



Universidade de Brasília – UnB
Instituto de Geociências – IG

**CARACTERIZAÇÃO DESCRITIVA E
GENÉTICA DO CIANITITO DA SERRA
DAS ARARAS, ARCO MAGMÁTICO
MARA ROSA**

Dissertação de Mestrado em Geologia – nº 206

CAROLINE MEIRA LOPES DE CASTRO JOFFILY

Banca Examinadora:
Dr. Claudinei Gouveia de Oliveira (Orientador)
Elton Luiz Dantas (UnB)
Julio César Mendes (UFOP)

Brasília
2006



Universidade de Brasília – UnB
Instituto de Geociências – IG

**CARACTERIZAÇÃO DESCRITIVA E
GENÉTICA DO CIANITITO DA SERRA
DAS ARARAS, ARCO MAGMÁTICO
MARA ROSA**

Dissertação de Mestrado

CAROLINE MEIRA LOPES DE CASTRO JOFFILY

Banca Examinadora:
Dr. Claudinei Gouveia de Oliveira (Orientador)
Elton Luiz Dantas (UnB)
Julio César Mendes (UFOP)

Brasília
Maio, 2006

Agradecimentos

Ao orientador Prof. Dr. Claudinei Oliveira pelo esforço dedicado a este trabalho e pela confiança depositada.

À Universidade de Brasília e FAP/DF pelos recursos financeiros para realização dos trabalhos de campo e laboratoriais.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) pela bolsa de mestrado.

A minha família pelo incentivo, confiança e carinho essenciais para o alcance das conquistas da minha vida.

Ao Fausto pela ajuda, companheirismo, apoio, incentivo e carinho.

Aos Profs. Drs. Reinhardt Fuck e Elton Dantas pela contribuição de idéias e recursos financeiros.

Aos colegas Lys Matos, Luciano Gonçalves Cabelera, Frederico Bedran, Diogo De Sordi, Marcos Flavio, Leandro Guimarães, Ricardo Vilhena, Cristiano Rancan, Mariano Laio, Frederico Guapota, Damine Guimarães e Gabriel Gargamel que de algum modo ajudaram em etapas importantes deste trabalho.

Meus sinceros agradecimentos

Caroline Joffily

Índice

Resumo.....	I
Asbtract.....	II
Capítulo 1 – INTRODUÇÃO.....	1
1.1 – Apresentação e Objetivos.....	1
1.2 – Localização e vias de acesso.....	1
1.3 – Métodos de Trabalho.....	2
1.4 – Tipologia dos depósitos de cianita.....	3
1.5 – Utilização.....	5
1.6 – Mercado e Produção	6
1.7 – Mina de cianita da Serra das Araras.....	10
Capítulo 2 - CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL.....	14
2.1 – Introdução.....	14
2.2 – Arco Magmático.....	14
2.2.1 – Arco Magmático Mara Rosa.....	16
Capítulo 3 – GEOLOGIA LOCAL.....	19
3.1 – Seqüência metavulcano-sedimentar Mara Rosa.....	23
3.2 – Seqüência Metavulcano-sedimentar Santa Terezinha.....	32
3.2.1 – Metavulcânicas intermediárias a básicas.....	32
3.2.2 - Metassedimentares.....	39
3.3 – Suíte Metaplutônica Ácida e Intermediária.....	39
3.4 – Suíte Ortognaisse.....	46
3.5 – Unidade Serra das Araras.....	46
Capítulo 4 – CONTEXTO ESTRUTURAL.....	53
4.1 – Introdução.....	53
4.1.1 – Zona de Cisalhamento Rio dos Bois.....	53
4.1.2 – Zona de Cisalhamento Mandinópolis.....	53
4.1.3 – Sinclínório do Rio do Peixe.....	54
4.2 – Zona de Cisalhamento Serra das Araras.....	55
4.2.1 – Fases de deformação.....	56
4.3 – Evolução Estrutural e Metamorfismo.....	67
Capítulo 5 – QUÍMICA MINERAL E GEOQUÍMICA.....	70
5.1 – Química Mineral.....	70
5.1.1 - Resultados.....	72
5.2 – Geoquímica.....	73
5.2.1 – Resultados.....	74
Capítulo 6 – DISCUSSÕES E CONCLUSÕES.....	77
Referências Bibliográficas.....	79

Índice de Figuras

Capítulo 1

- Figura 1.1 – Mapa de localização e vias de acessos à área do projeto (modificado de Guia Quatro Rodas Brasil 2003).....02
- Figura 1.2 – Gráfico da produção mundial de cianita e outros minerais refratários, entre os anos de 1928 e 2002. Valores em mil toneladas métricas (ton) (fonte: Kelly & Potter, 2004).....07
- Figura 1.3 – Gráfico da produção bruta nacional de cianita e outros minerais refratários (fonte: DNPM/DIDEM).08
- Figura 1.4 – Gráfico da produção de produtos refratários manufaturados no Brasil (fonte: DNPM/DIDEM).08
- Figura 1.5 – Gráficos do comércio exterior brasileiro (importação e exportação) (fonte: DNPM/DIDEM)09
- Figura 1.6 - Gráfico do valor da unidade de cianita e outros minerais refratários por tonelada, entre os anos de 1934 e 2002. Valores em \$/ton corrigido pelo ajuste da inflação de 1998 (fonte: Kelly & Potter, 2004).10
- Figura 1.7 – Imagem de satélite adquirida pelo programa Google Earth, com perspectiva em 3 dimensões da Serra das Araras.11
- Figura 1.8 – Frente de lavra da Mina de Cianita da Serra da Araras na Fazenda Cianita.....11
- Figura 1.9 – Blocos soltos na frente de lavra da Mina de Cianita da Serra das Araras na Fazenda Cianita.12
- Figura 1.10 - Britador de mandíbulas utilizado na mina de cianita Serra das Araras.....12
- Figura 1.11 – Maquinário para corte da rocha. Portadoras de cianita na Serra das Araras.13

Capítulo 2

- Figura 2.1 – Mapa geológico simplificado da porção centro leste da Província Tocantins (após Fuck et al. 1994 e Blum 1999).....15
- Figura 2.2 – Mapa geológico esquemático do Arco Magmático Mara Rosa com a localização das áreas de ocorrência e potencial para cianita (SIG-Goiás CPRM, 2000).....18

Capítulo 3

- Figura 3.1 – Vista panorâmica, de norte para o sul, da Serra das Araras que mostra o contraste do relevo aplainado com a elevação topográfica. 19
-

Figura 3.2 – Mapa geológico da região de Santa Terezinha de Goiás (Projeto Santa Terezinha de Goiás, 2003).....	20
Figura 3.3 – Mapa gamaespectrométrico com composição ternária CMY, com os domínios geofísicos interpretados de acordo com dados levantados em campo (Projeto Levantamento Aerogeofísico do Estado de Goiás 1º etapa Arco Magmático de Goiás, 2004).	21
Figura 3.4 – Mapa geológico da região nordeste da Serra das Araras onde se localiza a mina de cianita (modificado de Rancan & Vilhena inédito).	22
Figura 3.5 – Aspecto macroscópico do clorita-muscovita xisto, com destaque para foliação difusa fina definida por clorita e muscovita e <i>box works</i> de pirita e magnetita.	24
Figura 3.6 – Fotografia de lâmina delgada de clorita-muscovita xisto (Nx). Destaque para sigmóide delimitado por faixas de muscovita com maior concentração de opacos.	24
Figura 3.7 – Aspecto macroscópico do pirita-magnetita-muscovita xisto, com destaque para pseudomorfos de possíveis porfiroblastos centimétricos de granada cloritizados.	25
Figura 3.8 – Fotografia de lâmina delgada de pirita-magnetita-muscovita xisto (Nx). Destaque para pseudomorfo de possível porfiroblasto de granada cloritizado (Chl) com sombra de pressão preenchida por quartzo recristalizado e contornado por muscovita (Ms).....	25
Figura 3.9 – Fotografia de lâmina delgada do magnetita-hematita-muscovita-cianita xisto (Nx). Destaque para porções sericíticas resultante da alteração de cianita e foliação marcada por muscovita e opacos estirados.....	27
Figura 3.10 – Fotografia de lâmina delgada do magnetita-hematita-muscovita-cianita xisto (Nx). Destaque para grãos de cianita substituído por sericita.	28
Figura 3.11 – Aspecto macroscópico de cianita-granada-muscovita xisto, com concentrações de porfiroblastos de granada em meio a porções ricas em cianita e muscovita.....	28
Figura 3.12 – Fotografia de lâmina delgada do cianita-granada-muscovita xisto (Nx). Destaque para cianita (ky) com terminações denteadas, resultado de substituição por muscovita, e granada (grd) em meio a matriz micácea diablástica.	29
Figura 3.13 – Fotografia de lâmina delgada de cianita quartzito (Nx). Destaque para cristais estirados de cianita (ky) e segregados granoblasticos de quartzo.	29
Figura 3.14 – Fotografia de lâmina delgada de cianitito (Nx). Destaque para textura nematoblástica com cristais hipidioblásticos de cianita (ky) dobrados.	30
Figura 3.15 – Aspecto macroscópico do anfibólio-muscovita xisto. Destaque para bandamento discreto e <i>box works</i>	30

Figura 3.16 – Fotografia de lâmina delgada do anfibólio-muscovita xisto (Nx). Destaque para epidoto subarredondados em forma de agregados em meio à matriz constituída por muscovita.....	31
Figura 3.17 – Fotografia de lâmina delgada de metaquartzo-andesito (Nx). Destaque para cristais de hornblenda (hbl) estirados.	31
Figura 3.18 – Vista para Sequência Santa Terezinha do alto da Serra das Araras.....	34
Figura 3.19 – Aspecto macroscópico do anfibolito com granulação fina e foliação definida por cristais de hornblenda e biotita.....	34
Figura 3.20 – Fotografia de lâmina delgada do anfibolito (N//). Destaque para porfiroblasto em sigmóide sin-cinemático de hornblenda (hbl) em matriz constituída de quartzo, clorita e epidoto.	35
Figura 3.21 – Fotografia de lâmina delgada do meta-andesito (Nx). Destaque para domínio rico em hornblenda intercalado a domínio quartzo-feldspático.	35
Figura 3.22 – Fotografia de lâmina delgada do meta-andesito (n //). Destaque para domínio rico em agregados sub-arredondados epidoto e grãos xenoblásticos de hornblenda em matriz quartzosa.....	36
Figura 3.23 – Aspecto macroscópico do epidosito com granulação média a grossa e foliação difusa.	36
Figura 3.24 – Fotografia de lâmina delgada do epidosito (Nx). Destaque para zoisita diablástica resultante de substituição de plagioclásio e prismas de hornblenda com bordas irregulares que definem a foliação (Hbl).....	37
Figura 3.25 - Fotografia de lâmina delgada do biotita xisto (N//). Destaque para epidoto (ep) sub-arredondado, resultante de substituição de plagioclásio, em forma de sigmóide delimitado por biotita (bt) que marca a foliação.....	37
Figura 3.26 – Aspecto macroscópico do quartzo-muscovita-hornblenda xisto, com porfiroblastos diablásticos de hornblenda.	38
Figura 3. 27 – Fotografia de lâmina delgada de quartzo-muscovita-hornblenda xisto (Nx). Destaque para pseudomorfo de hornblenda em sigmóide sericitizado.	38
Figura 3.28 – Aspecto macroscópico do metagranodiorito localizado próximo à Fazenda Cianita, com foliação difusa definida por biotita e muscovita em matriz quartzo-feldspática.....	41
Figura 3.29 – Fotografia de lâmina delgada do metagranodiorito (Nx). Destaque para plagioclásio hipidioblático deformado substituído parcialmente por epidoto.....	41

Figura 3.30 – Aspecto macroscópico do metaquartzo-diorito, localizado na Fazenda dos Porfírios ao norte da Serra das Araras, com granulação grossa, segregação quartzo-feldspática e foliação difusa marcada por prismas de hornblenda e biotita.	42
Figura 3.31 - Fotografia de lâmina delgada de metaquartzo-diorito (Nx). Destaque para cristais aciculares de epidoto resultado da substituição de plagioclásio.	42
Figura 3.32 – Aspecto macroscópico do metadiorito com granulação média a grossa e foliação discreta definida por hornblenda xenoblástica.	43
Figura 3.33 – Fotografia de lâmina delgada de metadiorito (Nx). Destaque para epidotização de plagioclásio em grãos aciculares e grãos xenoblásticos de hornblenda cloritizados.	43
Figura 3.34 – A) Afloramento de metatonalito em meio ao pasto nas proximidades da Serra das Araras; B) Detalhe do aspecto macroscópico do metatonalito com foliação difusa, definida por biotita e muscovita, envolvendo núcleos quartzo-feldspáticos.....	44
Figura 3.35 – Fotografia de lâmina delgada do metatonalito (Nx). Destaque para quartzo (qtz) e plagioclásio (plg) com bordas irregulares e microestrutura granoblástica.....	45
Figura 3.36 – Fotografia de lâmina delgada do granito (Nx). Destaque para cristais reliquiais preservados de microclínio e lamelas de muscovita entre os grãos de quartzo e feldspatos.....	45
Figura 3.37 – Blocos e matacões de cianita quartzito na Serra das Araras.	47
Figura 3.38 – Aspecto macroscópico do cianitito. Destaque para cor azul e granulação média a grossa de cianita com macroestrutura diablástica.....	48
Figura 3.39 – Aspecto macroscópico do cianitito na mina de cianita, na Fazenda Cianita. Destaque para isotropia da rocha com cristais de cianita diablásticos.	48
Figura 3.40 – Fotografia de lâmina delgada do cianitito (Nx). Destaque para arranjo granoblástico de cristais de cianita.	49
Figura 3.41 – Fotografia de lâmina delgada do cianitito (Nx). Destaque para grãos de rutilo entre os cristais de cianita diablásticos.....	49
Figura 4.42 – Aspecto macroscópico do cianita quartzito da Serra das Araras. Destaque para foliação difusa, segregação quartzosa e sigmóides de cianita delimitados por muscovita...	50
Figura 3.43 – Fotografia de lâmina delgada de cianita quartzito (Nx). Destaque para cristais estirados de cianita (ky) parcialmente substituídos por muscovita e segregação de quartzo (qtz) recristalizado com macroestrutura granoblástica.....	50
Figura 3.44 – Fotografia de lâmina delgada do muscovita-cianita quartzito (Nx). Destaque para cristais de cianita (ky) estirados, grãos de quartzo (qtz) deformados e lamelas radiais de muscovita (msc).....	51

Figura 3.45 – Aspecto macroscópico do feldspato-paragonita-cianita xisto. Destaque para domínios micáceos brancos de paragonita e muscovita intercalados com porções esverdeadas de cianita.	51
Figura 3.46 – Difratograma da porção micácea do feldspato-paragonita-cianita xisto.....	52
Figura 3.47 – Fotografia de lâmina delgada do feldspato-paragonita-cianita xisto (Nx). Destaque para cristais de cianita (ky) em meio à paragonita (pgo).....	52

Capítulo 4

Figura 4.1 – Mapa geológico regional da porção sul do Arco Mara Rosa. 1) Zona de Cisalhamento Rio dos Bois; 2) Zona de Cisalhamento Mandinópolis; 3) Zona de Cisalhamento Serra das Araras; 4) Sinclínório do Rio do Peixe (SIG-Goiás, 2000).....	55
Figura 4.2 – a) Imagem de radar SRTM tratada com filtro direcional de 45° para evidenciar estruturas de direção NE-SW; b) Lineamentos interpretados da imagem radar com filtro em direções variadas.	57
Figura 4.3 – A) Perfil NW-SE (X-Y) englobando a Serra das Araras e domínios encaixantes, com estatística da foliação (S2) e eixo de dobras (Lb) no domínio da Serra das Araras a partir do plote dos pólos no hemisfério inferior da rede Schmidt-Lambert; B) Dobra em afloramento na Serra das Araras; C) Sigmóide em falha transcorrente dextral atribuída à D ₃	59
Figura 4.4 - Estatísticas das estruturas próximas a zona de cisalhamento Serra das Araras a partir do plote dos polos no hemisfério inferior da rede Schmidt-Lambert; A) pólos S1//S2 (n=63); B) polos de Lx3 (n=12).	60
Figura 4.5 – Afloramento no alto da Serra das Araras com dobras assimétricas com vergência para SW.....	60
Figura 4.6 – Fotografia de metagranodiorito em afloramento em córrego dentro da Fazenda Cianita, que mostra grãos de quartzo e feldspatos estirados (Lx3 25°/230°).....	61
Figura 4.7 – Bloco de cianita quartzito com nódulo de cianitito com cristais de cianita diabláticos. Localizado na lavra da mina de cianita, na Fazenda Cianita.....	61
Figura 4.8 – Fotografia de afloramento localizado na Serra das Araras na Fazenda Araras. Destaque para nódulo de cianitito em meio ao cianita quartzito.	62
Figura 4.9 – Fotografia de lâmina delgada (Nx) de muscovita-cianita xisto. Destaque para cristais de cianita (ky) estirados.....	63
Figura 4.10 – Fotografia de lâmina delgada (N//) de cianita quartzito. Destaque para cristais de cianita deformados em forma de sigmóides.	63

Figura 4.11 – Fotografia de lâmina delgada (Nx) de cianita quartzito. Destaque para cristal de cianita (ky) com extinção ondulante.....	64
Figura 4.12 – Fotografia de lâmina delgada (Nx) de muscovita-cianita quartzito. Destaque para cristal de cianita deformado.....	64
Figura 4.13 – Fotografia de lâmina delgada (Nx) de muscovita cianita quartzito. Destaque para cristais de cianita deformados, com extinção ondulante e microdobras.....	65
Figura 4.14 – Fotografia de lâmina delgada (Nx) de cianita quartzito. Destaque para deformação impressa nos grãos de cianita com extinção ondulante	65
Figura 4.15 – Imagem Aster na banda do infravermelho próximo (VNIR) com lineamentos regionais.	66
Figura 4.16 – Diagrama concórdia U-Pb que mostra dados do rutilo do muscovita-cianita quartzito da Serra das Araras.....	68
Figura 4.17 – Fotografia de lâmina delgada (N//) de muscovita-cianita quartzito. Destaque para rutilo (rut) como inclusões nos cristais de cianita (ky).....	68

Capítulo 5

Figura 5.1 – Estrutura da cianita com cela unitária triclinica. A estrutura consiste em tetraedros independentes de SiO ₄ ligados a octaedros de Al. (Klein & Hurlbut 1999).....	71
Figura 5.2 – Diagrama de Al ₂ O ₃ x Fe ₂ O ₃ com amostras plotadas. A área hachurada representa o domínio de concentrado considerado de Grade II e em cinza o domínio de concentrado de melhor qualidade (Grade I) segundo DGTD. A - cianitito; B - cianitito; C - muscovita cianitito; D - cianita quartzito; E - cianita quartzito; F - muscovita cianita quartzito; G - muscovita cianita xisto; I – feldspato-paragonita-cianita xisto.....	75

Índice de Tabelas

Capítulo 4

Tabela 4.1 – Fases de deformação e principais estruturas identificadas.....	56
Tabela 4.2 – Evolução geológica do Arco Magmático Mara Rosa.....	69

Capítulo 5

Tabela 5.1 – Propriedades físicas da cianita (Klein & Hurlbut, Jr, 1999).....	71
Tabela 5.2 – Análises químicas por microsonda eletrônica de cianita que compõem o cianita quartzito e o cianitito maciço da Serra das Araras e cianitito do Rio Uru/Heitorai (Fórmula estrutural calculada com base em 20 oxigênios).....	73

Tabela 5.3 – Parâmetros químicos do concentrado de cianita considerados pelo *Directorate General of Technical Development*, (DGTD), *Kyanite Mining Corporation* (KMC) e pela TOGNI S/A.....74

Tabela 5.4 – Análises geoquímicas por ICP/ES. A - cianitito; B - cianitito; C - muscovita cianitito; D - cianita quartzito; E - cianita quartzito; F – muscovita-cianita quartzito; G – muscovita-cianita xisto; H – cianita-granada-muscovita xisto; I – cianitito hidrotermal e J - cianitito Rio Uru. LOI – perda ao fogo; TOT/C – total de carbono e TOT/S – total de enxofre.....76

Resumo

Esta dissertação de mestrado reporta os resultados da pesquisa realizada no depósito de cianita da Serra das Araras no Arco Magmático Mara Rosa. Aborda principalmente o controle e gênese do depósito e seus arredores, além da caracterização química da cianita e geoquímica das rochas portadoras.

A ocorrência de cianita está localizada na Serra das Araras, noroeste de Goiás, entre a sede urbana dos municípios de Santa Terezinha de Goiás e Nova Iguaçu de Goiás. Trata-se da maior reserva oficial do Brasil deste minério, e foi alvo de exploração durante a década de 1980. A Serra das Araras tem topografia saliente que atinge cotas de 570 metros de altitude, 16 km de extensão linear e com largura entre 400 m e 1,5 km.

A área estudada é compreendida pela i) seqüência metavulcano-sedimentar Mara Rosa dominada por rochas metassedimentares pelíticas a psamíticas; ii) pela seqüência metavulcano-sedimentar Santa Terezinha caracterizada por rochas vulcânicas básicas a intermediárias; iv) por suíte metaplutônica ácida; por suíte ortognáissica; v) e pela unidade Serra das Araras, predominantemente formada por cianitito e cianita quartzito.

A unidade Serra das Araras está associada à Zona de Cisalhamento homônima desenvolvida durante a segunda fase deformacional de metamorfismo de fácies anfíbolito zona da cianita. Análises geocronológicas U-Pb em rutilos retirados de muscovita-cianita quartzito apontam idade de $570,6 \pm 5,6$ Ma, considerada como indicadora da época de metamorfismo.

As rochas portadoras de cianita são cianitito, muscovita cianitito, muscovita-cianita quartzito e cianita quartzito, encontradas ao longo de toda a Serra das Araras em forma de matacões e blocos. O crescimento da cianita pode estar ligado simultaneamente a processos que envolveriam diretamente metamorfismo de rochas sedimentares pelíticas sob condições de fácies anfíbolito e à alteração hidrotermal-magmática prévia de rochas intrusivas ácidas, seguido por metamorfismo de fácies anfíbolito de produtos hidrotermais aluminosos do estágio avançado do processo.

Análises por microsonda eletrônica mostram que a cianita deste depósito não possui elementos deletérios (Fe e Ti) na sua estrutura que possam afetar a qualidade do minério como material industrial. A geoquímica de rocha total do cianitito com valores de Al_2O_3 entre 40 e 60% e de Fe_2O_3 , TiO_2 e álcalis inferiores a 2%, atende aos padrões exigidos para uso em indústrias refratárias.

Abstract

This dissertation presents the results obtained by researches at the kyanite deposits on the Serra das Araras situated at the Mara Rosa Magmatic Arc. It mainly asserts on the control and genesis of the deposit and rocks nearby, besides the chemical and geochemical characterization of kyanite and the total rocks.

The kyanite occurrence is located at the Serra das Araras, northwestern Goiás, between Santa Terezinha de Goiás and Nova Iguaçú de Goiás. It is the widest official kyanite reserve in Brazil which was explored in the 1980's. The topography of ridge (Serra das Araras) is prominent reaching 570 m high, 16km length and width varying from 0,4 to 1,5 km.

The studied area is composed by i) Mara Rosa metavulcano-sedimentary sequence, dominated by pelitic to psamitic metasedimentary rocks; ii) Santa Terezinha metavulcano-sedimentary sequence, dominated by basic and intermediate volcanic rock; iii) acid metaplutonics suites; iv) ortognaisse suite; v) Serra das Araras Unit predominantly formed by kyanitite and kyanite quartzite.

Serra das Araras Unit is associated with its homonym shear zone which was developed during the second deformational phase of the amphibolite facies metamorphism kyanite zone. U-Pb analyses in rutiles extracted from muscovite-kyanite quartzite shows 570,6 ±5,6 Ma age, considered the indication of metamorphism epoch.

