenta baixo ângulo de mergulho. A foliação S2 se desenvolveu durante o transporte da *nappe*, desde o início do seu deslocamento até o posicionamento final;
- Fase D3: caracterizadas por dobras abertas a suaves, com planos axiais de direção NW, verticais a sub-verticais, e eixos com caimentos suaves, em geral para NW, e por vezes para SE. A fase D3 apresenta caráter heterogêneo, exibindo uma grande variação de frequência das suas estruturas, de local para local;
- Fase D4: também caracterizadas por dobras abertas a suaves, de plano axial vertical a sub-vertical, e linhas de charneira de direção entre N e NNE, com caimentos suaves para SSW ou NNE, as dobras são geralmente isópacas, com charneiras arredondadas.

4.3 Contexto Metamórfico

Na Nappe de Passos, segundo Teixeira & Danni (1978), Zanardo (1992) e Simões (1995), o gradiente metamórfico invertido grada da base para o topo, iniciando em fácies xisto verde e evoluindo até a fácies anfibolito superior.

Simões (1995) dividiu o metamorfismo da Nappe de Passos em duas fases marcantes: metamorfismo principal (MP) e retrometamorfismo (RM), o primeiro inclui o auge

do evento metamórfico que, provavelmente, ocorreu pré- ou cedo-D2 (SIMÕES et al. 1988). As paragêneses de mais alto grau estão inseridas neste contexto e são elas que definem o gradiente metamórfico invertido. O retrometamorfismo é caracterizado por destruição parcial/total das paragêneses do evento MP. Essas reações aparecem com maior frequência em locais onde o registro de D3 e D4 é mais intensos, o que evidencia que o evento RM está relacionado ao ajustamento (reequilíbrio) mineralógico durante o posicionamento final da *nappe*. Para os eventos citados o mesmo autor admite ser correspondentes de uma evolução contínua, desde o processo de soterramento das supracrustais até os estágios finais de exumação dos produtos metamórficos.

O metamorfismo invertido foi interpretado, inicialmente, como resultante da geração de uma megadobra anticlinal recumbente empurrada sobre o embasamento por ampla “*Nappe de Charriage*” (TEIXEIRA e DANNI, 1978 e SCHMIDT & FLEISHER, 1978). Já Simões et al. (1988) propuseram um modelo de rotação passiva das isógradas, por cisalhamento subparalelo ao acamamento, durante o transporte tectônico do Grupo Araxá. Dessa forma, Simões (1995) interpretou esta inversão como decorrente da deflexão das isotermas na zona de subducção, aliado à contínua expulsão das rochas de mais alta pressão para níveis crustais mais rasos, ocasionado pelo intenso cisalhamento não coaxial, típico do processo de subducção (Figura 7). Dados geotermobarométricos do mesmo autor indicam condições de 486°C – 6Kbar próximo à base, que aumentam até 739°C – 11,2 Kbar próximo ao topo.

Luvizotto (2003) obteve dados geotermobarométricos da ordem de 550°C – 7 Kbar e 800°C – 14 Kbar (valores pertencentes ao campo da fácies granulito), os quais são superiores aos obtidos por Simões (1995).

Segundo Simões et al. (1988) a deformação provavelmente foi mais intensa na base, e deve ter adelgado a seqüência ou aumentado o gradiente metamórfico por rotação das isógradas, em regime de deformação dúctil progressiva, levando a gradientes térmicos aparentes de 50°C/km a 60°C/km, enquanto que o indicado pelas paragêneses presentes é inferior a 25°C/km. Segundo Hoppe et al. (1985) com base em estudo de retroeclogito, presente na seqüência tectono-metamórfica, o gradiente de pressão em vias de comparação foi relativamente alto.

O contexto evolutivo configura um padrão horário de caminhamento metamórfico similar ao discutido por Zanardo et al. (1990b). As temperaturas do ápice termal, das porções basais da seqüência do Grupo Araxá aparentam ser superiores as estimadas por Zanardo et al. (1990a), devendo ter atingido temperaturas mínimas da ordem de 550°C (Figura 8).

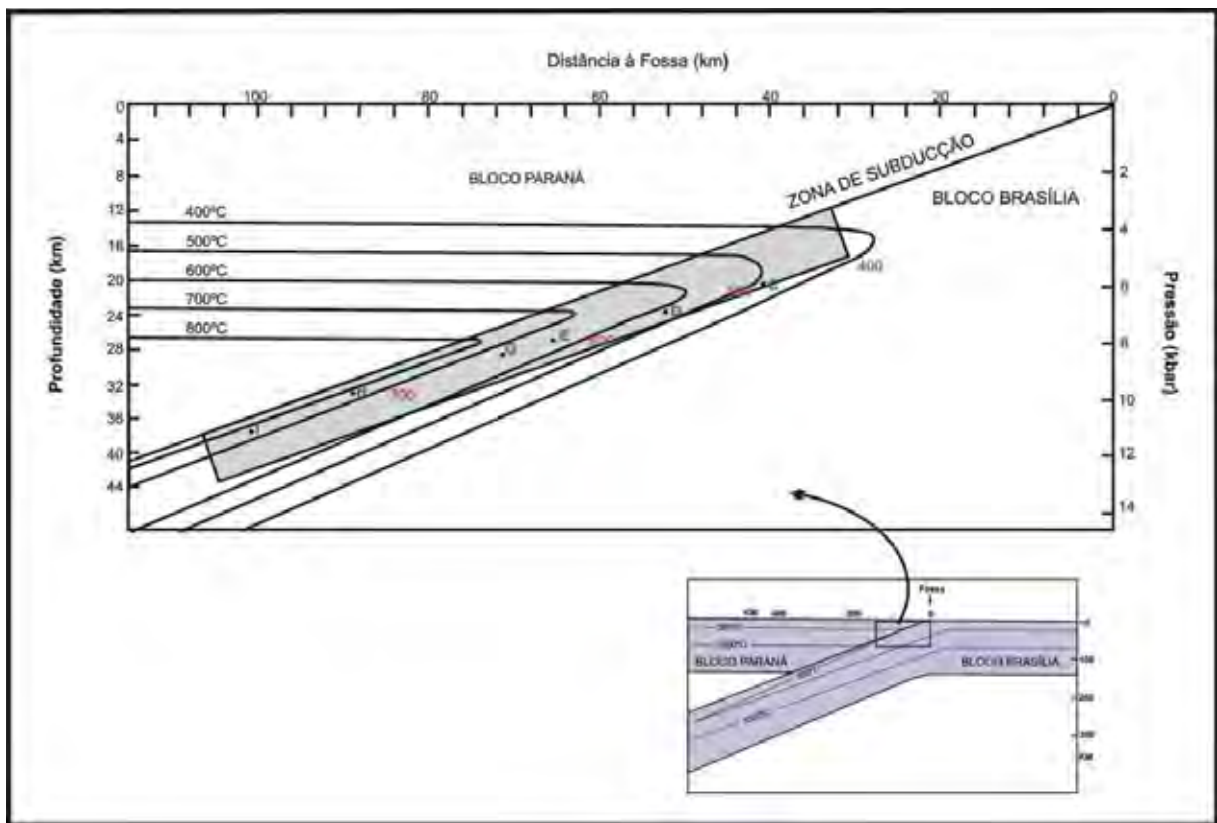


Figura 7- Possível configuração das isotermas no auge do metamorfismo na Nappe de Passos, considerando-se o modelo de rebaixamento das isotermas devido à subducção. Para o posicionamento das isotermas adotou-se um gradiente geotérmico de 30°/km. Dentro da zona de desvio das isotermas interpolou-se a partir das temperaturas médias de cada unidade, dadas pelo geotermômetro de Spear (1981). Figura extraída de Simões (1995).

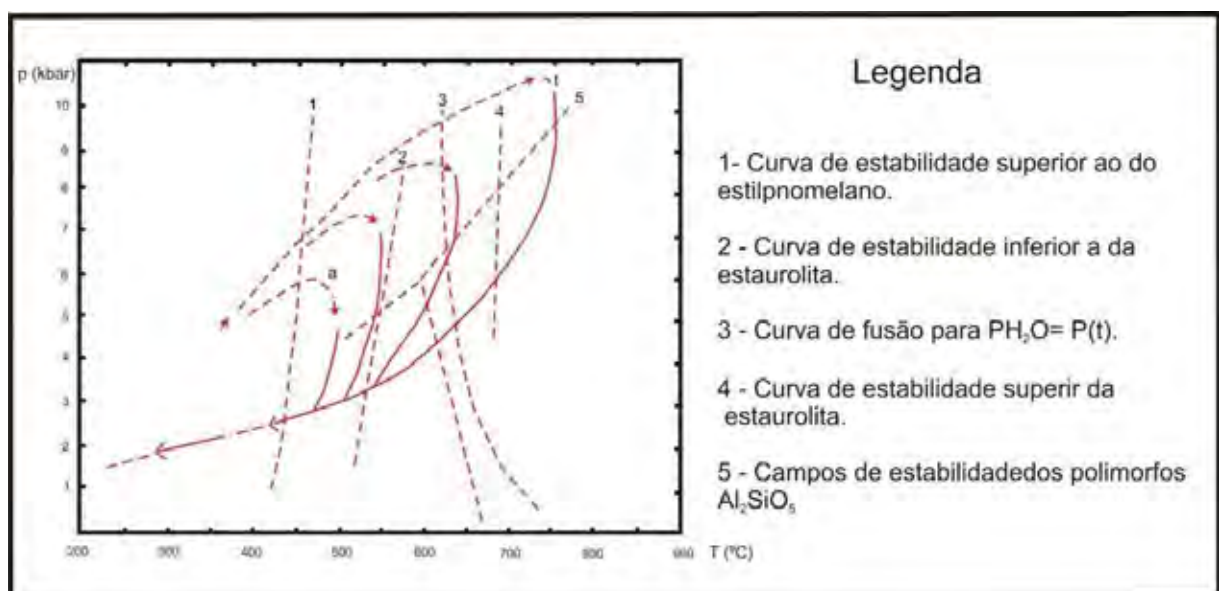


Figura 8- Possíveis caminhamentos metamórficos para vários níveis do Grupo Araxá. As linhas cheias foram inferidas com base nas paragêneses e reações observadas. As linhas tracejadas foram supostas com base no contexto tectono-metamórfico. Figura extraída de Zanardo (1992).

4.4 Contexto Geocronológico

A evolução tectônica da Faixa Brasília segundo Valeriano et al. (2008), foi dividida em dois estágios: Rifting continental (1.1 – 0.9 Ga) e estágio colisional (650 - 600 Ma); este último abrange desde a colisão até o resfriamento regional.

Seer (1999) realizou uma compilação dos dados geocronológicos K-Ar existentes na bibliografia para a região de Araxá. A partir destes dados o autor pôde concluir que existem dois eventos colisionais no setor meridional da Faixa Brasília, o mais antigo em torno de 790Ma e o mais novo em torno de 630 Ma, o qual representa a colagem final do continente Gondwana. O autor também expõe que os dados K-Ar obtidos por Hasui & Almeida (1970 apud SEER, 1999) confirmam o resfriamento regional após 630 Ma, ocorrido durante o encaixe final das escamas tectônicas sobre níveis crustais mais rasos, processo que encerrou em torno de 580 Ma.

Valeriano et al. (2000 apud VALERIANO et al., 2004) concluem que as idades K-Ar restringem o resfriamento regional da Nappe de Passos no intervalo de tempo de 674-640 e 673-566 Ma, obtidos a partir de biotita/hornblenda e mica branca, respectivamente.

O auge do evento metamórfico do Grupo Araxá na Nappe de Passos, segundo Valeriano et al. (2004), deve ter ocorrido por volta de 631 ± 4 Ma.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Situação Geológica da Área Investigada

Os dados geológicos, estruturais e petrográficos permitiram caracterizar os diferentes tipos petrográficos e agrupá-los em diferentes unidades que estão descritas a seguir (Figura 9). O mapa geológico correspondente encontra-se no ANEXO 2.

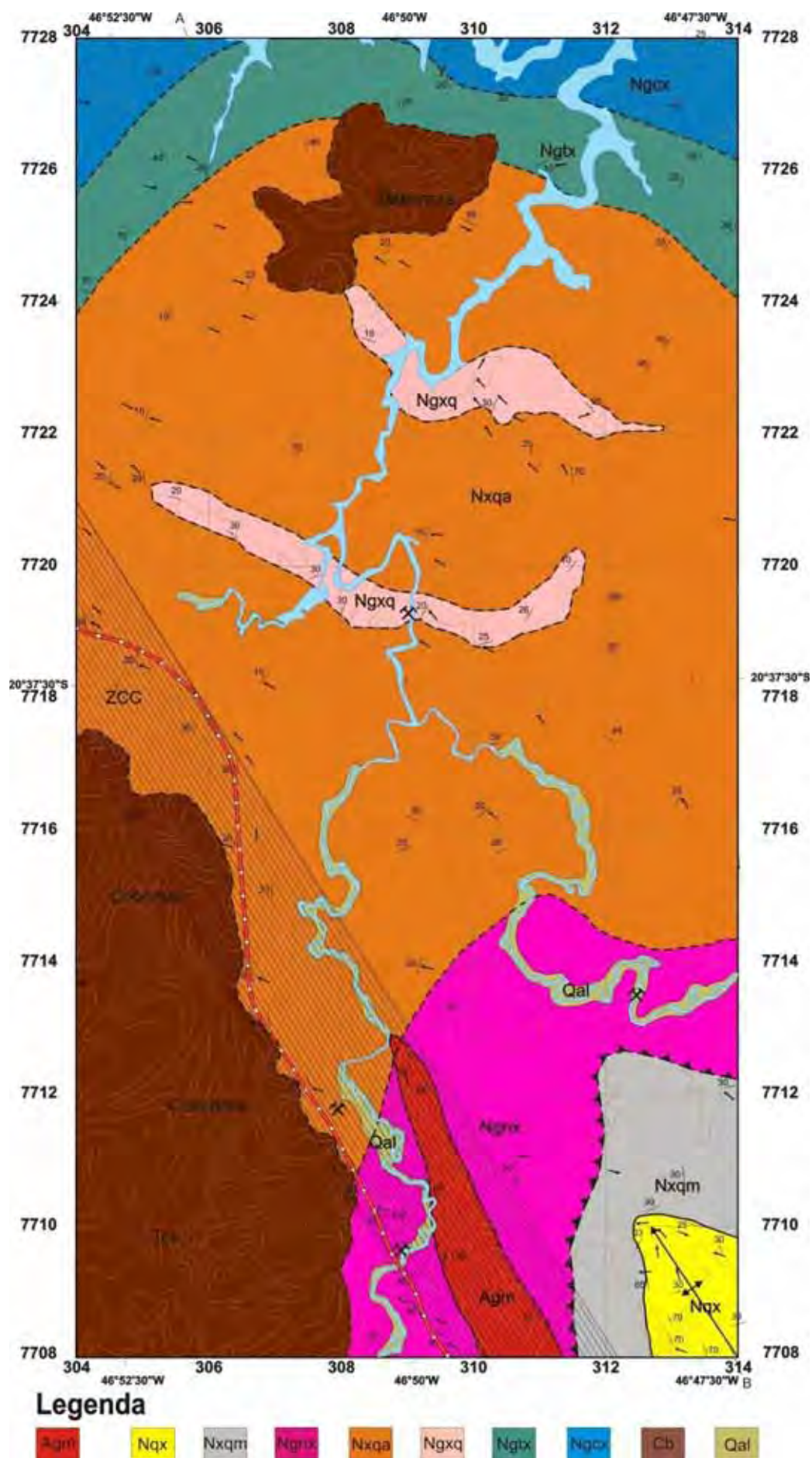


Figura 9 – Mapa geológico esquemático para a visualização das unidades mapeadas.

5.1.1 Unidade Agm – Gnaisses tonalíticos blastomilonitizados

Essa unidade corresponde ao embasamento arqueano e aflora apenas na porção sudeste da Zona de Cisalhamento de Cássia. Essas rochas na área apresentam-se como gnaisses tonalíticos blastomilonitizados ou cataclasados contendo mobilizações quartzosas e/ou feldspática e dobras apertadas (Figura 10). Rochas pouco intemperizadas com porções levemente laminada/fitada constituídas por minerais melano e leucocráticos intercalados. A textura é porfiroclástica milonítica a blastomilonítica (Figura 10), localmente cataclasada.

As espessuras e dimensões dos bandamentos são inconstantes, apresentando-se partes localmente finas e regulares, e partes claras mais espessas, constituindo uma assimetria. Os minerais presentes dispostos em ordem de maior ocorrência são: plagioclásio (andesina ou oligoclásio, localmente com coroa de albita e albita fina na matriz), quartzo, epidoto, biotita, muscovita, clorita, turmalina, apatita e allanita.



Figura 10 – Fotografia do Epidoto gnaisse tonalítico blastomilonítico (Afloramento no chão) mostrando a foliação Sn de alto ângulo de mergulho, contendo dobras apertadas e mobilizados quartzosos e quartzo-feldspáticos concordantes. Em detalhe, têm-se forte milonitização e pórfiroclastos de feldspato potássico estirados. Afloramentos 17 e 92.

As análises macro e micropetrográficas respectivamente mostram que os maiores cristais de plagioclásio oligoclásio/andesina possuem aspecto ocelar, enquanto que os menores são produtos de recristalização e estão orientados e parcialmente saussuritizados. O quartzo concentra-se em faixas orientadas formando agregados lenticulares, com contato engrenado e extinção ondulante seguida de recuperação, predominantemente, segundo fácies de prisma (Figura 11). A recristalização é localizada e fina. Esses aspectos indicam que esse litotipo foi submetido à forte deformação não coaxial compatível com fácies xisto verde médio a superior e retrometamorfismo para a zona da clorita.



Figura 11 – Fotomicrografia do Epidoto gnaisse tonalítico blastomilonítico mostrando os cristais de plagioclásio saussuritizados e grãos de quartzo com recuperação segundo fácies de prisma.

Afloramento 17.

5.1.2 Unidade Nqx – Quartzitos com intercalações de mica-xistos

Essa unidade é correspondente à “Unidade B – Figura 6” apresentada por Simões (1995). Aparece apenas no extremo sudeste da área e desenha a estrutura denominada antifforma de Itaú; constituída predominantemente por quartzitos, que sustentam o relevo, e, por conseguinte, exibem as maiores cotas topográficas.

As rochas que compõem essa unidade são similares às imediatamente sobrepostas, no entanto esta possui uma quantidade bem maior de quartzitos e intercalações menos expressivas com quartzo xistos, mica xistos e muscovita quartzitos. Os quartzitos constituem corpos de espessuras decimétricas a métricas de aspecto maciço a finamente laminado, granulação fina a muito fina, sendo que, quando parcialmente alterados, ressaltam a laminação. Estas rochas, quando inalteradas, exibem cores com diferentes tonalidades de cinza e por lixiviação ou alteração adquirem cores brancas a creme (Figura 12). A laminação é gerada pela concentração de muscovita fina nos planos de maior movimento de massa

e/ou pelo aparecimento de filetes ou lâminas ricas em minerais opacos (especialmente hematita e magnetita), minerais esses que escurecem o quartzito e lhe conferem machas com tonalidades avermelhadas (Figura 12).



Figura 12 – Muscovita quartzito fino, de cor acinzentada contendo porções rosadas oriundas de impregnação por óxido de ferro e esbranquiçadas resultante de lixiviação que gerou microporosidade; apresenta-se bem fraturado. Afloramento 81.

De um modo geral, todas as estruturas presentes são tectônicas, pois até o momento, na área de estudo, não foram verificadas estruturas primárias nesta unidade. Localmente vê-se, em escala de afloramento, a foliação dobrada (Figura 13).



Figura 13 – Muscovita quartzito fino com foliação dobrada. Afloramento 82.

Os bancos mais espessos são representados por quartzitos que transicionam e/ou gradam para muscovita quartzito fino. Exibem granulação inferior ou ao redor de 0,1 mm, e os maiores cristais raramente ultrapassam 1 mm na dimensão maior. O teor de quartzo é normalmente superior a 90% e ocorre sob a forma de pequenos cristais poligonais a interpenetrados, sendo que apenas os maiores grãos exibem extinção ondulante forte e chegam a configurar “agregado”, onde é difícil separar subgrãos de novos grãos, devido a progressão do processo deformacional através da recuperação, recristalização e migração intensa dos limites. No geral a extinção ondulante é leve ou está ausente, o que evidencia um processo termal tardi-cinemático que não chega a apagar a assimetria, ou seja, a deformação parou de agir de forma efetiva quando o calor ainda era suficiente para apagar parcialmente os defeitos dos cristais de quartzo. O arranjo do quartzo exhibe forte orientação cristalográfica e assimetria variada.

Nesses quartzitos ainda estão presentes minerais opacos, turmalina, zircão e mais raramente rutilo e biotita. Os minerais opacos são anedrais irregulares, placóides, tabulares a retangulares, normalmente estão orientados e são representados basicamente por magnetita, hematita e/ou ilmenita. A turmalina ocorre sob a forma de cristais arredondados a prismáticos, com zoneamento e/ou núcleo detrítico, evidenciando recrescimento e, às vezes, encontra-se fragmentada. O zircão exhibe formas arredondadas, com evidências de sutil recrescimento em alguns grãos e chega a atingir 0,2mm de diâmetro, atestando que o material obteve redução na granulação.

Intercalado nesta litologia, por contatos bruscos, tem-se camadas decimétricas a métricas de sericita xisto de cor prateada, com micro-lenticularizações levemente assimétricas (foliações Ss e Sc) capeadas por muscovita/sericita gerando brilho prateado e aspecto de escama de peixe (Figura 14). Esta litologia quando alterada apresenta cor rosada (Figura 14).



Figura 14 – Quartzito-sericita fino, crenulado, parcialmente a totalmente intemperizado, de cor acinzentada e rosada respectivamente, contendo agregados sericíticos de aspecto sigmoidal tipo escama de peixe. Afloramento 82.

5.1.3 Unidade Nxqm – Mica-xistos com intercalações de quartzitos

Essa unidade é correspondente à “Unidade C – Figura 6” apresentada por Simões 1995 e aparece apenas no extremo sudeste da área contornando a unidade Nqx. É constituída predominantemente por mica xistos intemperizados, conferindo ao solo uma tonalidade avermelhada.

A Unidade Nxqm sobrepõe transicionalmente a unidade Nqx e é composta por sericita xistos e biotita-clorita-muscovita xistos com intercalações decimétricas a métricas de quartzitos e quartzo xistos, localmente expressivos. De um modo geral, os estratos de quartzito tornam-se mais finos e menos freqüentes para o topo. Os contatos entre os estratos de mica xistos com estratos ou bandas quartzíticas são bruscos sendo que dentro dos estratos pode ser observada forte foliação. Essa unidade tem seu limite superior nas primeiras lentes ou estratos mais possantes e contínuos de gnaiss. Os litotipos são muito similares aos encontrados na unidade inferior, mas diferem por ligeiro aumento da granulação, e principalmente na proporção volumétrica dos tipos petrográficos, com presença mais freqüente de xistos prateados de estrutura lenticular (escama de peixe) e menor expressão de quartzitos.