The carrying kyanite rocks are kyanitite, muscovite kyanite, muscovite-kyanite quartzite and kyanite quartzite, which can be easily found all over the ridge Serra das Araras in the form of boulders and blocks. Kyanite growth can be simultaneously related to processes directly involved to pelitic sedimentary rocks metamorphism under amphibolite facies conditions and to earlier hydrothermal-magmatic alteration of acid intrusive rocks, followed by metamorphism amphibolite facies of aluminous hydrothermal products of advanced alteration stage.

Electronic microscopy analyses shows the kyanite has no deleterious elements (Fe and Ti) which could possibly affect the ore quality as an industry mineral. The geochemistry of the kyanitite total rock attends the standard used for refractory industries, with values of Al₂O₃ between 40 and 60%, and the Fe₂O₃, TiO₂ and alkalis are below 2%.

Capítulo 1 – Introdução

1.1 – Apresentação e Objetivos

O presente trabalho corresponde ao projeto de dissertação de mestrado desenvolvido junto ao Instituto de Geociências da Universidade de Brasília, que aborda a ocorrência de cianita da Serra das Araras nas proximidades da cidade de Santa Terezinha de Goiás, no contexto geológico do Arco Magmático Mara Rosa.

O Arco Magmático Mara Rosa possui grande potencial metalogenético, com importantes depósitos de Au (Posse, Zacarias), Cu-Au (Chapada) e esmeralda (Campos Verdes), sendo explorados desde a década de 1970. Este fato tem despertado um grande interesse para realização de trabalhos acadêmicos e de empresas mineradoras para desenvolvimento dos conhecimentos geológicos regionais.

Além destes depósitos, existe uma importante concentração de cianita na porção sudeste do Arco Mara Rosa próximo à cidade de Santa Terezinha de Goiás. Este foi um importante alvo de exploração até o início da década de 1990. Trata-se do principal depósito de cianita do Brasil e até hoje não existem publicações que tratem com detalhe esta ocorrência.

Depósitos de cianita são alvos de exploração em vários locais do mundo. A cianita é um mineral industrial muito utilizado como matéria prima em produtos refratários.

Este trabalho apresenta detalhes a respeito da ocorrência de cianita da Serra das Araras e tem como objetivos:

- Mapeamento de semi-detalle (1:25 000) da Serra das Araras e entorno;
- Definição de modelo descritivo das ocorrências de cianitito e rochas portadoras de cianita;
- Elaborar modelo genético para a mineralização de cianita.

1.2 - Localização e vias de acesso

A área do projeto localiza-se no noroeste de Goiás e abrange parte dos municípios de Santa Terezinha e Pilar de Goiás, distante aproximadamente 425 km de Brasília e cerca de 320 km a norte de Goiânia. O principal acesso à Santa Terezinha de Goiás se dá a partir rodovia asfaltada BR-153 (Belém-Brasília) até a bifurcação com a rodovia GO-154, pela qual se alcança Santa Terezinha de Goiás a 89 km, conforme ilustrado na figura 1.1.

A ocorrência de cianita está localizada na Serra das Araras entre a sede urbana dos municípios de Santa Terezinha de Goiás e Nova Iguaçu de Goiás onde o acesso é feito por estradas não pavimentadas GO-347. A melhor aproximação para visualização do depósito

da Serra das Araras se dá pela sede da Fazenda Cianita, a 26 km de Santa Terezinha de Goiás, local que já foi sede da lavra existente no passado.



Figura 1.1 – Mapa de localização e vias de acessos à área do projeto (modificado de Guia Quatro Rodas Brasil 2003)

1.3 – Métodos de Trabalho

Inicialmente, foi realizado o levantamento bibliográfico dos trabalhos que versam sobre a geologia da região de Santa Terezinha de Goiás e entorno, assim como trabalhos relacionados às características da cianita e suas aplicações industriais e de mercado.

Para melhor aproveitamento, localização e visualização da área de trabalho foram feitos em escritório o processamento e a interpretação de imagens de satélites, cartas topográficas, mapas geológicos e geofísicos já existentes da região.

O geoprocessamento foi feito com a utilização de imagens levantadas por diferentes sensores: *Landsat 7*, radar (*Shuttle Radar Topography Mission-SRTM*) e *Aster*. As imagens foram adquiridas através de *downloads* gratuitos em páginas da internet. Para o devido processamento foi utilizado o *software ENVI* versão 4.0. O processamento da imagem *Landsat* consistiu em georreferenciamento e recorte da composição ternária RGB 543. Na imagem *SRTM* foi feito realce com filtro direcional em diversos ângulos para obter melhor visualização de distintas estruturas lineares. A imagem de alta resolução, *Aster*, foi tratada com realce linear para uma visualização de detalhe de feições como drenagens, estradas e estruturas lineares.

Utilizando o *software ArcView*TM 3.2 foram retiradas as principais feições cartográficas e geológicas das imagens e gerado um mapa base georreferenciado para utilização no campo. Além disso, foi utilizada a carta topográfica do exército do ano de 1976, SD-22-Z-A-III, na escala 1:100.000, folha Santa Terezinha de Goiás para reconhecimento das altitudes e denominações de drenagens, serras e estradas.

Investigações em campo foram realizadas para mapeamento geológico de semi-detalle da zona de cisalhamento Serra das Araras. Foram feitos caminhamentos transversais à principal estrutura para investigação do controle lito-estrutural da mineralização de cianita, e recolhimento de material para análise de laboratório.

Em etapa de laboratório foram feitas caracterizações petrográficas de 25 lâminas delgadas do cianitito e rochas encaixantes. As análises petrográficas contribuirão para definir a composição mineralógica, microestruturas e processos de metamorfismo. Os parâmetros químicos (composição química e química mineral) de cianitito e cianita quartzito foram definidos por microsonda eletrônica e espectrômetro de emissão (ICP/ES). Além disso, foi feita análise geocronológica de U-Pb de rutilo em cianita quartzito.

A última etapa do trabalho foi a realização de um relatório descritivo e interpretativo a respeito da gênese e do controle da mineralização (capítulos 1 a 6).

1.4 - Tipologia dos depósitos de cianita

A cianita ocorre como porfiroblastos ou agregados cristalinos em xistos, paragnaises e quartzitos localizados em terrenos metamórficos e em zonas de deformação de alta pressão, como zonas de cisalhamento (Simandl *et al.* 1999). Muscovita, granada, silimanita e estauroлита são comumente associadas com a cianita.

As unidades associadas à mineralização de cianita são derivadas de protolitos com alta concentração de alumina como folhelho aluminoso, paleo regolito, ou zonas de alteração hidrotermal. Os depósitos ocorrem em faixas metassedimentares e no contato de zonas metamórficas, e são associados a rochas como cianita-silimanita gnaiss, xistos e quartzitos, biotita e granada paragnaisse, mica xistos, hornblenda xisto, ortognaisse, clinopiroxenitos, anfíbolitos, pegmatitos e outras rochas intrusivas variadas (Simandl *et al.* 1999).

A classificação dos depósitos de cianita em proporções economicamente exploráveis é descrita por Bennet & Castle (1975) em três tipos principais: cianita quartzito, cianita xisto, cianita gnaiss e cianitito. Os depósitos podem ocorrer na forma de

lentes e bolsões concordantes, discordâncias planares ou em zonas de cisalhamento irregulares (Simandl *et al.* 1999).

Os principais depósitos de cianita quartzito estão localizados nos EUA, Suriname, Noruega, Kênia e Austrália. Estas rochas contêm de 15 a 40% de cianita (10 a 25% de Al_2O_3). Caracterizam-se por apresentar baixos teores de potássio e sódio, e traços de cálcio e magnésio. Os depósitos são geralmente associados a rochas vulcânicas ácidas e sedimentares metamorizadas em médio grau, em terrenos de topografia elevada (Bennet & Castle 1975).

Quando em cianita xistos e gnaisses, a cianita representa 2 a 25% do volume da rocha e ocorre disseminada em ganga de biotita, feldspatos, muscovita, granada e hornblenda. Este tipo de depósito apresenta viabilidade econômica somente quando intensamente intemperizado, de modo que a lavra seja de baixo custo, ocorra a céu aberto e envolva grande volume de material desagregado com alto teor de cianita (Bennet & Castle 1975).

Em depósitos de cianitito, a cianita é encontrada como nódulos e matações resultantes da segregação de sedimentos aluminosos metamorizados em alto grau. A principal ocorrência deste tipo de depósito é descrita na Índia e vem sendo explorada há 40 anos (Bennet & Castle 1975).

A cianita também é encontrada em concentrações residuais ou solos originados da erosão mecânica ou desagregação de depósitos primários. Este é o caso dos depósitos encontrados nos estados de Minas Gerais e Bahia.

As principais ocorrências e áreas mineradas como garimpos em Minas Gerais situam-se no Quadrilátero Ferrífero, em Mateus Leme e Nova Lima, e na região de Diamantina e Andrelândia. A principal reserva encontra-se em Andrelândia nos depósitos eluviais provenientes da desagregação de micaxistos quartzosos (Alecrim 1982). Quartzo, hematita, mica e rutilo são os principais minerais inclusos nos cristais de cianita, assim como grafita fina, gibsitita e goetita ocorrem na crosta laterítica ao redor da cianita maciça oxidada. Processos de beneficiamento são realizados para separar os elementos deletérios como o Fe, que degrada a qualidade do minério como refratário (Brandão & Mendes, 1998).

Na Bahia, a cianita representa 1% dos recursos minerais cadastrados (Sampaio *et al.* 2004). A reserva mais significativa é relatada no município de Anagé, próximo a Vitória da Conquista, em forma de depósitos residuais areno-argilosos resultantes da alteração intempérica de xistos que contêm quartzo, biotita, cianita, granada e estauroлита. A reserva medida desta jazida é de 115.000 ton (Silva Sá & Nery 2002).

Em Goiás são cadastradas 27 ocorrências de cianita, distribuídos em cerca de dezoito municípios, com destaque para Santa Terezinha de Goiás, Mara Rosa, Pilar de Goiás, Crixás, Córrego São Domingos (São João da Paraúna), Serra do Tombador (SE de Mozarlândia), Campos Verdes, Edealina, Porangatu, Pirenópolis, Estrela do Norte, Silvânia, Nerópolis e Mutunópolis (Lacerda *et al.* 1999).

As ocorrências nos municípios de Santa Terezinha de Goiás, Porangatu, Pilar de Goiás, Nova Iguaçu e Mara Rosa estão associadas às seqüências aluminosas e comumente a zonas de falhamento no domínio do Arco Magmático Mara Rosa. Na Serra do Tombador e Pirenópolis são encontradas nos micaxistos do Grupo Araxá e nas regiões de Silvânia e Nerópolis são associados a gnaisses e granitóides do Complexo Granulítico Anápolis-Itaçu (Lacerda *et al.* 1999).

1.5 - Utilização

Aproximadamente 95% da cianita produzida no mundo é consumida por indústrias de refratários, do qual 60% são para fundição e processamento de metais ferrosos, 20% para metais não ferrosos e 15% para fabricação de vidros e cerâmicas (MacDonald 1992). Refratários são materiais resistentes ao calor acima de 1500°C que constituem os forros para fornalhas e de reatores de alta temperatura que suportam o desgaste e a corrosão física por agentes químicos (Jensen & Bateman 1981).

A cianita é um dos mais importantes minerais utilizados na produção de alumina de alta qualidade (50-55% Al_2O_3) (Bulut & Yurtsever 2004). É utilizada como mineral refratário devido a sua grande e irreversível expansão térmica, que ajuda a neutralizar a contração normal existente na maioria dos outros materiais refratários, como as argilas (Potter 2003).

A cianita na indústria de refratários é utilizada na sua forma calcinada onde é transformada em mulita. A total transformação da cianita em mulita ocorre a temperaturas entre 1350 a 1400°C (Sainz *et al.* 1997). A mulita ($3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$) é utilizada como constituinte de produtos cerâmicos devido a excelentes propriedades físicas e mecânicas: baixa constante dielétrica, baixa expansão térmica, alto ponto de fusão, estabilidade mecânica a altas temperaturas e resistência a impactos e corrosões químicas (Aksel 2003). Em conseqüência, o emprego da mulita em produtos refratários visa aumentar a resistência termal e a deformação sob pressão. Além disso, quando convertida em mulita resulta em um nível elevado de refratariedade e de resistência ao choque térmico.

Artigos especiais que podem ser usados nos fornos requerem uma quantidade grande de mulita, a fim de suportar o choque térmico de aquecimento e resfriamento repetidas vezes, com isso a maioria dos artigos utilizados em cozinhas contém mulita.

Nos Estados Unidos, a cianita produzida na Virginia pela *Kyanite Mining Corporation* é aplicada principalmente em fundições, peças de veículos, artigos para cozinha, porcelanas elétricas, artigos de banheiro, fornos caseiros, abrasivos e azulejos de paredes e pisos. A cianita e a mulita são utilizadas extensivamente em fundições de materiais ferrosos e não-ferrosos como moldes, e quando em frações finas (0,35 e 0,57mm) em pulverizadores para remoção de metal.

A utilização de mulita estende-se a produtos de fricção, como forros de freio e revestimentos de embreagem para aumentar a qualidade de abrasão (fricção) dos produtos, de modo que tenham vidas relativamente longas. Quase todos os forros de freio usados em veículos de estrada de ferro e em caminhões de grande porte contêm de 50 a 80% de mulita. Outra utilização deste mineral é como abrasivo de nível médio, onde são componentes ligantes prendendo as partículas de abrasão interligadas.

Além destas qualidades, a cianita e a mulita possuem condutividade elétrica extremamente baixa, e podem ser utilizadas em porcelanas elétricas como isolantes.

1.6 - Mercado e Produção

A cianita não é um produto de alta comercialização e produção mundial quando comparada com os *commodities* metálicos. Por essa razão, o cálculo para os valores estatísticos da cianita são feitos juntamente com minerais da mesma classe dos refratários, como a andaluzita, silimanita e, muitas vezes, a mulita. A produção mundial destes minerais mostra um constante aumento desde 1928 relacionado ao constante aumento industrial (Kelly & Potter 2004) (figura 1.2).

Em 1946, a Índia era o maior produtor com 16.000 toneladas (ton) e alcançou 119.000 ton em 1970. Nos anos 1990, sua produção declinou abruptamente (entre 5.000 e 10.000 ton) (Potter 2000).

A cianita foi explorada no Kênia entre 1946 e 1955, com o ápice da produção em 1949 (23.600 ton) (Potter 2000).

Entre 1925 e 1986, a cianita foi produzida nos Estados Unidos nos estados da Califórnia, Geórgia, Carolina do Norte e Sul. A partir de 2000, os EUA tornaram-se líderes de produção de cianita com 90.000 ton (Potter 2000). A produção mundial de cianita e

minerais relacionados em 2003 foi de 410.000 ton, sendo os maiores produtores África do Sul, EUA e França (Potter 2004).

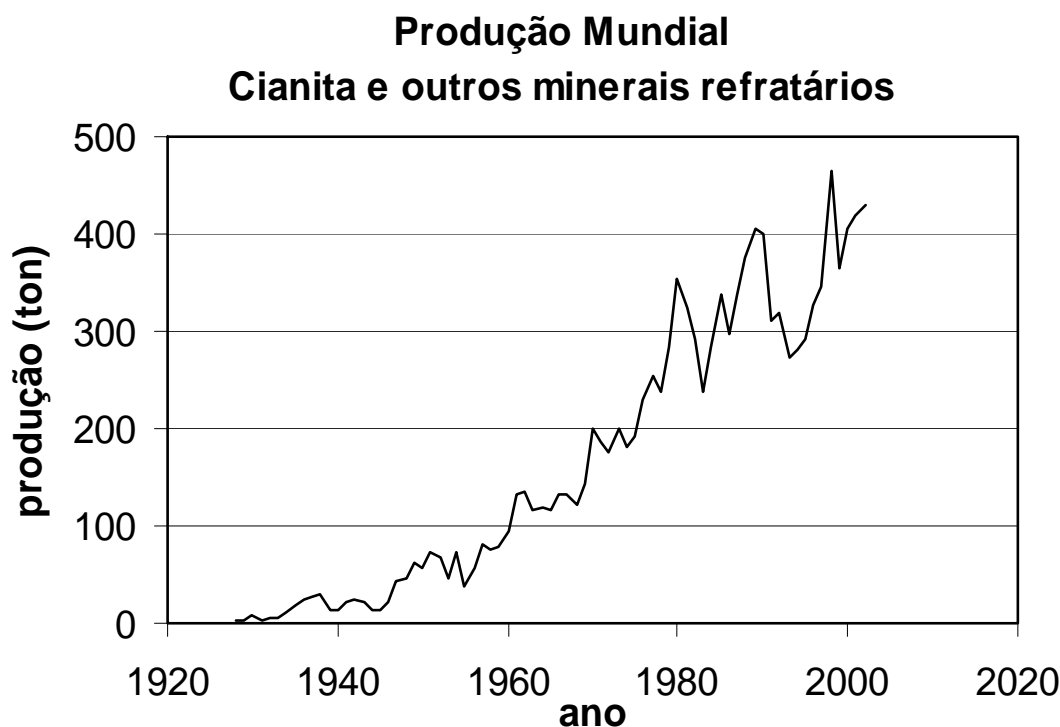


Figura 1.2 – Gráfico da produção mundial de cianita e outros minerais refratários, entre os anos de 1928 e 2002. Valores em mil toneladas métricas (ton) (fonte: Kelly & Potter 2004).

O Brasil possui reserva base (medida + indicada) de cianita e outros minerais refratários de 3.642.177 toneladas, onde 63% estão inseridas no estado de Goiás e o restante em Minas Gerais (34%) e Paraíba (3%) (DNPM/DIDEM, ano base 2004). Dados de 2003 mostram reserva base pouca expressiva no estado da Bahia (69 ton) e Tocantins (41 ton). As reservas declaradas do estado de Goiás estão todas dentro do município de Santa Terezinha de Goiás e Pilar de Goiás, no contexto do Arco Magmático de Mara Rosa, com 2.230.687 ton e 50.871 ton, respectivamente.

O Brasil teve ápice na produção de cianita em 1980 (18.296 ton) (Alecrim 1982), e desde 1996 é registrada uma variação na produção de material refratário bruto no país. Em 2004 ocorreu aumento significativo (figura 1.3), onde Minas Gerais é responsável por 96% da produção neste ano com 726 ton (*run of mine* - ROM) (DNPM/DIDEM 2005).

Quanto à produção de materiais refratários manufaturados, o que inclui peças cerâmicas para construção, tijolos, peças cerâmicas refratárias e etc., o Brasil vem tendo aumento desde 2002 (figura 1.4). A *Millenium Chemical* do Brasil S.A., empresa que atua na Paraíba, é a responsável por este aumento. Desde 1999 ela declara a produção de concentrado de cianita e em 2004 atingiu 2.147 ton (DNPM/DIDEM 2005).

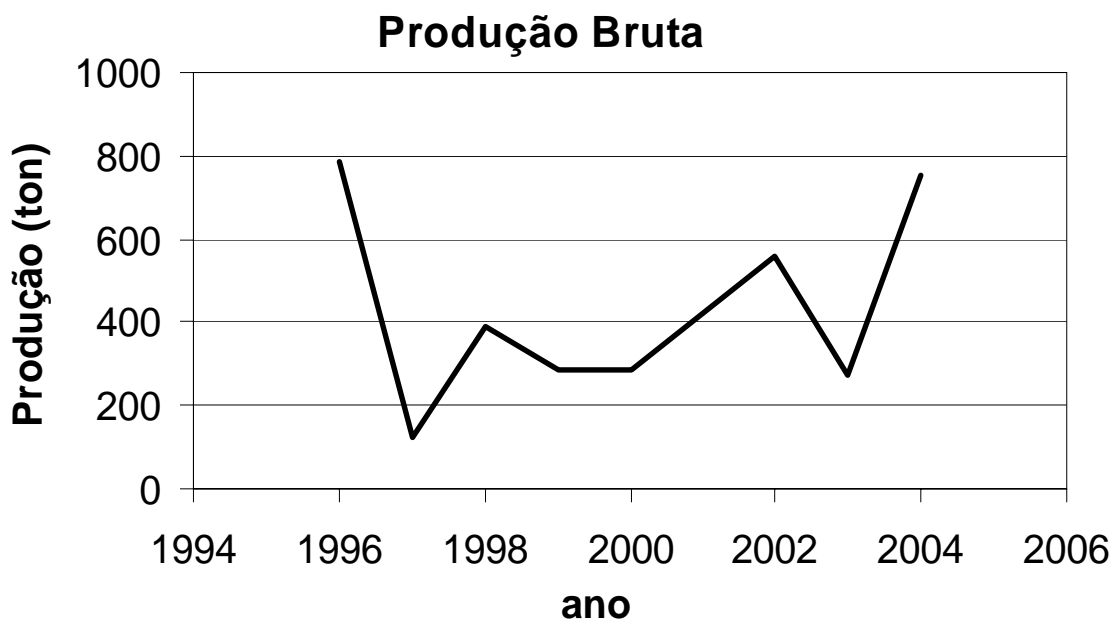


Figura 1.3 – Gráfico da produção bruta nacional de cianita e outros minerais refratários (fonte: DNPM/DIDEM 2005).

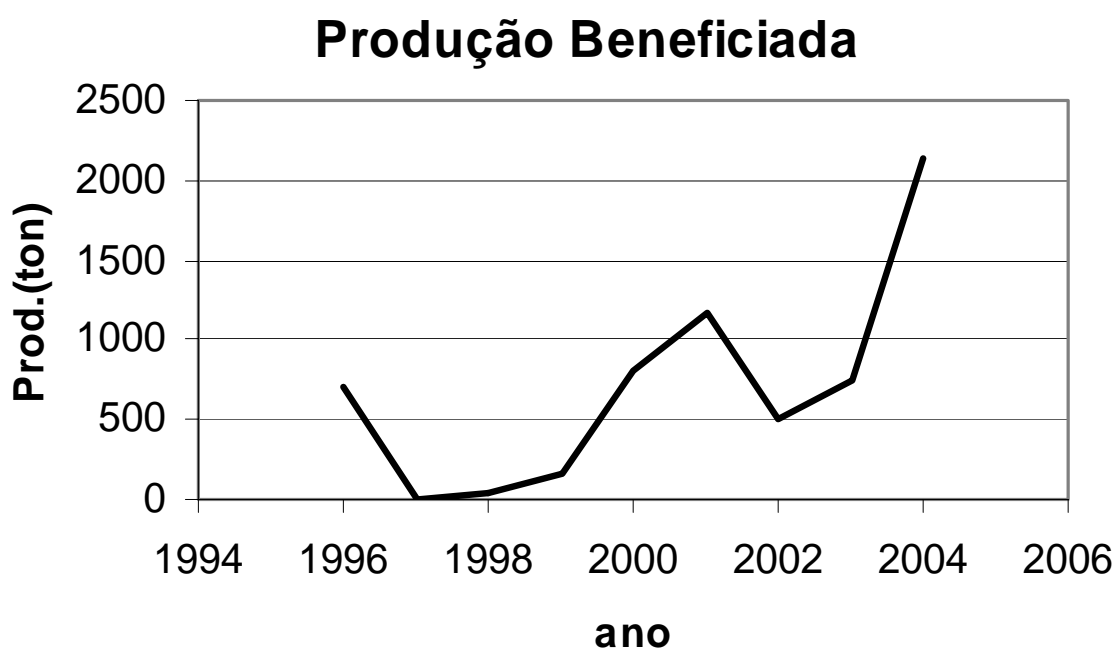


Figura 1.4 – Gráfico da produção de produtos refratários manufacturados no Brasil (fonte: DNPM/DIDEM 2005).

No comércio exterior, o Brasil tem baixa contribuição com relação à exportação de produtos refratários. Em uma análise histórica, de 1995 a 2004, o gráfico resulta em uma curva inconstante (figura 1.5). A Argentina é o principal comprador de material bruto (cianita, andaluzita e silimanita) do Brasil, e o Mercado Comum do Sul (MERCOSUL), Oceania e África de manufacturados. O gráfico referente à importação brasileira de bens primários refratários nos mostra uma tendência inversa à de exportação, ou seja, a

quantidade de produtos importados está crescendo de forma irregular desde 1995 (figura 1.5). Os principais países de origem em 2004 foram a França (43%), África do Sul (27%), Estados Unidos (27%) e Japão (2%) (DNPM/DIDEM 2005).

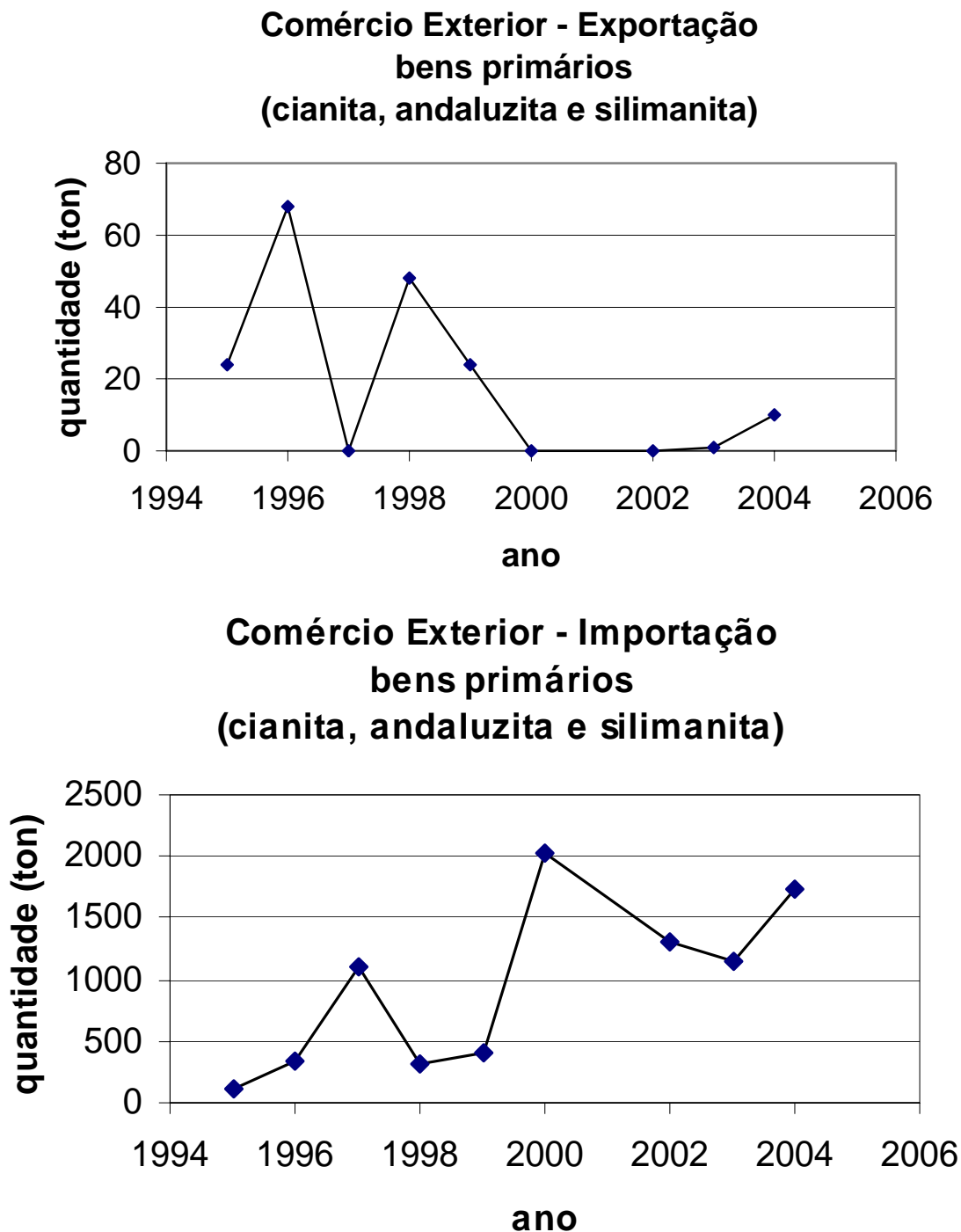


Figura 1.5 – Gráficos do comércio exterior brasileiro (exportação e importação) (fonte: DNPM/DIDEM 2005)

O valor da cianita e outros minerais refratários no mercado mundial, entre 1934 e 1940, era alto e inconstante. A partir da II guerra mundial, o avanço tecnológico e industrial de países desenvolvidos exigiu cada vez mais matéria prima para utilização em

equipamentos e fabricação de peças que se utilizam de materiais refratários. Com isso a produção está em constante aumento e os preços estão mais baixos e estáveis (figura 1.6). Os preços destes minerais atualmente variam principalmente de acordo com a qualidade e quantidade de compra. Um lote de 18 ton de cianita calcinada com 56-60% de Al_2O_3 vale US\$225-268 (*Industrial Minerals*, 2005).

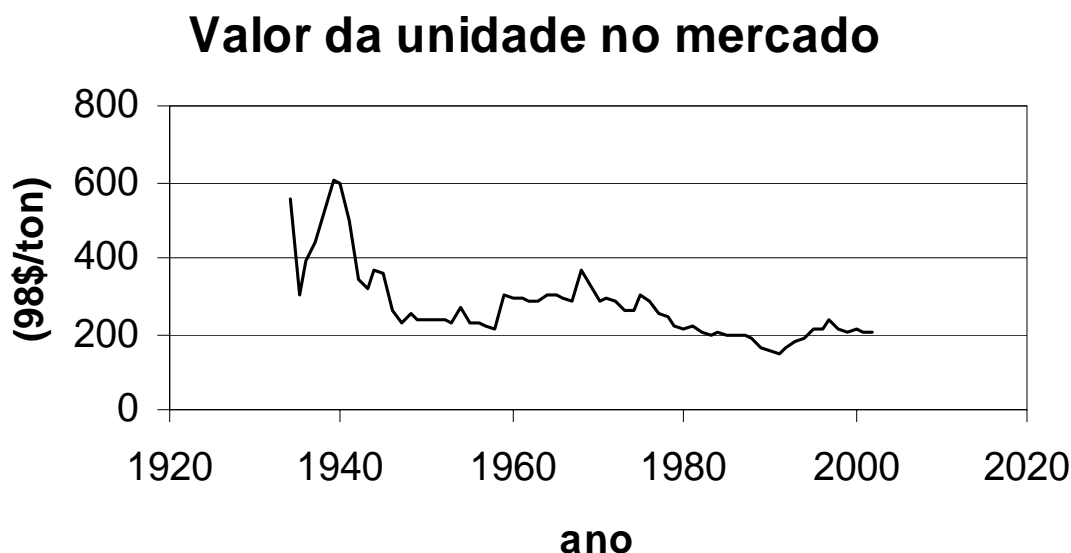


Figura 1.6 - Gráfico do valor da unidade de cianita e outros minerais refratários por tonelada, entre os anos de 1934 e 2002. Valores em \$/ton corrigido pelo ajuste da inflação de 1998 (fonte: Kelly & Potter, 2004).

1.7 – Mina de cianita da Serra das Araras

A cianita de Santa Terezinha de Goiás é conhecida como a maior reserva oficial do Brasil com cerca de 2 milhões de toneladas (Schobbenhaus 1997), com o principal depósito localizado na Serra das Araras (figura 1.7).

A cianita da Serra das Araras foi alvo de exploração durante a década de 1980 e muito contribuiu para a economia local e nacional. O alvo explorado se localiza na Fazenda Cianita onde até hoje podem ser encontrados vestígios da frente de lavra e da planta de beneficiamento (figura 1.8 a 1.11). O minério passava por processos de corte, britagem e separação de acordo com sua granulometria para que pudesse ser transportado para os pólos industriais para beneficiamento refinado.

As rochas portadoras de cianita são cianitito, muscovita cianitito, muscovita-cianita quartzito e cianita quartzito. Estas rochas podem ser encontradas com facilidade ao longo de toda a Serra das Araras, em forma de matações e blocos. A utilização da cianita do depósito da Serra das Araras é na indústria de materiais refratários.

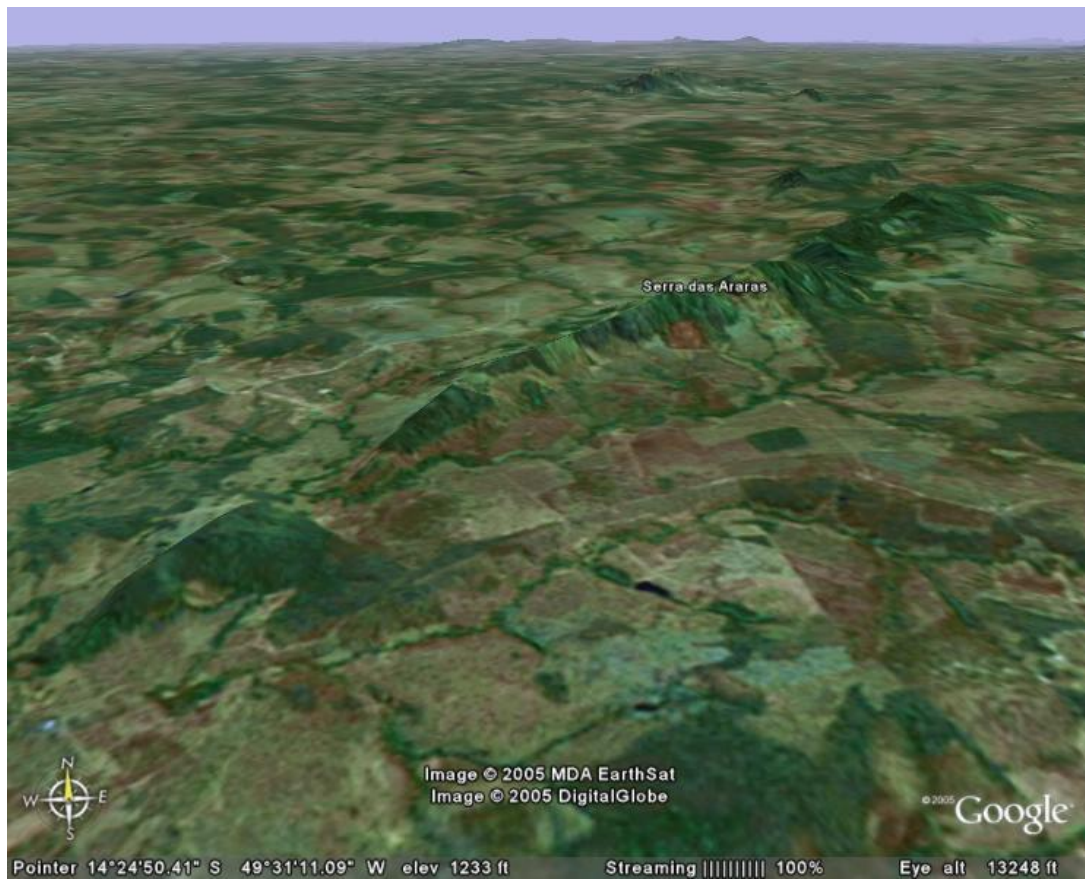


Figura 1.7 – Imagem de satélite adquirida pelo programa *Google Earth*, com perspectiva em 3 dimensões da Serra das Araras.



Figura 1.8 – Frente de lavra da Mina de Cianita da Serra da Araras na Fazenda Cianita.



Figura 1.9 – Blocos soltos na frente de lavra da Mina de Cianita da Serra das Araras na Fazenda Cianita.



Figura 1.10 - Britador de mandíbulas utilizado na mina de cianita Serra das Araras.



Figura 1.11 – Maquinário para corte da rocha. Portadoras de cianita na Serra das Araras.

Capítulo 2 - Contexto Geológico Regional

2.1 - Introdução

A área de investigação deste projeto está inserida na porção central da Província Tocantins, no Arco Magmático Neoproterozóico de Goiás (Pimentel *et al.* 1991, Pimentel & Fuck 1992).

A Província Tocantins representa um orógeno de direção geral norte-sul, com cerca de 2.000 km de comprimento e até 800 km de largura, desenvolvido durante o Ciclo Brasileiro, na geração do supercontinente Gondwana, no fechamento de um oceano entre dois blocos continentais, o Cráton São Francisco a leste e o Cráton Amazônico a oeste.

A Província Tocantins é composta por diferentes unidades litoestratigráficas incluindo o terreno arqueano de Crixás-Goiás (ou Maciço de Goiás), três Faixas Proterozóicas (Paraguai, Araguaia e Brasília), complexos máficos-ultramáficos acamadados e o Arco Magmático de Goiás (Fuck *et al.* 1994). As faixas dobradas Araguaia e Paraguai a oeste, foram estabelecidas na margem do Cráton Amazônico, e a Faixa Brasília, na margem do Cráton do São Francisco. (Fuck *et al.* 1994, Pimentel *et al.* 2000b) (figura 2.1).

O segmento norte da Faixa Brasília pode ser dividido nos seguintes compartimentos, de leste para oeste (Fuck *et al.* 1994, Pimentel *et al.* 2000b): o cinturão de dobras e empurrões, o Maciço de Goiás e o Arco Magmático de Goiás.

2.2 – Arco Magmático

O Arco Magmático de Goiás localiza-se na porção oeste e norte do estado de Goiás estendendo-se até o estado do Tocantins e desaparece sob a Bacia Fanerozóica Parnaíba. São identificadas duas áreas de exposição de rochas neoproterozóicas, o Arco Arenópolis na porção oeste e o Arco Mara Rosa na porção centro-norte do estado de Goiás. Estes terrenos consistem em ortognaisses tonalíticos e faixas de rochas metavulcânicas e metassedimentares neoproterozóicas, com dominante assinatura juvenil e afinidade intra-oceânica, com assinatura calci-alcalina similar a de arcos de ilha, incluindo eventuais escamas ou fragmentos de rochas arqueanas e/ou paleoproterozóicas (Pimentel *et al.*, 2000a). As características gerais de Sm-Nd das rochas de Mara Rosa e Arenópolis são semelhantes com valores positivos de ϵ_{Nd} e idades T_{DM} mais jovens que 1,1 Ga (Viana *et al.* 1995).

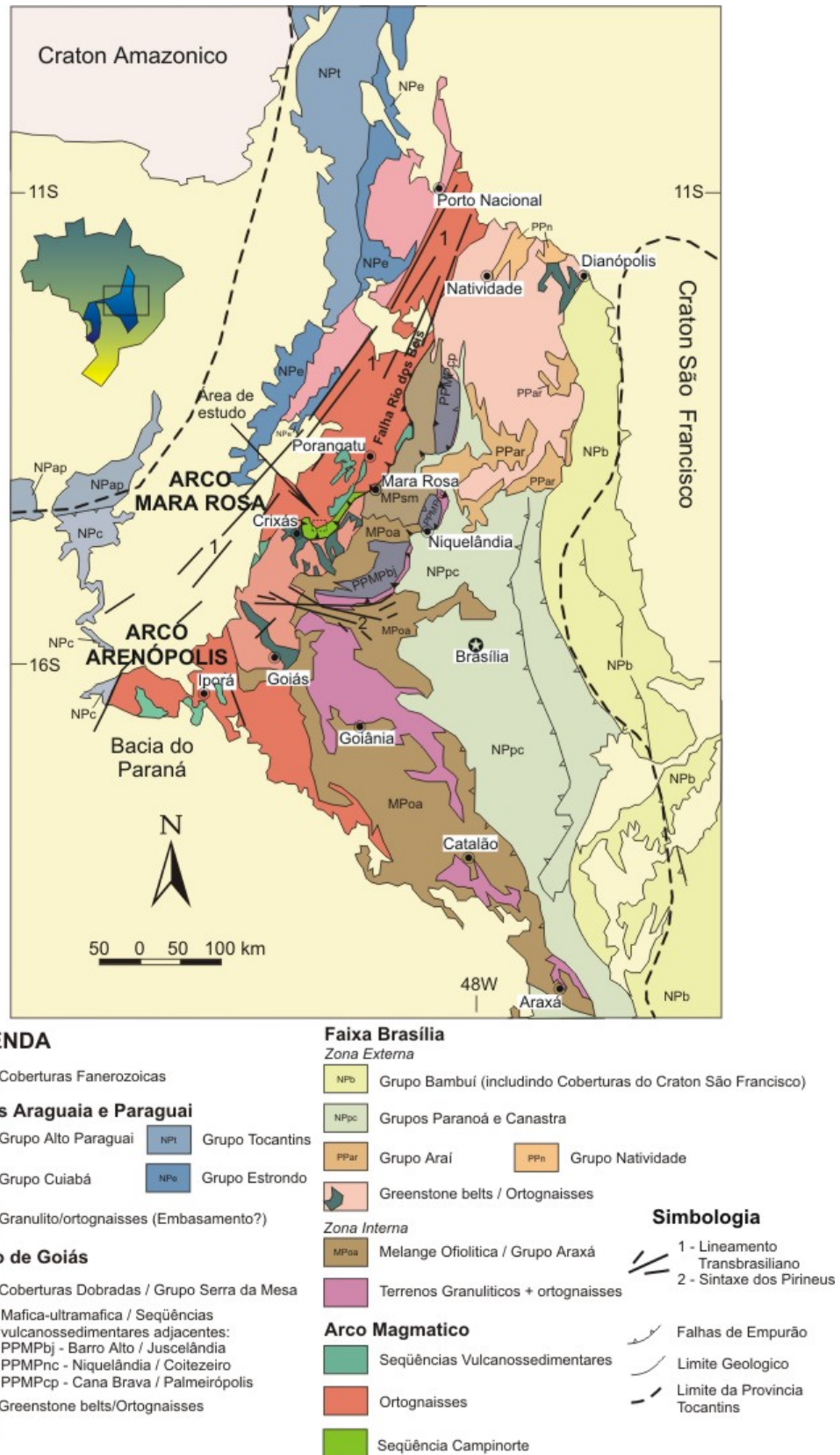


Figura 2.1 – Mapa geológico simplificado da porção centro leste da Província Tocantins (após Fuck *et al.* 1994 e Blum 1999)

2.2.1 – Arco Magmático Mara Rosa

A área deste trabalho está contida na porção sudeste do Arco Magmático Mara Rosa. O Arco Mara Rosa é composto por ortognaisses tonalíticos/dioríticos sobrepostos por largas áreas de seqüências vulcano-sedimentares e granitos tardi a pós-orogênicos (Viana *et al.* 1995; Pimentel *et al.* 2000b). Seu limite com o maciço é determinado pelo sistema de falhas compressivas Rio dos Bois.

Os terrenos gnáissicos com texturas plutônicas preservadas e assinatura geoquímica primitiva de caráter calci-alcalino são similares a granitóides tipo-M de arco de ilha imaturo (Viana *et al.* 1995). Dados geocronológicos U/Pb em zircão indicam cristalização do protólito de 856 ± 13 Ma e análises Rb/Sr e K/Ar em 600 Ma, refletindo o fechamento do sistema após o último metamorfismo (Pimentel *et al.* 2000a).

A Seqüência metavulcano-sedimentar Mara Rosa é composta por anfibolitos e hornblenditos, microclinio gnaiss, biotita plagioclásio gnaiss, cianita-sillimanita-muscovita xisto e/ou quartzito, e metacherts grafitosos e talco xisto em menor quantidade (Palermo *et al.*, 2000).

Ortognaisse amostrado próximo de Mara Rosa foi datado em $856 + 13 / - 7$ Ma, enquanto granito milonitizado da Mina de Posse apresenta idade U-Pb de 862 ± 8 Ma (Pimentel *et al.* 1997). Novos dados apontam idade U-Pb (zircão) de 807 ± 5 Ma para ortognaisse amostrado a WSW de Mara Rosa e de 603 ± 3 e 629 ± 7 Ma para ortognaisses coletados nas vizinhanças de Amaralina (Junges *et al.* 2002). Idades absolutas de rochas supracrustais são escassas. Amostra de rocha metavulcânica félsica coletada a sul de Santa Terezinha de Goiás foi datada em 661 ± 8 Ma (U-Pb) (Dantas *et al.* 2001). Isócronas Rb/Sr em rochas metavulcânicas e metassedimentares das áreas de Chapada e Mara Rosa revelam idades entre 524 e 603 Ma, com baixas razões iniciais $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ (Viana *et al.* 1995). Dados de Sm/Nd para rochas metassedimentares com valores T_{DM} entre 1,2 Ga e 900 Ma e análise com 1,6 Ga, indicam fonte proveniente da erosão de rochas do arco com pequena contribuição de fontes mais antigas (Pimentel *et al.* 2000a).

Junges (1998) interpreta dois eventos metamórficos na seqüência metavulcano-sedimentar Mara Rosa através de dados Sm-Nd. O primeiro de 750 Ma atribuído à colisão do Arco Magmático com o Maciço de Goiás, e o segundo de 610 Ma durante a colisão do continente amazônico contra o arco magmático. Ambos com picos de metamorfismo de fácies anfibolito superior, zona da cianita e sillimanita.

Seqüência metavulcano-sedimentar Campinorte consiste predominantemente de rochas metassedimentares: metapsamitos, metapelitos, gonditos e *metachert*. O metamorfismo destas unidades é de fácies xisto verde e os dados isotópicos sugerem uma idade

paleoproterozóica para os protólitos com idades modelos T_{DM} entre 2,30 e 2,52 Ga. São comuns metavulcânicas ácidas em espessos pacotes ou em lentes intercalados com metassedimentares e piroclásticas ácidas, riolitos e riodacitos porfiríticos são os litotipos vulcânicos mais representativos. Intercalações de metaultramáficas, anfíbolito fino e epidoto anfíbolito são subordinados. A seqüência contém ainda intrusões de tonalito, granodiorito e granito (Kuyumjian *et al.* 2004).

Três principais feições tectônicas foram identificadas no Arco Magmático de Mara Rosa: Lineamento Transbrasiliano, Zonas de Cisalhamento Rio dos Bois e zona de Cisalhamento Mandinópolis. O Lineamento Transbrasiliano é uma zona de cisalhamento extensa transcorrente dextral com tendência NNE. As falhas Rio dos Bois e Mandinópolis limitam o Arco Mara Rosa com o maciço de Goiás. A Falha Rio dos Bois é uma zona de cisalhamento de grande escala e baixo ângulo desenvolvida durante a Orogênese Brasileira e separa a seqüência neoproterozóica dos terrenos arqueanos granito-*greenstone* de Crixás-Hidrolina no sul, e das seqüências metassedimentares mesoproterozóicas Serra da Mesa a leste (Oliveira *et al.* 2004). A Zona de Cisalhamento Mandinópolis é descrita por Jost *et al.* (2001) e Blum *et al.* (2001) como falha de empurrão de caráter regional que limita terrenos proterozóicos dos terrenos arqueanos na região de Crixás-Cedrolina.

As principais mineralizações associadas ao arco magmático (ouro, cobre, esmeralda e cianita) estão contidas nas seqüências metavulcano-sedimentares ou encontram-se vinculadas aos corpos intrusivos de natureza básicas/ultrabásicas (Lacerda *et al.* 1999).

São comuns domínios ricos em cianita na forma de cianita quartzito, cianita muscovita quartzito xisto e cianititos maciços associados às seqüências metavulcano-sedimentares. As principais ocorrências são nos municípios de Santa Terezinha de Goiás, Pilar de Goiás, Alto Horizonte, Serra do Tombador (SE de Mozarlândia), Campos Verdes, Porangatu, Estrela do Norte, Mara Rosa e Mutunópolis. Entre as cidades de Santa Terezinha de Goiás e Nova Iguaçu existe potencial para exploração deste mineral onde se localiza o depósito da Serra das Araras (figura 2.2).