Os muscovita xistos apresentam estrutura crenulada, dado pelos agregados de micas muito finas que envolvem micro lentes de quartzo. Possuem granulação fina a média e constituem tectonitos SL a S. Como minerais essenciais podem aparecer quartzo, muscovita/sericita, biotita, clorita, minerais opacos, e como acessórios ou secundários: turmalina, zircão, epidoto, rutilo e leucoxênio. O quartzo é grosso e ressalta nesse material como lentes mais claras, de aproximadamente 3 cm de comprimento, assim como as porções caulinitizadas que também estão contidas nesta rocha sob a forma de nódulos centimétricos. Esses xistos quando intemperizados apresentam coloração avermelhada (Figura 15) dada provavelmente pela presença de minerais opacos, biotita ou clorita. Ainda, intercalados à esta rocha podem aparecer camadas de quartzitos finos (Figura 16), que localmente exibem grãos de caulim (agregado) em tamanho areia chegando a atingir aproximadamente 10% da rocha. Na confecção da lâmina petrográfica esses grãos de caulim foram perdidos, restando apenas os espaços vazios. A orientação cristalográfica dos grãos é bem nítida (Figura 17), fato, que aliado ao contato lobular a serrilhado entre os grãos, evidencia forte deformação dinâmica em condições de temperatura mínima superiores a 400°C. Cabe ressaltar que a recristalização dinâmica ocorreu em condições retrometamórficas, durante os estágios intermediários a finais do desenvolvimento da foliação principal, aspecto que permite inferir que o auge do metamorfismo que ocorreu antes ou no estágio inicial do desenvolvimento da foliação principal pode ter atingido a fácies anfibolito ou o limite superior da fácies xisto verde.



Figura 15- Xisto alterado de cor avermelhada contendo mobilizados de quartzo formando nódulos centimétricos. Afloramento 77.



Figura 16 – Camada de quartzito de 30 cm de espessura intercalado no muscovita xisto intemperizado. Ponto 85.

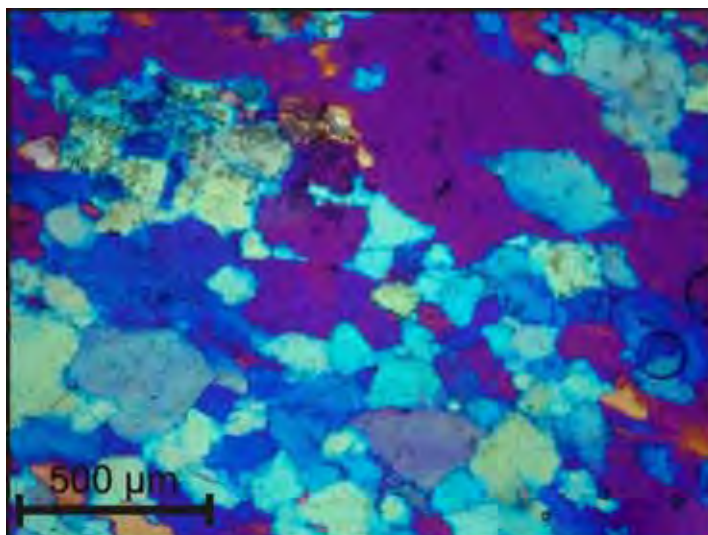


Figura 17 - Fotomicrografia de quartzito, com grãos de caulim e granulação inferior a 1 mm , mostrando em roxo/lilás os buracos referentes ao caulim e o amplo domínio da cor azul em relação a amarela demonstra a alta orientação cristalográfica do quartzo. Afloramento 77.

Nos quartzitos a coloração mais comum é a cinza clara a creme e a granulação é fina, em torno de 0,1mm. A estrutura varia de maciça a laminada e/ou xistosa, podendo aparecer dobras do tipo aberta a isoclinais, com ou sem foliação plano-axial. Além do quartzo a muscovita pode aparecer como mineral essencial. Como minerais acessórios foram reconhecidos: leucóxênio, hidróxidos de ferro, zircão, biotita, epidoto, feldspatos, turmalina, rutilo e minerais opacos. Os aspectos estruturais e evolutivos são idênticos ao descrito na unidade sotoposta.

5.1.4 Unidade Ngmx – Biotita gnaiss e biotita xistos

Essa unidade é correspondente a “Unidade D - Figura 6” apresentada por Simões (1995). Aparece no sudeste da área e capeia concordantemente a unidade Nxqm por contatos bruscos. É constituída, predominantemente, por granada/biotita/clorita gnaisses ou xistos que, devido à dúvida decorrente predominantemente da forte alteração em que estas rochas se encontram, dificulta na sua identificação.

Compondo os litotipos predominantes têm-se variações de muscovita-biotita gnaisses com epidoto e/ou anfibólio, quartzitos e granada-muscovita xisto. Este último exibe foliação bem desenvolvida e transicionam ou gradacionam para muscovita xistos feldspáticos com ou sem biotita e para quartzo xistos, que ocorrem associados. Além desses litotipos aparecem gnaisses anfibolíticos, anfibólio xistos e, no topo desta unidade, aparecem cianita-granada-muscovita xistos próximo ao contato transicional com a unidade Nxqa.

Os gnaisses ocorrem sob a forma de corpos tabulares, relativamente bem contínuos ou lenticulares, com intercalações e/ou gradações para xistos e quartzitos, constituindo um nível de espessura média decamétrica (Figura 18).



Figura 18 – Muscovita gnaisse cisalhado, próximo a Zona de Cisalhamento de Cássia.
Afloramento 18.

Na composição desses gnaisses, o quartzo e o plagioclásio sempre aparecem como minerais essenciais. Ainda, como constituintes principais ou acessórios, podem aparecer: biotita, feldspato potássico, muscovita/sericita, epidoto, clorita, granada e anfibólio. Podem estar presentes como minerais acessórios ou secundários: titanita, zircão, minerais opacos (magnetita, ilmenita e pirita), allanita, turmalina, rutilo, leucoxênio, carbonatos, apatita e goethita.

Microscopicamente, no geral, os gnaisses exibem forte foliação milonítica em que os filossilicatos estão bem orientados e distribuídos de maneira homogênea a heterogênea pela lâmina. No caso da distribuição mais homogênea, os filossilicatos se arranjam em trilhas e filetes descontínuos, dispostos anastomosadamente, contornando os porfiroclastos oclares a fusiformes, gerando malhas losangulares a sigmoidais, de achatamento e estiramento variável, constituindo as foliações Ss e Sc, mica fish, dobras de arrastos, dobras intrafoliares disruptas, etc. Os filossilicatos podem, também, concentrar-se em lâminas e/ou bandas milimétricas a submilimétricas, subparalelas e relativamente contínuas que se amoldam aos porfiroclastos. Evidenciam forte deformação não coaxial que se distribui heterogeneamente pelo pacote, levando à intensa recristalização e formação de novos minerais. Localmente tem-se a transformação total de biotita e feldspatos para muscovita e epidoto, além de gerar estrutura laminar de granulção fina ou forte xistosidade. Esse processo leva os gnaisses a

adquirirem aspecto xistoso, normalmente sem granada, à base de muscovita e freqüentemente com epidoto.

Alguns gnaisses de coloração verde clara, situados na Zona de Cisalhamento de Cássia, portanto milonitizados, foram encontrados frescos, formando “costelas” na estrada. Este material quando intemperizado gera solo vermelho. As variações mineralógicas definem diversos tipos que gradacionam entre si e para gnaisses anfibolíticos e biotita e/ou clorita xisto com anfibólio. Os gnaisses anfibolíticos e clorita xistos/gnaisse constituem corpos tabulares de espessuras métricas a decimétricas, de contato brusco a gradacional com os gnaisses descritos acima. São rochas mesocráticas, e mais raramente melanocráticas de cor verde a cinza, de estrutura anisotrópica homogênea ou composta por faixas centimétricas a milimétricas de cor verde escura, com filetes lenticulares brancos separados por lâminas e fitas de espessura fina a média, constituindo tectonitos SL a LS (Figura 19). Mostram texturas nematoblásticas com ou sem domínios granoblásticos e, na dependência da composição e deformação, gradam para texturas entre granoblásticas, lepidoblásticas e miloníticas com feições de fluxo. Os cristais raramente ultrapassam 2 mm de comprimento, enquanto que a granulação média da matriz é da ordem de 0,1 a 0,2 mm.



Figura 19- Blocos de gnaisse milonitizado e cloritizado, de granulação fina e cor esverdeada. Afloramento 76.

Os clorita xistos resultam da alteração dos biotita xistos e biotititos; portanto, exibem aspectos texturais idênticos e granulação aparentemente menor do que no material de origem. Esses litotipos apenas foram observados nas proximidades da Zona de Cisalhamento de Cássia.

5.1.5 Unidade Nxqa – Xistos com granada e/ou cianita

Essa unidade é correspondente a “Unidade E/G - Figura 6” apresentada por Simões (1995); ocupa a porção central da área de estudo e exhibe a maior porção litológica aflorante. Dispõe-se concordantemente sobre a unidade Ngnx e é constituída por estratos espessos de granada-biotita-muscovita xistos na base (com presença de cianita nas porções próximas ao topo) com intercalações decimétricas a métricas de muscovita xistos, quartzo xistos, quartzitos, anfíbolitos e ocasionalmente biotita gnaisses.

Os xistos exibem variações faciológicas verticais e laterais, podendo aparecer: mica xistos feldspáticos; granada-mica xistos; cianita-granada-mica xistos; cianita-mica xistos; etc. Esses xistos diferenciam-se da unidade Nxqm por terem granulação média superior, maior quantidade de granada e presença de cianita na porção superior desta unidade.

Os xistos feldspáticos apresentam características mesoscópicas e microscópicas que gradacionam para gnaisses, sendo muito difícil distingui-los destes quando intemperizados. Quando sem alteração, exibem cor cinza prateada, e quando alterados mostram tonalidades creme, esverdeado, e rosado. Normalmente são salpicados por porfiroclastos de feldspatos, com formas arredondadas, elípticas e mais raramente sub-retangulares. Esses porfiroclastos podem atingir mais de 2 cm de diâmetro e são representados por plagioclásio e feldspato potássico. Completando a mineralogia essencial aparecem muscovita, biotita e quartzo. Granada, zircão, turmalina, rutilo, minerais opacos, apatita e allanita constituem os principais acessórios; enquanto epidoto, sericita, carbonato, leucóxênio e clorita são os principais secundários. Nos tipos mais aluminosos, juntamente com o oligoclásio, quartzo, biotita e muscovita, podem aparecer cianita e/ou granada.

Os xistos com biotita, granada e muscovita constituem os litotipos dominantes nessa unidade. Possuem intercalações na forma de bandas ou lentes de espessuras variáveis entre os litotipos associados. Exibem estrutura xistosa proeminente, com as foliações Ss e Sc, formando ou não aspecto de escama e ou formas sigmoidais (Figura 20A). São porfiroblásticos com desenvolvimento de cristais milimétricos a centimétricos (até cerca de 3 cm) de granada que conferem à rocha um aspecto noduloso. A matriz apresenta textura granoblástica a lepidoblástica, com ou sem domínios lenticulares a sigmoidais e a granulação média é da ordem de 0,1 a 0,5 mm (Figura 20B). Esses xistos são quase sempre encontrados com cores rosadas, decorrente da alteração (Figura 21) e quando não alterados, fato raro, exibem coloração creme.

Nesse conjunto de xistos os teores de minerais essenciais são muito variáveis, sendo a muscovita e o quartzo os únicos minerais que raramente apresentam teores menores que 5%. Os outros minerais que aparecem como essenciais, e podem estar ausentes ou presentes como acessórios, são: granada, biotita, cianita, oligoclásio e clorita. Como acessórios podem aparecer: rutilo, turmalina, minerais opacos, zircão, apatita,

feldspato potássico, estaurolita e allanita. Sericita, clorita, carbonato e epidoto representam as paragêneses secundárias.

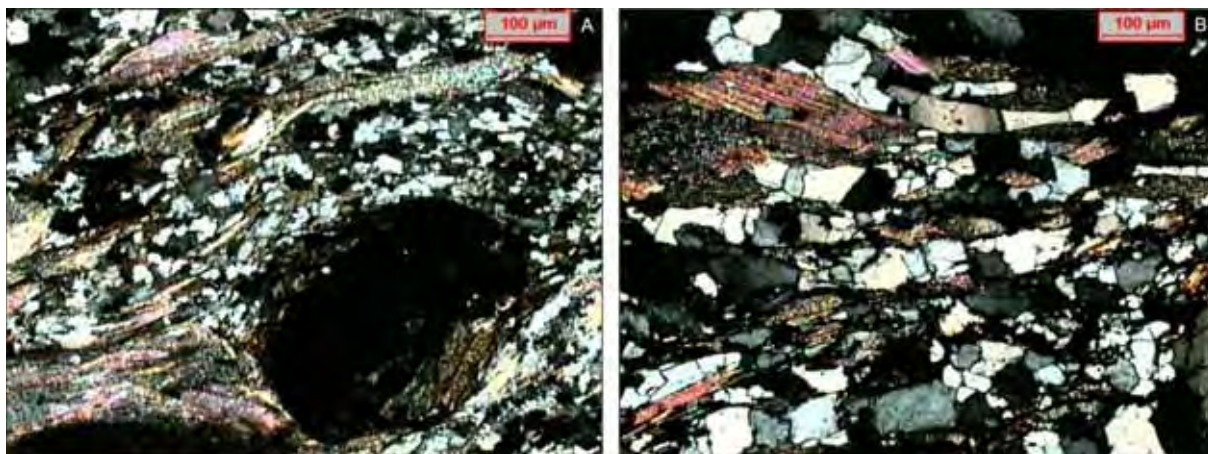


Figura 20 – Fotomicrografia de cianita-granada-muscovita xisto. Em A tem-se porfiroblastos de granadas com feições de sombra de pressão. Em B a rocha apresenta matriz com porções granoblásticas e lepidoblásticas. Afloramento 4 e 12 respectivamente.



Figura 21 - Cianita-granada-muscovita xisto alterado, foliado e exibindo cor rosada. Afloramento 5.

Os quartzitos e quartzo xistos feldspáticos aparecem espalhados por toda a unidade intercalados com variações de mica xistos. Exibem coloração creme a cinza claro, brilho prateado, estrutura anisotrópica, de aspecto homogêneo constituindo tectonitos S a SL. A textura é granolepidoblástica, com domínios lepidoblásticos nos quartzos xistos. Estão normalmente presentes as foliações Sc, com freqüentes formas sigmoidais e mica *fish*. A granulação é média, particularmente na porção mais ao norte da área (entre 0,1 e 0,4 mm). Os cristais de granada e cianita, quando presentes, podem atingir mais de 1 cm.

Os quartzitos e quartzos xistos com ou sem granada e cianita diferem dos quartzitos das unidades sotopostas por serem mais grossos e freqüentemente portarem granada e

cianita (Figura 22). São rochas de cor cinza a esbranquiçada, às vezes com filetes avermelhados por alteração (hidróxidos). Os quartzitos quando não alterados apresentam aspecto maciço, já os quartzos xistos exibem nítida foliação.



Figura 22- Cianita-granada-muscovita quartzito com rutilo, de cor branca a levemente rosada e brilho prateado. Afloramento 101.

Os anfibolitos, em nível de afloramento, constituem corpos tabulares a lenticulares e em escalas menores, eminentemente lenticulares. São concordantes em relação às rochas encaixantes, exibindo contatos bruscos e espessuras centimétricas a decamétricas, sendo mais frequentes as decimétricas a métricas. Longitudinalmente podem alcançar várias centenas de metros e até mesmo quilômetro. Possuem cor verde escuro a cinza esverdeado escuro e grau variado de anisotropia, constituindo tectonitos S a LS de granulação fina a média, raramente grossa, com aspecto quase maciço (textura sal e pimenta) e ampla gradação para termos bem orientados, que podem exibir xistosidade, laminação ou gnaissificação. Alguns corpos dessa unidade são formados, basicamente, por granada, plagioclásio, epidoto e anfibólios, podendo apresentar domínios com texturas simplectíticas (Figura 23) formada por epidoto retrometamórfico.



Figura 23 – Fotomicrografia e fotografia do granada-epidoto anfibolito. Afloramento 64.

5.1.6 Unidade Ngxq – biotita gnaiss com intercalações de xistos, quartzitos e anfibolitos

Essa unidade corresponde à “Unidade F - Figura 6” apresentada por Simões 1995; é composta por biotita gnaisses com ou sem porfiroblastos de feldspato e granada, e intercalações de quartzito xistos, granada xistos e anfibolitos.

Os gnaisses apresentam textura granoblástica, normalmente interpenetrada, intercaladas com domínios lepidoblásticos. Texturas porfiroclásticas e porfiroblásticas também estão presentes. Como minerais essenciais podem aparecer feldspato potássico, quartzo, plagioclásio, biotita, muscovita/sericita e epidoto. Como acessórios ocorrem: minerais opacos, hornblenda, apatita, zircão, granada, titanita, turmalina, clorita, carbonatos, fluorita e rutilo.

A estrutura gnáissica é definida por leitos nítidos a difusos, submilimétricos, lepidoblásticos, que são normalmente mais difusos e menos freqüentes onde a rocha é mais grossa e mais rica em feldspato potássico. A gnaissificação também pode ser definida pela distribuição homogênea de filossilicatos iso-orientados e concentrações de minerais félsicos.

Denominou-se de biotita xistos, ou biotititos, algumas variações que apresentam coloração preta devido à grande quantidade de biotita de granulação média, contendo porfiroclastos de feldspato de aproximadamente 1 cm (Figura 24). Esta rocha é composta basicamente por biotita, com proporção variável de quartzo, que pode chegar a mais de 50%. Além desses minerais podem aparecer opacos, leucoxênio, epidoto e principalmente feldspatos, que chega a constituir mais de 20% do volume.

Os anfibolitos, assim como na unidade Nxqa, constituem corpos tabulares a lenticulares e apresentam-se concordantes em relação às rochas encaixantes. Exibe contatos bruscos e espessuras centimétricas a decamétricas. Possuem cor verde escuro a cinza esverdeado escuro e grau variado de anisotropia, constituindo tectonitos S a LS de granulação fina a média, raramente grossa, com aspecto quase maciço (textura sal e pimenta) e ampla gradação para termos bem orientados, que podem exibir xistosidade, laminação ou gnaissificação (Figura 25). Hornblenda e plagioclásio (oligoclásio/andesina) compõem a mineralogia essencial, podendo aparecer também epidoto, ferro-actinolita e granada. Os minerais acessórios mais comuns são: titanita, rutilo, minerais opacos e zircão. Como secundários podem conter quartzo, clorita e carbonato.



Figura 24- Biotita gnaiss de cor preta, granulação média, contendo porfiroclastos lenticulares de feldspato. Afloramento 62.



Figura 25 – Fotomicrografia e fotografia do epidoto anfibolito. Afloramento 10.

5.1.7 Unidades Ngtx e Ngcx – Cianita-granada-xistos, quartzitos, gnaisses e anfibolitos.

Essas unidades são correspondentes as “Unidades H/I - Figura 6” apresentadas por Simões 1995; aparecem no norte da área e são constituídas predominantemente por mica xistos intemperizados, intercalados com variações quartzíticas, gnáissicas e também anfibolitos.

A unidade Ngtx difere da unidade Ngcx apenas por apresentar maior proporção de gnaisses, estes possuem granulação média a grossa e são constituídos por granada, cianita, quartzo, feldspatos, biotita, muscovita e minerais acessórios.

A unidade Ngcx corresponde ao topo da tectono/seqüência denominada de Grupo Araxá e ocorre no extremo norte da área. É constituída principalmente por cianita-granada xistos com intercalações decimétricas a métricas de quartzitos, quartzo xistos, biotita gnaisses, cianita-granada gnaisses quartzosos e granada anfibolitos.

No solo e no colúvio que cobre essa unidade, principalmente nos sulcos de enxurradas, é comum encontrar cristais de rutilo, cianita e turmalina de dimensões centimétricas. Foram encontrados cristais de rutilo e turmalina com mais de 3 cm de comprimento e cianita com mais de 5 cm (Figura 26).

Os xistos destas unidades são muito similares aos tratados nas unidades sotopostas, diferindo apenas por terem granulação mais grossa e cianitas maiores e em maior proporção volumétrica. Nesta unidade normalmente os xistos contém feldspatos.



Figura 26- Cianita-granada-muscovita xisto alterado, exibindo coloração avermelhada e ressaltando o cristal de cianita tabular de cor cinza azulado. Afloramento 43.

A denominação de cianita-granada gnaisses quartzosos foi atribuída a tipos em que o quartzo aparece com teor bem superior ao dos feldspatos, que por sua vez, exibem teores entre 20 e 35%. São rochas de cor cinza e estrutura gnáissica bem a mal desenvolvida. A gnaissificação é constituída por alternância de leitos quartzo feldspáticos, que se intercalam com bandas lenticulares, ricas em quartzo, que podem estar separadas por filmes e/ou trilhas de concentração de filossilicatos, especialmente biotita. As rochas alteradas exibem máculas avermelhadas (granada oxidada) e resquícios cinza azulado, em fundo avermelhado, creme ou esbranquiçado. Essas rochas na dependência da deformação e da formação de muscovita retrometamórfica adquirem estrutura xistosa e, com a diminuição dos feldspatos, passam para xistos, quartzo xistos ou quartzitos.

Além do quartzo, como constituintes essenciais, podem aparecer granada (até 35%), cianita (até 20%), feldspato potássico (até 35%), muscovita (até 20%), biotita (até 10%) e plagioclásio (até 10%). Como acessórios observou-se rutilo (até 2%), grafita (até 2%), minerais opacos (até 1%), zircão, apatita, allanita, epidoto, turmalina e clorita.

Os cianita-granada xistos quartzosos exibem cor cinza clara a creme amarelado a avermelhado por alteração. Essa litologia apresenta estrutura xistosa e geralmente está fraturada. Os cristais de cianita são tabulares, bem orientadas, possuem coloração cinza a cinza azulado e dimensões médias de 1,5 cm de comprimento. Já as granadas possuem aspecto fosco por alteração, cor marrom e por vezes atingem diâmetros próximos a 2 cm (Figura 27). O quartzo normalmente encontra-se bem estirado (*ribbons*), enquanto os feldspatos podem se apresentar com formas oclares ou em agregados fusiformes. Os anfibolitos constituem bandas descontínuas de espessuras decimétricas a decamétricas. Possuem coloração escura e granulação fina.



Figura 27- Fotomicrografia e fotografia do Cianita-granada-muscovita xisto quartzoso. Afloramento 43.

5.1.8 Unidade Tcb – Coberturas indiferenciadas – Terciário/Quaternário

As coberturas são de idade quaternária, porém algumas com maior espessura possuem estruturas indicativas de origem aluvionar e podem ter idades do Terciário Superior, merecendo portanto estudos de maior detalhe. Possuem ocorrência restrita na porção norte da área, e grande amplitude na parte sudoeste.

Esses depósitos, observados em fotografia aérea, geralmente apresentam tonalidades desde avermelhadas a acizentada quando em áreas de várzea, baixa densidade de drenagem, indicando terrenos de alta permeabilidade, presença de fenômenos de voçorocas, pequenas colinas, topografia suave a plana e vegetação rala. A vegetação mais comum é denominada popularmente de "barba de bode".