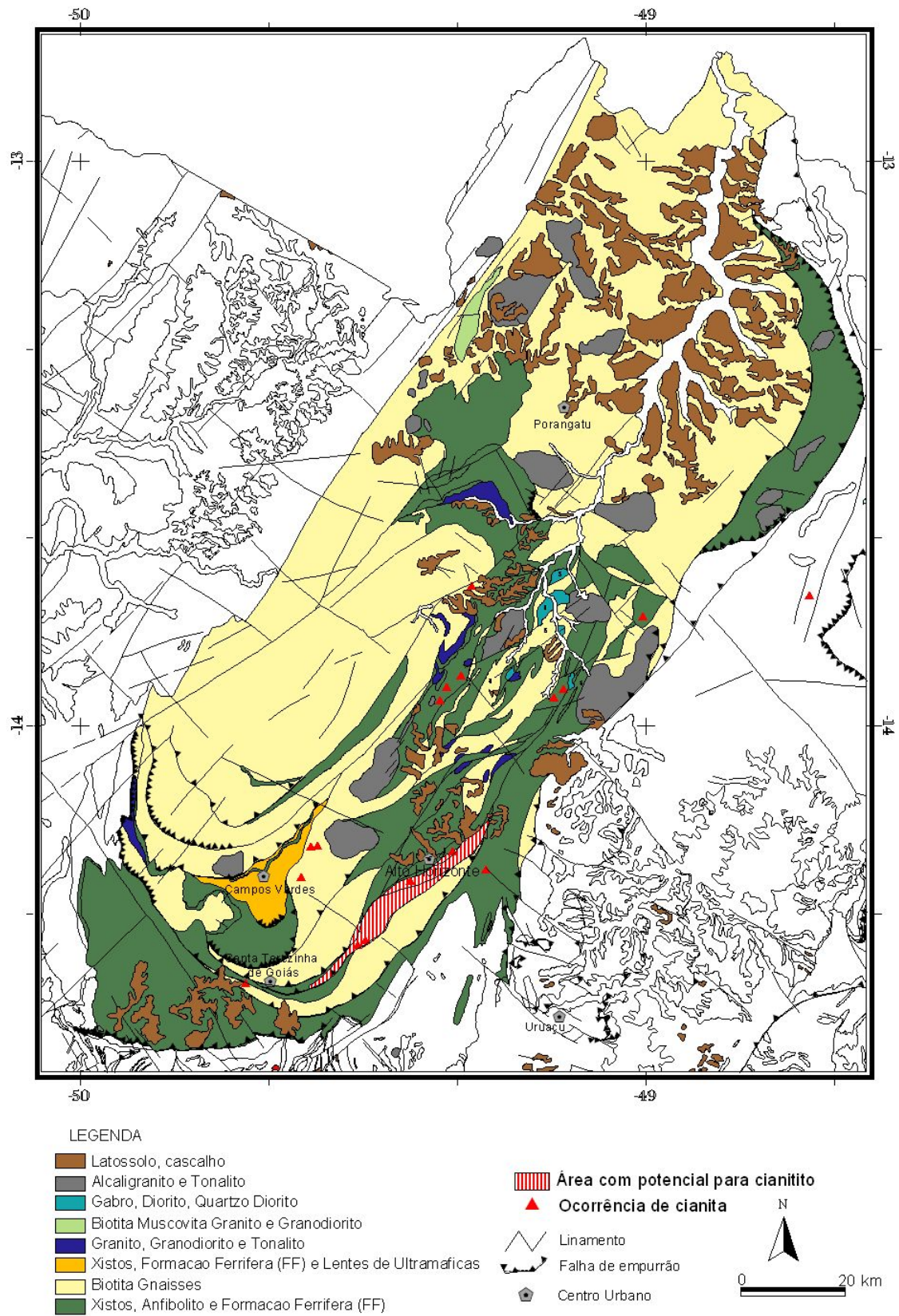


Figura 2.2 – Mapa geológico esquemático do Arco Magmático Mara Rosa com a localização das áreas de ocorrência e potencial para cianita (SIG-Goiás CPRM, 2000).

Capítulo 3 – Geologia Local

O Arco Magmático Mara Rosa é caracterizado por relevo desgastado que tende ao aplainamento com desníveis pouco acidentados devido ao intenso processo erosivo e senilidade geomorfológica. São comuns platôs lateríticos que formam coberturas expressivas principalmente sobre as seqüências metavulcano-sedimentares. Em meio a este terreno aplainado dominante, a Serra das Araras tem contraste e destaque no relevo (figura 3.1).



Figura 3.1 – Vista panorâmica, de norte para o sul, da Serra das Araras que mostra o contraste do relevo aplainado com a elevação topográfica.

A partir do mapa geológico de escala 1: 25 000, gerado no trabalho final de graduação de 2003 do Instituto de Geociências da Universidade de Brasília (figura 3.2), foram feitas modificações com base em mapeamento de semi-detelhe na geologia da região nordeste da Serra das Araras onde se localiza o depósito de cianita. De acordo com dados levantados em campo e com auxílio de imagem geofísica gamaespectrométrica de composição ternária, com as cores ciano, magenta e amarelo (CMY), relacionadas, respectivamente, aos elementos K, U e Th (figura 3.3), a ocorrência de cianita e as rochas ao seu redor foram agrupadas e delimitadas de acordo com sua composição em cinco domínios geológicos: i) Seqüência metavulcano-sedimentar Mara Rosa dominada por rochas metassedimentares pelíticas a psamíticas; ii) Seqüência metavulcano-sedimentar Santa Terezinha dominada por vulcânicas básicas a intermediárias; iii) Suíte metaplutônica ácida; iv) Suíte ortognaisse, v) Unidade Serra das Araras predominantemente formada por cianitito e cianita quartzito (figura 3.4).

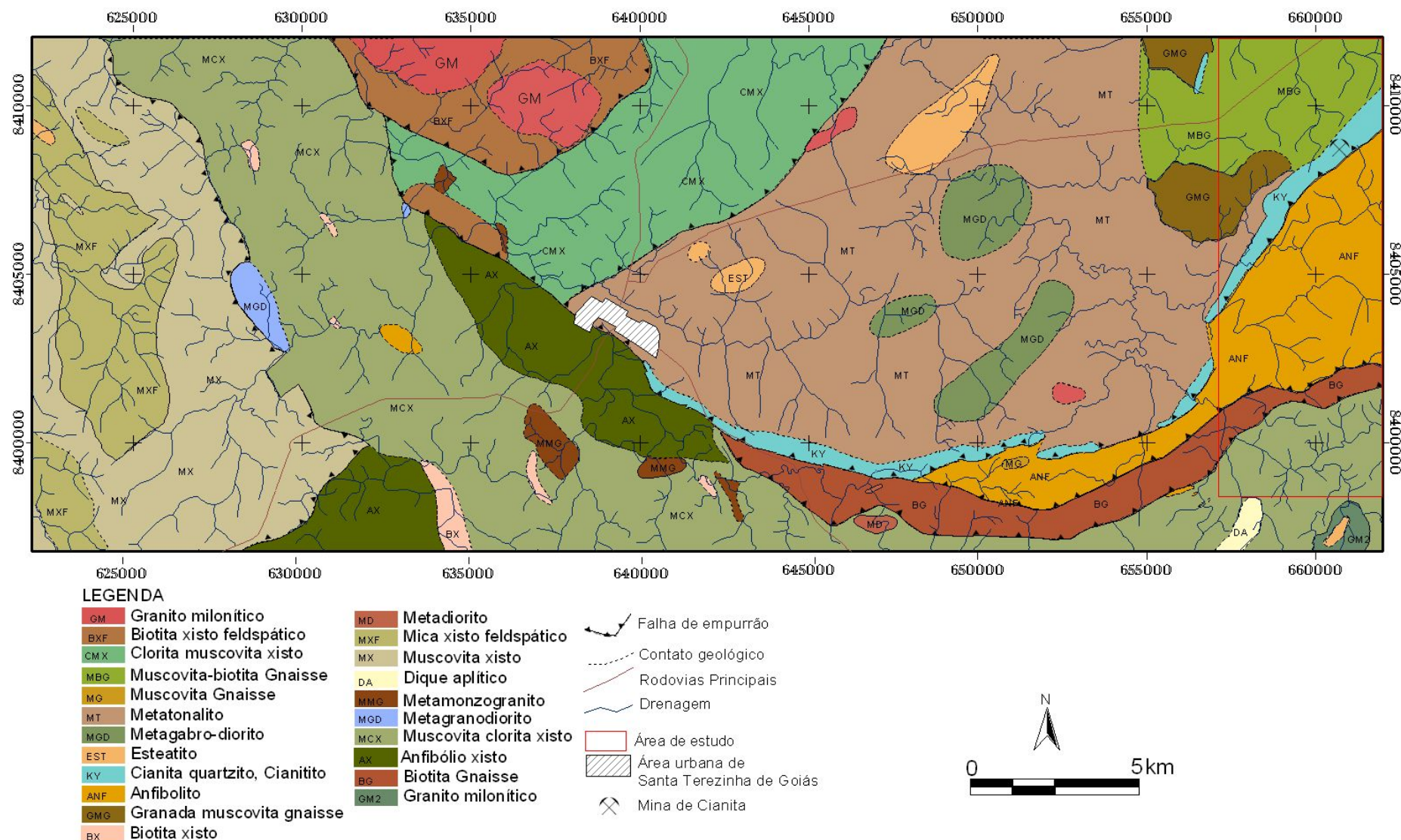


Figura 3.2 – Mapa geológico da região de Santa Terezinha de Goiás (Projeto Santa Terezinha de Goiás, 2003).

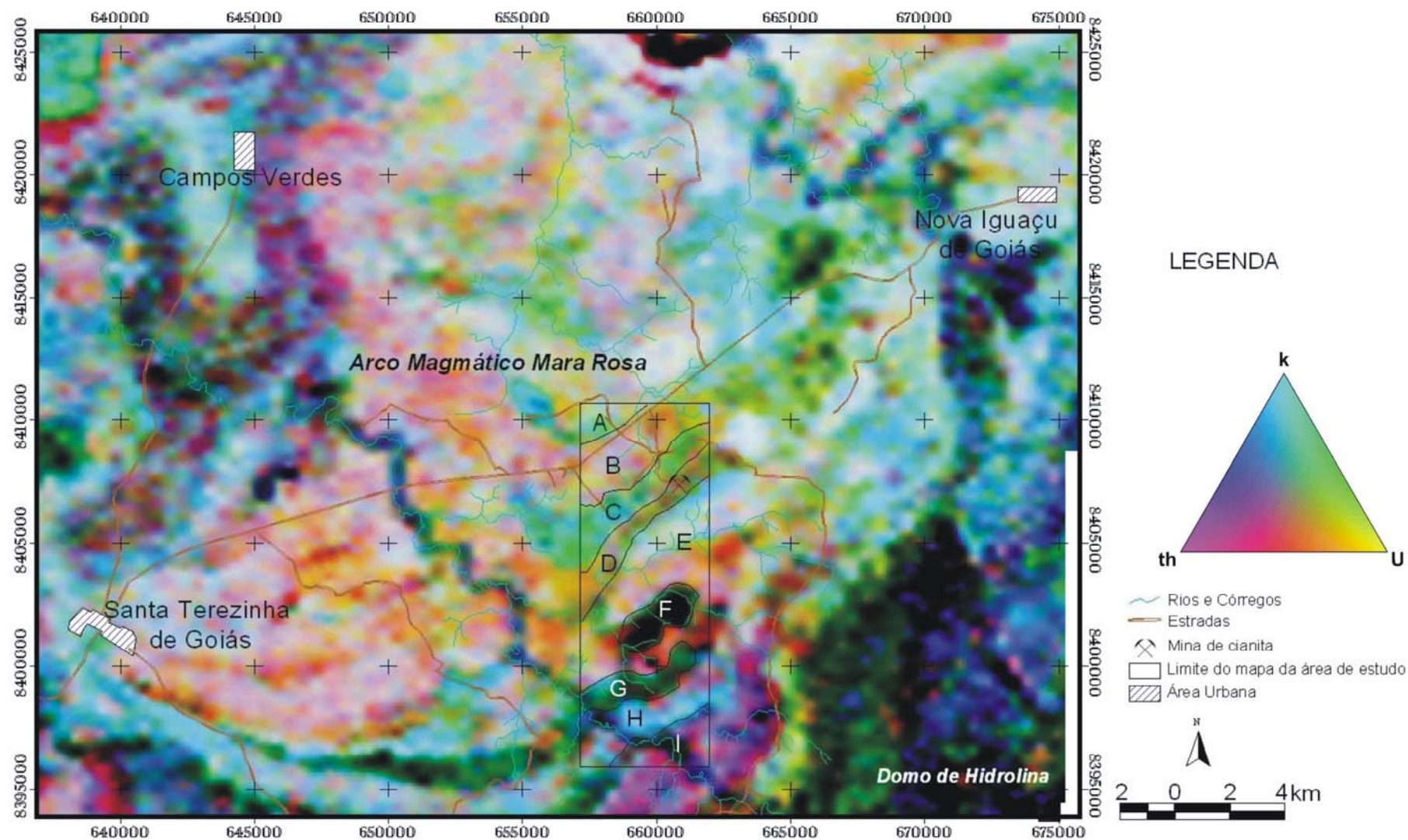


Figura 3.3 – Mapa gamaespectrométrico com composição ternária CMY, com os domínios geofísicos interpretados de acordo com dados levantados em campo (Projeto Levantamento Aerogeofísico do Estado de Goiás 1º etapa Arco Magmático de Goiás, 2004).

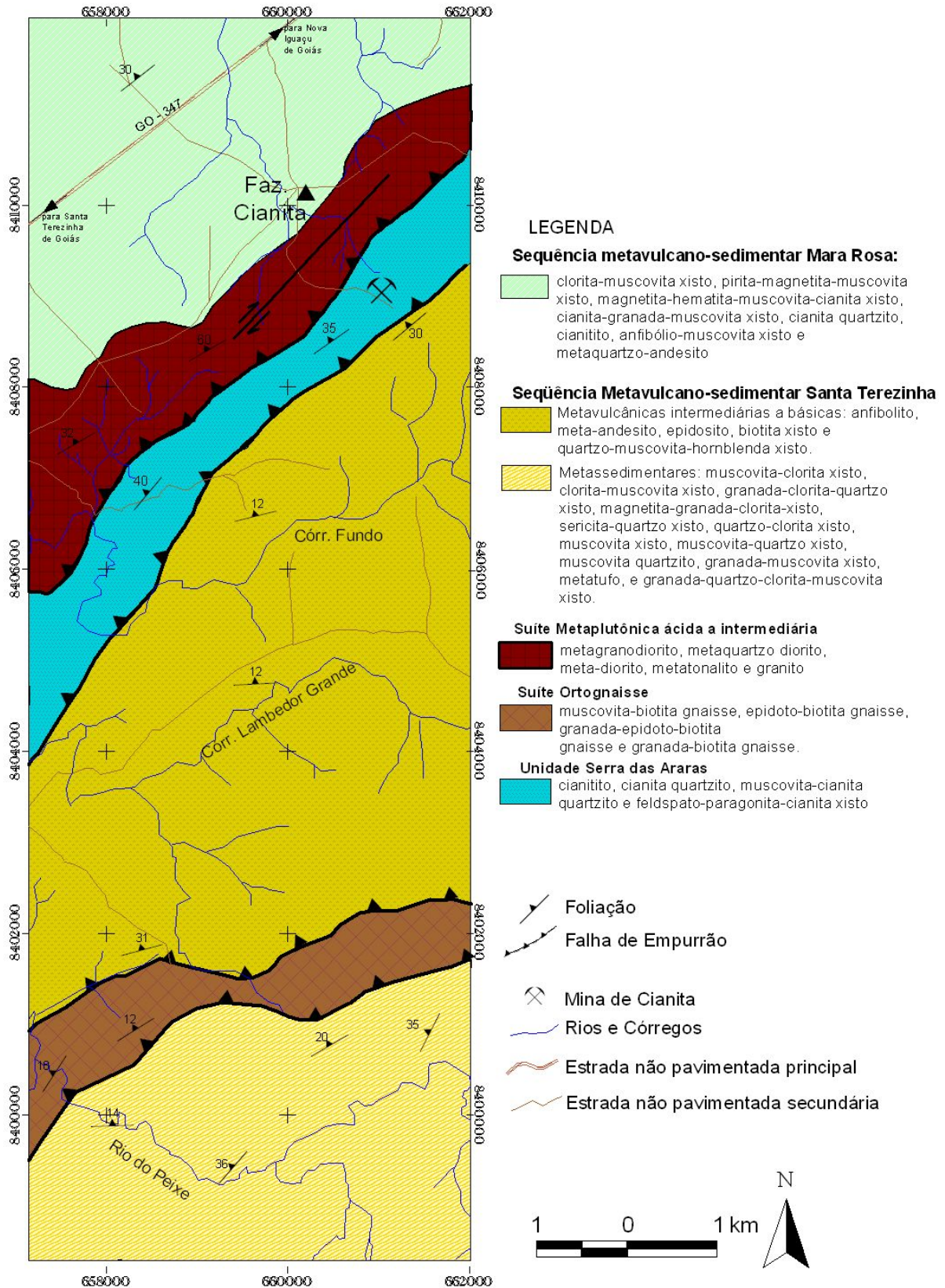


Figura 3.4 – Mapa geológico da região nordeste da Serra das Araras onde se localiza a mina de cianita (modificado de Rancan & Vilhena inédito).

3.1 – Seqüência Metavulcano-sedimentar Mara Rosa

A seqüência metavulcano-sedimentar Mara Rosa está localizada no extremo norte do mapa geológico da figura 3.4. Esta unidade é dominada por metapelitos e metapsamitos, com metavulcânicas intermediárias a básicas associadas em menor quantidade. As rochas da seqüência metavulcano-sedimentar possuem composição química variada e não apresentam assinatura geofísica típica. Por isso, foram limitadas de acordo com o contraste entre rochas vizinhas e relacionadas aos domínios A e B delimitados na imagem geofísica (figura 3.3).

Dados geocronológicos U-Pb indicam idades de cristalização em protolitos ígneos intrudidos na seqüência Mara Rosa entre 862 e 856 Ma. Idades próximas a 630 Ma (U-Pb em titanita) são associadas à deformação a que estas rochas foram submetidas (Pimentel *et al.* 1997).

As rochas da seqüência metavulcano-sedimentar são variações de clorita-muscovita xisto, pirita-magnetita-muscovita xisto, magnetita-hematita-muscovita-cianita xisto, cianita-granada-muscovita xisto, cianita quartzito, cianitito, anfibólio-muscovita xisto e metaquartzito-andesito. Estas rochas aparecem na maior parte da área como blocos soltos e rolados, com raras exposições de afloramentos preservados.

Clorita-muscovita xisto é predominantemente cinza, tem granulação fina, com foliação difusa definida por muscovita e clorita, que por vezes delimitam sigmóides juntamente com opacos (figura 3.5 e 3.6). Compõe-se de quartzo (50%), muscovita (40%), clorita, com magnetita, rutilo e pirita em menor quantidade. Domínios quartzosos ocorrem como segregações e preenchem fraturas. Grãos de quartzo estirados segundo a foliação estão em meio aos filossilicatos. Pirita e magnetita idiobláticas e sin a pós-cinemáticas de dimensões até 0,5 mm, estão preservadas ou em *box works*. Esta rocha tem provável protolito pelítico metamorfizado sob fácies xisto verde.

Pirita-magnetita-muscovita xisto é cinza escuro, tem granulação fina a média (figura 3.7), sendo composta de muscovita (40%), quartzo (30%), pirita e magnetita. Pseudomorfo de prováveis porfiroblastos de granada, com sombra de pressão preenchida por quartzo recristalizado, mostram-se totalmente cloritizados (figura 3.8). Lamelas de clorita e muscovita marcam a foliação e delimitam sigmóides. Cristais de pirita e magnetita são sin a pós-cinemáticos. Esta rocha foi metamorfizada inicialmente em fácies xisto verde e foi submetida a processos de retrometamorfismo resultando na completa cloritização dos porfiroblastos de granada.

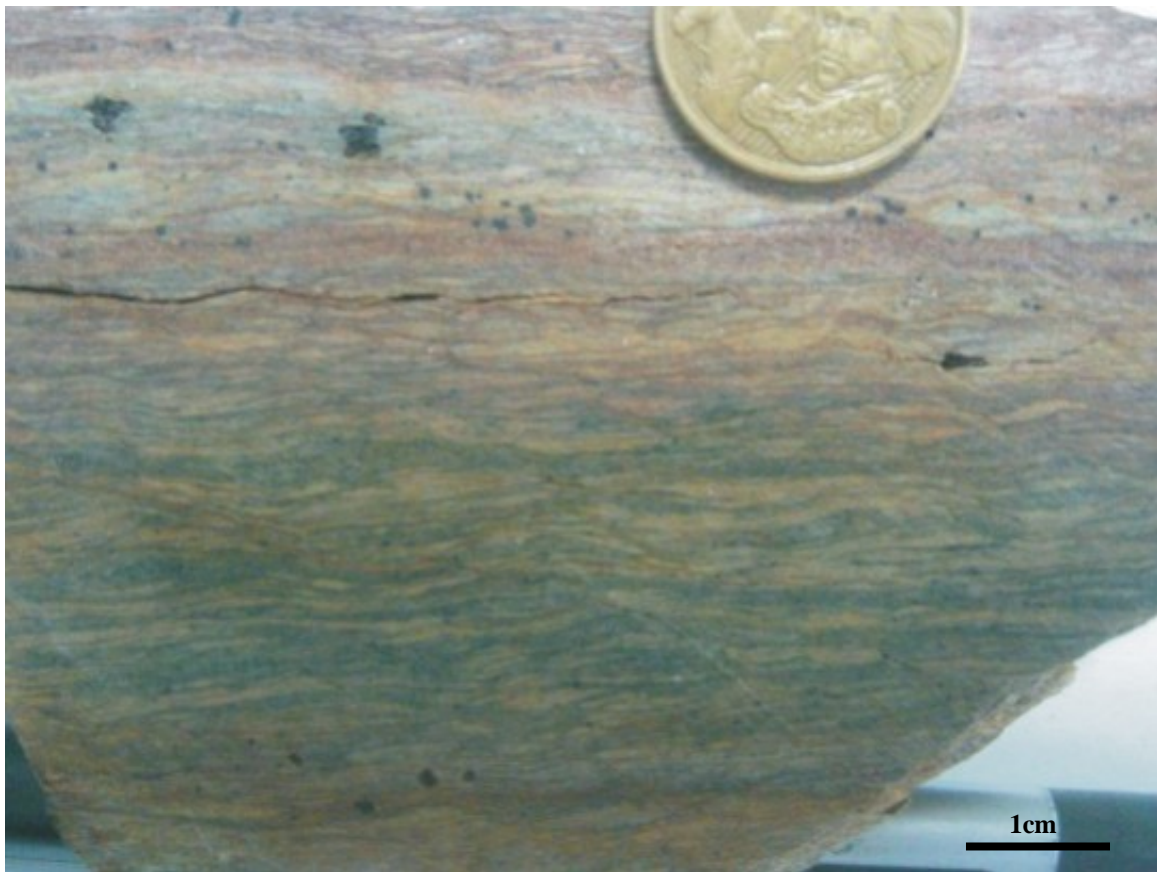


Figura 3.5 – Aspecto macroscópico do clorita-muscovita xisto, com destaque para foliação difusa fina definida por clorita e muscovita e *box works* de pirita e magnetita.

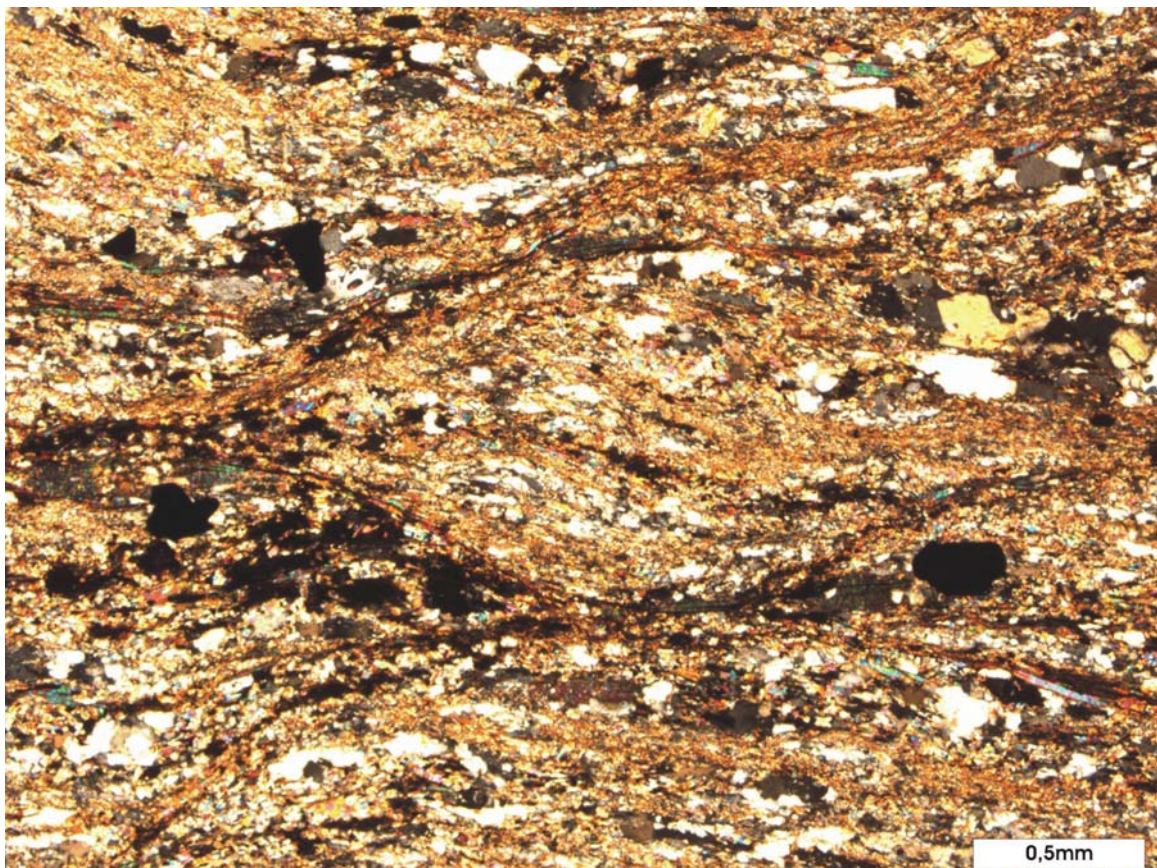


Figura 3.6 – Fotografia de lâmina delgada de clorita-muscovita xisto (Nx). Destaque para sigmóide delimitado por faixas de muscovita com maior concentração de opacos.



Figura 3.7 – Aspecto macroscópico do pirita-magnetita-muscovita xisto, com destaque para pseudomorfos de possíveis porfiroblastos centimétricos de granada cloritizados.

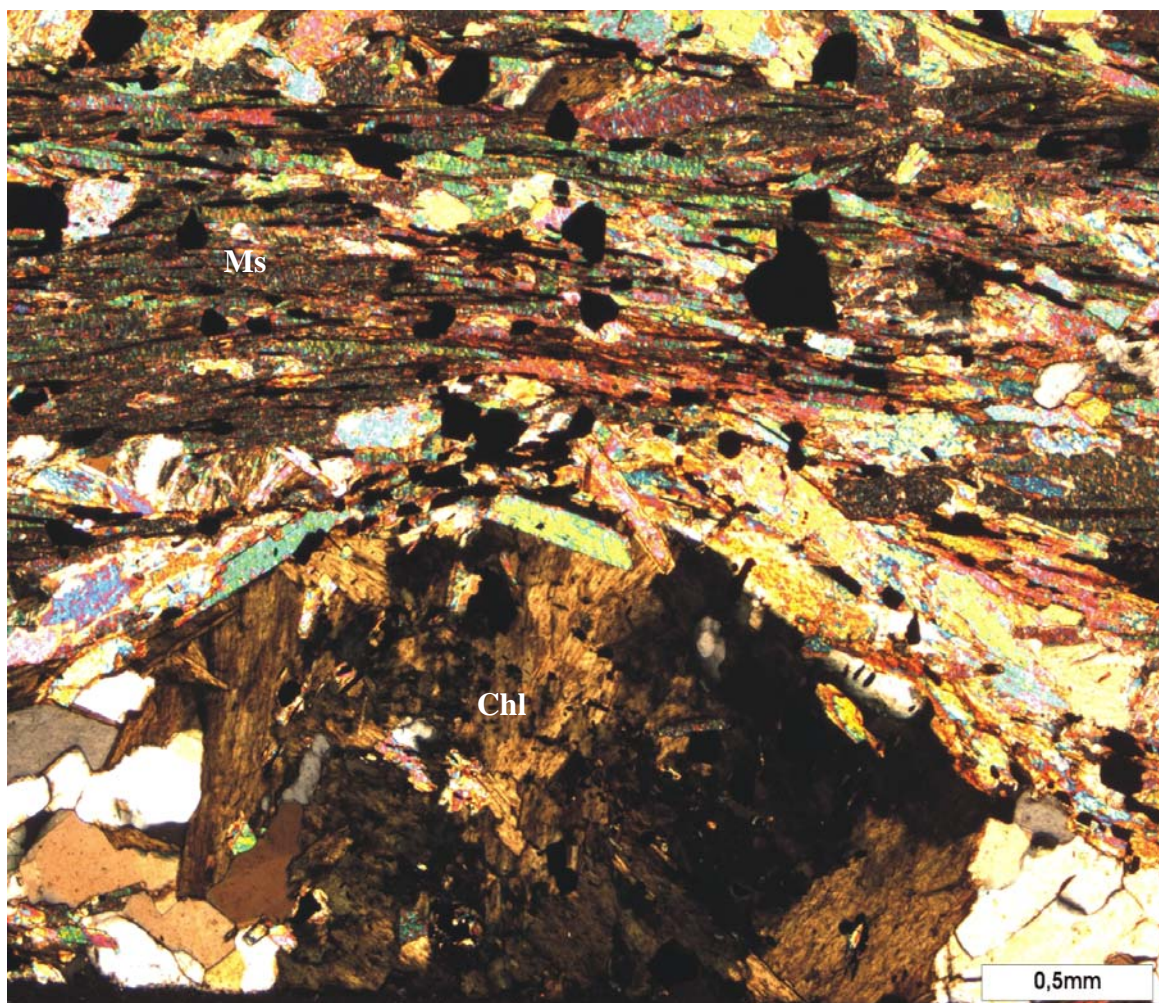


Figura 3.8 – Fotografia de lâmina delgada de pirita-magnetita-muscovita xisto (Nx). Destaque para pseudomorfo de possível porfiroblasto de granada cloritizado (Chl) com sombra de pressão preenchida por quartzo recristalizado e contornado por muscovita (Ms).

Magnetita-hematita-muscovita-cianita xisto é predominantemente cinza com granulação fina a média. Domínios de muscovita delimitam sigmóides e marcam a foliação que por vezes está dobrada (figura 3.9). Esta rocha é composta por cianita (40%), muscovita (30%), hematita, magnetita e quartzo. Grãos de cianita com limites serrilhados são substituídos por sericita (figura 3.10). Hematita e magnetita estirados e orientados segundo a foliação principal formam *box works* irregulares. Magnetita foi substituída por hematita durante o metamorfismo. A rocha foi inicialmente metamorfizada em fácies anfíbolito e submetida a retrometamorfismo em fácies xisto-verde indicado pela sericitização de aluminossilicato.

Afloramentos e blocos de *cianita-granada-muscovita xisto* formam pequenos elevados topográficos. A rocha é azulada, tem granulação média a fina com grãos milimétricos de granada. A foliação é marcada por muscovita e cianita (figura 3.11). Esta rocha é constituída por muscovita (50%), granada (25%), quartzo (10%), cianita (10%), estaurólita e opacos. Domínios ricos em cianita, muscovita são intercalados a porções com concentrações de granada sin a pós-cinemática. Grãos de granada sub-arredondados são fraturados e possuem sombras de pressão assimétricas formadas por quartzo, cianita e estaurólita. Esta rocha foi inicialmente metamorfizada em fácies anfíbolito indicada pela associação granada-cianita e posteriormente submetida a metamorfismo de mais baixa temperatura resultando na substituição da cianita por muscovita (figura 3.12).

Também são encontrados no domínio da seqüência metavulcano-sedimentar blocos de cianita quartzito e cianitito em ravinas e córregos próximos à estrada que liga Santa Terezinha de Goiás a Nova Iguaçu de Goiás (GO-347).

Cianita quartzito é coeso, foliado, predominantemente branco com porções azuladas. A granulação varia de média a grossa e a textura dominante é nematoblástica. Esta rocha é composta por cianita (50%), quartzo (45%), rutilo e muscovita. Cristais de cianita milimétricos são orientados paralelamente à foliação (figura 3.13). Grãos deformados de quartzo com bordas irregulares formam segregações intercaladas com cristais de cianita. Rutilo é xenoblástico, com dimensões de até 0,4 mm, ocorre como inclusões na cianita e entre os grãos.

Cianitito azul, com granulação média a grossa, é foliado e compõe-se de cianita (90%), quartzo, muscovita e rutilo. Esta rocha tem textura nematoblástica marcada por prismas de cianita orientados paralelamente à foliação principal. Cristais hipidioblásticos de cianita atingem até 1,5 mm, por vezes são dobrados e inclusos por grãos de rutilo e muscovita (figura 3.14).

Anfibólio-muscovita xisto é predominantemente cinza, tem granulação fina e macroestrutura foliada (figura 3.15). Esta rocha é composta por muscovita (40%), quartzo (15%), opacos e plagioclásio, além de possíveis cristais de anfibólio totalmente cloritizados. A textura dominante é lepidoblástica, com lamelas de muscovita indicando dobras suaves. Porções quartzosas são deformadas e recristalizadas. Grãos de plagioclásio são totalmente substituídos por grãos subarredondados de epidoto, que formam agregados (figura 3.16). *Box works* de rutilo e outros opacos estão dispersos entre os grãos de epidoto. O provável protolito é uma rocha vulcânica ácida.

Metaquartzo-andesito tem granulação muito fina a fina, tonalidade cinza escuro e macroestrutura foliada. A textura dominante é lepidoblástica, sendo que prismas de anfibólio formam localmente domínios com microestrutura nematoblástica. Esta rocha é composta por hornblenda (40%), quartzo (15%), muscovita (20%), plagioclásio (15%) e opacos. Porções quartzosas formam segregações e preenchem fraturas. Porfiroblastos hipidioblásticos a xenoblásticos (~1,2mm) de hornblenda são estirados e formam sigmóides (figura 3.17). Porfiroblastos de plagioclásio de até 4 mm são substituídos total ou parcialmente por zoesita.

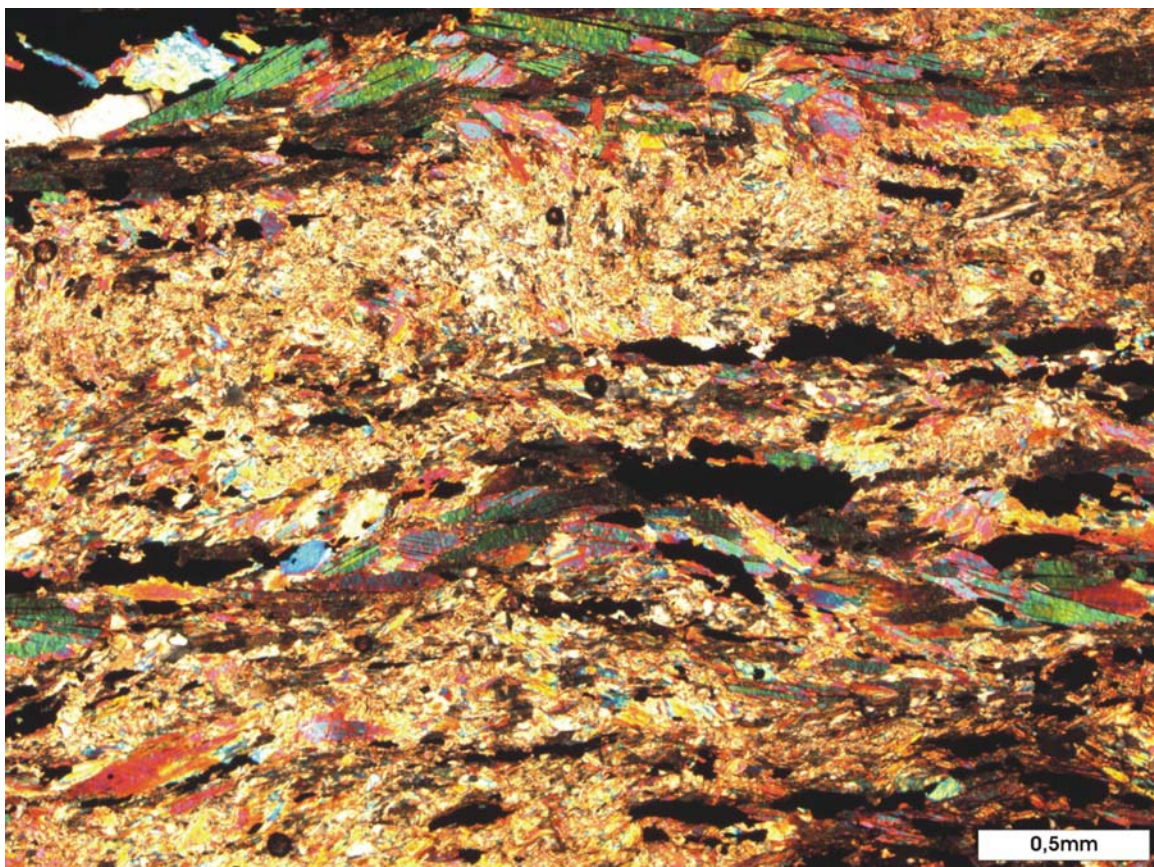


Figura 3.9 – Fotografia de lâmina delgada do magnetita-hematita-muscovita-cianita xisto (Nx). Destaque para porções sericíticas resultante da alteração de cianita e foliação marcada por muscovita e opacos estirados.

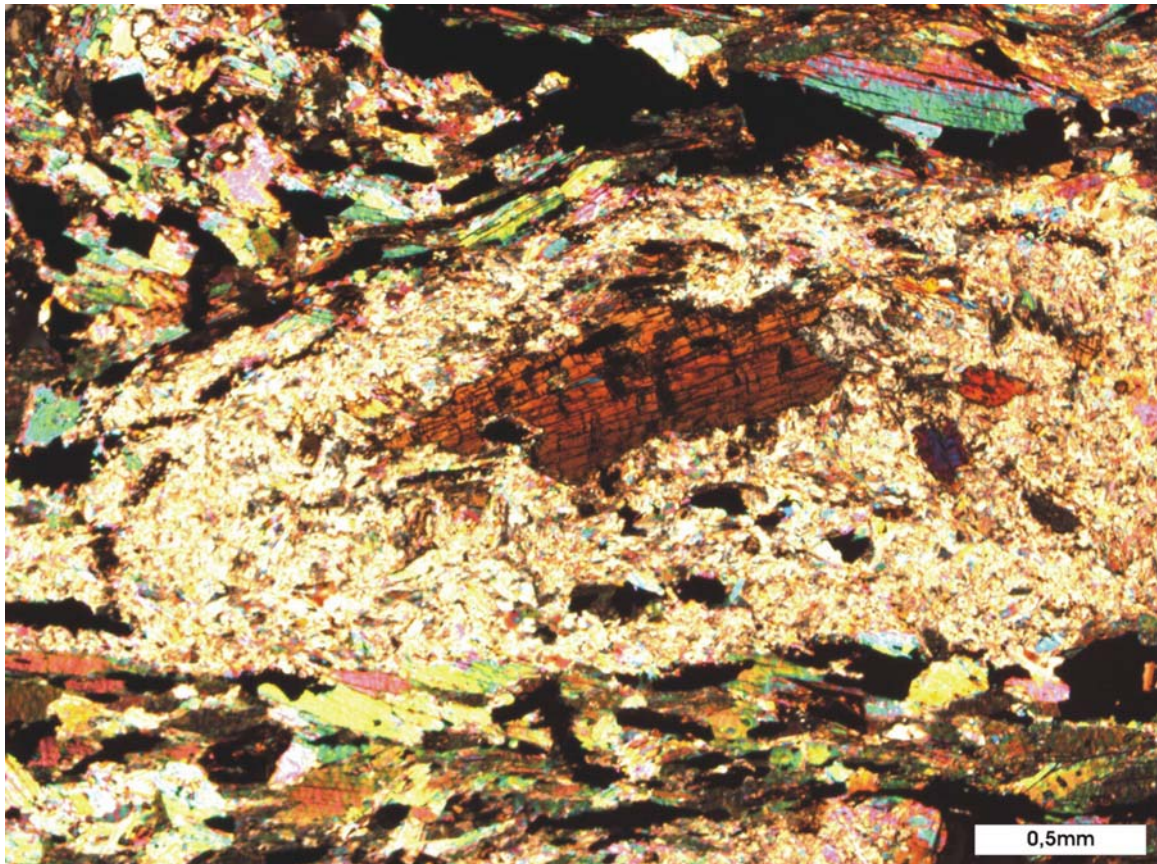


Figura 3.10 – Fotografia de lâmina delgada do magnetita-hematita-muscovita-cianita xisto (Nx). Destaque para grãos de cianita substituído por sericita.

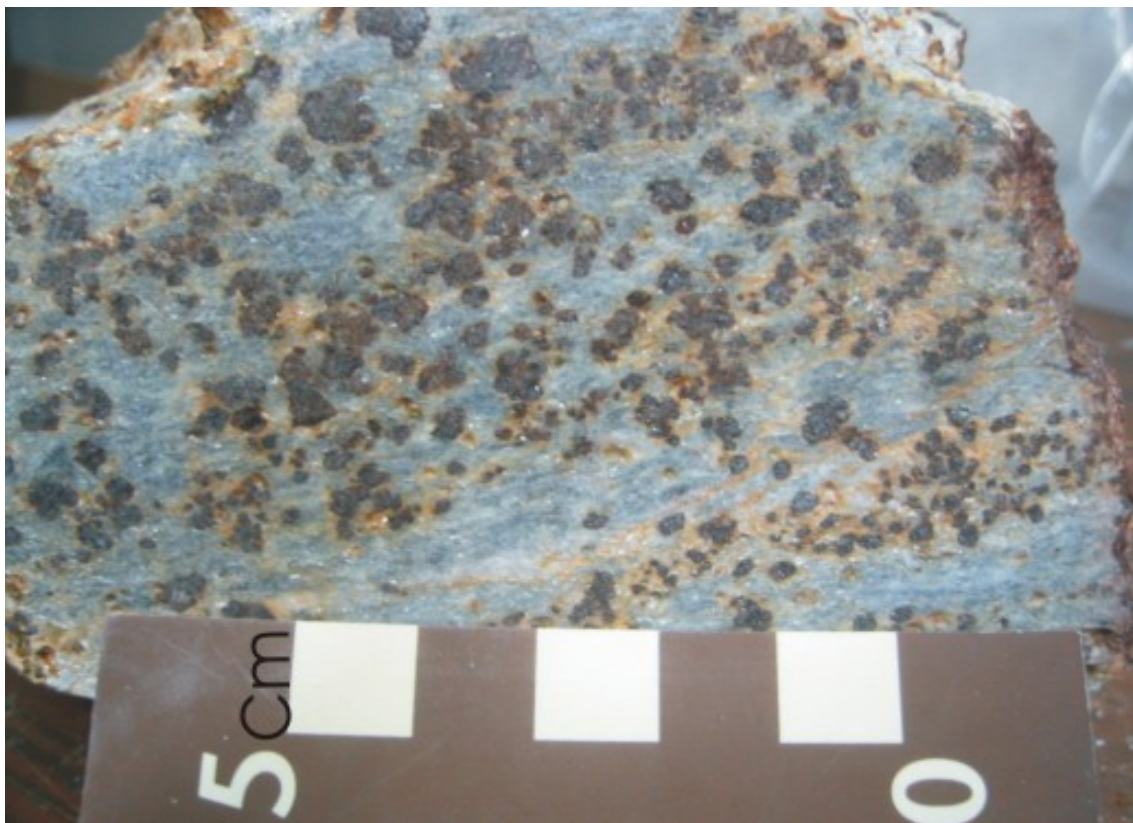


Figura 3.11 – Aspecto macroscópico de cianita-granada-muscovita xisto, com concentrações de porfiroblastos de granada em meio a porções ricas em cianita e muscovita.

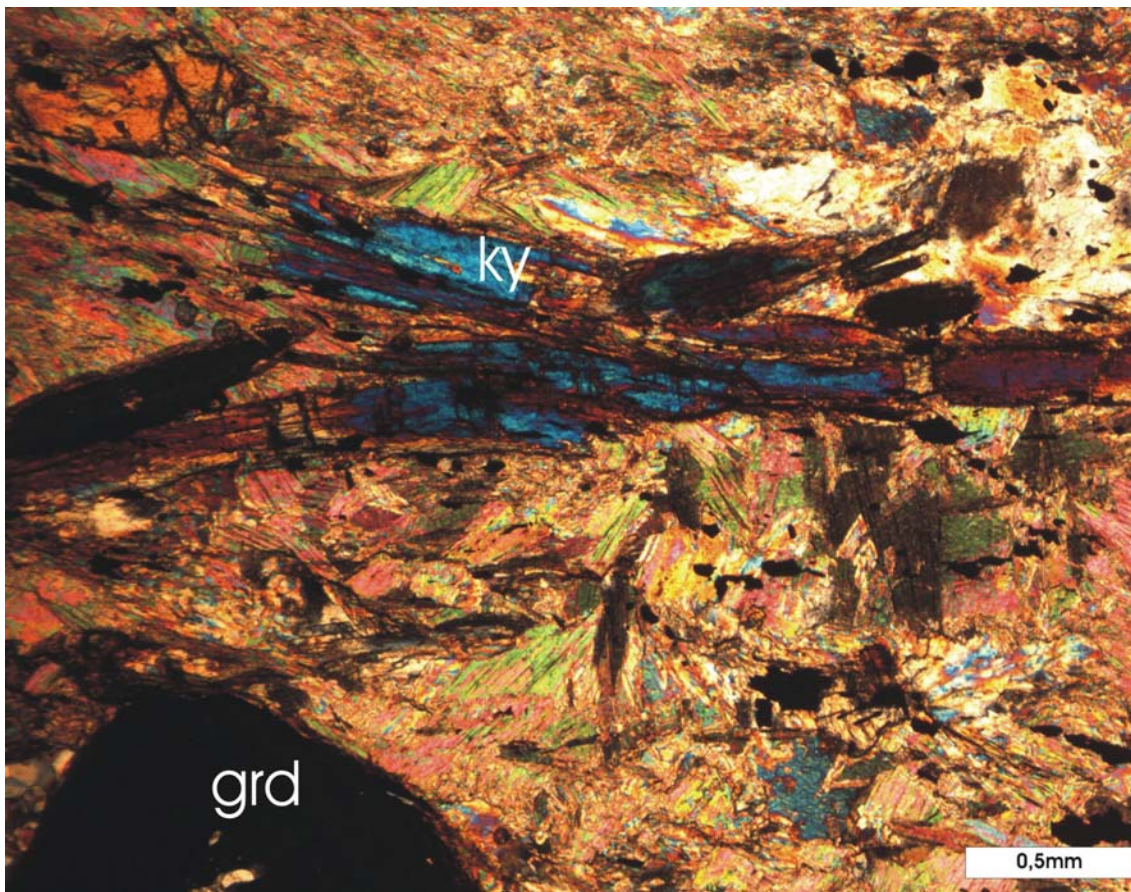


Figura 3.12 – Fotografia de lâmina delgada do cianita-granada-muscovita xisto (Nx). Destaque para cianita (ky) com terminações denteadas, resultado de substituição por muscovita, e granada (grd) em meio a matriz micácea diablástica.