As coberturas detríticas, são de natureza coluvionar ou coluvio/aluvionar e podem ocupar interflúvios ou porções elevadas, ou seja, posicionadas cerca de 200 metros acima

do nível atual dos principais rios, bem como estarem de 20 a 30 metros acima do nível local dos rios.

Em áreas pobremente expostas, cobertas em sua maior parte por sedimentos recentes, o estabelecimento das relações estratigráficas se torna bastante difícil, necessitando de estudos mais cuidadosos.

A análise da fração fina feita nos sedimentos coletados nos Afloramentos 37 e 56 demonstram que os minerais que compõem a granulometria areia fina/silte são: quartzo predominantemente, seguido por muscovita, cianita, biotita, turmalina, rutilo, goethita, biotita, minerais opacos (magnetita, ilmenita e hematita) e zircão (Figura 28).

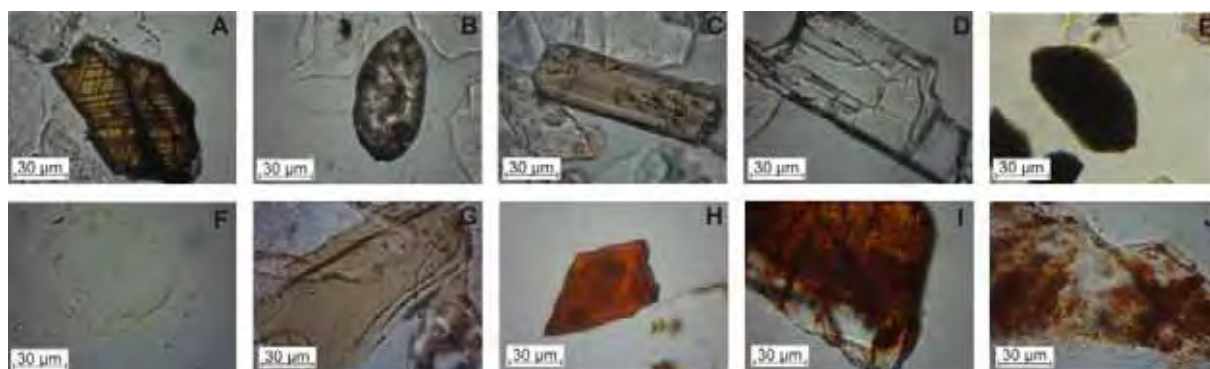


Figura 28 – Minerais retidos na peneira #220. Tanto para o sedimento coletado no Afloramento 37 como para o 56. A-rutilo, B-zircão, C-turmalina, D-cianita, E-mineral opaco, F-muscovita, G-biotita, H-goethita, I-cianita com impregnação por hidróxido de ferro e J-quartzo com impregnação por hidróxido de ferro.

Na fração argila (0,004mm) a mineralogia destes sedimentos, obtida por intermédio da análise por difração de raios X, mostra a predominância de caulinita, seguida por gibbsita e quantidades menores de micas e hidromicas e, aparentemente em alguns casos, também montmorillonita. Para a AA-56 foi detectado ainda o pico do quartzo e da goethita (Figura 29). Cabe destacar que a presença de montmorillonita, que está em desequilíbrio com a gibbsita e caulinita, e necessita de confirmação por glicolação e queima a 300°C, porém a natureza do depósito não impede o aparecimento de montmorillonita por variação de área fonte.

A presença do argilomineral gibbsita indica alto grau de evolução destes sedimentos, necessitando de condições de clima quente e úmido. Esse clima também explica o fato de não ter sido encontrado o mineral granada na fração siltica/areia fina, tendo esta grande propensão intempérica sobre tais condições.

Os depósitos coluviais que ocorrem na área mapeada estão associados a depósitos de terraços, onde ocupam a porção do topo e raramente ultrapassam 2 metros de espessura. Estão separados das unidades basais, normalmente por uma linha sinuosa

constituída por clastos de fragmentos de quartzo e quartzitos, geralmente angulosos (Figura 30).

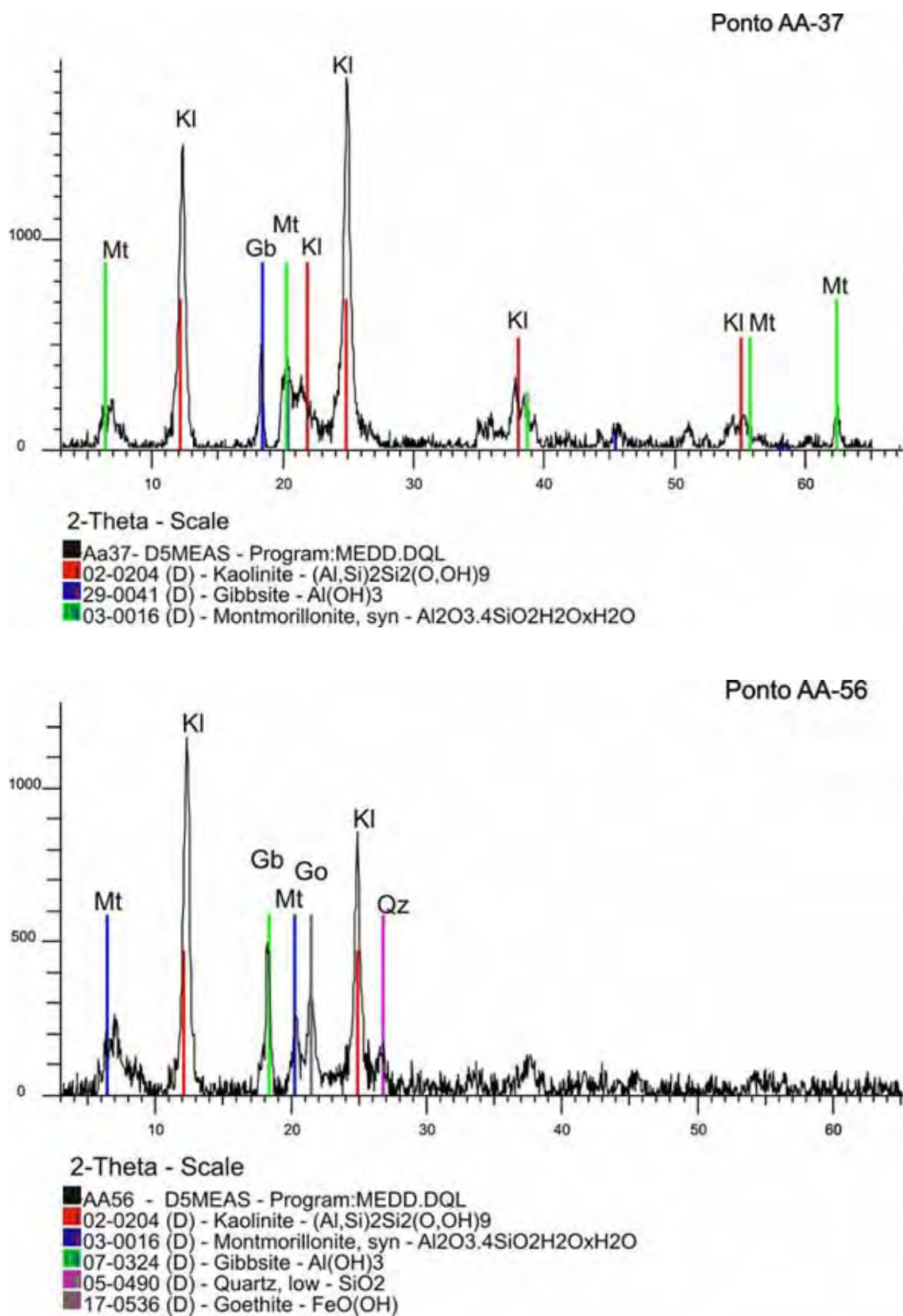


Figura 29 – Difratomogramas das amostras de sedimentos (cobertura) coletados no Afloramento 37 e 56.



Figura 30 – Linha de seixos contendo quartzo bem angular, separando abaixo um biotita gnaiss com veio de quartzo concordante a foliação e acima um material coluvionar. Afloramento 24.

5.1.9 Unidade Qal – Aluviões associados às drenagens atuais.

Esses sedimentos apresentam composição bastante variável em decorrência dos gradientes das drenagens que os depositam, como também, do ambiente fluvial dessas drenagens e das características da área fonte. De modo geral, os sedimentos de canal são conglomeráticos com ou sem matriz arenosa ou areno-lamítica e seixos subangulares de quartzo, quartzito, mica xistos e gnaisses, enquanto na porção mais afastada do canal predominam termos argilosos, ora mais ora menos siltosos e arenosos, com tons amarelos, cinza azulado escuro, arroxeados, castanho e acinzentados, às vezes ricos em matéria orgânica. Ocorrem fácies de planície de inundação, diques marginais e de canal.

Esses depósitos são morfologicamente estreitos, alongados e com profundidades variáveis; ocorrem junto às drenagens maiores, como ao longo dos rios São João (Figura 31), e Santana.

Em alguns locais, como no vale do rio Santana e dos seus afluentes, aparece material argiloso de cor escura, rico em matéria orgânica (Figura 32), coberto por colúvio de cor vermelha com aspecto de latossolo e espessura métrica. Esta feição associada à fraturas com estrias na vertical contidas no material aluvionar sugere atuação de neotectônica na geração de alguns desses depósitos.



Figura 31 – Extração de areia no Rio São João. Afloramento 93.



Figura 32 – Extração de argila nas proximidades do Rio Santana. Afloramento 100.

5.2 Geologia Estrutural

A área de estudo compõe uma pequena porção do conjunto tectônico alóctone do Grupo Araxá. Os levantamentos de campo juntamente com a análise estrutural micro e mesotectônicas possibilitaram a identificação e discriminação das principais estruturas planares e lineares presentes nas rochas. Algumas destas estão plotadas na figura 33. O mapa que contém todas as medidas coletadas encontra-se disponível no ANEXO 2.

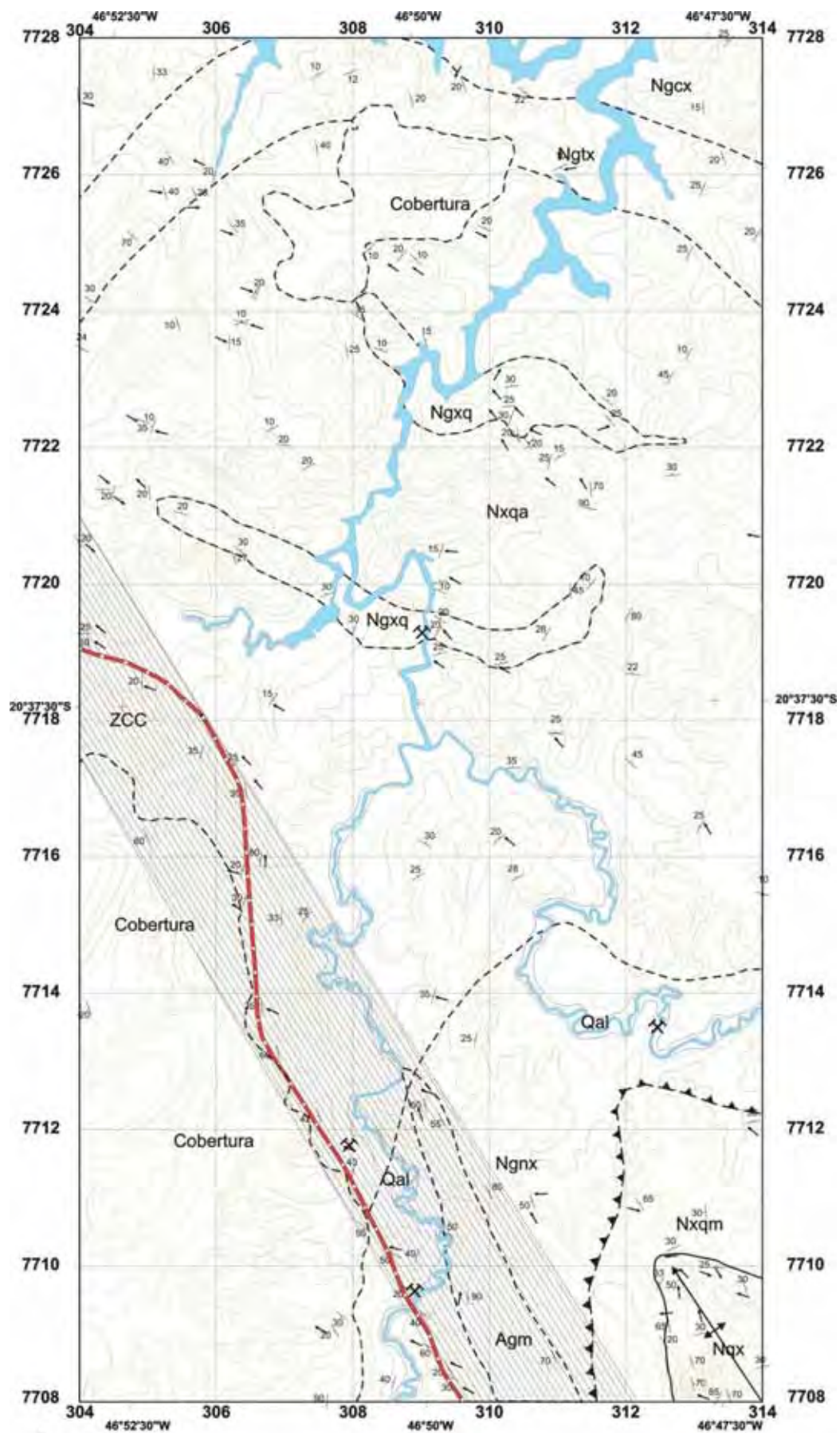


Figura 33 – Mapa estrutural esquemático para visualização das estruturas.

As relações geométricas entre as feições planares observadas em campo e seções delgadas definem uma trama que permite reconhecer um bandamento composicional e uma xistosidade bem desenvolvida denominada de foliação Sn ou foliação principal. O bandamento composicional varia de milimétrico a métrico e é constituído por alternância de porções lepidoblásticas e granoblásticas nos metassedimentos, nematoblástica nas metamáficas, e pela intercalação centimétrica a métrica de diferentes litotipos (Figura 34).



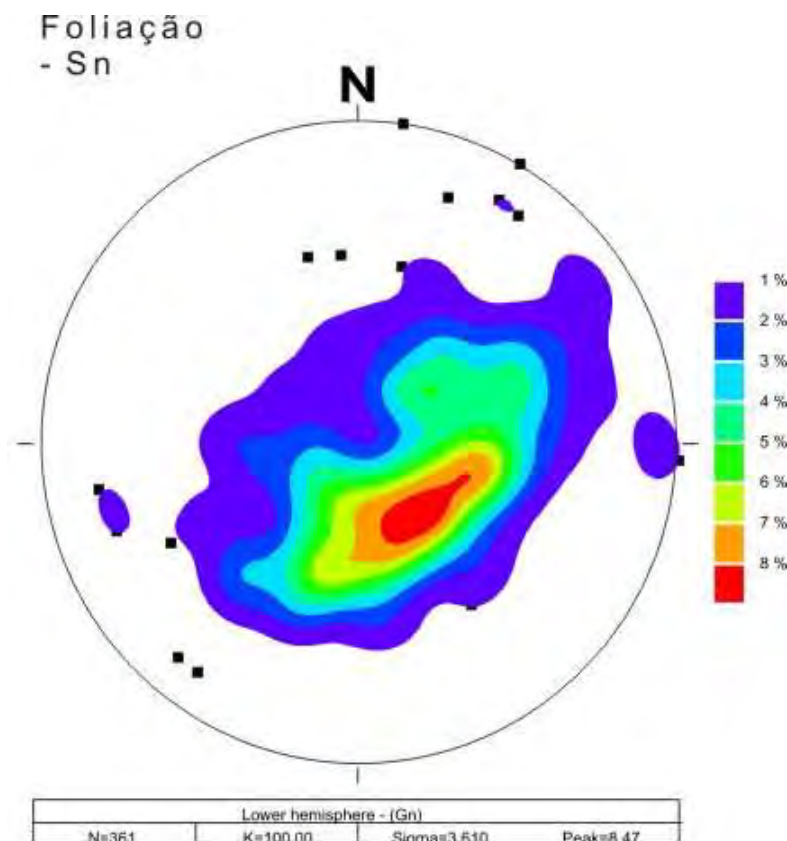
Figura 34 – Intercalação centimétrica de camadas escuras ricas em biotita e camadas claras ricas em quartzo. Afloramento 79.

O bandamento composicional é interpretado como bandamento tectônico desenvolvido durante a estruturação tectônica da área. Esse bandamento é paralelo ao Sn.

A foliação Sn é a principal estrutura planar observada e exibe localmente feições blastomiloníticas, com mobilizados quartzo-feldspáticos, principalmente na área de atuação da Zona de Cisalhamento de Cássia. Essa foliação é caracterizada pela orientação de filossilicatos (muscovita, biotita, etc), grãos de quartzo alongados, cristais de hornblenda orientados, trilhas de minerais opacos, etc. A foliação Sn sobrepõe e incorpora feições associadas à foliação Sn-1 e ao bandamento composicional.

O estereograma 1 mostra o comportamento da foliação principal (Sn) da área de estudo, excetuando a estrutura anticlinal de Itaú (pois terá um estudo à parte). No geral observa-se que a foliação exibe baixo ângulo de mergulho (20° a 30°) para NW, porém exibe boa dispersão (guirlanda larga com orientação NE/SW) evidenciando a presença de ondulações e dobras abertas. Observações de campo identificaram dobras abertas a

fechadas com direções axiais WNW/ESSE, mergulhos baixos para WNW, dobras abertas a suaves com direções axiais próximas a N-S e mergulhos baixos para norte ou sul. Neste contexto, as medidas de maior ângulo de mergulho referem-se a flancos de dobras mais apertadas e às inflexões resultantes da atuação da zona de cisalhamento de Cássia. Cabe ressaltar que esta estrutura também gera foliação de transposição (ZANARDO, 1992).

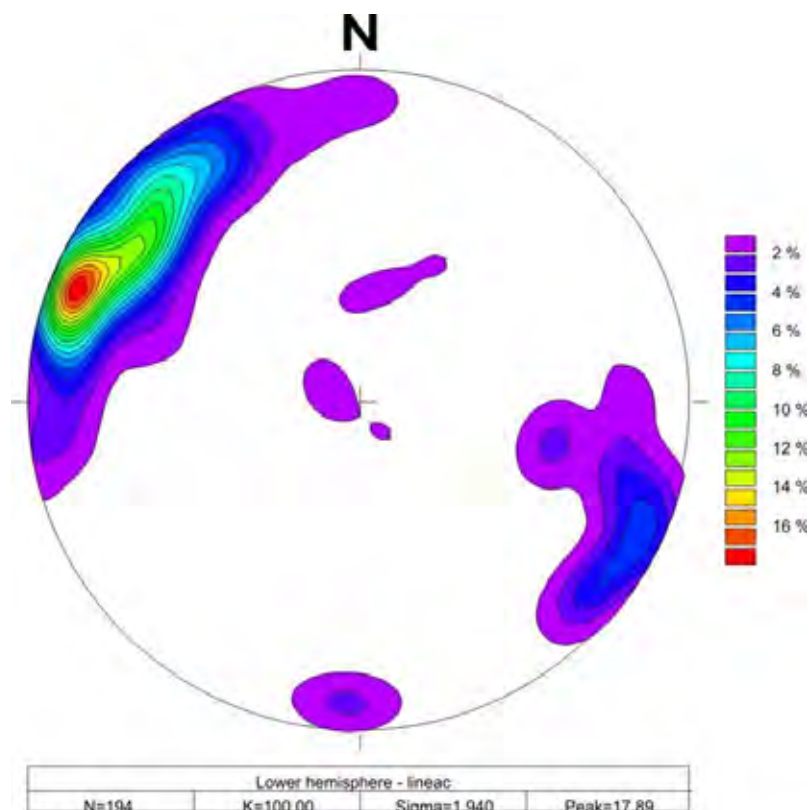


Estereograma 1 - Estereograma dos pólos dos planos da foliação principal. Projeção Hemisfério inferior. Nota-se no diagrama o predomínio da direção NE-SW com mergulho para NW

A foliação Sn está associada à principal fase de deformação (Dn), de caráter dúctil caracterizada pela recristalização e orientação do quartzo e micas, que gerou dobras e crenulações com eixos, no geral, paralelos e/ou subparalelos a lineação mineral e /ou de estiramento.

A lineação principal é definida por agregados estirados de filossilicatos, quartzo, feldspatos e cianita. Em alguns tipos petrográficos a granada com suas formas elípticas também constitui elemento formador da lineação. Neste contexto a lineação principal é entendida como a extensão principal ou eixo "X" do elipsóide deformacional.

As medidas de lineação de estiramento e mineral mostraram ser praticamente paralelas as de eixos de dobras apertadas a isoclinais e exibem direção média NW/SE e mergulho predominantemente menor que 25°, predominantemente, para NW (Estereograma-2)



Estereograma 2 - Estereograma das lineações de estiramento/mineral. Projeção Hemisfério inferior.

Nota-se no diagrama o predomínio da direção NW-SE com mergulho entre 0 e 20°

A direção da lineação colocada acima, aliada ao sentido de transporte observado em campo, indica movimento de massa (aloctonia) de NW para SE, o que demonstra que a evolução da área de estudo é idêntica a do Sinforme do Chapadão, Capetinga e Serra da Ventania, como consta em Zanardo (1992).

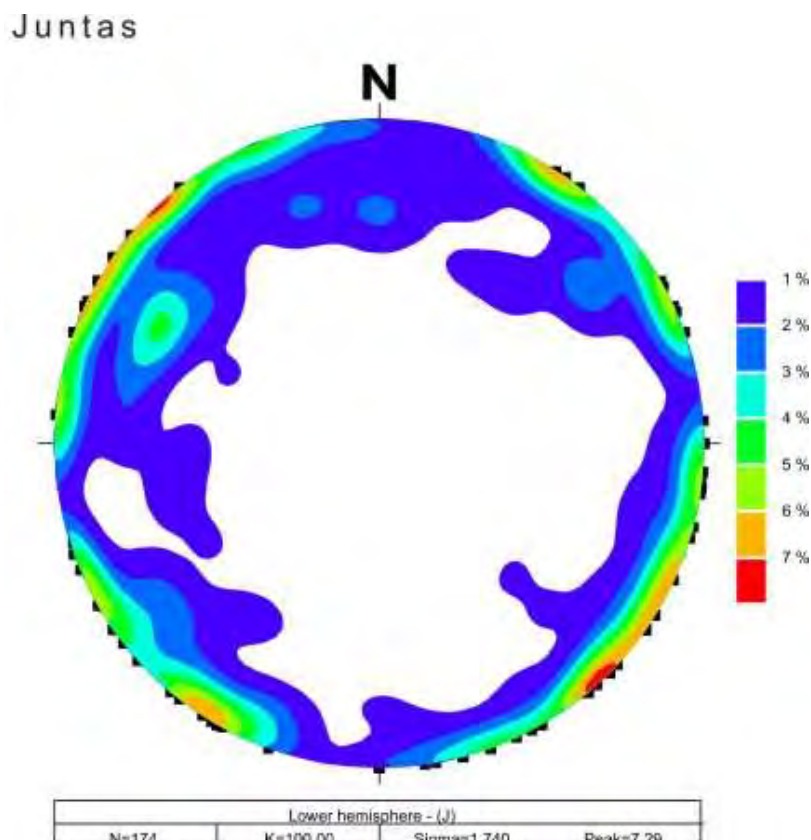
A lineação desenvolvida ou rotacionada na “ZCC” exibe direção e aspecto similar à do sinforme de Passos, estando contida na foliação de maior ângulo de mergulho. Estes aspectos sugerem que esta zona de cisalhamento resultou da continuidade dos processos tectônicos, responsáveis pela aloctonia, possivelmente aproveitando as descontinuidades já existentes no embasamento.