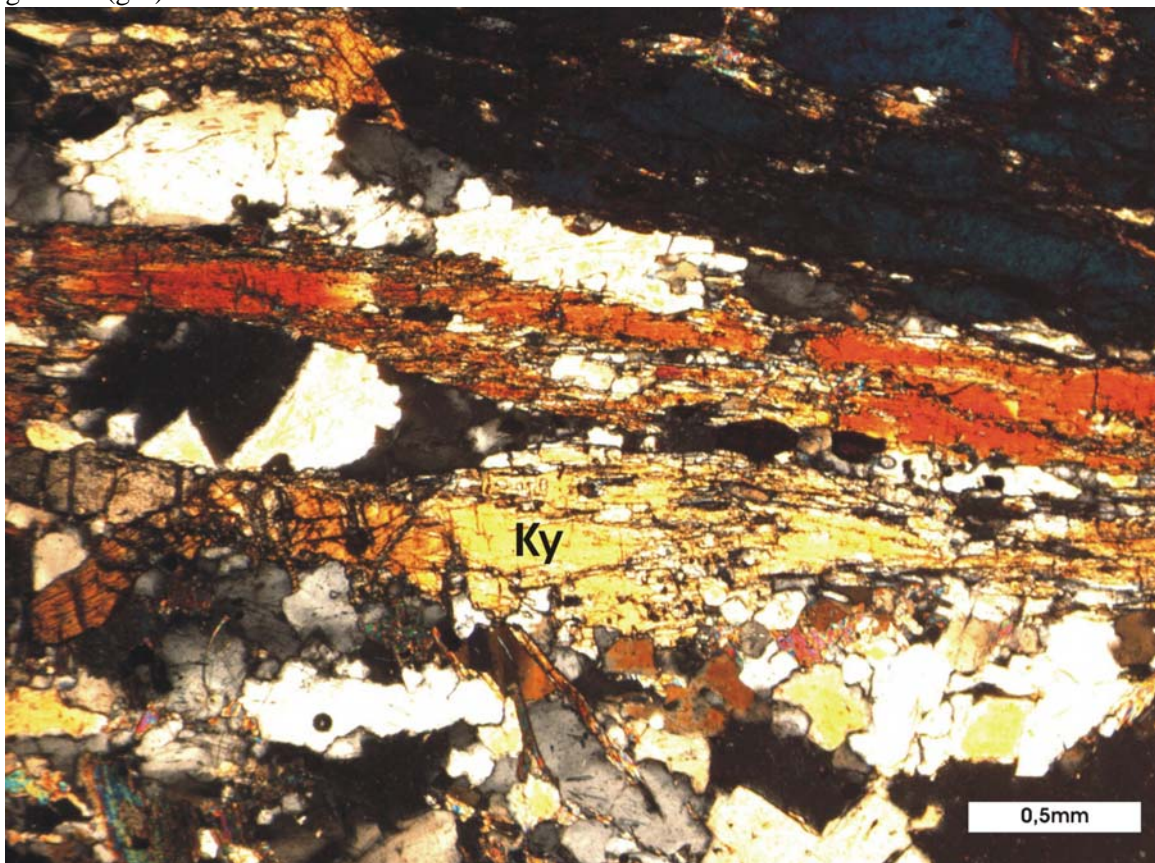


Figura 3.13 – Fotografia de lâmina delgada de cianita quartzito (Nx). Destaque para cristais estirados de cianita (ky) e segregados granoblasticos de quartzo.

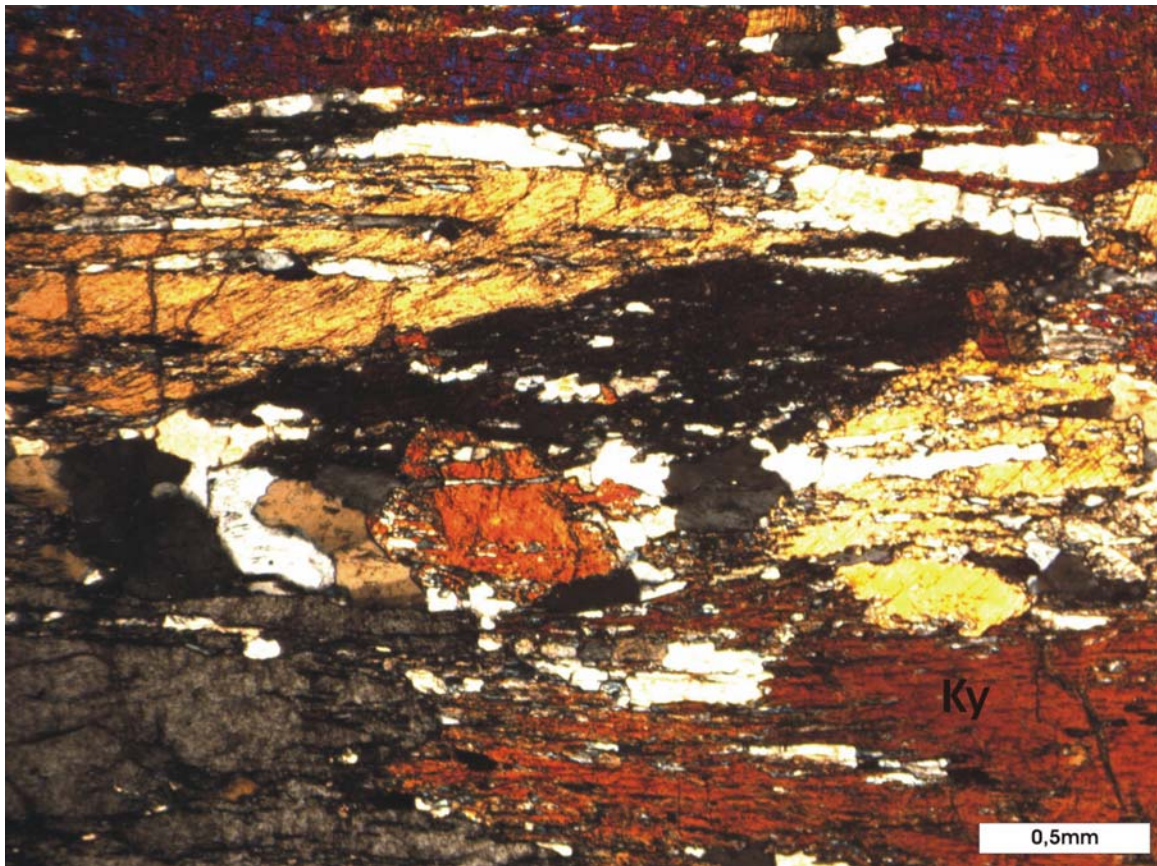


Figura 3.14 – Fotografia de lâmina delgada de cianitito (Nx). Destaque para textura nematoblástica com cristais hipidiobláticos de cianita (ky) dobrados.

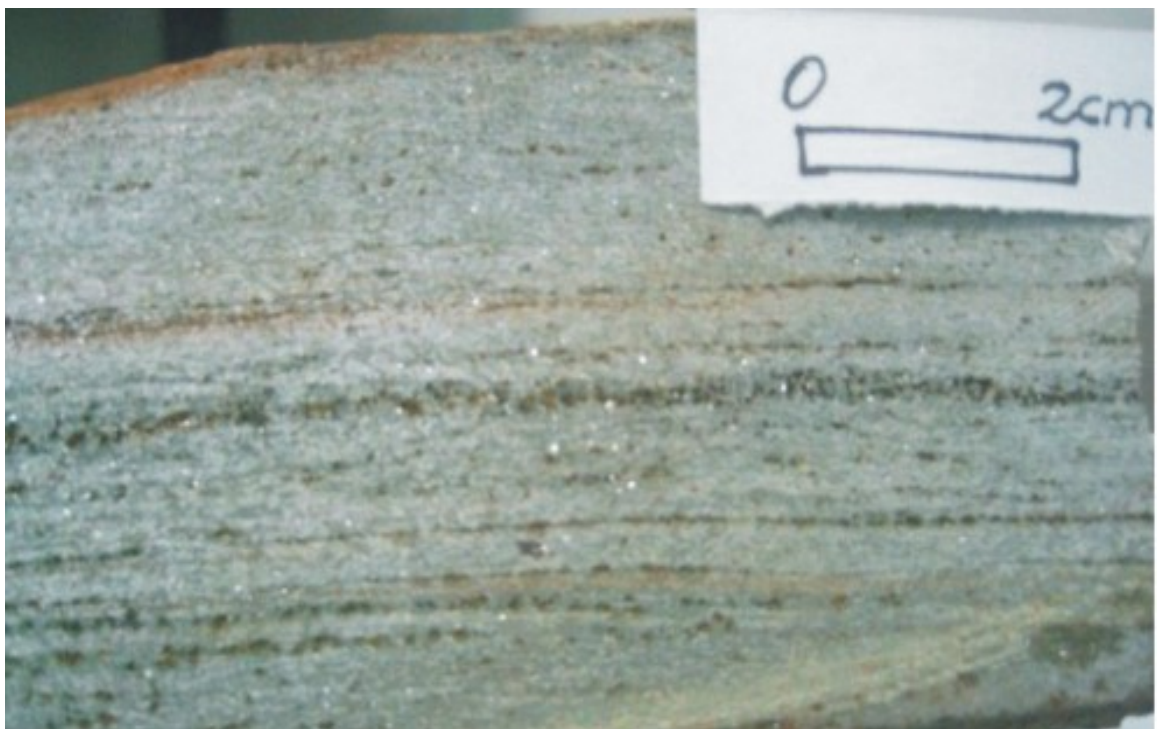


Figura 3.15 – Aspecto macroscópico do anfibólio-muscovita xisto. Destaque para bandamento discreto e *box works*.

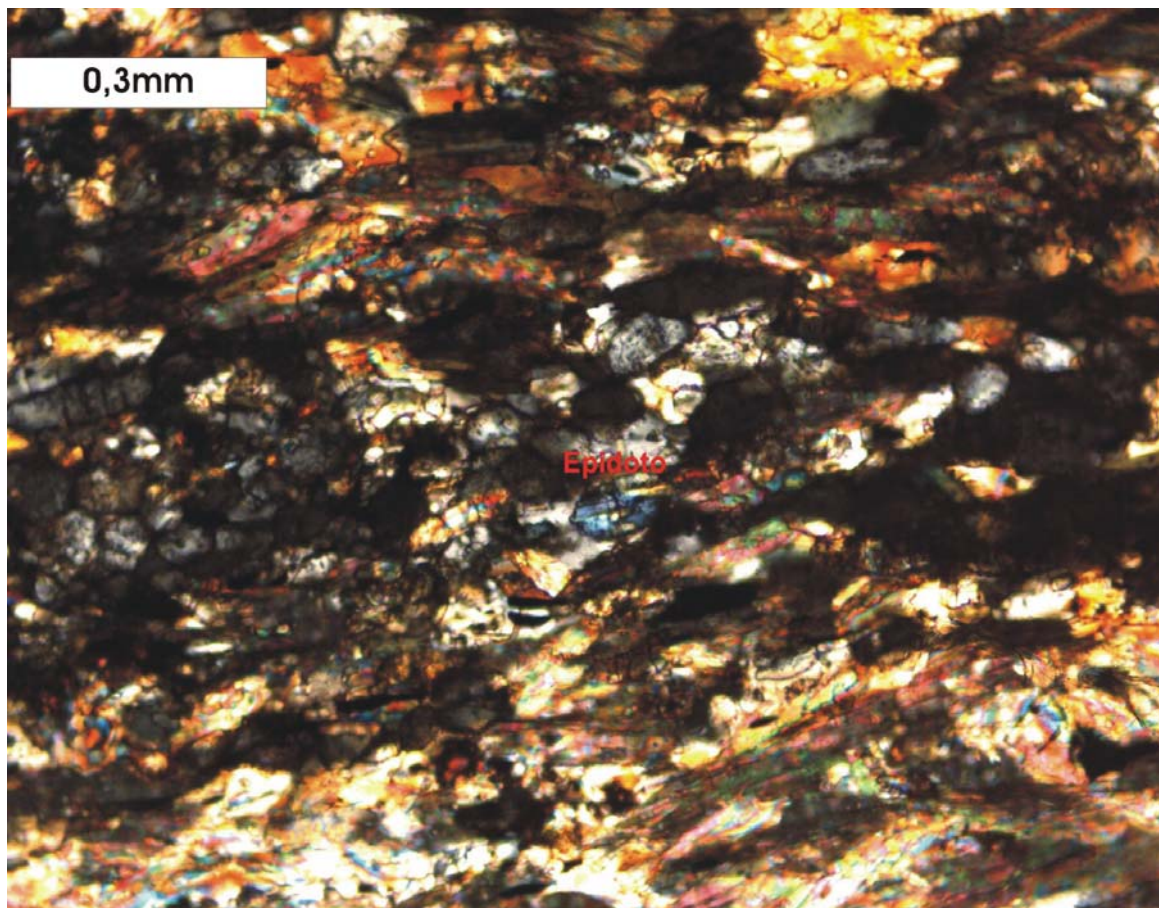


Figura 3.16 – Fotografia de lâmina delgada do anfibólio-muscovita xisto (Nx). Destaque para epidoto subarredondados em forma de agregados em meio à matriz constituída por muscovita.

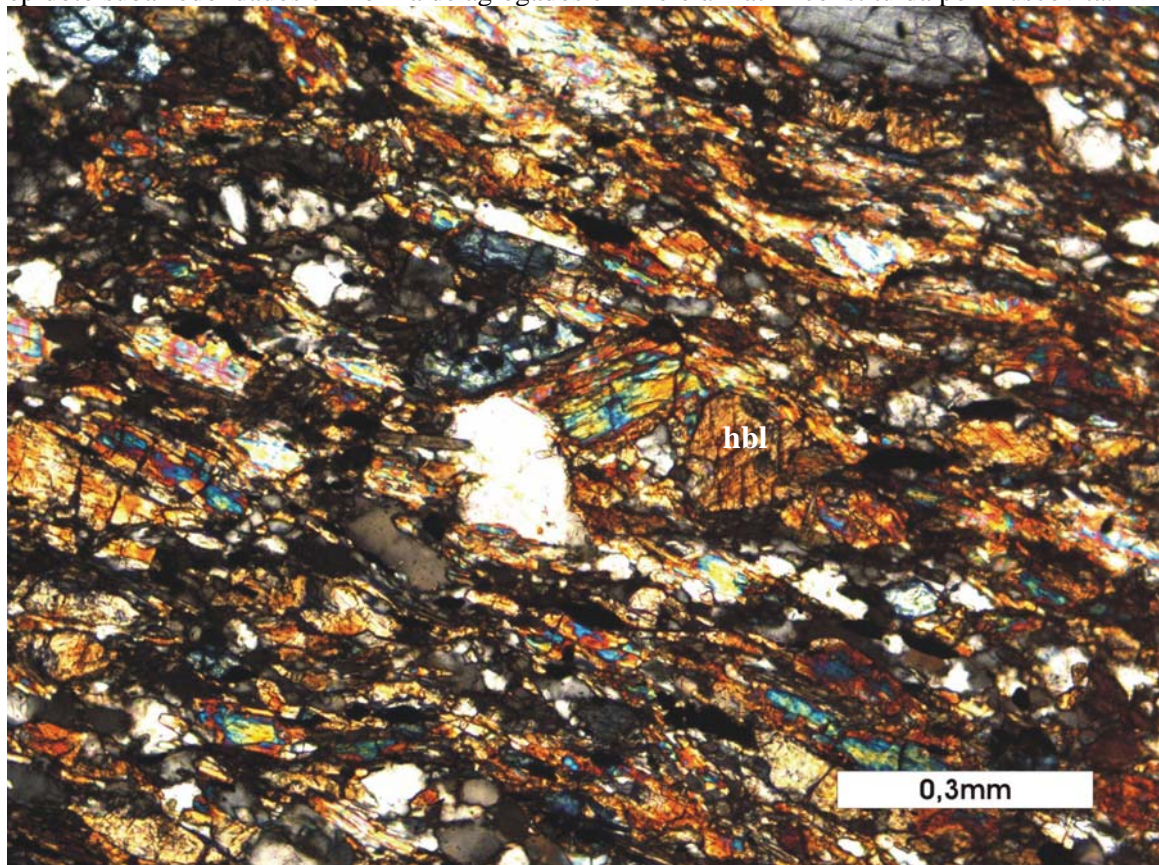


Figura 3.17 – Fotografia de lâmina delgada de metaquartzito-andesito (Nx). Destaque para cristais de hornblenda (hbl) estirados.

3.2 – Seqüência Metavulcano-sedimentar Santa Terezinha

A parte sul do mapa geológico é dominada por exposições da seqüência metavulcano-sedimentar Santa Terezinha (figura 3.4). Esta seqüência faz contato por falha com a unidade Serra das Araras e é dominada por metavulcânicas básicas ao norte, e ao sul por metapelíticas. Esta unidade é intrudida por ortognaisses limitados por falhas de empurrão direção NE-SW.

Meta-andesito desta seqüência apresenta idade U-Pb em zircão de 670 ± 4 Ma e metavulcânica félsica de 666 ± 4 Ma (Fuck *et al.*, submetido), próxima de 661 ± 8 Ma que foi obtida para metavulcânica ao sul da cidade de Santa Terezinha de Goiás (Dantas *et al.*, 2001).

3.2.1 – Metavulcânicas intermediárias a básicas

Rochas metavulcânicas marcam relevo aplainado e são comuns exposições em drenagens e ravinas (figura 3.18), são estas: anfibolito, meta-andesito, epidosito, biotita xisto e quartzo-muscovita-hornblenda xisto.

Na gamaespectrometria CMY, estas rochas são relacionadas ao domínio E predominantemente branco devido a pouca presença dos três elementos (K, Th e U) (figura 3.3). O domínio F incluso nestas rochas encontra-se coberto por concreções lateríticas e tem resposta característica de metaplutônicas.

Anfibolito é cinza escuro, composto por hornblenda (45-35%), plagioclásio (35-20%), quartzo (15-10%), biotita, clorita, apatita, zircão e opacos. Tem como características granulação fina, textura granoblástica com domínios subordinados nematoblásticos (figura 3.19). A foliação é marcada por hornblenda hipidioblástica a xenoblástica recristalizada junto com biotita. Porfiroblastos de hornblenda por vezes tem formato de sigmóides com inclusões de quartzo e apatita (figura 3.20). Plagioclásio xenoblástico é substituído por epidoto. Minerais opacos são orientados segundo a foliação, inclusos na hornblenda e como sombra de pressão. Lamelas hipidioblásticas de clorita são intercrescidas mimeticamente sobre a hornblenda.

Meta-andesito apresenta tonalidade cinza escuro, granulação fina, macroestrutura foliada e segregações de quartzo. Compõe-se de hornblenda (35%), quartzo (25%), plagioclásio (35%), pirita e rutilo. A rocha é formada por dois domínios: um rico em anfibólio e outro em epidoto (figura 3.21). O primeiro tem textura nematoblástica com prismas de hornblenda em matriz quartzo-feldspática, com grãos recristalizados e deformados. O segundo tem dominância de epidoto proveniente de substituição do plagioclásio e, em menor quantidade, hornblenda e segregações de quartzo. Os grãos de

epidoto xenoblásticos formam agregados sub-arredondados destituídos de orientação preferencial. (figura 3.22).

Epidosito cinza claro tem granulação média a grossa e foliação (figura 3.23). Esta rocha é composta por plagioclásio (45%), hornblenda (30%), muscovita (10%), quartzo, clorita e rutilo. Os prismas de hornblenda de até 5 mm são orientados marcando a textura nematoblástica, e por vezes estão dobrados. Plagioclásio está totalmente substituído por zoisita xenoblástica com grãos prismáticos e como agregados arredondados (figura 3.24). Esta rocha tem provável protolito gabro-diorito e foi submetida à retrometamorfismo de fácies xisto-verde indicada por epidotização do plagioclásio.

Biotita xisto é verde, com granulação fina e foliação definida por lamelas de biotita que por vezes delimitam sigmóides (figura 3.25). É constituído por biotita (60%), plagioclásio (25%), quartzo e muscovita. Grãos finos de quartzo e feldspatos estão estirados paralelamente à foliação. Grãos de plagioclásio são substituídos por epidoto sub-arredondados. Epidoto estirados formam sigmóides rotacionados com sombra de pressão preenchida por biotita e quartzo.

Próximo ao contato com a Serra das Araras, ocorrem afloramentos em lajedos de *quartzo-muscovita-hornblenda xisto*. Esta rocha é cinza escuro, tem granulação fina a média (figura 3.26), sendo composta por hornblenda (45%), muscovita (30%), quartzo (20%), granada, rutilo e turmalina. A textura lepidoblástica dominante é marcada por muscovita e sericita. Quartzo é estirado segundo a foliação, preenchem fraturas e formam segregações. Porfiroblastos diablásticos de hornblenda pré e sin-cinemáticos são substituídos por sericita (figura 3.27). Grãos de granada são fraturados com bordas parcialmente preservadas com sombra de pressão preenchidas por quartzo e muscovita.

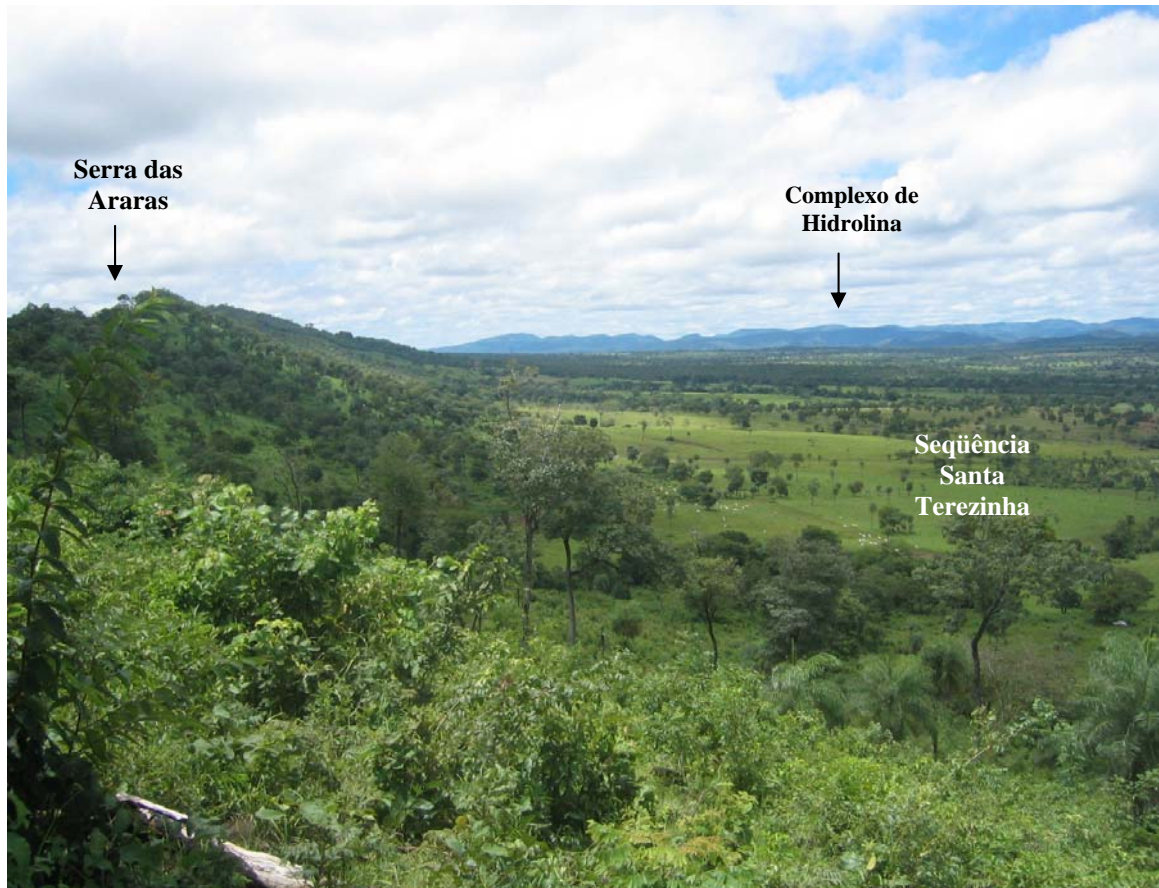


Figura 3.18 – Vista para seqüência Santa Terezinha do alto da Serra das Araras.



Figura 3.19 – Aspecto macroscópico do anfibolito com granulação fina e foliação definida por cristais de hornblenda e biotita.

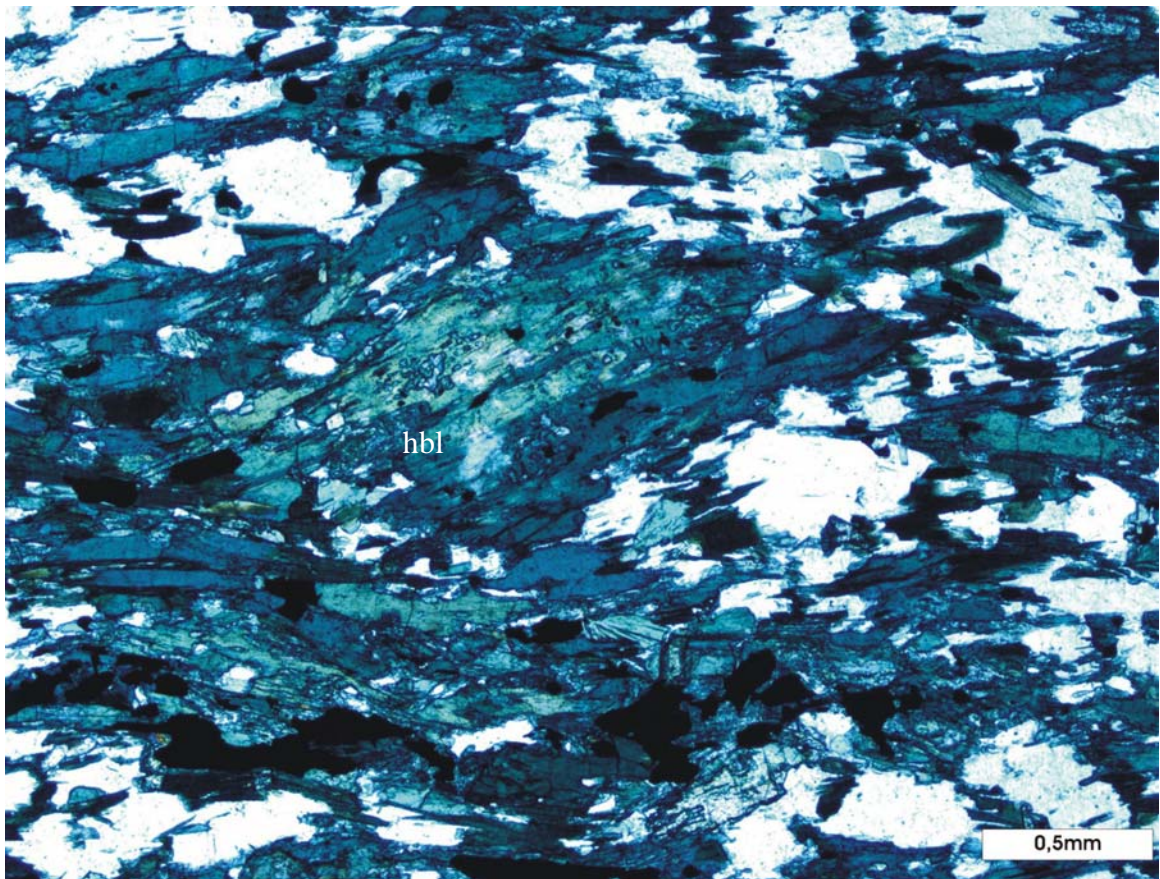


Figura 3.20 – Fotografia de lâmina delgada do anfibolito (N//). Destaque para porfiroblasto em sigmóide sin-cinâmático de hornblenda (hbl) em matriz constituída de quartzo, clorita e epidoto.

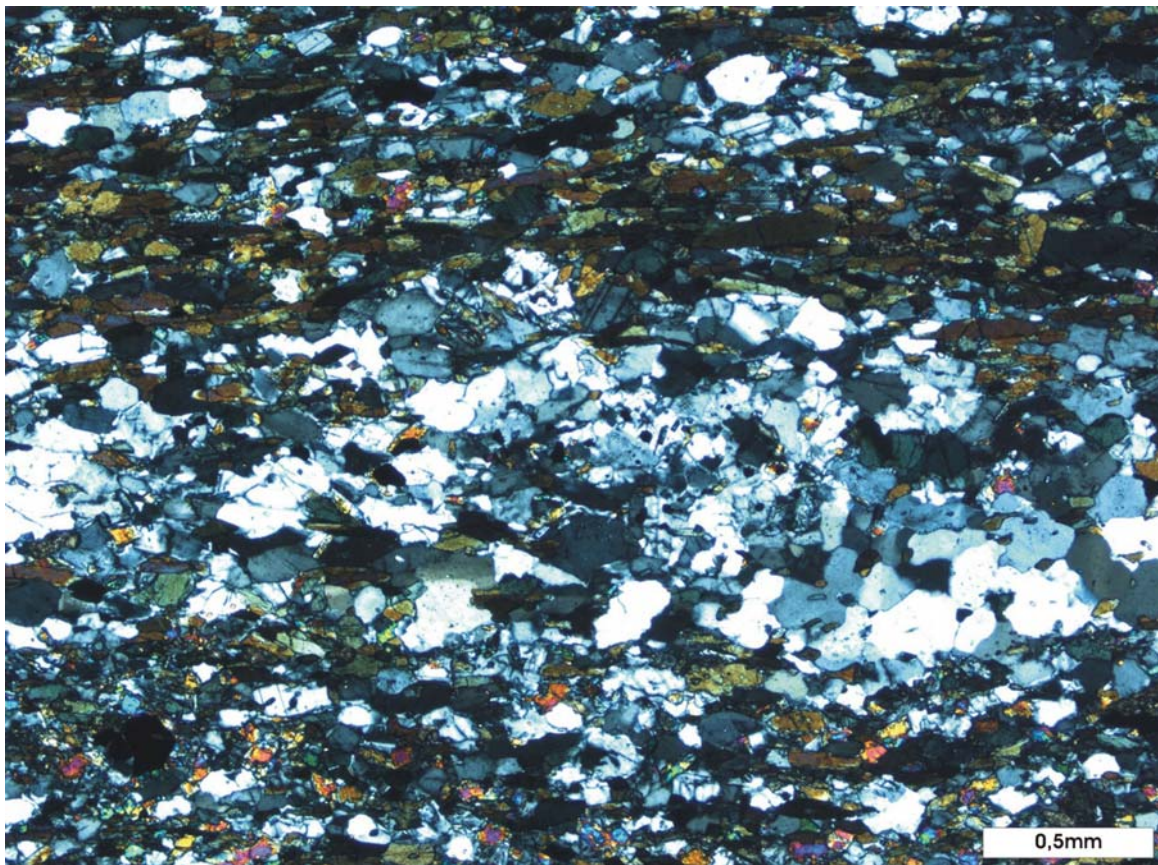


Figura 3.21 – Fotografia de lâmina delgada do meta-andesito (Nx). Destaque para domínio rico em hornblenda intercalado a domínio quartzo-feldspático.

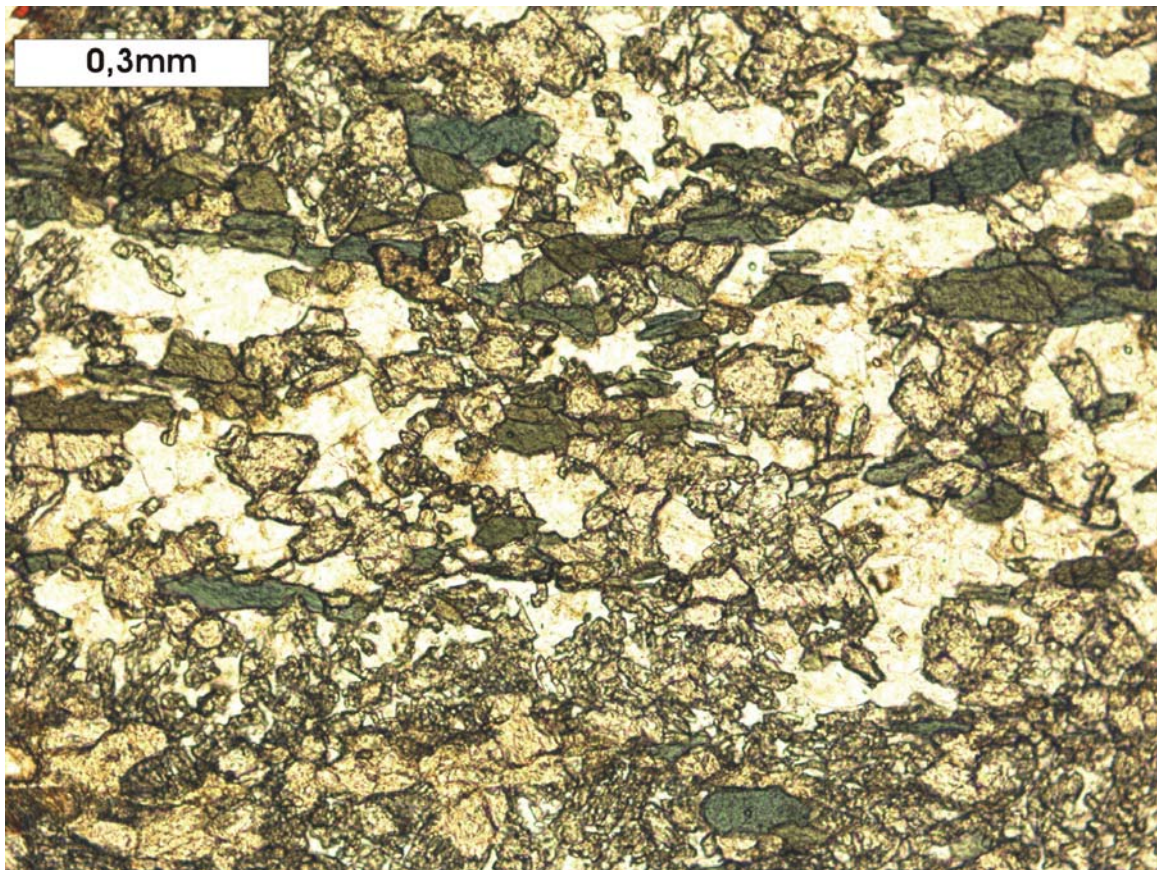


Figura 3.22 – Fotografia de lâmina delgada do meta-andesito (n //). Destaque para domínio rico em agregados sub-arredondados epidoto e grãos xenoblásticos de hornblenda em matriz quartzosa.



Figura 3.23 – Aspecto macroscópico do epidosito com granulação média a grossa e foliação difusa.

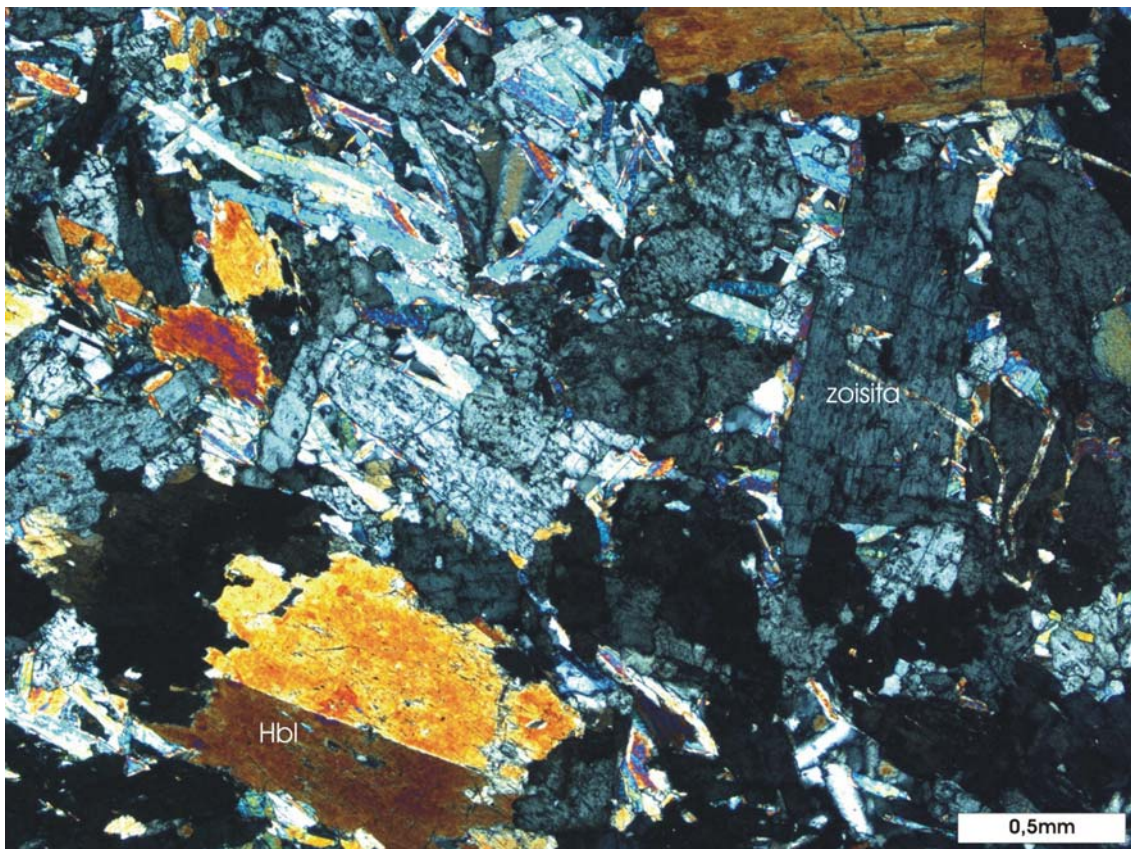


Figura 3.24 – Fotografia de lâmina delgada do epidiorito (Nx). Destaque para zoisita diablástica resultante de substituição de plagioclásio e prismas de hornblenda com bordas irregulares que definem a foliação (Hbl).

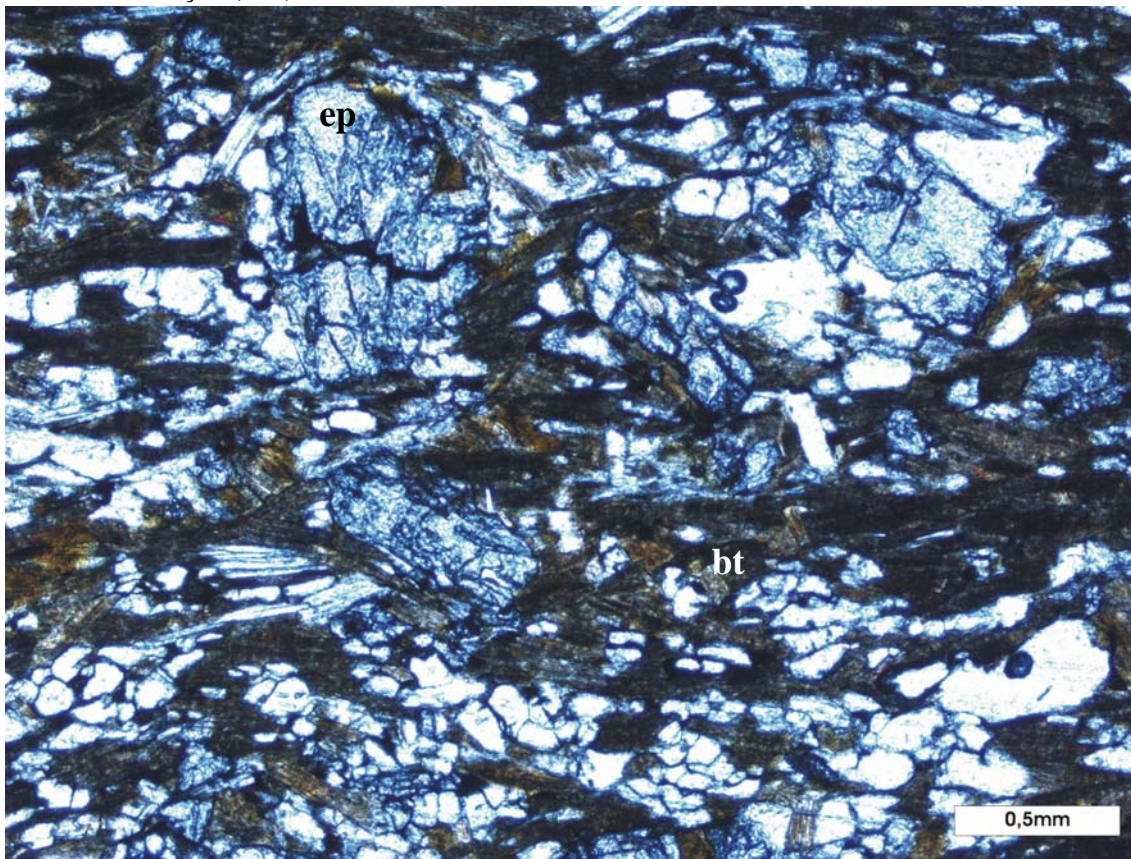


Figura 3.25 - Fotografia de lâmina delgada do biotita xisto (N//). Destaque para epidoto (ep) sub-arredondado, resultante de substituição de plagioclásio, em forma de sigmóide delimitado por biotita (bt) que marca a foliação.



Figura 3.26 – Aspecto macroscópico do quartzo-muscovita-hornblenda xisto, com porfiroblastos diablásticos de hornblenda.

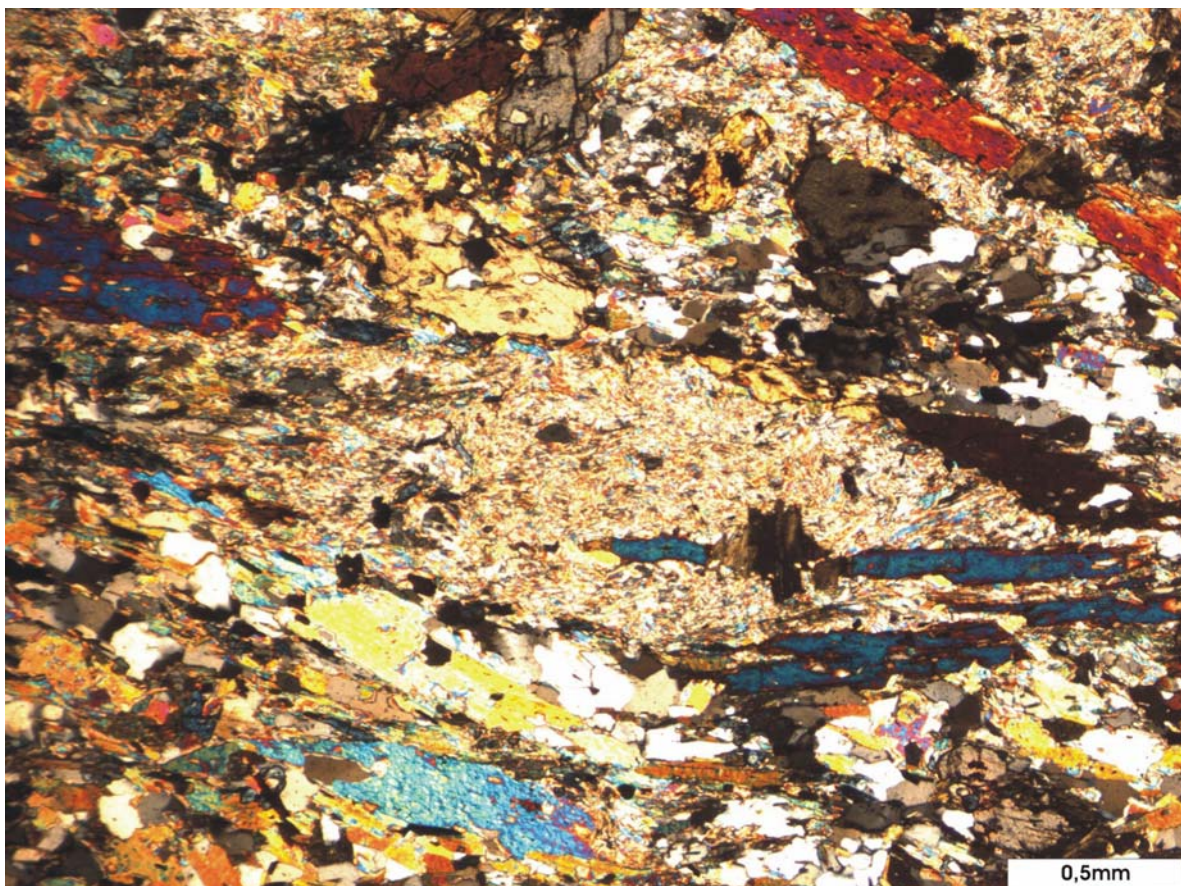


Figura 3. 27 – Fotografia de lâmina delgada de quartzo-muscovita-hornblenda xisto (Nx). Destaque para pseudomorfo de hornblenda em sigmóide sericitizado.

3.2.2 - Metassedimentares

A região sul da seqüência Santa Terezinha é dominada por rochas metassedimentares. Segundo Rancan & Vilhena (inédito), são intercalações de muscovita-clorita xisto, clorita-muscovita xisto, granada-clorita-quartzo xisto, magnetita-granada-clorita-xisto, sericita-quartzo xisto, quartzo-clorita xisto, muscovita xisto, muscovita-quartzo xisto, muscovita quartzito, granada-muscovita xisto, metatufo, e granada-quartzo-clorita-muscovita xisto.

Este domínio é delimitado no mapa gamaespectrométrico pelos domínios H e I (figura 3.3) devido à variação composicional das rochas metasedimentares. O domínio H é predominantemente azul relacionado a uma composição de mais altos valores de K e Th. O domínio I adquire coloração vermelha devido a mais altas porcentagens de Th.

Dados Sm/Nd de clorita-muscovita xisto desta unidade apresentaram idade modelo T_{DM} de 1,01 Ga. (Rancan & Vilhena inédito).

3.3 – Suíte Metaplutônica Ácida e Intermediária

A seqüência metavulcano-sedimentar Mara Rosa é intrudida por rochas ácidas e intermediárias que foram individualizadas na área de estudo como Suíte Metaplutônica. Esta unidade é localizada no noroeste do mapa da figura 3.4, tem direção NE, faz contato por falha ao sul com a unidade Serra das Araras e ao norte com a seqüência Mara Rosa. São metagranodiorito, metaquartzo diorito, metadiorito, metatonalito e granito. Exposições destas rochas ocorrem em drenagens, em afloramentos salientes na topografia e em blocos rolados em meio às metassedimentares. Análises de U-Pb em zircão de rochas intrusivas pertencentes a esta suíte indicam idade entre 610 e 650 Ma (Fuck *et al.* submetido).

As rochas metaplutônicas apresentaram respostas gamaespectrométricas bem definida devido a sua composição com altos valores de K e U, correlacionadas ao domínio C (figura 3.3), com tonalidade verde na composição CMY.

Metagranodiorito é branco, com granulação média e foliação difusa (figura 3.28). É composta por plagioclásio (30-40%), quartzo (30%), microclínio (10-20%), biotita e muscovita. Domínio quartzo-feldspático apresenta grãos recristalizados na matriz e formam pequenas segregações. Cristais reliquiais de plagioclásio e microclínio formam sigmóides envolvidos por muscovita e com inclusões de biotita. Plagioclásio hipidioblático deformado está substituído parcialmente por epidoto hipidioblástico a xenoblástico (figura 3.29).

Neste domínio também ocorrem variações de *metaquartzo-diorito*. São rochas cinzas que apresentam-se coesas, foliadas, granulação grossa (figura 3.30) e compõe-se de hornblenda (40-50%), plagioclásio (15-50%), quartzo, biotita, carbonato e rutilo. Cristais

xenoblásticos e hipidioblásticos de hornblenda são cloritizados, estirados segundo a foliação principal, com inclusões de opacos e biotita. Grãos hipidioblásticos a xenoblásticos de plagioclásio são deformados e epidotizados (figura 3.31). Quartzo xenoblástico é deformado e por vezes recristalizado como segregações.