A principal zona de cisalhamento de alto ângulo que afeta a área de estudo é a Zona de Cisalhamento de Cássia (ZCC). A atuação de zonas de cisalhamento indica um comportamento bem mais ativo do embasamento em estágios sin-pós-aloctonia. A “ZCC” aparece no centro de um alto estrutural. Esta zona chega a ter espessura em torno de 2 km e exibe, nos estágios iniciais, comportamento dúctil/rúptil gerando rochas miloníticas e nos estágios finais comportamento predominantemente rúptil, representado por cataclasitos.

As estruturas rúpteis são representadas por fraturas e localmente por falhas de natureza rúpteis a rúpteis/dúcteis direcionais, inversas ou normais, associadas às movimentações finais das zonas de cisalhamento, ou às reativações Cretáceo-Terciária.

Ainda, podem estar também associadas à contração do maciço rochoso, com diminuição de temperatura e/ou dilatação associada à descompressão.

O comportamento das juntas pode ser observado no estereograma 3, referente a área de estudo, que demonstra 4 máximos superiores a 5%. São esses respectivamente em ordem de grandeza: N65E sub-vertical, N25E sub-vertical, N65W sub-vertical e N25W sub-vertical.



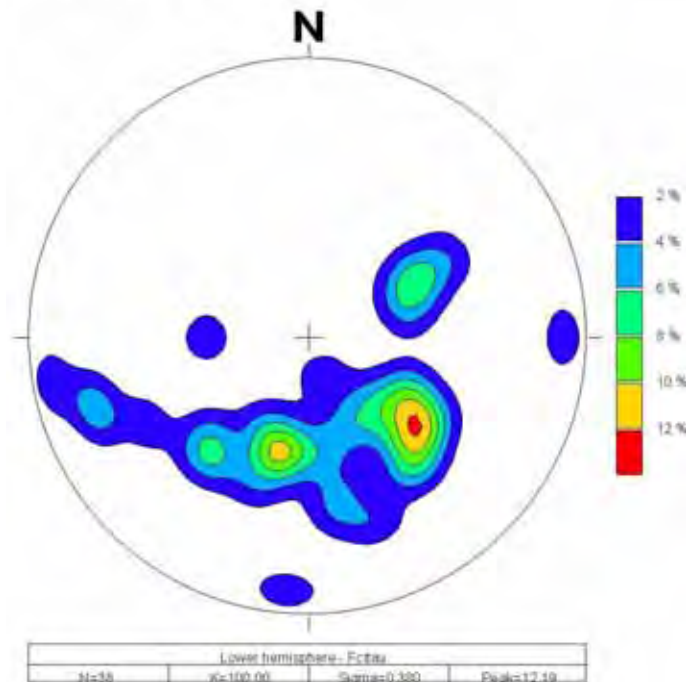
Estereograma 3 - Estereograma dos pólos dos planos das fraturas coletadas na área de estudo. Da análise do mesmo foi possível extrair quatro famílias principais que formam dois pares conjugados de juntas de cisalhamento.

Na região sudeste da área tem-se a “Serra de Itaú”, essa estrutura exhibe mergulhos baixos a altos para os quadrantes NW, NE e SW, configurando um braquiantiforme, com direção axial e baixo mergulho para NW. Esta estrutura é bem marcada pelos quartzitos que compõem a Unidade Nqx (pertencente a sequência deposicional inferior do Grupo Araxá).

O estereograma 3, contendo as medidas da foliação principal no braquiantiforme de Itaú indica direção axial com mergulho pra NNW, assim como visto em mapa. A ausência de medidas correspondentes ao flanco nordeste impediu a formação de uma guirlanda completa.

O estereograma 4, referente aos pólos de planos de juntas, para o flanco sudeste do antiforme de Itaú, apresenta 5 (cinco) máximos de concentração que são os seguintes: N142/20, N160/10, N80/90, N45/90 e N35/25.

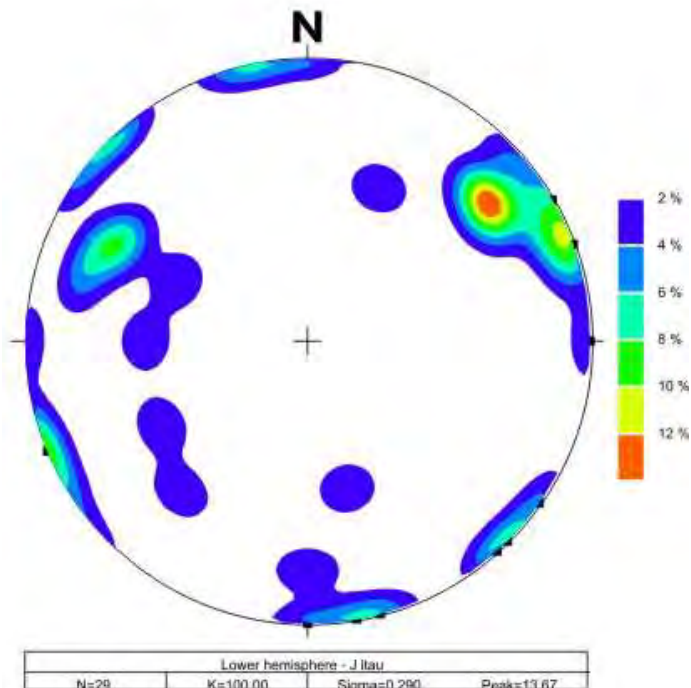
Foliação Itaú



Estereograma 3 - Estereograma dos pólos dos planos da foliação principal referente à estrutura antiformal de Itaú, com medidas contidas predominantemente no flanco SW. Projeção Hemisfério inferior.

Nota-se no diagrama uma semiguirlanda com direção axial e mergulho para NNW.

JUNTAS ITAU



Estereograma 4 - Estereograma dos pólos dos planos das principais direções de fraturamentos contidas na estrutura antiformal de Itaú. Projeção Hemisfério inferior. Nota-se no diagrama o predomínio das direções N142/20, N160/10, N80/90, N45/90 e N35/25

Os indicadores cinemáticos macroscópicos mais comuns observados em campo são porfiroblastos de granada, desde euedrais a subedrais mostrando sombra de pressão assimétrica constituídas por micas e/ou quartzo; porfiroblastos/porfiroclastos de feldspatos, normalmente do tipo potássico e de dimensões variadas; lentes de quartzo centimétricas a métricas e agregados sericíticos sigmoidais com dimensões em torno de 1 cm.

Microscópicamente, os indicadores cinemáticos mais comuns são: as foliações “SS e SC”; porfiroblastos de granada e feldspatos; “mica *fish*” e agregados minerais com formas sigmoidais. Esses indicadores cinemáticos evidenciam a atuação de deformação não coaxial, durante o desenvolvimento da foliação principal associado ao transporte de WNW para ESE, idêntico para todas as unidades.

5.3 Estudos Metamórficos

Neste capítulo estão descritas as principais associações metamórficas dos diferentes tipos de rochas, bem como as transformações ocorridas no tempo. A evolução metamórfica da região, aqui apresentada, baseia-se em dados de campo aliados às análises petrográficas. Esse procedimento permitiu dividir a área em 3 domínios metamórficos distintos: Domínio Sudeste - DS - (verde), Domínio Central –DC-(vermelho) e Domínio Norte –DN- (azul) (Figura 35).

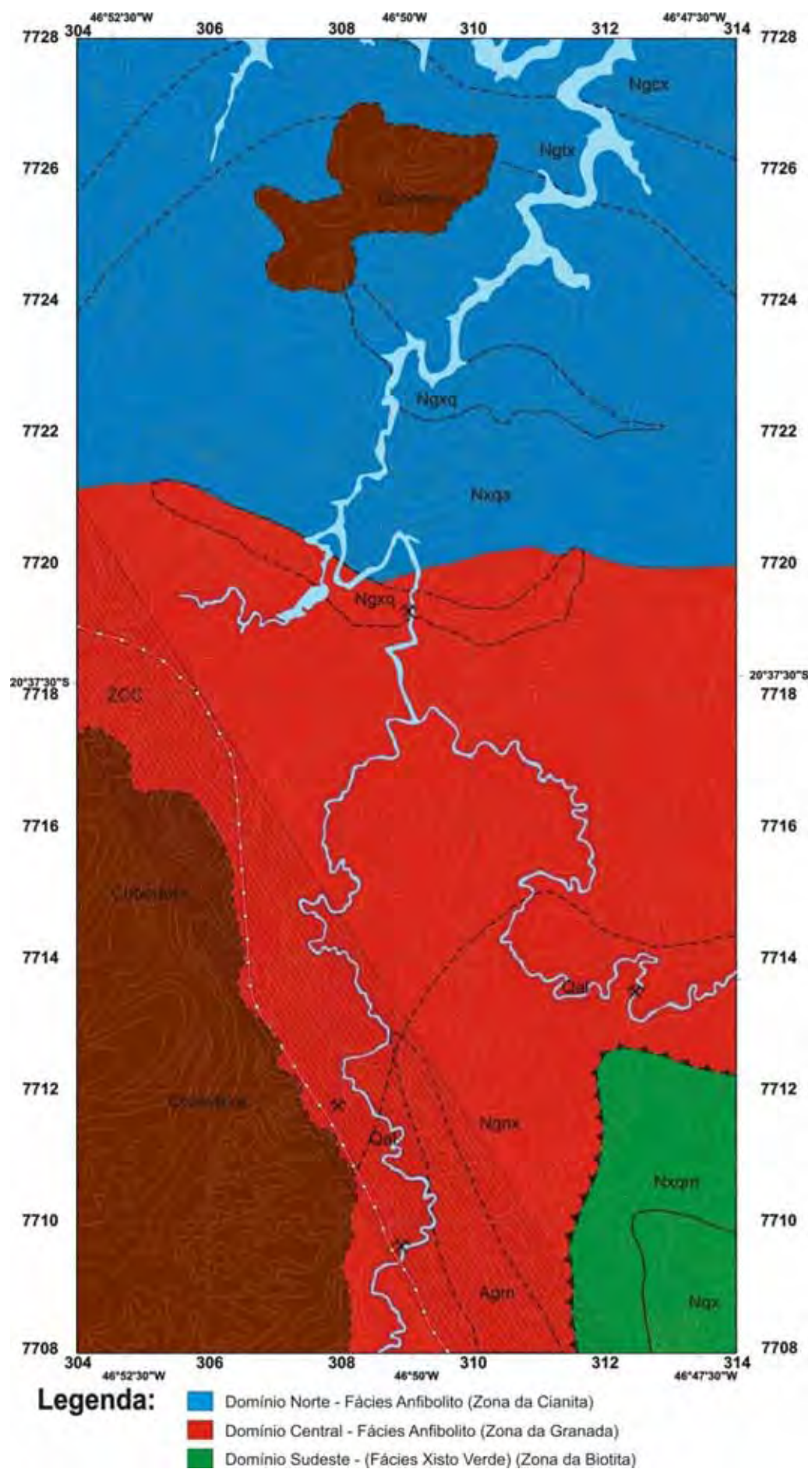


Figura 35 - Mapa metamórfico esquemático para visualização dos diferentes domínios.

5.3.1 Metamorfismo no Domínio Sudeste

Este domínio é caracterizado por quartzitos e muscovita xistos em Fácies Xisto Verde – zona da biotita (Figura 43, 44 e 45). Tectonoestratigraficamente essa associação petrográfica pertence à base do Grupo Araxá (Sequência deposicional inferior) e foi intensamente afetada pelo cavalgamento que gerou a Nappe de Passos.

As principais associações minerais observadas foram:

Quartzo + muscovita;

Rutilo e magnetita são as fases óxidos presentes.

Para essa unidade, Zanardo (1992), em outros locais, detectou a presença de ferro-actinolita, albita e biotita, onde tal associação mineralógica elevaria a fácies xisto verde para o seu limite superior, próximo a fácies anfibolito.

5.3.2 Metamorfismo no Domínio Central

Este domínio é caracterizado pelo mineral índice granada, evidenciando metamorfismo em Fácies Anfibolito – zona da granada (Figura 43, 44 e 45). Tectonoestratigraficamente essa associação petrográfica abrange desde o início ao meio da sequência deposicional superior do Grupo Araxá.

As principais associações minerais observadas foram:

Quartzo + plagioclásio(andesina/oligoclásio) + muscovita + biotita;

Quartzo + plagioclásio(andesina/oligoclásio) + muscovita + biotita + epidoto;

Quartzo + plagioclásio(andesina/oligoclásio) + muscovita + biotita + granada + rutilo;

Quartzo + plagioclásio(andesina/oligoclásio)+muscovita+biotita+epidoto+hornblenda;

Quartzo + plagioclásio(andesina/oligoclásio) + muscovita + granada;

Quartzo + labradorita/andesina/oligoclásio + hornblenda + epidoto;

Quartzo + labradorita/andesina/oligoclásio + hornblenda + granada + epidoto.

Rutilo e ilmenita são as fases óxidos presentes.

Essas associações minerais observadas são da Fácies Anfibolito, acima da zona da granada, sugerindo um gradiente de pressão média a alta. A pressão indicada pela presença de andesina/oligoclásio + hornblenda + granada + rutilo em associação com a presença de mobilizados graníticos, em metassedimentos, indicam que esta porção atingiu o campo da anatexia.

As paragêneses e associações minerais encontradas nas rochas metamáficas (anfibolitos) são correlacionáveis às observadas nas rochas encaixantes, catalisadas pela deformação progressiva que ocorreu em condições de diminuição de temperatura e principalmente pressão.

5.3.3 Metamorfismo no Domínio Norte

Este domínio é caracterizado pelo mineral índice cianita, evidenciando metamorfismo em Fácies Anfibolito – zona da cianita (Figura 43, 44 e 45). Tectonoestratigraficamente essa associação petrográfica pertence à parte superior do Grupo Araxá.

As principais associações minerais observadas foram:

Quartzo + ortoclásio/microclínio + plagioclásio(andesina/oligoclásio) + muscovita + biotita + granada + cianita + rutilo;

Quartzo + plagioclásio(labradorita/andesina/oligoclásio) + epidoto + hornblenda;

Quartzo + plagioclásio(andesina/oligoclásio) + muscovita + granada + cianita;

Quartzo + plagioclásio(andesina/oligoclásio) + biotita + granada + muscovita.

Rutilo, magnetita e ilmenita são as fases óxidos presentes. Neste domínio os minerais possuem dimensões maiores, sendo que a cianita chega a atingir aproximadamente 5 cm.

A presença de andesina/oligoclásio + cianita + granada + rutilo em associação com mobilizados graníticos (ortoclásio/quartzo/oligoclásio ou andesina), são indicativos de Fácies Anfibolito, zona da cianita, sugerindo um gradiente de pressão média a alta, superior ao barrowiano típico.

As reações minerais com formação de titanita nas bordas do rutilo (Figura 36) e desmisturação e diferenciação de cor em anfibólios (hornblenda) (Figura 37) indicam que ocorreu um reequilíbrio de mais baixa temperatura ainda na fácies anfibolito. Esse reequilíbrio retrogressivo, em fácies anfibolito foi catalisado pela progressão da deformação principal e é evidenciado por feições petrográficas como a orientação dos minerais.

Tendo em vista ainda a formação de muscovita ao redor da cianita e biotita e/ou clorita oriundas da alteração da granada (Figura 38) tem-se uma associação mineral também retrometamórfica resultante do equilíbrio mineral sin a tardi-Dn, de natureza estática, evidenciada pela não orientação dos minerais.

A presença de porfiroblastos de granada ricos em inclusões de rutilo e, às vezes, também cianita, em rochas com a presença de ortoclásio, sugere que estes surgiram de reação envolvendo o consumo de plagioclásio, ilmenita e biotita (Figura 39). Esta reação projeta ambiente bárico relativamente alto para o metamorfismo dessas rochas e temperaturas mínimas da ordem de 700°C.

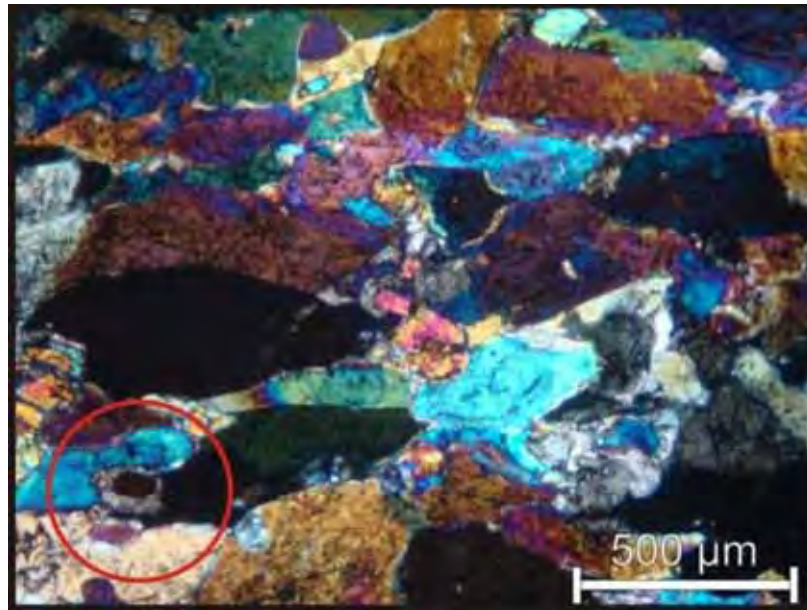


Figura 36 – Fotomicrografia em nicóis cruzados de Hornblenda-epidoto anfibolito contendo titanita secundária formada a partir do rutilo. Afloramento 70

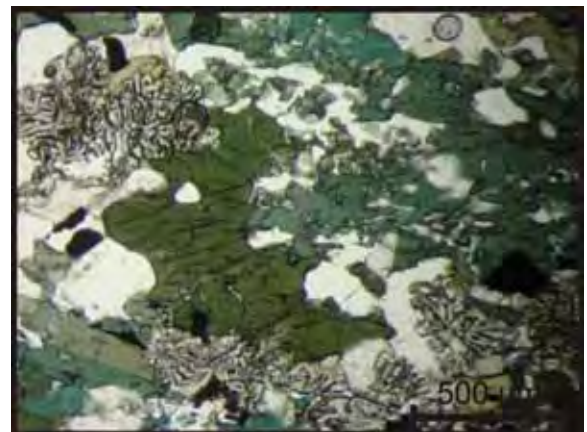
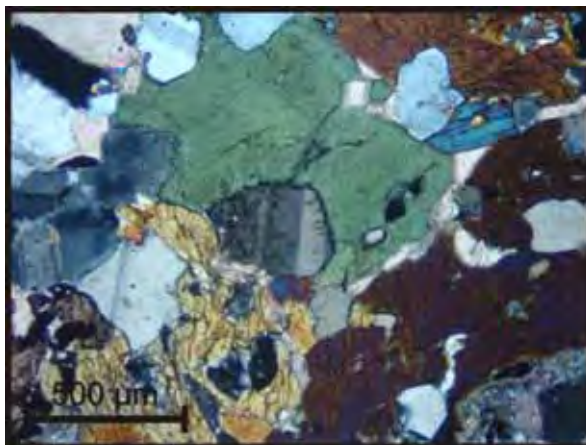
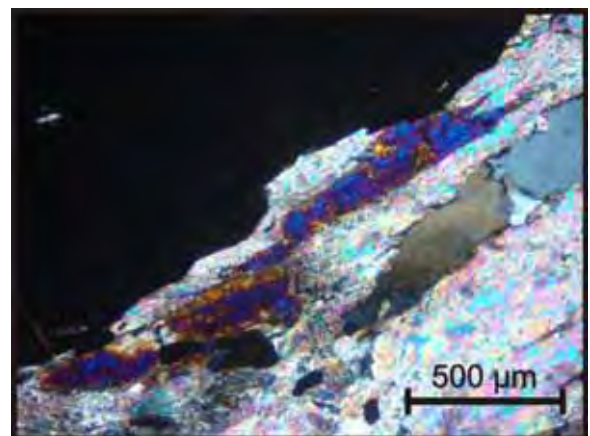
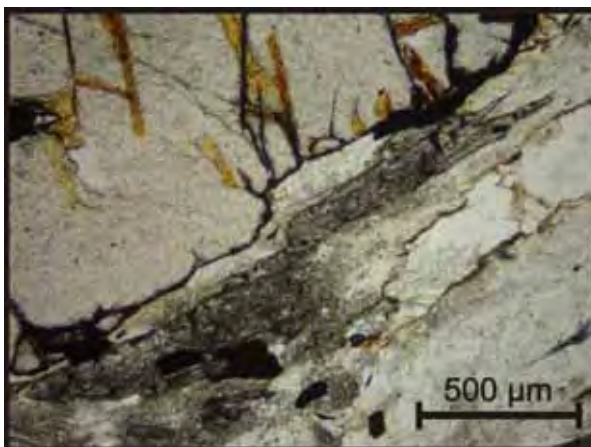


Figura 37 – Fotomicrografia em nicóis paralelos de Granada-epidoto anfibolito mostrando a alteração de hornblendas e a formação de epidoto e quartzo vermiforme configurando um desequilíbrio no sistema durante o resfriamento. Afloramento 64.



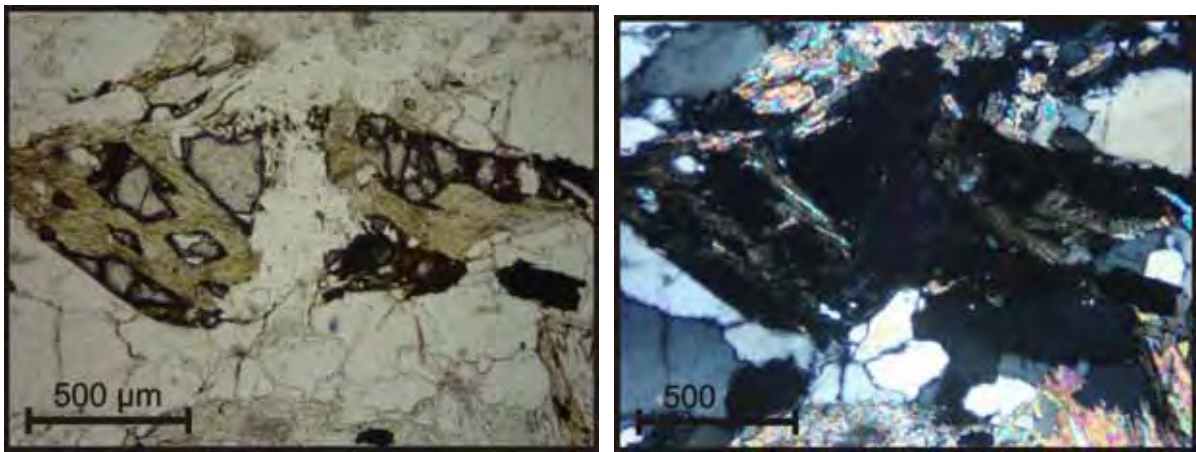


Figura 38 – Fotomicrografia, em nicóis paralelos e cruzados respectivamente, de Cianita-granada-muscovita xisto quartzoso mostrando na primeira sequência a alteração da cianita para muscovita e na segunda a alteração de granada para clorita. Afloramento 4.

O metamorfismo principal gerou as paragêneses de mais alto grau presentes na área, estando o gradiente metamórfico invertido. Simões (1995) discute que um metamorfismo anterior ao Metamorfismo Principal certamente atuou nas rochas da Nappe de Passos, podendo estar associado a este evento alguns dos minerais encontrados como inclusões nos porfiroblastos de granada (epidoto, cianita, rutilo). A análise da relação deformação X metamorfismo indica que o auge do MP ocorreu pré a cedo Dn. A presença de um evento retrometamórfico sin-Dn associado à diminuição de temperatura teria ocorrido logo após o auge do MP e é associado ao transporte/cavalgamento desses metassedimentos sobre o continente.

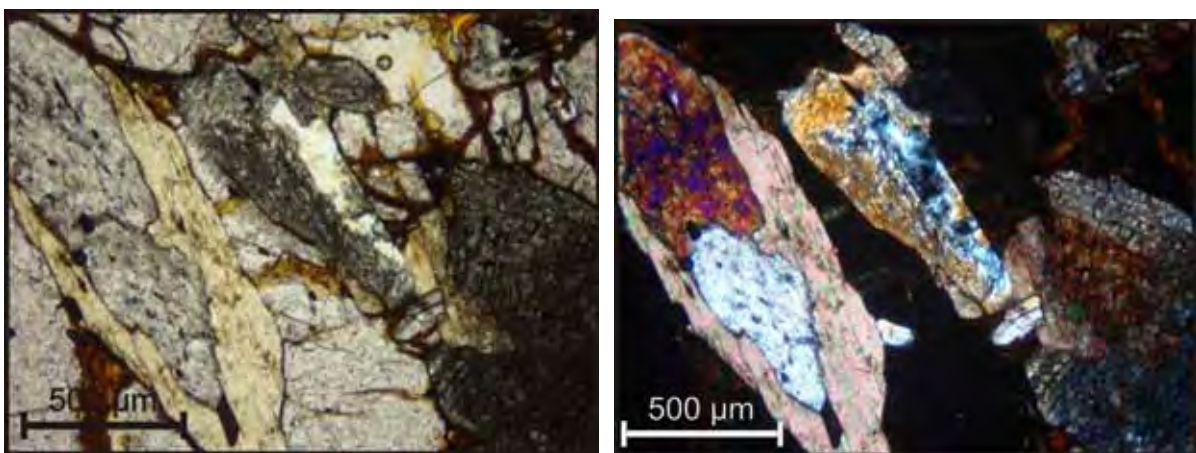


Figura 39– Fotomicrografia, em nicóis paralelos e cruzados respectivamente, de cianita-granada xisto mostrando granadas poiquiloblástica contendo inclusões de cianita com bordas alteradas para muscovita. Afloramento 12.

No retrometamorfismo é provável que tenha ocorrido nas temperaturas mais elevadas à formação de biotita e titanita bem cristalizada, (Figura 40); epidoto, muscovita,

clorita e titanita fina nas temperaturas intermediárias (Figura 41); e sericita, leucoxênio e, às vezes estilpnomelano e adulária, nas temperaturas mais baixas (Figura 42).

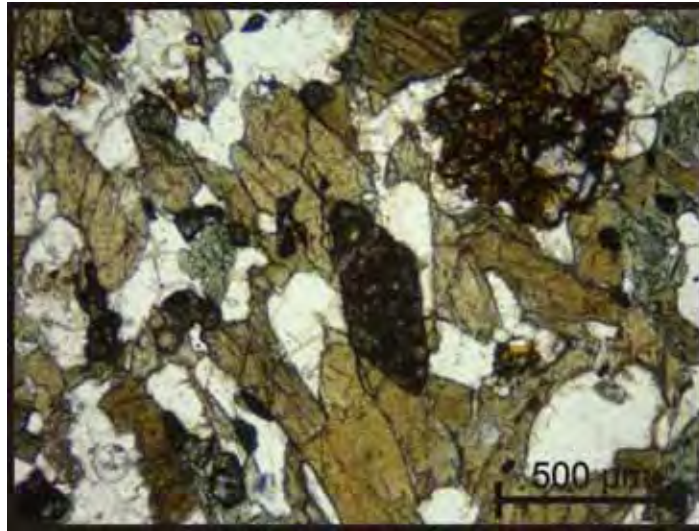


Figura 40– Fotomicrografia, em nicóis paralelos, de granada anfibolito contendo cristais de titanita facetados. Afloramento 9.

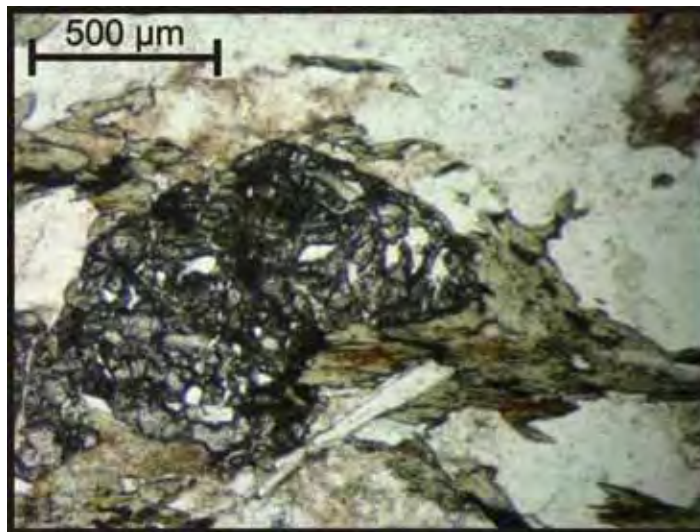


Figura 41– Fotomicrografia, em nicóis paralelos, de granada-clorita gnaiss tonalítico mostrando a formação de clorita a partir da granada. Afloramento 15.

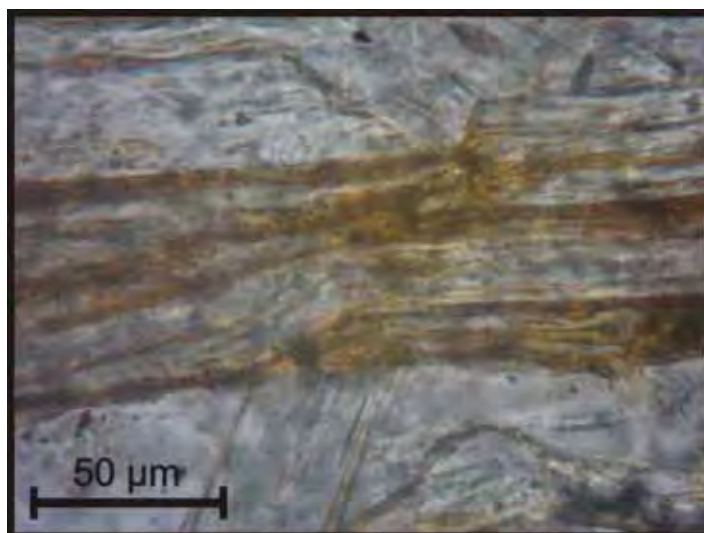


Figura 42– Fotomicrografia em nicóis paralelos de cianita-granada xisto mostrando a formação de filmes de estilpnomelano formado nos interstícios da muscovita.

Estas associações mineralógicas atestam a diminuição de temperatura e pressão, porém não permitem definir se o retrometamorfismo ocorre em ambiente bórico compatível com o campo da cianita ou da sillimanita/andaluzita. Porém com base em Simões et al. (1989) e Simões (1995) o adelgaçamento da seqüência ocorreu em regime de deformação dúctil, projetando gradientes térmicos de 50°C/km a 60°C/km. Dessa forma, o retrometamorfismo, pelo menos nos estágios finais, teria ocorrido em fácies xisto verde inferior, zona da clorita, adentrado no campo da andaluzita (Figura 43, 44 e 45). Contudo, a não formação da andaluzita ou da sillimanita foi devido o retrometamorfismo ter ocorrido em condições de passagem de fluidos alcalinos, aspecto atestado pela presença de muscovita e sericita substituindo cianita, granada e feldspatos, bem como a presença de adulária preenchendo espaços abertos no final da evolução tectono-metamórfica.

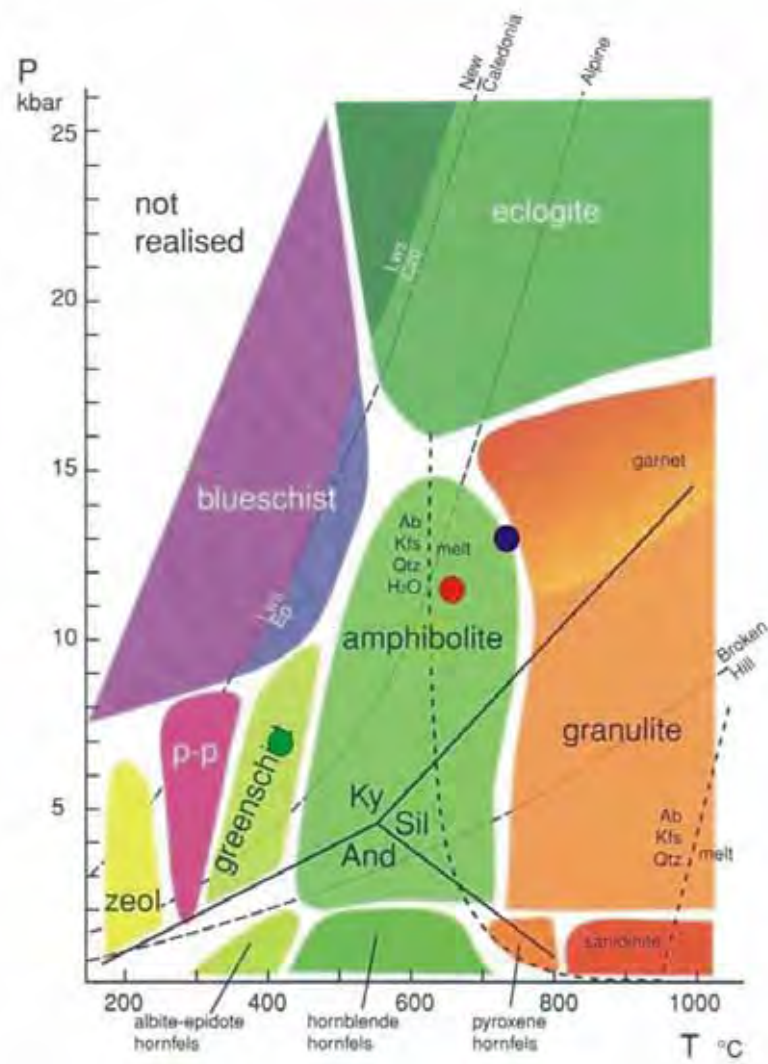


Figura 43 – Diagrama de temperatura (°C) e pressão (kbar) contendo o campo de estabilidade para os três domínios metamórficos identificados na área de estudo. As cores são equivalentes ao mapa esquemático (Figura 35) onde: Azul= DN, Vermelho =DC e Verde = DS.

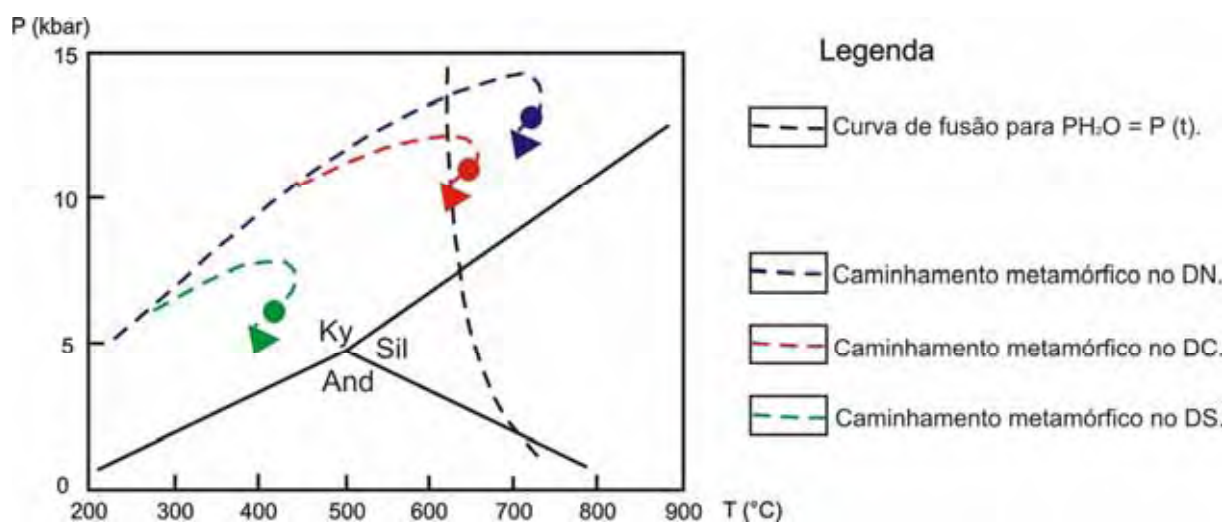


Figura 44 - Caminhamento metamórfico para os três diferentes domínios identificados.

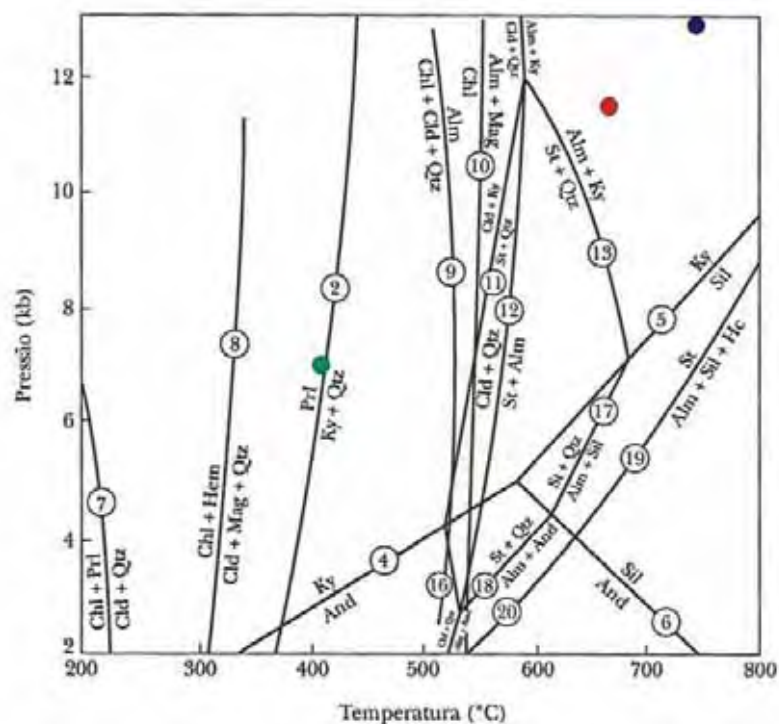
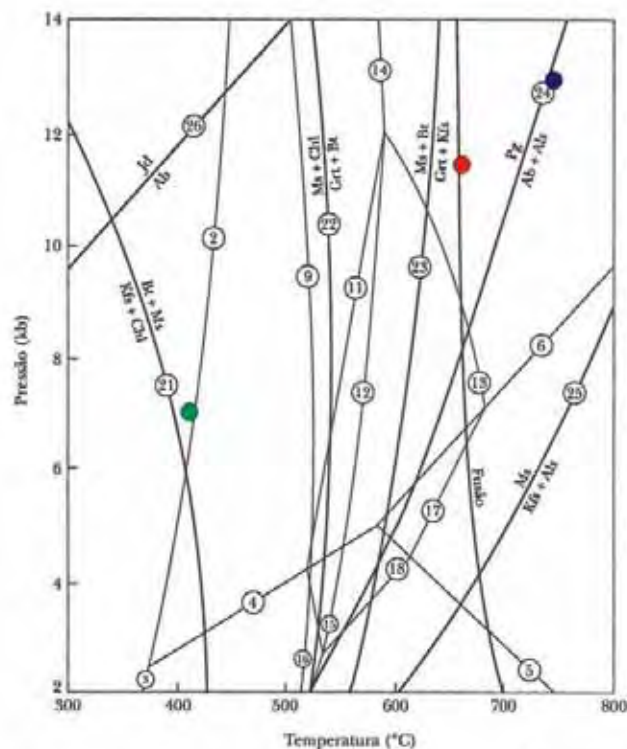


Figura 45- Diagramas de reações metamórficas contendo para os três domínios os prováveis campos de P e T, baseado na paragénese mineral e observações de campo.

5.4 Estudos Geoquímicos

Na tentativa de caracterizar quimicamente parte das litologias ora descritas e assim procurar estabelecer seus antecedentes metamórficos, foram feitas análises químicas (rocha total) em 6 amostras, sendo quatro em anfibolitos (AA-9, AA-10, AA-13a, AA-15b) e duas em gnaisses (AA-15a, AA-17). A localização das amostras consta na Figura 46. Para a melhor visualização dos dados, o mapa de pontos encontra-se no ANEXO 1.

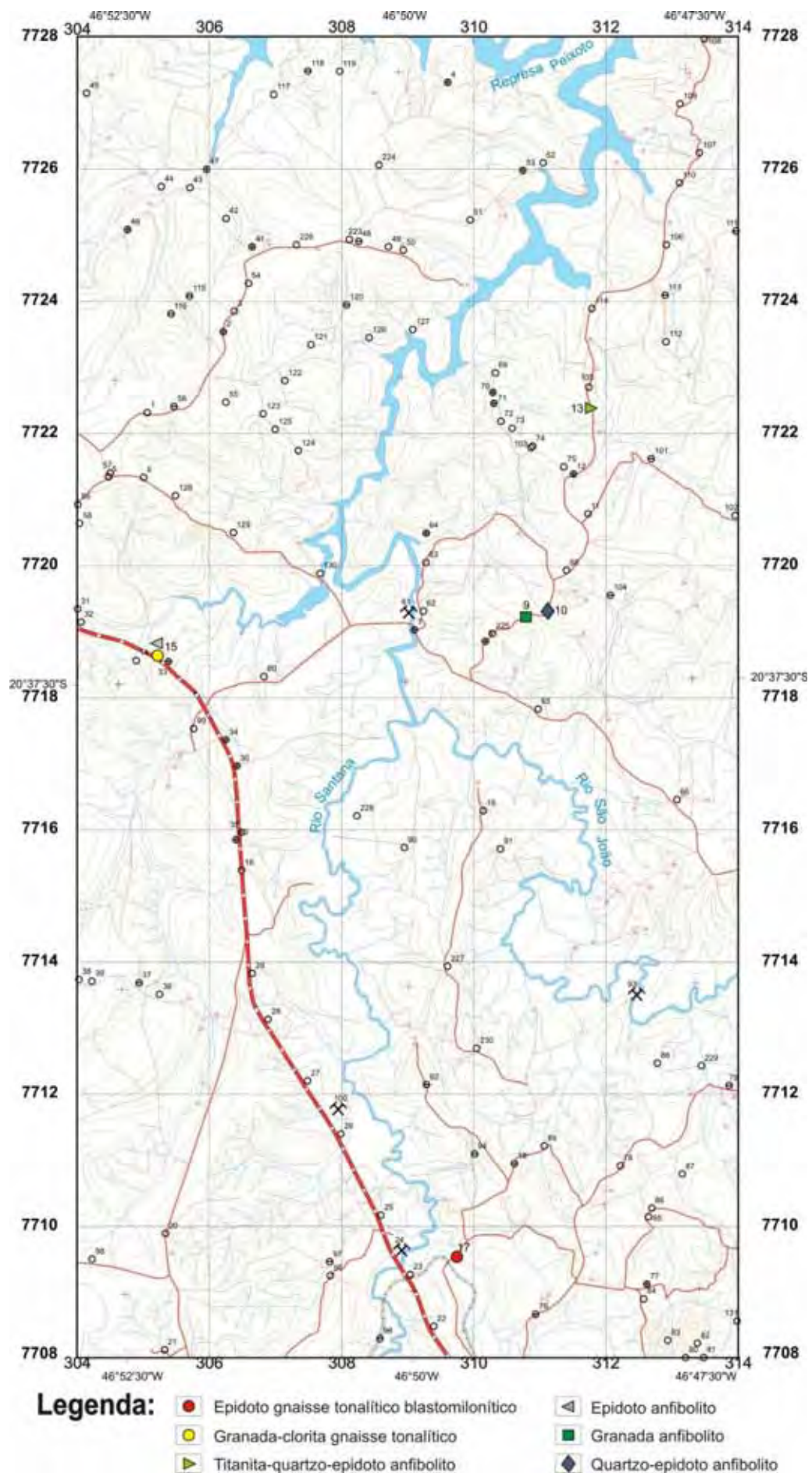


Figura 46 – Mapa de pontos esquemático, ressaltando a localização das amostras 9, 10, 13, 15 e 17.

5.4.1 Geoquímica das rochas gnáissicas

As duas amostras de gnaisses selecionadas para estudos litoquímicos estão inseridas na Zona de Cisalhamento de Cássia, sendo que a AA-15a (círculo amarelo) mostra-se pouco deformada, enquanto que a AA-17 (círculo vermelho) encontra-se milonitizada. Os resultados obtidos indicam que os dois gnaisses respectivamente apresentam grande variação nos conteúdos de elementos maiores como: SiO_2 (63,5 e 68,8), TiO_2 (0,85 e 0,38), FeO^t (7,05 e 2,23), MgO (2,95 e 1,07), CaO (1,64 e 3,47), Na_2O (2,87 e 5,17), K_2O (3,07 e 1,33) e P_2O_5 (0,21 e 0,13), excetuando no teor de Al_2O_3 (14,68 e 15,52) que é bem próximo (Figura 47). As descrições petrográficas desses gnaisses encontra-se no ANEXO 3.

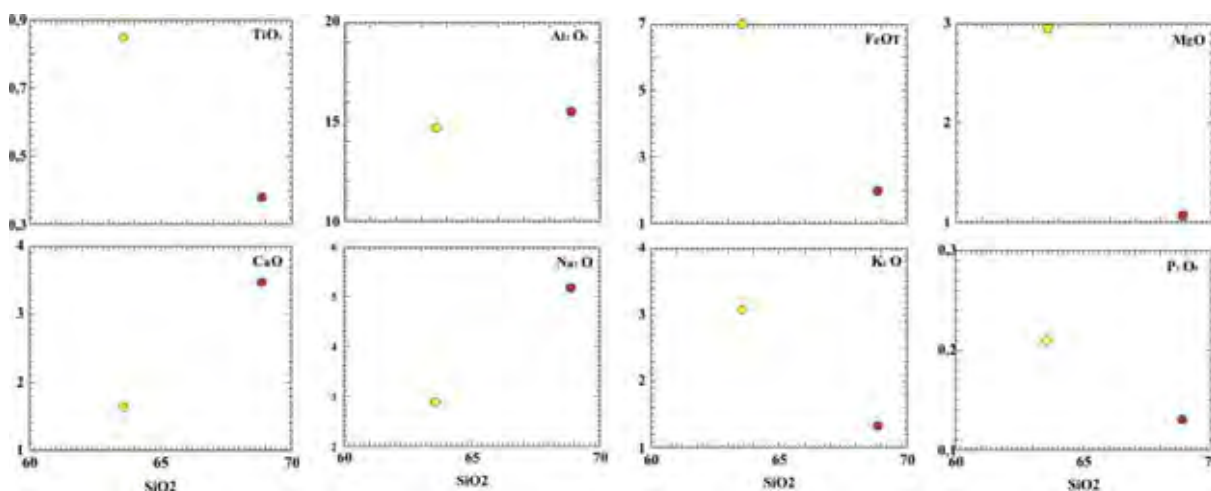
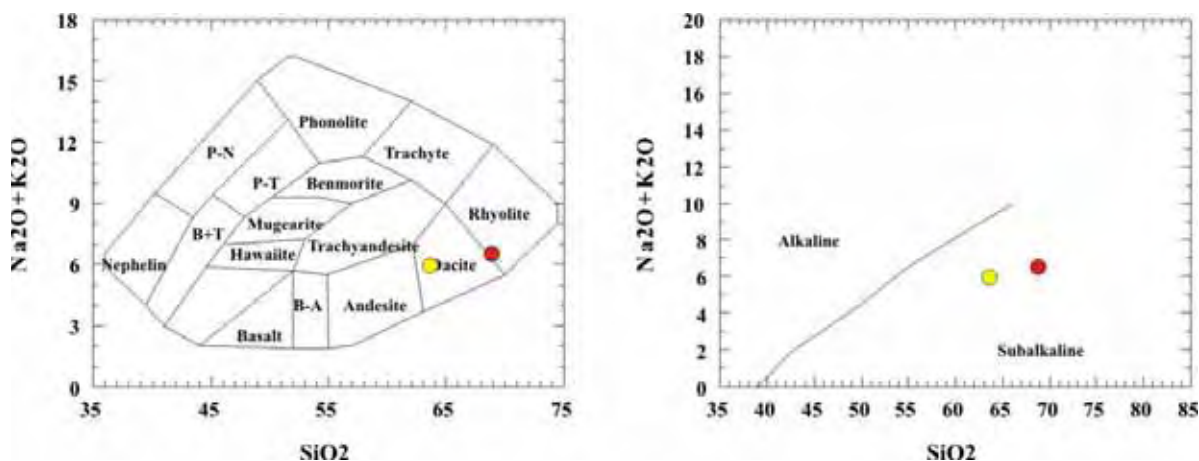


Figura 47 – Padrão de distribuição TiO_2 , Al_2O_3 , FeO^t , MgO , CaO , Na_2O , K_2O e P_2O_5 vs SiO_2 para as amostras AA-15a (círculo amarelo) e AA-17 (círculo vermelho).

Esses gnaisses como demonstram os gráficos abaixo (Figura 48), apresentam composição subalcalina, sendo que a amostra AA-15a exibe maior teor em FeO^t , tendendo ao campo toleítico e em termos de mineralogia normativa é classificada como dacito. Já a amostra AA-17 está inserida no campo dos riolitos sendo, portanto, mais cálcio-alcalina e com maior riqueza em álcalis, em especial o Na.



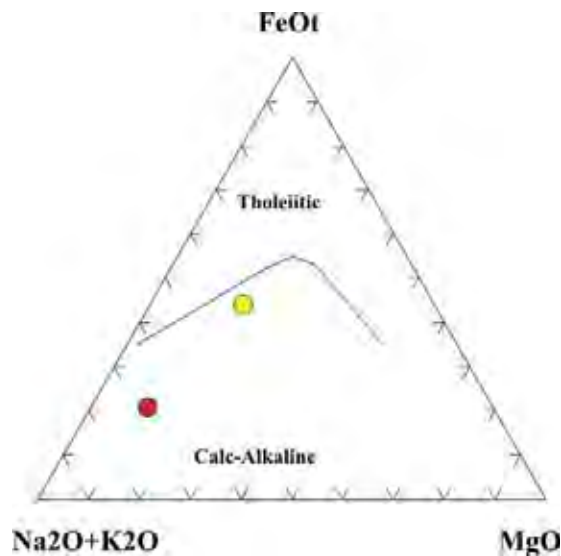


Figura 48 – Conjunto de diagramas para a classificação das amostras AA-15a ● e AA-17 ● quanto aos teores em SiO₂, Na₂O+K₂O, MgO e FeO.

O conteúdo total de ETR (elementos terras raras) normalizados pela crosta continental mostra que o “trend” da Amostra AA-17 apresenta pouca variação e baixo teor em ETRP (elementos terras raras pesados), e um significativo enriquecimento em ETRL (elementos terras raras leves). Esse padrão permanece quando normalizada também pelo Basalto de Ilha Oceânica e também pelo Manto Primitivo.

Para a amostra AA-15a o *trend* exibe padrão em gaivota com acentuado empobrecimento em Eu, e comporta-se de modo retilíneo na horizontal para os demais elementos (Figura 49).

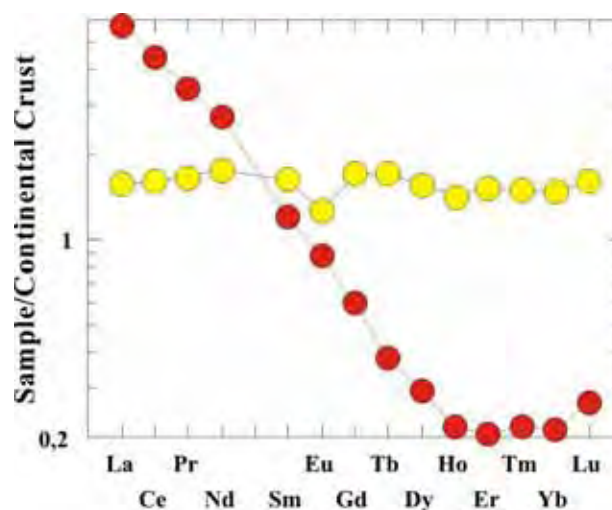


Figura 49 – Padrão de distribuição de ETR normalizados pela Crosta Continental para as amostras AA-15a ● e AA-17 ●.

No que concerne a classificação das rochas quanto ao seu ambiente tectônico, os gráficos utilizados na Figura 50 sugerem que os gnaisses derivaram de protólitos

magmáticos gerados em ambiente de arco vulcânico, durante processo colisional.

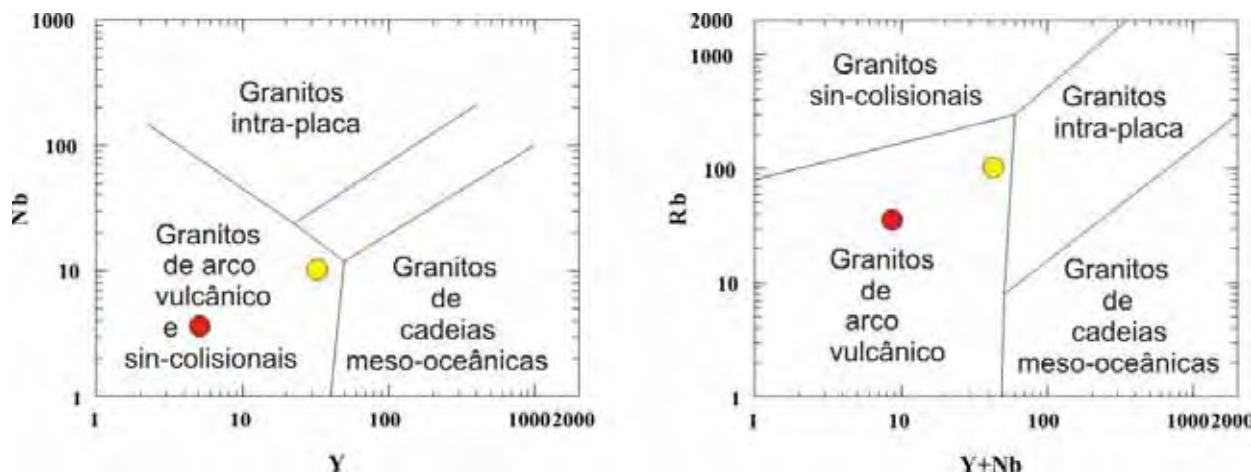


Figura 50- Gráficos discriminantes de ambientes tectônicos para os gnaisses AA-15a ●e AA-17 ●

Os dados litoquímicos mostram significativas diferenças entre os dois protólitos, indicando que as rochas possuem diferentes origens sendo compatível com as observações de campo, visto que na ZCC afloram rochas do embasamento e estas deveriam exibir maior diferenciação devido aos inúmeros processos de perturbação tectôno/metamórfica, fusão e refusão sofridas ao longo do tempo. No caso, a amostra AA-17 representada pela bola vermelha envolve resíduo na fonte, rico em granada, fato que explicaria a baixa quantidade em ETRP, ou tratando-se de um material pretérito, bem diferenciado. Já a amostra AA-15a representada pela bola amarela teria um resíduo na fonte com maior teor de plagioclásio intermediário a cálcico para explicar a anomalia negativa em Eu.

5.4.2 Geoquímica das rochas anfibolíticas

As quatro amostras de anfibolitos (AA-9 ■, AA-10 ◆, AA-13 ► e AA-15 ◄) selecionadas para estudos litoquímicos estão inseridas nas unidades Ngxq e Nxqa.

O pequeno número de amostras (4) não permite ver de forma clara a correlação entre os principais óxidos e elementos químico em relação ao magnésio (Figura 51). No entanto, pode ser observada a correlação positiva do magnésio com Cr, Ni e Cu e negativa com o Y e o Mn como é o esperado. Em relação aos outros elementos não é possível perceber a tendência de forma clara, inclusive aparenta correlação positiva em relação a SiO_2 , Al_2O_3 , K_2O e Rb, fato que contraria o esperado. Este aspecto e a dispersão dos pontos em relação aos demais elementos, apesar do pequeno número de análise, permitem levantar a hipótese de modificação do quimismo dessas rochas, em relação aos elementos maiores, durante a evolução tectono-metamórfica. As descrições petrógráficas desses anfibolitos encontram-se no ANEXO 3.

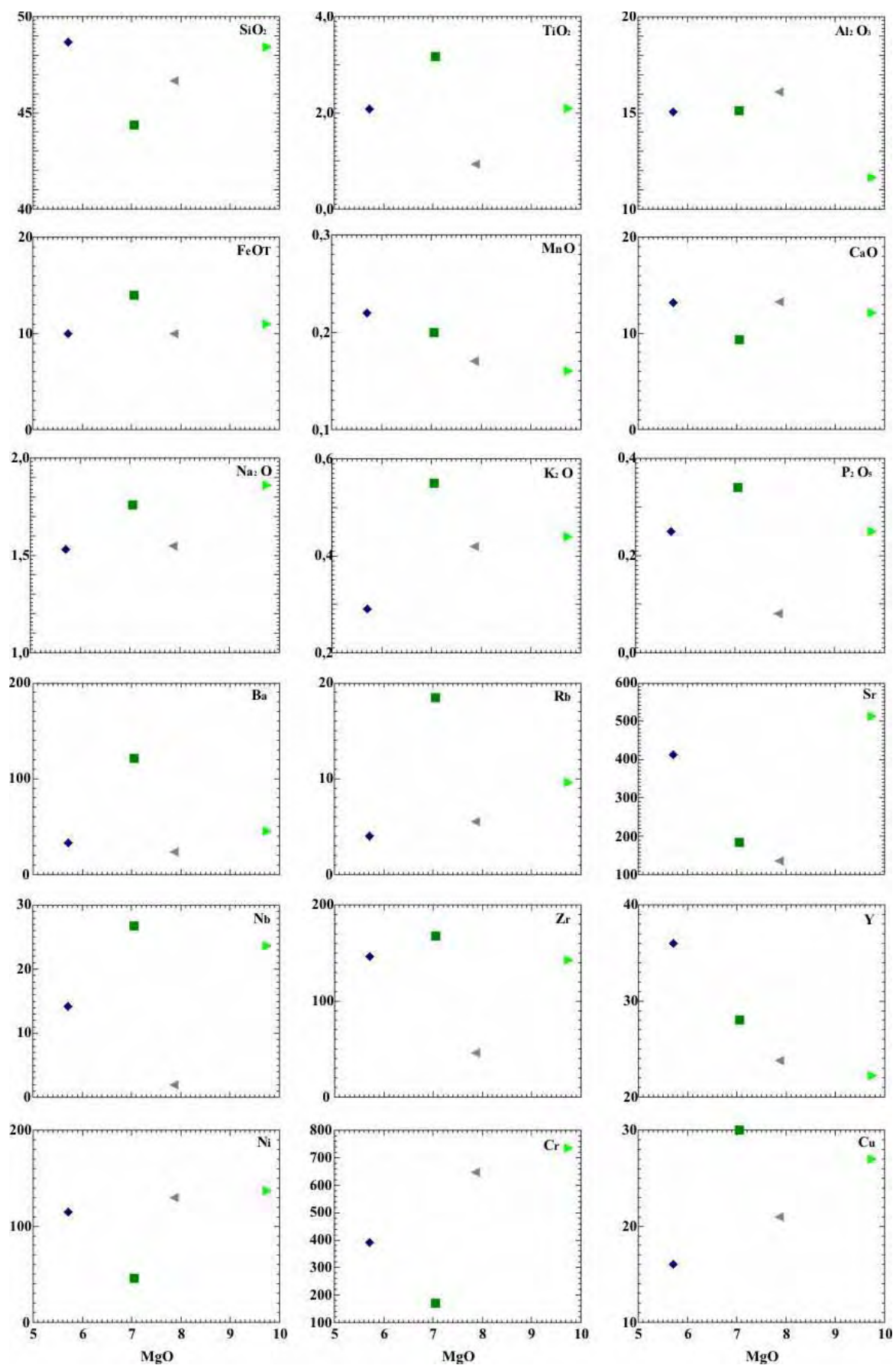


Figura 51- Diagramas binários de elementos maiores e incompatíveis VS MgO, mostrando a variação da composição das amostras analisadas (AA-9 ■, AA-10 ◆, AA-13 ▲ e AA-15 ▴).

Em relação aos diagramas de classificação, as rochas plotam no campo dos basaltos, sendo posteriormente inseridos no campo de basalto de assoalho oceânico. Exibem composição toleítica quanto o valor de FeOt e subalcalina devido o baixo teor em Na₂O+K₂O (Figura 52).

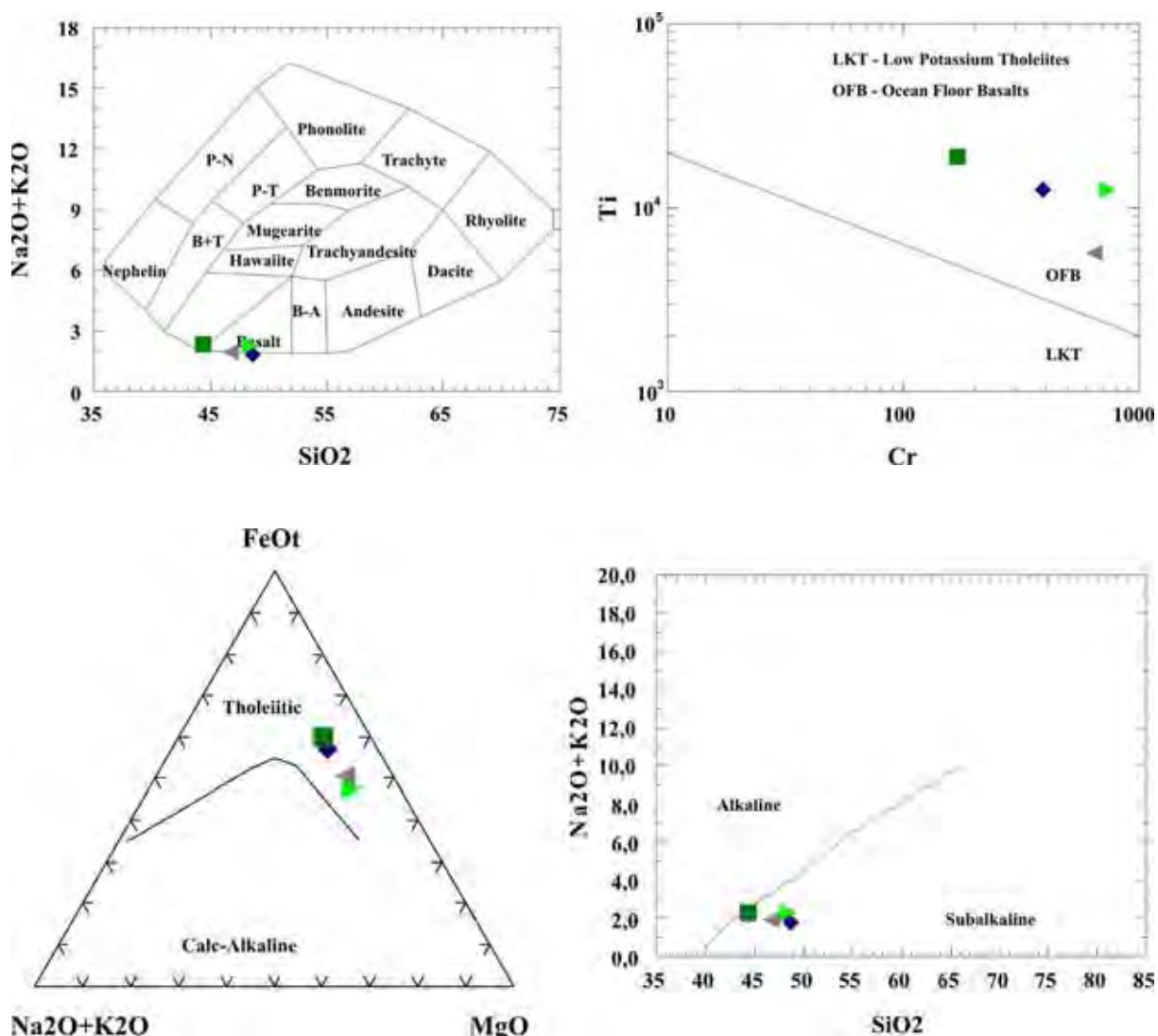


Figura 52- Diagrama para a classificação das amostras quanto à composição normativa, mostrando a natureza basáltica; diagrama de álcalis VS. Sílica indicando natureza subalcalina e diagrama AFM mostrando o caráter toleítico das amostras AA-9 ■, AA-10 ◆, AA-13 ► e AA-15 ◄.

A figura 53, relativa ao conteúdo em terras raras normalizada por basaltos N-MORB, indica que o provável protólito desses anfíbolitos tenha sido N-MORB com diferenciação e enriquecimento em álcalis/ETRLs. A amostra AA-15 apresenta comportamento bem diferente das demais, exibindo padrão similar ao N-MORB sendo, contudo pouco diferenciada. Para discussão mais aprofundada é necessário um tratamento mais apurado dos dados, bem como uma maior quantidade de rochas analisadas.

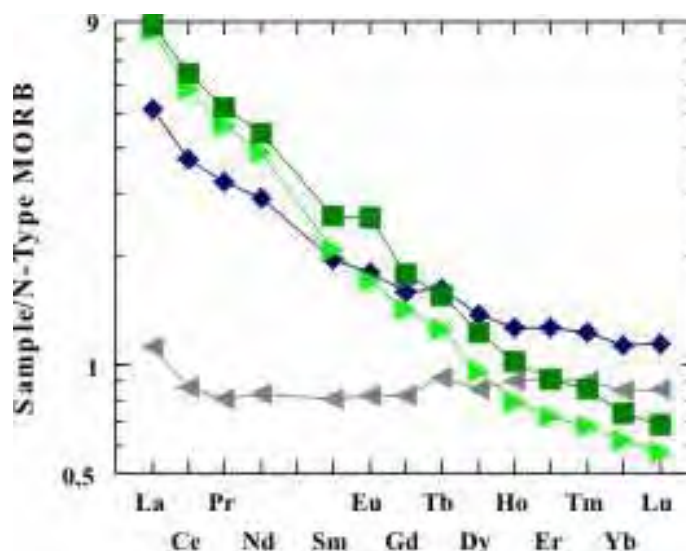


Figura 53 – Padrão de distribuição de ETR normalizados por basaltos tipo N-MORB para as amostras AA-9 ■, AA-10 ◆, AA-13 ▲ e AA-15 ▼

5.5 Aspectos Econômicos

Os trabalhos de mapeamento geológico, aqui apresentados, associados com as análises petrográfica e estrutural permitiram agrupar os litotipos em várias unidades de mapeamento sendo que praticamente todas elas apresentaram rochas/minerais com potencialidade de uso econômico. No entanto, na área de estudo foram observadas apenas exploração de areia para construção civil e argila de várzea para cerâmica vermelha (tijolos baiano e comum).

A unidade Nqx é composta por quartzitos ou como é chamado popularmente “Pedra Mineira”, este material é bastante utilizado para calçamento de clubes, chácaras, e revestimento de área externa, podendo ser empregado também como brita.

A presença de veios de quartzo leitoso na Unidade Nxqa, de coloração branca e dimensões métricas, pode ser utilizado como material de ornamento, abrasivo, na manufatura de vidros e tijolos de sílica, aparelhos ópticos e científicos, produção de liga ferro-silício, e componente para indústria eletrônica.

Nas Unidades Ngnx, Nxqa, Ngxq e Ngtx/Ngcx são encontradas grande quantidade do mineral granada, contido tanto nas rochas, quanto na forma de cascalho, desagregado daquela por reações intempéricas. A granada pode ser facilmente lavrada e utilizada na indústria como abrasivos, na forma de lixas e jatos d’água. Apesar da pequena proporção da molécula de espessartita, pois a granada desta região é composta predominantemente por moléculas de almandina, foi encontrada na área uma pequena ocorrência de concentrado superficial de óxido/hidróxido de manganês. Outros dois minerais importantes, encontrados nas Unidades Nxqa, Ngxq e Ngtx/Ngcx, são a cianita e o rutilo, que assim como a granada encontram-se contidos na rocha e na superfície do terreno como cascalho. A cianita tem importante aplicação na indústria cerâmica sendo utilizada em porcelanas refratárias e

isolantes elétricos. O rutilo é utilizado na obtenção do metal titânio, como pigmento na pintura e em vários produtos industriais como ligas, eletrodos, arcos voltaicos, e para dar cor amarela à porcelana, dentes postiços, etc.

O zircão é um mineral acessório presente em praticamente todos os litotipos, sendo verificado, por meio de microscopia e lupa, em rochas e sedimentos. Serve como fonte do óxido de zircônio, que é uma das substâncias mais refratárias conhecidas, e é amplamente utilizado na indústria cerâmica como componente do acabamento. O maior produtor deste bem mineral é a Austrália que exporta esse composto pra diversos países, incluindo o Brasil, e atualmente a produção não consegue atender a crescente demanda, tornando necessária a descoberta de novos depósitos de zircão.

Os zircões, rutilos, cianitas e granadas, que foram desgregados das rochas e transportados pela água da chuva, se acumularam no leito dos rios juntamente com os grãos de quartzo. Pelo processo de dragagem, esses minerais são extraídos em meio à “areia” e tidos como impurezas. Um estudo mais direcionado poderia viabilizar a separação desses minerais para utilizá-los como bens minerais.

Na área de estudo foram vistos 3 locais de extração de areia para construção civil por processo de dragagem, sendo um no Rio São João (Figura 54) e dois no Rio Santana (Figura 55).

Nas várzeas aluvionares localizadas nas imediações de Cássia, tem-se a extração de argilas plásticas, ricas em matéria orgânica (Figura 56), para a produção de cerâmica vermelha (tijolos). Atualmente encontra-se requerimento na área de estudo para esse tipo de argila, sendo utilizada na fabricação de tijolos juntamente com o material coluvionar, também da região. Para a confecção dos tijolos são utilizadas argilas na razão é de 2 caminhões de argila de várzea para um da argila obtida no material coluvionar, estes materiais são misturados e utilizados em cerâmicas próximas á área de estudo (Figura 57).



Figura 54 – Extração de areia no Rio São João por processo de dragagem. Área de requerimento pertencente ao João Batista de Oliveira. Afloramento 93.



Figura 55 – Extração de areia no Rio Santana por processo de dragagem. Área de requerimento pertencente à Mineração Rio Claro M. V. Ltda. Afloramentos 24 e 61.

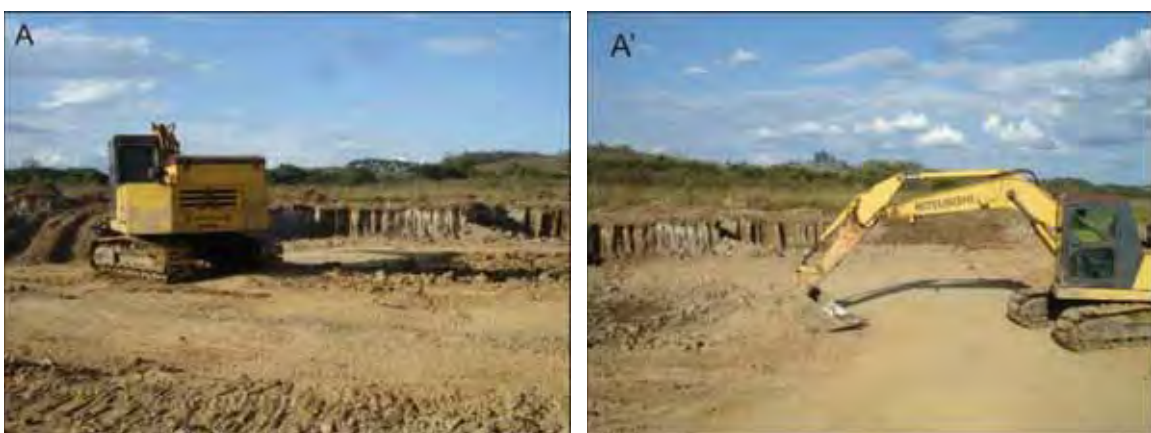


Figura 56 – Extração de argila de várzea nas proximidades do Rio Santana. Área requerida pela Cerâmica do Negrinho Ltda. Afloramento 100.



Figura 57 – Cerâmica do Negrinho Ltda. Localizada na cidade de Cássia – MG.

Apesar de também haver requerimentos para fosfato e turfa na área de estudo, (Figura 58), não foram detectados ocorrência de turfa, apatita ou outros fosfatos em quantidade de porcentagem nas litologias da área.

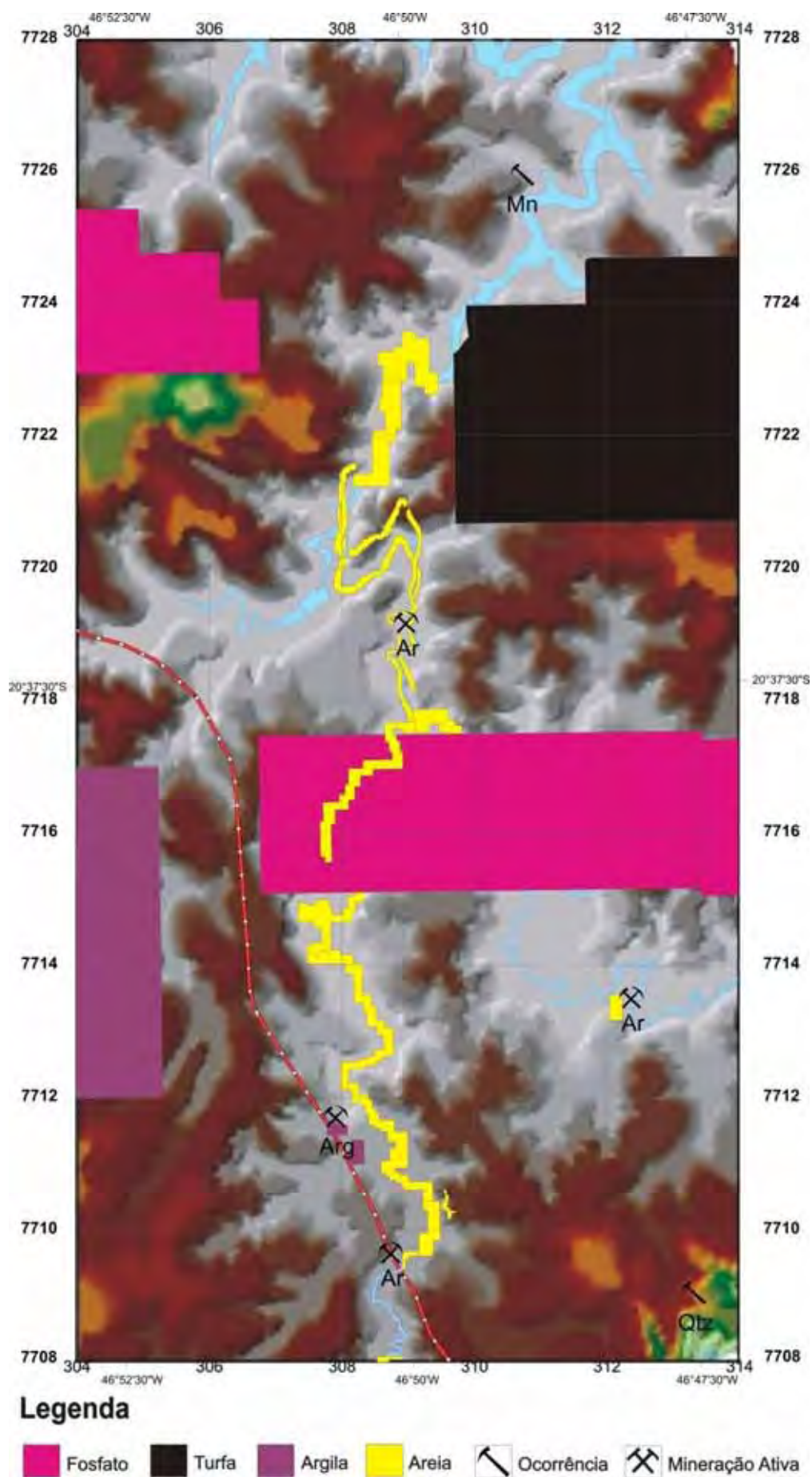


Figura 58 – Localização das áreas requeridas para pesquisa e exploração mineral obtidas no site do DNPM.

5.6 Evolução Geológica

Na área de estudo o terreno mais antigo é representado pelo embasamento gnaisse tonalítico/trondhjemítico aflorante apenas na porção sul da ZCC, com direção NW-SE, cuja natureza transpressiva desta zona expôs o embasamento por soerguimento e erosão das unidades metassedimentares sobrepostas.

O comportamento da foliação nas rochas do embasamento foi reestruturado pela atuação da ZCC, sendo que a lineação de estiramento, a direção das camadas e a charneira das dobras apertadas possuem direção NW-SE. A ZCC perfaz um alinhamento de extensão quilométrica, que na área de estudo possui aproximadamente 2 km de espessura e compreende rochas com feições miloníticas, de alto ângulo de mergulho, que se dispõe de maneira anastomosada, envolvendo corpos menos deformados. Nestas porções menos deformadas a foliação é de mais baixo ângulo e caracterizada pela associação mineralógica de fácies anfibolito, em pressão mais elevada, atingindo valores em torno de 13 kbar, tendo sido geradas durante o ápice metamórfico pertencente ao Grupo Araxá.

A implantação da ZCC aparenta ter sido em tempos paleoproterozóicos, no ciclo transamazônico (ZANARDO 1992), e mostram uma longa história evolutiva. Esta zona esteve ativa, com movimentação sinistral, quando houve o cavalgamento do terreno alóctone (Grupo Araxá), catalizando reações típicas de fácies xisto verde em ambiente deformacional dúctil/rúptil apagando possíveis evidências de deformações anteriores em menor temperatura. Ainda, continuou em atividade após a estagnação do transporte de baixo ângulo responsável pela aloctonia. Finalizando a movimentação dessa zona de cisalhamento aparecem cataclasitos, evidenciando atuação de temperaturas inferiores a 300°C e profundidades menor que 10 km (ZANARDO 1992).

5.6.1 Evolução do Grupo Araxá

As unidades que compõem estratigraficamente o Grupo Araxá estão dispostos em continuidade de estratos e desenham as principais macroestruturas da área; a braquiantiforma de Itaú e a ZCC.

O Grupo Araxá mostra ser nitidamente alóctone, com inversão das isógrads metamórficas e modificação da estratigrafia, sem inversão de topo e base da sequência. Nesse contexto ocorre o desenvolvimento da foliação penetrativa, de baixo ângulo, portadora de lineação mineral e de estiramento; de orientação média WNW, entendida como direção de transporte tectônico. Os indicadores cinemáticos indicam transporte tectônico para ESE. Esse transporte rotacionou a distribuição lateral das unidades para a vertical, sem mudança na posição de topo e base dos estratos; de modo, os estratos depositados em águas mais profundas se encontram sobre os de águas mais rasas; ou seja, sedimentos de talude estão sobre os de plataforma, e, por conseguinte as camadas que atingiram maior profundidade (maior metamorfismo) em subducção se encontram acima das camadas de

menor profundidade (menor metamorfismo). De acordo com Zanardo (1992) esta “rotação estratigráfica” resultou de deslizamento folha a folha, dos planos de foliação, que estão paralelos a subparalelos ao acamamento/bandamento, que catalisaram, de maneira progressiva, reações retrógradas e mudanças composicionais, texturais e estruturais das rochas. Esse processo foi mais intenso nos estratos basais, possivelmente por ocorrer nesta porção uma concentração maior da deformação nas fases finais, decorrente da pressão exercida por todo o pacote sotobreposto e pelo contato com base fria.

Os estudos petrográficos, microestruturais e metamórficos sugerem que o Grupo Araxá pode ser subdividido em duas porções, a sequência deposicional inferior (Unidade Nqx e Nxqm) e sequência deposicional superior (Ngnx, Nxqa, Ngxq, Ngtx e Ngcx) que inicia nos primeiros estratos de gnaiss.

Na porção inferior não foi averiguada presença de granada e/ou cianita, associados a formação de feldspatos e consumo de biotita, minerais estes que são frequentes nos estratos superiores e evidenciam temperaturas superiores a 600°C. Este aspecto pode indicar mudanças faciológicas na sedimentação, sendo os estratos basais de natureza matura tipicamente plataformais de margem passiva e os superiores mais imaturos e de águas profundas (Simões e Valeriano 1990).

O metamorfismo do Grupo Araxá deve ter se desenvolvido em resposta à colisão e ao espessamento crustal. Esse metamorfismo deu-se em ambiente de pressão superior ao do barrowiano, pré-a pós- cinemático, de caráter progressivo, em condições de diminuição de pressão e temperatura, onde a cianita deformada aparece bordejada por muscovita bem formada, sugerindo rápido soerguimento após o ápice metamórfico, relacionado ao espessamento crustal, ao longo das zonas de empurrão dúcteis, e passagem de fluidos ricos em álcalis que devem ter impedido a formação de possíveis minerais típicos de pressões menores como andaluzita e silimanita. Nos últimos estágios do desenvolvimento da foliação ao longo de planos de cisalhamento ocorrem em clorita e também em muscovita e biotita a formação de filmes de estiplonmelano que demonstra que a fase final do desenvolvimento da Nappe ocorreu em fácies xisto verde baixo. Esse aspecto também é demonstrado por feições microestruturais do quartzo (deformação lamelar).

Teixeira (1978) e Valeriano (2004) sugerem por meio dos aspectos geológicos que a colisão ocorreu no neoproterozóico, bem como a deposição da sequência metassedimentar. Quanto a possível subducção, esta tem que ter ocorrido para baixo da(s) placa(s) que colidiu(ram) com o Cráton São Francisco. Tal argumento resulta da ausência de granitogênese no Cráton São Francisco de idade neoproterozóica, nessa região.

Após a separação continental no Mesozóico, ocorre um longo período de estabilidade tectônica possibilitando a formação de superfícies de aplainamento generalizada (Superfície Sulamericana - KING, 1956). No Terciário Superior esta superfície é desmantelada, o que na área resulta numa paisagem que corresponde ao prolongamento

da Depressão Periférica Paulista. Este palco erosivo foi parcialmente coberto, no final do Terciário e principalmente no Quaternário, por depósitos aluvionares/coluvinares e tipicamente coluvionares, estes de coloração marrom/avermelhado, marcado nitidamente por uma base composta por linha de seixos com 30 cm de espessura, polimítica, porém, composto predominantemente por quartzo e quartzitos ovalados a subangulosos. Grande parte da porção sudoeste da área e uma porção menos expressiva ao norte ainda é composta por colúvios, mas encontra-se em fase erosiva, juntamente com as rochas do grupo Araxá. A presença desse material coluvionar aflorante em cotas de nível moderadas atesta que esses não são tão jovens (neógeno).

Uma análise na mineralogia que lhes compõem indica que a área fonte teve grande contribuição do Grupo Araxá, uma vez que os minerais mais freqüentes são: quartzo, rutilo, cianita, zircão, hematita, goethita, turmalina, muscovita e biotita sendo que alguns grãos apresentam-se recobertos parcialmente por película de óxido de ferro. A ausência de granada nas amostras analisadas, juntamente com o grande conteúdo de caulinita e a presença de gibbsita na fração argila evidencia que o ambiente de deposição e evolução ocorreu sobre clima quente e úmido. Por fim, a baixa esfericidade dos grãos mostra que o transporte não foi tão longo.

No quaternário, dos eventos mais recentes, tem-se a formação dos depósitos aluvionares associados às drenagens atuais, assim como os depósitos de várzea. O que indica que a área de estudo tenha sofrido subsidência dentro do próprio quaternário, provocando um assoreamento generalizado e alagando a superfície de inundação; ou ainda, um significativo evento climático que teria diminuído bruscamente a vegetação causando forte erosão nas cabeceiras dos rios o que também provocaria o assoreamento de médios e baixos cursos d'água e grandes planícies aluvionares com formações de extensas áreas de várzeas. Cabe ressaltar que também existem processos de coluvionamento recente, possivelmente holocênico, uma vez que depósitos de várzeas ricos em matéria orgânica, localmente estão capeados por material de cor vermelha com aspecto de latossolo, com ou sem linha de seixo na base.

6. CONCLUSÕES

As atividades de campo e laboratório possibilitaram agrupar as rochas, que ocorrem na região, em 10 unidades litológicas mapeáveis, na escala de trabalho (1:50.000). As estruturas macro, meso e microscópicas indicam que a sequência é alóctone, com transporte de massa de NW para SE, resultando em uma tectono-sequência com inversão no grau metamórfico, cuja base atingiu a fácies xisto verde e o topo fácies anfibolito alto. Nas literaturas mais recentes, esta inversão é atribuída a um transporte tectônico, resultante de colisão continente-continente, em condições dúcteis onde o material de maior profundidade e mais distante da margem do continente cavalgado (Cráton do São

Francisco) foi transportado e condicionou o desenvolvimento da foliação principal (movimento folha a folha), sem inversão dos estratos, sistematicamente, sobre o material imediatamente a leste/sudeste. Desta forma, o material que atingiu maior profundidade e maior grau de metamorfismo aparece disposto no topo da tectono-sequência, e o material imediatamente da margem continental aparece na base, existindo uma gradação contínua, tendo sido detectada apenas uma descontinuidade no pacote separando o material típico de margem passiva, sem granada e cianita, do material de águas mais profunda, aparentemente afetado pela subducção, e que contém granada, cianita e rocha anfibolítica.

Durante e posteriormente ao transporte tectônico da sequência alóctone, antigas zonas de fraqueza do embasamento são reativadas, gerando zonas de cisalhamento e/ou de falhas direcionais transpressivas, resultando em altos estruturais (flor positiva ?) e levando ao aparecimento de rochas do embasamento embutida tectonicamente na sequência alóctone, bem como feições de catáclase e brechação.

As assembléias minerais em associação com as microestruturas indicam que durante a deformação tangencial, ocorreram reações metamórficas retrógradadas, de forma contínua da fácies anfibolito a xisto verde moderado a baixo, sendo as paragêneses de menor temperatura atribuídas às fases finais da deformação direcional sinistral, especialmente nas litologias atribuídas ao embasamento. A maior evidência da existência deste evento é a presença de cristais de muscovita formados apartir da cianita, rutilo passando pra titanita, anfibólio alterando pra epidoto, saussuritização do plagioclásio, clorita oriunda de granada e formação de estilpnomelano.

Com as análises litoquímicas foi possível averiguar as diferenças quanto à evolução dos gnaisses do embasamento e do Grupo Araxá sendo o primeiro fortemente enriquecido em elementos terras raras leves e com baixíssimo teor em terras raras pesadas, isso quando comparados ao gnaiss do Araxá, o que demonstra tratar-se de um material pretérito e bem diferenciado.

Atualmente na área foi observado apenas exploração de areia para construção civil e argila para cerâmica estrutural. Ambas as atividades são feitas sem a caracterização devida do material, aspecto que se aprimorado poderia conduzir a geração de produtos mais nobres e de maior valor agregado. Também foi detectada a potencialidade para a obtenção de outros bens minerais, a exemplo da granada, cianita, rutilo e zircão, que se acumulam no leito dos rios juntamente com os grãos de quartzo, constituindo a “areia” que é lavrada por processo de dragagem. No beneficiamento desse material, por densidade, esses minerais poderiam ser devidamente separados e aproveitados. Contudo, a falta de planejamento para a ocupação racional do meio físico é decorrente da ausência de conhecimento do mesmo, e da postura/qualificação inadequada de empresas e gestores municipais.

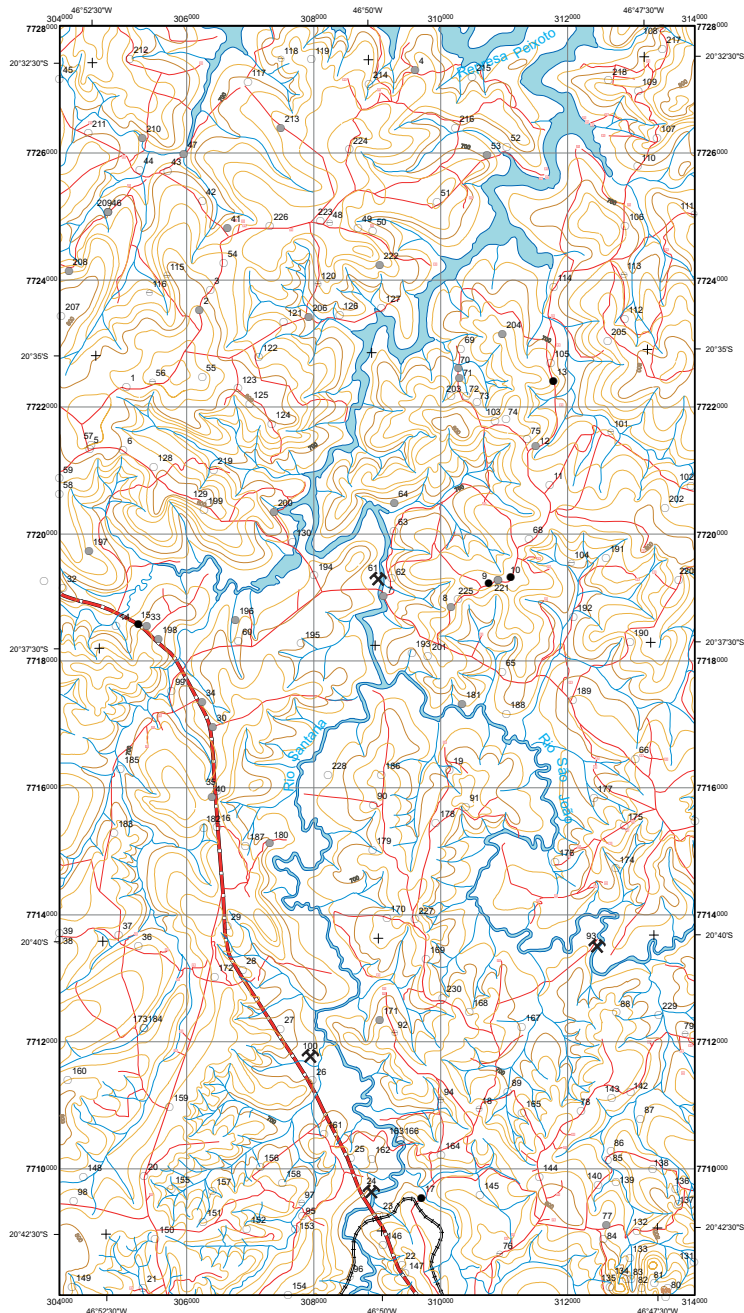
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, F.F.M. DE; BRITO NEVES, B.B. DE; FUCK, R.A. Brazilian structural province: an introduction. **Earth Sci. Rev.**, v.17, p.1-29, 1981.
- ALMEIDA F.F.M. de. Província Tocantins: setor sudoeste. In: ALMEIDA, F.F.M. de & HASUI, Y. (Coordenadores), **O Pré-Cambriano do Brasil**. São Paulo: Editora Edigard Blücher, p. 265-281, 1984.
- BRITO NEVES, B. B. DE; CAMPOS NETO, M. C.; FUCK R. A. From Rodinia to Western Gondwana: An approach to the Brasiliano-Pan African Cycle and orogenic collage. **Gondwana Research**, v. 22, n. 3, p.155-166, 1999.
- CORDANI U.G., SATO K., TEIXEIRA W., TASSINARI C.C.G., BASEI M.A.S. Crustal evolution of the South American Platform. In: INTERNATIONAL GEOLOGICAL CONGRESS, 31., 2000, Rio de Janeiro, **Tectonic Evolution of the South América**, p. 19-40.
- DARDENE, M. A. The Brazilian Fold Belt. In: INTERNATIONAL GEOLOGICAL CONGRESS, 31., 2000, Rio de Janeiro, **Tectonic Evolution of the South América**, p. 231-263.
- HEILBRON, M.; VALERIANO, C.de; ZIMBRES, E.; CHRISPIM, S.J.; SIMÕES, L.S.A., SOUZA, M.A.T. O Contato Basal do Grupo Canastra entre Itaú de Minas e Carmo do Rio Claro, MG. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DE MINAS GERAIS, 4., 1987, Belo Horizonte. **Anais...**Belo Horizonte: SBG/NMG, 1987, N.7, P. 179-198.
- HOPPE A., KLEIN J., CHOUDHURI A., SCHMIDT W.. Eclogitos pré-cambrianos no sudoeste de Minas Gerais. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DE MINAS GERAIS, 3., 1985, Belo Horizonte. **Res Expandidos...**,Belo Horizonte: SBG/NMG, 1985, n. 7, p. 180-192.
- KING, L. C.. A geomorfologia do Brasil Oriental. *Revista Brasileira de Geografia*, Rio de Janeiro, v.18, p. 147-265, 1956.
- LUVIZOTTO, G.L. **Caracterização metamórfica das rochas do Grupo Araxá na região de São Sebastião do Paraíso, Sudoeste de Minas Gerais**. 2003. 185f. Tese (Mestrado em Geociências) – IGCE/UNESP, Rio Claro.
- MANTOVANI, M. S.M. & BRITO NEVES, B. B. The Paranapanema lithospheric block: its importance for Proterozoic (Rodinia, Gondwana) supercontinent theories. **Gondwana Research**, v.8, n. 3, p.303–315, 2005.
- SCHMIDT, W. & FLEISHER, R.. Estilo Estrutural do Pré- Cambriano no Sudeste de Minas Gerais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 30., 1978, Recife. **Anais...**, Recife:SBG, v. 1, p.431-434.
- SEER, H. J. **Evolução tectônica dos Grupos Araxá, Ibiá e Canastra na sinforma de Araxá, Araxá Minas Gerais**. 1999. 267f. Tese (Doutorado em Geociências) – Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília.

- SEER, H. J. ; BROD, J. A. ; FUCK, R. A. ; PIMENTEL, M. M. ; BOAVENTURA, G. R. ; DARDENNE, M. A. . Grupo Araxá em sua área tipo: um fragmento de crosta oceânica Neoproterozóica na Faixa de Dobramentos Brasília. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 31, n. 3, p. 389-400, 2001.
- MORALES, N.; ZANARDO, A.; MORAES, R.; GOMI, C. Y. Zonação metamórfica inversa do Grupo Araxá-Canastra na região de São Sebastião do Paraíso – Alpinópolis, MG. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 35., 1988, Belém. **Anais...**, Belém:SBG, v. 3, p. 1203-1215.
- SIMÕES, L.S.A.; VALERIANO, C. M. Porção meridional da Faixa de Dobramentos Brasília: estágio atual dos conhecimentos e problemas de correlação estratigráfica. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 36., 1990, Natal. **Anais...**, Natal: SBG, v. 6, p. 2564-2575.
- SIMÕES, L.S.A. **Evolução tectono-metamórfica da Nappe de Passos, sudoeste de MG**. 1995. 149 f. Tese (Doutorado em Geociências) - IG – USP, São Paulo.
- TEIXEIRA, N.A. & DANNI, J.C.M. Petrologia das lavas ultrabásicas e básicas da Sequência Vulcano-Sedimentar Morro do Ferro, Fortaleza de Minas (MG). **Revista Brasileira de Geociências**, n. 17, p. 209-220, 1978.
- VALERIANO C.M., MACHADO N., SIMONETTI A., VALLADARES C.S., SEER H.J., SIMÕES L.S. U-Pb geochronology of the southern Brasília Belt (SE Brazil): sedimentary provenance, Neoproterozoic orogeny and assembly of West-Gondwana. **Precambrian Research**, v.130, n.1, p.27-55, 2004.
- VALERIANO C.M., PIMENTEL M.M., HEILBRON M., ALMEIDA J.C.H., TROUW R.A.J. Tectonic evolution of the Brasília Belt, Central Brazil, and early assembly of Gondwana. **Geological Society**, v.294, p.197-210, 2008.
- ZANARDO, A.; DEL LAMA, E.A.; MORALES, N.; OLIVEIRA, M.A.F. de. Geologia da região limítrofe entre os Blocos São Paulo e Brasília. **Revista Geociências**, v. 15, n. ESP, p. 143-168, 1996a.
- ZANARDO, A.; OLIVEIRA, M.A.F. de; DEL LAMA, E.A.; CARVALHO, S.G. de. Rochas máficas e ultramáficas da Faixa Jacuí- Bom Jesus da Penha–Conceição da Aparecida (MG). **Revista Geociências**, v.15, n. 1, p. 279-297, 1996b.
- ZANARDO A. **Análise Petrográfica, estratigráfica e microestrutural da região de Guaxupé-Passos-Delfinópolis (MG)**. 1992. 136 f. Tese (Doutorado em Geociências) - IGCE-UNESP, Rio Claro.

ANEXO 1

MAPA DE AFLORAMENTOS



Legenda

- Afloramento descrito
- Afloramento com amostra
- Afloramento com Lâmina
- Afloramento litoquímica
- Edificações
- Curva de nível principal
- Curva de nível secundária
- Mineração ativa
- Drenagem principal
- Drenagens secundárias
- Rodovia asfaltada
- Estrada de terra principal
- Estrada férrea
- Estrada de terra secundária

LOCALIZAÇÃO DA FOLHA NO ESTADO



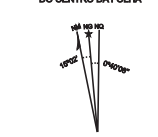
Pelotas	Dallmeyer	Serra de Quilés
Capitão	Cássia	Passeos
S. Tomás de Aquino	S. Sebastião do Passado	Fortaleza de Minas

DIVISÃO ADMINISTRATIVA



- 1 - Cássia
- 2 - Passos
- 3 - Capitão
- 4 - Pradópolis

DECLINAÇÃO MAGNÉTICA 1971 E CONVERGÊNCIA MERIDIANA DO CENTRO DA FOLHA



A DECLINAÇÃO MAGNÉTICA CRESCE 7" ANUALMENTE. Usar exclusivamente os dados numéricos.

Mapa:

ESCALA 1:50 000



unesp

Universidade Estadual Paulista

Instituto de Geociências e Ciências Exatas

Departamento de Petrologia e Metalogenia

Trabalho de Conclusão de Curso
"GEOLOGIA DA PORÇÃO
CENTRO-LESTE DA FOLHA CÁSSIA
(1:50.000), MG"

MAPA DE AFLORAMENTOS

Folha Cássia
SF-23-V-A-VI-1
Escala 1:50 000

Autora: Andrezza de Almeida Azzi
Orientador: Antenor Zanardo
Data: 05/11/2009

ANEXO 1

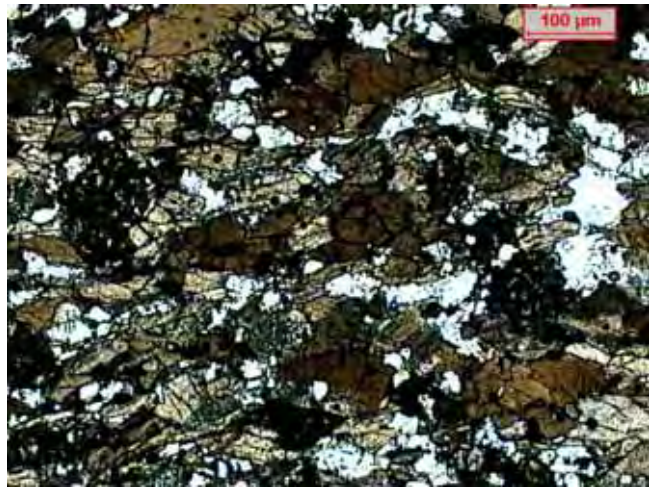
ANEXO 2

ANEXO 3

ANEXO 3 - AA- 9

1 – Descrição mesoscópica / microscópica:

Rocha com coloração acizentada devido o conjunto de pigmentação branca (do plagioclásio), verde escura (da hornblenda) e marrom (da granada). Estrutura levemente anisotrópica representada pela orientação dos prismas de anfibólio. A textura é marcada por domínios granoblásticos e nematoblásticos dada por minerais granulares e prismáticos. Os cristais de granada são de dimensões semelhantes aos demais minerais da rocha e perfazem cerca de 20% dela. A rocha possui granulação fina e se encontra levemente alterada.



A- Análise modal estimada visualmente:

40 % - hornblenda
20 % - plagioclásio
20 % - granada
10 % - quartzo
5 % - ferro-actinolita
3 % - titanita
1 % - opacos
Tr – clorita
Tr – apatita

B- Relações

As hornblendas (coloração mais escura e alto Ti) estão passando para ferro-actinolita (anfibólio de coloração mais clara e baixo Ti). A ferro-actinolita possui aspecto simplectítico (de crescimento). As hornblendas se encontram fraturadas e possui aproximadamente 1.3 mm de comprimento. O plagioclásio (andesina) possui formato granular e se encontram intersticialmente ou até mesmo incluso pelo anfibólio, cuja granulação é menor que 0.5 mm e exhibe contato lobular com os demais cristais.

As granadas possuem aspecto granular e estão bastante fraturadas, nessas fraturas a coloração é diferenciada com tonalidade amarelo-avermelhada devido a presença de óxido de ferro (goetita-limonita). Granulação média 0.15mm.

Parte do quartzo pode ter sido gerado por reação e parte ejetada no sistema. Os cristais são granulares e possuem dimensões inferiores à 0.5mm.

Os cristais de titanita foram formados a partir do titânio liberado pelos minerais máficos (hornblenda e rutilo), são cristais de feições ovaladas em que alguns deles contêm núcleo de rutilo e possuem não mais que 0.27 mm.

2 – Interpretação

O magma protólito é de origem basáltica e alto Ti, submetido a metamorfismo de fácies anfibolito e com pressões relativamente alta (excedendo o barrowiano). Ocorreu retrometamorfismo sin à tardi-cinemático para fácies xisto verde superior limite com anfibolito.

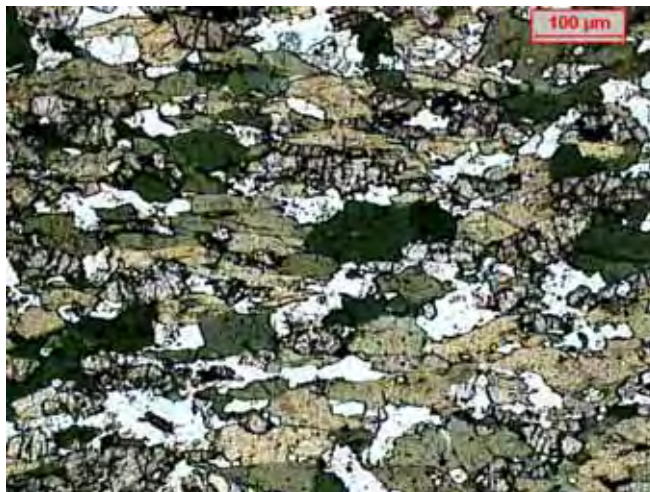
3 – Classificação

Granada anfibolito

ANEXO 3 - AA- 10

1 – Descrição mesoscópica / microscópica:

Rocha de coloração verde-acizentada. Estrutura com leve xistosidade representada pelo desenvolvimento de minerais prismáticos (anfíbólio). A textura predominante é nematoblástica, dada por minerais prismáticos e textura granoblástica menos expressiva formada por minerais granulares como o plagioclásio e quartzo. A rocha tem granulação média e não se encontra alterada.



A- Análise modal estimada visualmente:

40 % - hornblenda
25 % - epidoto
24 % - plagioclásio
5 % - quartzo
2 % - carbonato
2 % - rutilo
1 % - opacos
1 % - titanita
Tr - zircão

B- Relações

Anfíbólio hornblenda de 0.7 mm de comprimento, cristais hipidiomórficos e estirados segundo a xistosidade, são pouco fraturados e exhibe contato retilíneo predominantemente.

Epidoto, variedade clinozoisita/pistacita, os maiores cristais atingem 7mm, são poiquiloblásticos e bastante fraturados, onde a clorita se desenvolveu. O tamanho médio dos cristais é próximo de 2mm, tabulares e bem orientados, sin-tectônicos, marcam a transição anfibolito-xisto verde em pressão relativamente alta.

Plagioclásio andesina levemente saussuritizado por estar desestabilizado por gerar albita. Possui formato granular e exhibe contato lobular com os demais minerais.

Os cristais de quartzo foram provavelmente ejetados na rocha, e portanto formam pequenas lentes dispersas nesta.

O carbonato é secundário, formado por fluidos contendo CO₂ que reagiu com o plagioclásio. A granulação desses cristais são micrométricas.

2 – Interpretação

O magma protólito é de origem basáltica e alto Ti, submetido a metamorfismo de fácies anfibolito com retrometamorfismo sin a tarde-cinemático para fácies xisto verde superior limite com anfibolito.

3 – Classificação

Quartzo-epidoto anfibolito

ANEXO 3 - AA- 13

1 – Descrição mesoscópica / microscópica:

Rocha de coloração verde escura acizentada. Estrutura compacta com leve xistosidade apresentada pelos minerais prismáticos alinhados (hornblenda). Textura predominantemente nematoblástica marcada por minerais escuros prismáticos e também granoblástica dada por minerais granulares leucocráticos. A rocha é fresca e com granulação fina a média.



A- Análise modal estimada visualmente:

75 % - hornblenda
10 % - plagioclásio
5 % - quartzo
5 % - epidoto
5 % - titanita
Tr – rutilo
Tr – carbonato
Tr - apatita

B- Relações

Hornblendas com borda ferro-actinolítica, exibindo pleocroísmo verde a verde pálido, são hipidiomórficas e encontram-se orientadas. Esses cristais de hornblenda se encontram ora corroídos alternando para ferro-actinolita simplectítica. Granulação média é 0,2mm e os maiores cristais ultrapassam 0,6mm.

Plagioclásio andesina passando para albita. A maior parte dos cristais apresentam geminação polissintética e granulação de 0.1mm, variando desde anedrais granulares a subedrais prismáticos. Os cristais de quartzo foram provavelmente ejetados na rocha, pois se apresentam como pequenas lentes dispersas, contendo extinção ondulante e formação de subgrão.

Cristais de epidoto simplectítico formado a partir da reação: hornblenda + plagioclásio, gerando ainda cristais anedrais de carbonato com diâmetro de 0,02mm.

Cristais de titanita gerados por reações de equilíbrio da hornblenda. Variam de granulares a euedrais com tamanho médio de 0,03mm e os maiores cristais chegam a atingir 0,15mm de comprimento. Muitos cristais de titanita possuem inclusões de rutilo e se encontram dispersos por toda rocha.

2 – Interpretação

O magma protólito é de origem basáltica e alto Ti, submetido a metamorfismo em fácies anfibolito e com pressões relativamente alta (excedendo o barrowiano).

Como o material simplectítico não está deformado pode-se dizer que ocorreu um retrometamorfismo tarde-cinemático.

3 – Classificação

Titanita – quartzo – epidoto anfibolito

ANEXO 3 - AA- 15

1 – Descrição mesoscópica / microscópica:

Estrutura compacta apresentando bandamento difuso e leve xistosidade dada pelos minerais prismáticos (hornblenda). Textura nematoblástica devido os minerais prismáticos (hornblenda) se encontrarem alinhados e porções granoblásticas constituída por minerais granulares (quartzo e feldspato). Estes apresentam-se dispostos em microbandamentos e em porções desordenadas. A granada constitui ainda a textura porfiroblástica com cristais superiores a 5 mm. A granulação média da matriz em torno de 0.8 mm, inequigranular serial.



A- Análise modal estimada visualmente:

60 % - hornblenda	Tr - apatita
20 % - plagioclásio	Tr – clorita
12 % - epidoto	Tr – opacos
5 % - granada	Tr – rutilo
2 % - quartzo	Tr – carbonato
1 % - titanita	Tr – zircão

B- Relações

Hornblendas com borda ferro-actinolítica, exibindo pleocroísmo verde a verde pálido, são hipidiomórficas e orientadas. Esses cristais de hornblenda se encontram ora corroídos alterando para ferro-actinolita simplectítica. A granulação média é 0,2mm e os maiores cristais ultrapassam 0,6mm. O epidoto encontra-se sobre dois diferentes aspectos: massas simplectíticas formadas a partir da reação: hornblenda + plagioclásio, gerando ainda cristais anedrais de carbonato com diâmetro de 0,02mm. Os cristais prismáticos de epidoto possuem aproximadamente 0.2mm, contendo inclusões fluidas e minerais micrométricos.

Plagioclásio: andesina sódica sendo que alguns apresentam zoneamento irregular mostrando variação na composição devido a recristalização. Exibem também subgrãos e a maior parte dos cristais apresentam geminação polissintética e granulação de 0.1mm, variando desde anedrais granulares a subedrais prismáticos.

Cristais granulares de granada poiquiloblastica contendo quartzo, anfibólio, rutilo e titanita. A granada está corroída e possui aproximadamente 0,8mm de diâmetro

Os cristais de quartzo foram provavelmente ejetados na rocha, pois se apresentam como pequenas lentes dispersas, contendo extinção ondulante e formação de subgrão.

Cristais anedrais a subedrais de titanita contendo por vezes núcleo de rutilo. Os maiores cristais chegam a 0.2mm e a média possui 0,02 mm de comprimento.

3 – Interpretação

Rocha básica submetida a metamorfismo em fácies anfibolito médio a superior com ambiente de pressão relativamente alto, passando por um processo retrometamórfico que parou no limite anfibolito – xisto verde. As palhetas de clorita que aparecem intersticialmente são pós-cinematícas.

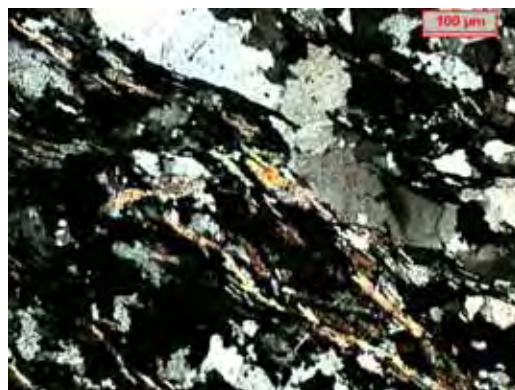
4 – Classificação

Epidoto anfibolito

ANEXO 3 - AA- 15a

1 – Descrição mesoscópica / microscópica:

Rocha de coloração clara. Estrutura gnáissica com bandamentos difusos e cristais oclares de feldspato. Textura granoblástica com cristais granulares (quartzo e feldspato) em bandamentos claros e porções lepidoblásticas formada por bandamentos escuros de minerais micáceos. A rocha possui granulação média e quase não exibe alteração(rocha fresca).



A- Análise modal estimada visualmente:

50 % - oligoclásio

30% - quartzo

9 % - granada

9% - clorita

3 % - biotita

2 % - muscovita

Tr – titanita

Tr – feldspato potássico

Tr – zircão

Tr - apatita

B- Relações

Plagioclásio: cristais anedrais em que alguns grãos contem inclusão de quartzo arredondado, a variedade é oligoclásio e apresentam-se recristalizados, exibindo extinção ondulante, subgrão, e nem sempre apresenta geminação nítida.

Quartzo: cristais alongados e orientados, mostram extinção ondulante segundo prisma e romboedro, exibem contato lobulado a denteado, possuem aspecto turvo rico em microinclusões fluidas bifásica e monofásica.

Granada: cristais arredondados, bem fraturados, passando para clorita, poiquiloblásticos com inclusões de quartzo e rutilo. Possui dimensão média de 0,8 mm de diâmetro. Provavelmente a principal molécula desta granada é Almandina.

Clorita: As palhetas de clorita concentram-se principalmente perto das granadas, possui em média 0,5 mm de comprimento, apresenta textura de crescimento e aspecto fibroso. Os maiores trends provém de biotitas e apresentam-se orientados formando foliação.

Biotitas: encontram-se deformadas, crenuladas, passando para clorita e liberando titânio na forma de acículas de rutilo, leucoxênio e titanita.

Muscovitas: possui em média 2 mm, aspecto fibroso, bem orientado constituindo uma fina foliação juntamente com a clorita.

Titanita: cristais prismáticos com terminações arredondadas e outros bem granulares de 0.1 mm de comprimento.

O feldspato potássico aparece como filetes intersticiais dos demais cristais

Zircão: cristais prismáticos com terminações arredondados de aproximadamente 0,1mm, assim como os cristais de apatita.

2 – Interpretação

Possível protólito provável “rocha extrusiva” ou metamorfismo de material flischoide/grauvaca ou tufácea, submetido a metamorfismo em fácies anfibolito alto até anatexia; superposto por retrometamorfismo de fácies anfibolito alto cessando na fácies xisto verde zona da clorita. As palhetas de clorita aparentam ser tarde a pós-cinemática.

3 – Classificação

Granada – clorita gnaiss tonalítico

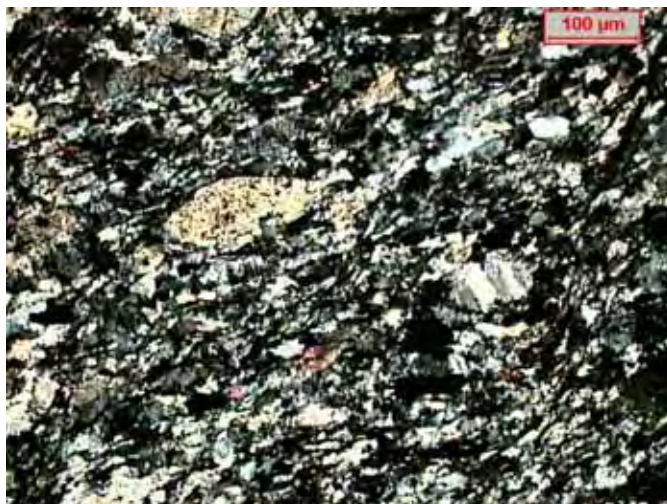
ANEXO 3 - AA- 17

1 – Descrição mesoscópica / microscópica:

Rocha de coloração cinza claro.

Estrutura maciça com porções levemente laminada/fitada por minerais máficos e leucocráticos intercalados. As dimensões dos bandamentos são inconstantes, apresentando-se partes localmente finas regulares e partes claras mais espessas, constituindo uma assimetria.

A textura é porfiroclástica milonítica a blastomilonítica. Os maiores clastos atingem cerca de 4 mm e a granulação média é da ordem de 0.1 mm.



A- Análise modal estimada visualmente:

50 % - plagioclásio

33% - quartzo

10 % - epidoto

3 % - biotita

2 % - muscovita

1 % - clorita

1 % - turmalina

Tr – apatita

Tr – alanita

B- Relações

Plagioclásio oligoclásio/andesina os maiores cristais possuem aspecto ocelar enquanto que os menores são produto de recristalização e estão orientados e parcialmente saussuritizados.

O quartzo concentra-se em faixas orientadas formando agregados lenticulados. Exibe contato engrenado e extinção ondulante recuperado segundo fácies de prisma. com recristalização localizada e fina.

Epidoto: cristais prismáticos com terminações arredondadas (ovalado) bastante fraturado, a granulação é em torno de 0.36 mm de comprimento. Apresentam-se orientados na direção do bandamento (menor esforço).

Os filossilicatos formam trilhas sigmoidais bem orientadas.

3 – Interpretação

Gnaiss tonalítico submetido à forte deformação não coaxial compatível com a fácies xisto verde médio a superior com retrorretromorfismo para a zona da clorita.

4 – Classificação

Epidoto gnaiss tonalítico blastomilonítico