Metadiorito é cinza escuro, com granulação média a grossa e foliação discreta (figura 3.32). É composto por plagioclásio (50%), hornblenda (35%), quartzo (10%) ilmenita, magnetita, pirita e calcopirita. Prismas xenoblásticos a hipidioblásticos de hornblenda são substituídos por clorita. Porfiroblastos de plagioclásio são substituídos ao longo de suas clivagens por cristais aciculares de epidoto (figura 3.33). Grãos mais finos de plagioclásio são recristalizados na matriz junto com quartzo. Grãos de ilmenita, magnetita, pirita e calcopirita são xenoblásticos com contatos retos ou interdigitados com silicatos neoformados.

Nas proximidades da Serra das Araras são comuns exposições de *metatonalito* em afloramentos arredondados em pastos e as margens de pequenos córregos (figura 3.34). O metatonalito é uma rocha coesa, cinza claro, com porções pretas compostas por biotita. A granulação é média e a foliação é definida por biotita e muscovita. É composta por plagioclásio (55%), quartzo (30%), biotita (10%) e muscovita com existência ou não de hornblenda, titanita e opacos. Domínios quartzo-feldspáticos possuem grãos deformados de bordas irregulares (figura 3.35). Cristais de plagioclásio são angulosos e substituídos por epidoto. Biotita hipidioblástica a xenoblástica ocorre entre os grãos de plagioclásio e quartzo.

Blocos soltos de *granito* são encontrados em meio a rochas metaplutônicas. É uma rocha branca, coesa, com granulação média e composta por plagioclásio (40%), microclínio (30%), quartzo (20%) e muscovita. Não possui estruturas deformacionais nem metamórficas. Articulação entre os cristais é irregular sem orientação preferencial. Cristais de quartzo são angulosos com extinção ondulante de pouca intensidade e preenchem fraturas. Microclínio em cristais angulosos faz contato irregular com quartzo e plagioclásio (figura 3.36).



Figura 3.28 – Aspecto macroscópico do metagranodiorito localizado próximo à Fazenda Cianita, com foliação difusa definida por biotita e muscovita em matriz quartzo-feldspática.

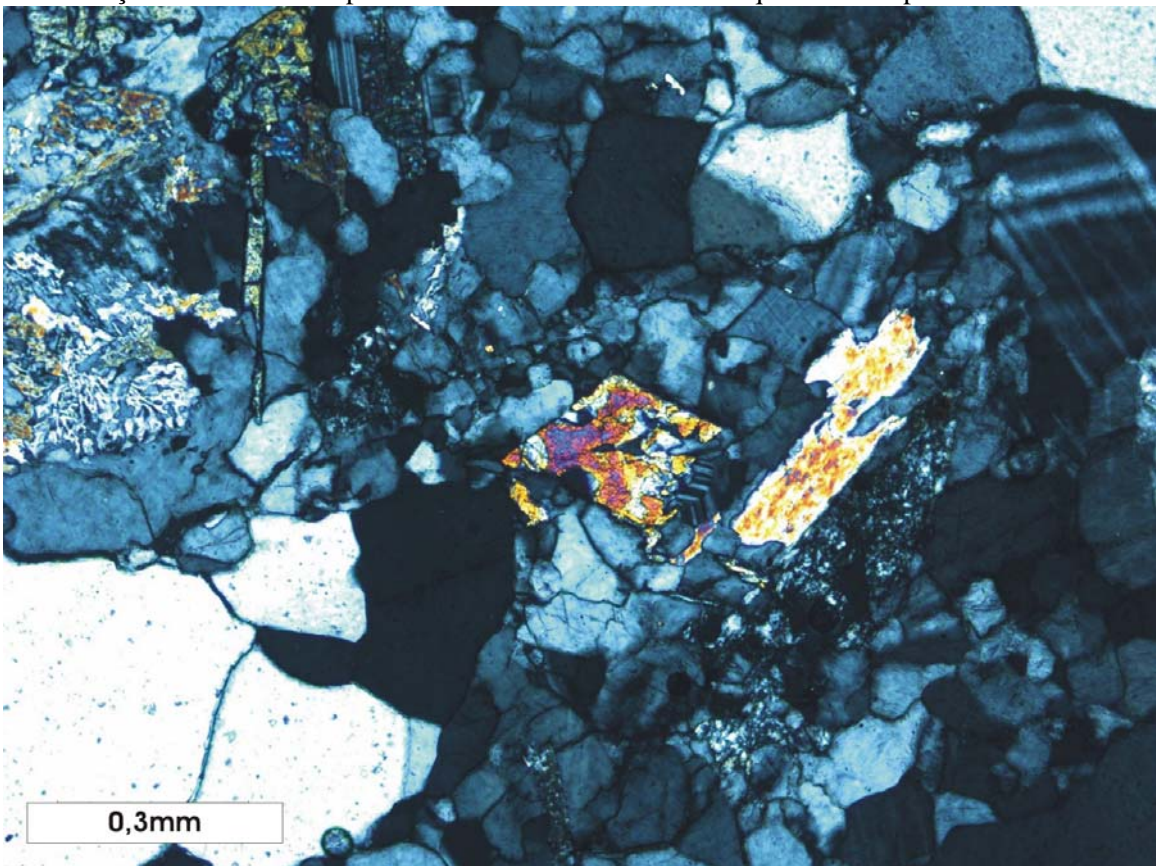


Figura 3.29 – Fotografia de lâmina delgada do metagranodiorito (Nx). Destaque para plagioclásio hipidioblático deformado substituído parcialmente por epidoto.



Figura 3.30 – Aspecto macroscópico do metaquartzo-diorito, localizado na Fazenda dos Porfírios ao norte da Serra das Araras, com granulação grossa, segregação quartzo-feldspática e foliação difusa marcada por prismas de hornblenda e biotita.

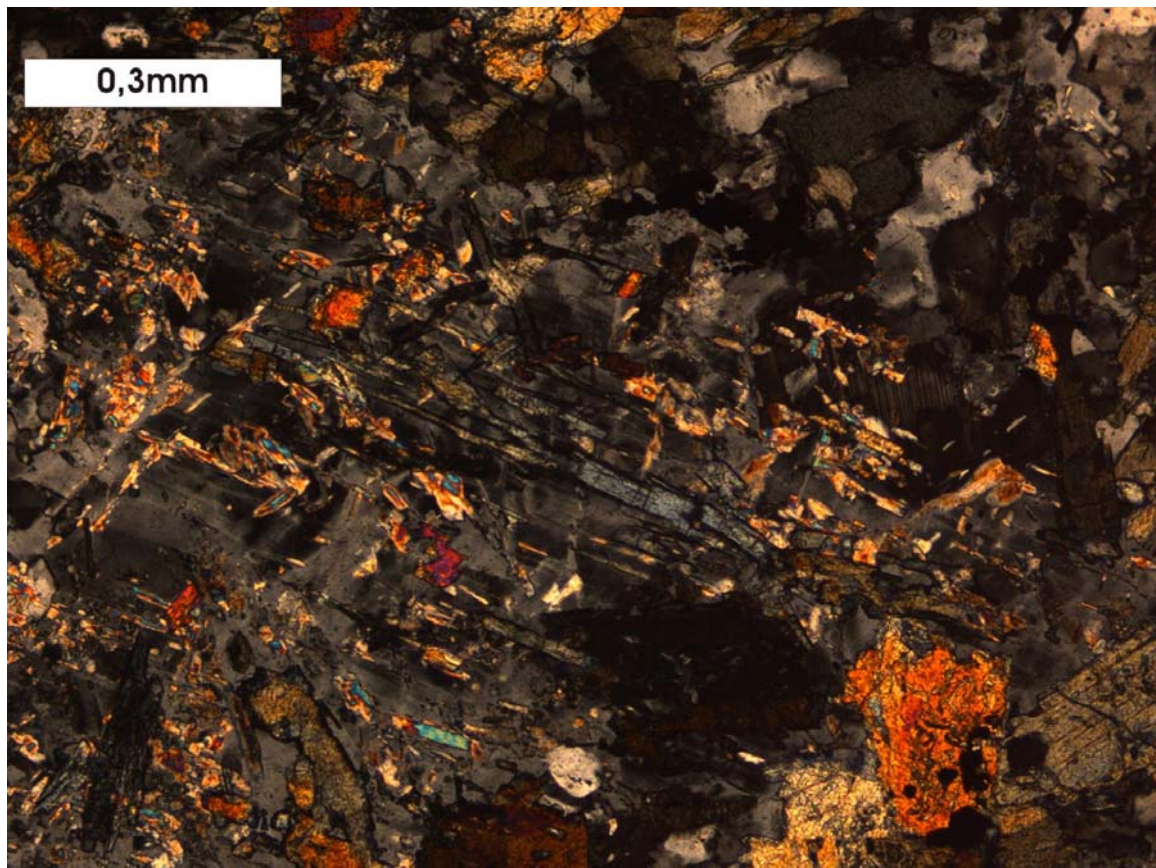


Figura 3.31 - Fotografia de lâmina delgada de metaquartzo-diorito (Nx). Destaque para cristais aciculares de epidoto resultado da substituição de plagioclásio.



Figura 3.32 – Aspecto macroscópico do metadiorito com granulação média a grossa e foliação discreta definida por hornblenda xenoblástica.

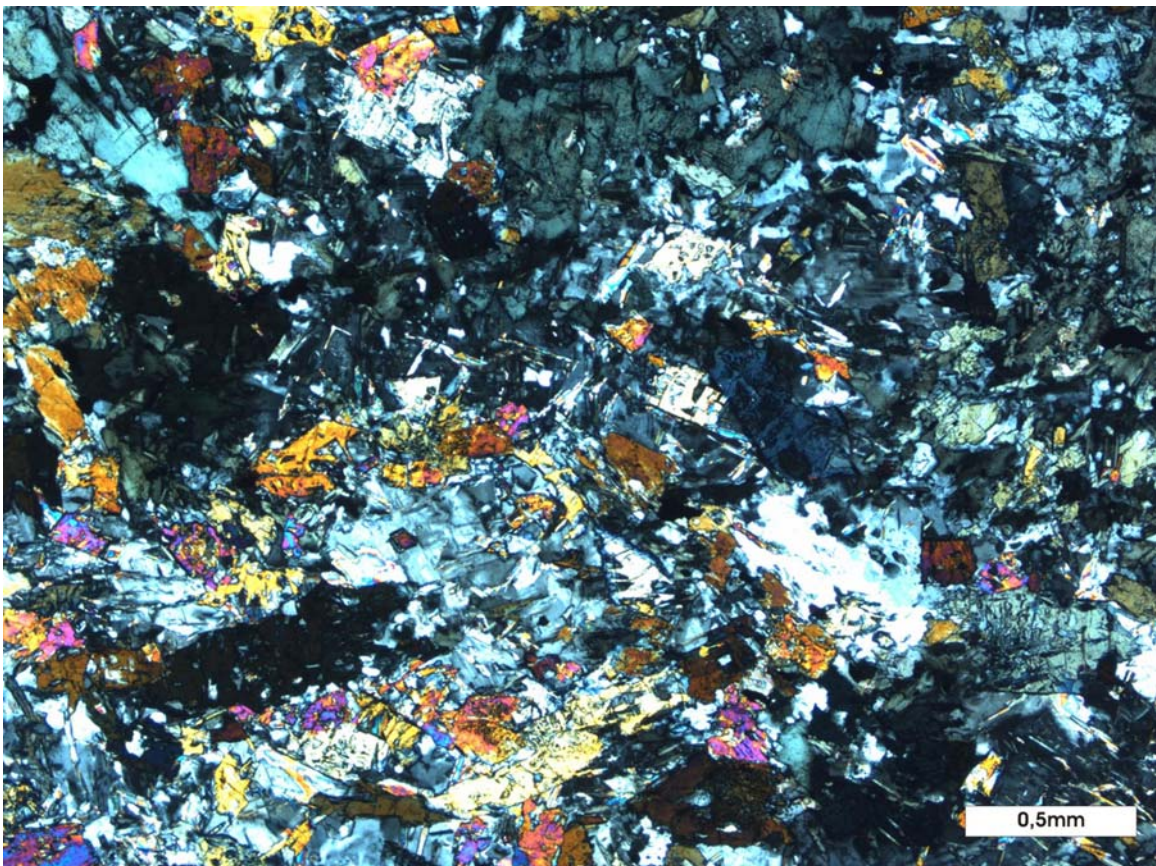


Figura 3.33 – Fotografia de lâmina delgada de metadiorito (Nx). Destaque para epidotização de plagioclásio em grãos aciculares e grãos xenoblásticos de hornblenda cloritizados.



Figura 3.34 – A) Afloramento de metatonalito em meio ao pasto nas proximidades da Serra das Araras; B) Detalhe do aspecto macroscópico do metatonalito com foliação difusa, definida por biotita e muscovita, envolvendo núcleos quartzo-feldspáticos

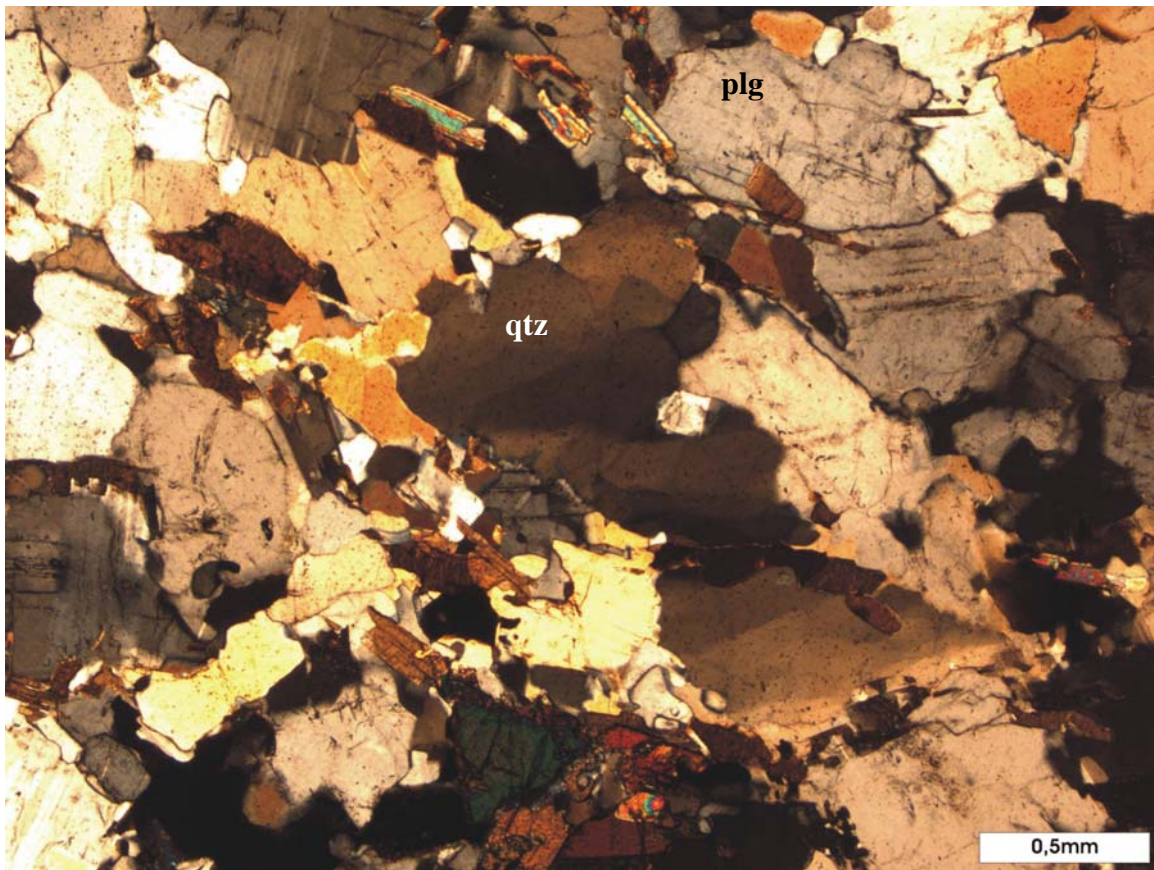


Figura 3.35 – Fotografia de lâmina delgada do metatonalito (Nx). Destaque para quartzo (qtz) e plagioclásio (plg) com bordas irregulares e microestrutura granoblástica.

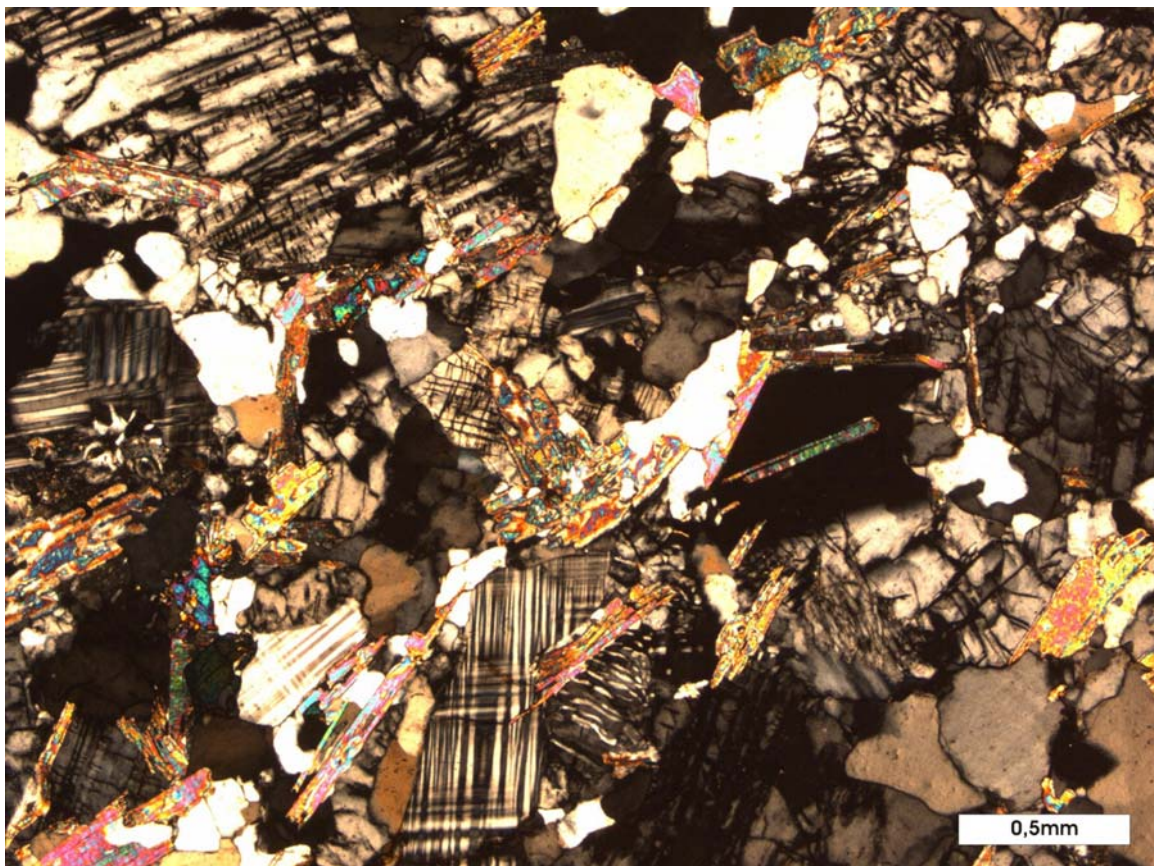


Figura 3.36 – Fotografia de lâmina delgada do granito (Nx). Destaque para cristais reliquias preservados de microclínio e lamelas de muscovita entre os grãos de quartzo e feldspatos.

3.4 – Suíte Ortognaisse

Segundo Rancan & Vilhena (inédito), a seqüência Santa Terezinha é intrudida por ortognaisses. Esta suíte é delimitada por falhas de empurrão e tem direção NE. Os ortognaisses têm composições variadas que incluem muscovita-biotita gnaiss, epidoto-biotita gnaiss, granada-epidoto-biotita gnaiss e granada-biotita gnaiss.

Estas rochas apresentam assinatura geofísica bem delimitada de cor verde escuro na composição ternária CMY devido a altos valores dos elementos K equivalente ao domínio G no mapa gamaespectrométrico (figura 3.3).

3.5 - Unidade Serra das Araras

A Serra das Araras é sustentada por rochas coesas constituídas de minerais resistentes ao intemperismo que preservam a topografia saliente que atinge cotas de 570 metros de altitude, 16 km de extensão linear e com largura variando de 400 m a 1,5 km. Está localizada entre as cidades de Santa Terezinha de Goiás e Nova Iguaçu de Goiás.

A Serra das Araras é um domínio limitado por falhas de empurrão com direção NE. Trata-se de uma unidade estreita que faz contato com a suíte metaplutônica ao norte e a seqüência metavulcano-sedimentar de Santa Terezinha ao sul. É uma Zona de Cisalhamento denominada de Serra das Araras (ZCSA), que se associada ao sistema regional da Falha Rio dos Bois. Exibe traço regional EW próximo à Santa Terezinha de Goiás, que se curva para NE em sua extensão para norte.

Os principais litotipos que compõem este domínio são: cianitito, cianita quartzito, muscovita-cianita quartzito e feldspato-paragonita-cianita xisto. A Serra das Araras é dominada por blocos e matacões (figura 3.37). Estas rochas não possuem assinatura geofísica bem definida, porém têm contraste com as rochas encaixante. São correlacionadas ao domínio D representado na figura 3.3.

Foram chamadas de *cianititos* rochas com mais de 85% de cianita. O cianitito em geral é maciço, isótropo, azul e com granulação média a grossa (figura 3.38 e 3.39). É composto por cianita (80-95%), quartzo, muscovita e rutilo. Com textura granoblástica os grãos de cianita são sin a pós-cinemáticos (figura 3.40). O quartzo xenoblástico é recristalizado entre os grãos de cianita. O rutilo xenoblástico é incluso nos cristais de cianita ou de forma intersticial junto com o quartzo (figura 3.41).

Cianita quartzito é branco, coeso, com granulação média a grossa, foliado. Domínios de cianita formam sigmóides delimitados por muscovita (figura 3.42). É composto por quartzo (30-55%), cianita (30-70%), muscovita, rutilo e opacos. A textura dominante é nematoblástica intercalada com segregações quartzosas granoblásticas.

Cristais hipidioblásticos de cianita com dimensões de até 7,5 mm, são dobrados, estirados e fraturados (figura 3.43). Rutilo xenoblástico ocorre entre os grãos e inclusos nos cristais de cianita. Grãos de quartzo são angulosos, deformados e recristalizados.

Muscovita-cianita quartzito tem granulação fina a média sendo composto por cianita (30-50%), quartzo (30-50%), muscovita (10-20%) e rutilo. Possui foliação proeminente definida por muscovita e cristais estirados de cianita (figura 3.44). Os prismas hipidioblásticos a xenoblásticos de cianita de até 20 mm são deformados, formam sigmóides, dobras e são fraturados. O rutilo ocorre incluso nos grãos de cianita e também nas bordas dos cristais. Grãos de quartzo são deformados e recristalizados em segregações.

Feldspato-paragonita-cianita xisto é verde com porções brancas micaceas. A foliação difusa é definida por muscovita e cianita estirada (figura 3.45). Compõe-se de cianita (~30%), paragonita, muscovita, rutilo, quartzo e clorita. Grãos de feldspato são substituídos por mica branca. Através de análise por difratometria de raio-X a mica branca foi identificada como paragonita (figura 3.46). Prismas hipidioblásticos de cianita mostram-se estirados e fraturados, e substituídos por muscovita (figura 3.47). Grãos de rutilo ocorrem orientados segundo a foliação principal, entre grãos e como inclusões na cianita. Quartzo é deformado e recristalizado entre a paragonita. Teores de Na₂O e K₂O elevados (3,13 %) nesta rocha, relacionados a presença de paragonita, feldspato e muscovita, sugerem protolito ígneo.



Figura 3.37 – Blocos e matacões de cianita quartzito na Serra das Araras.

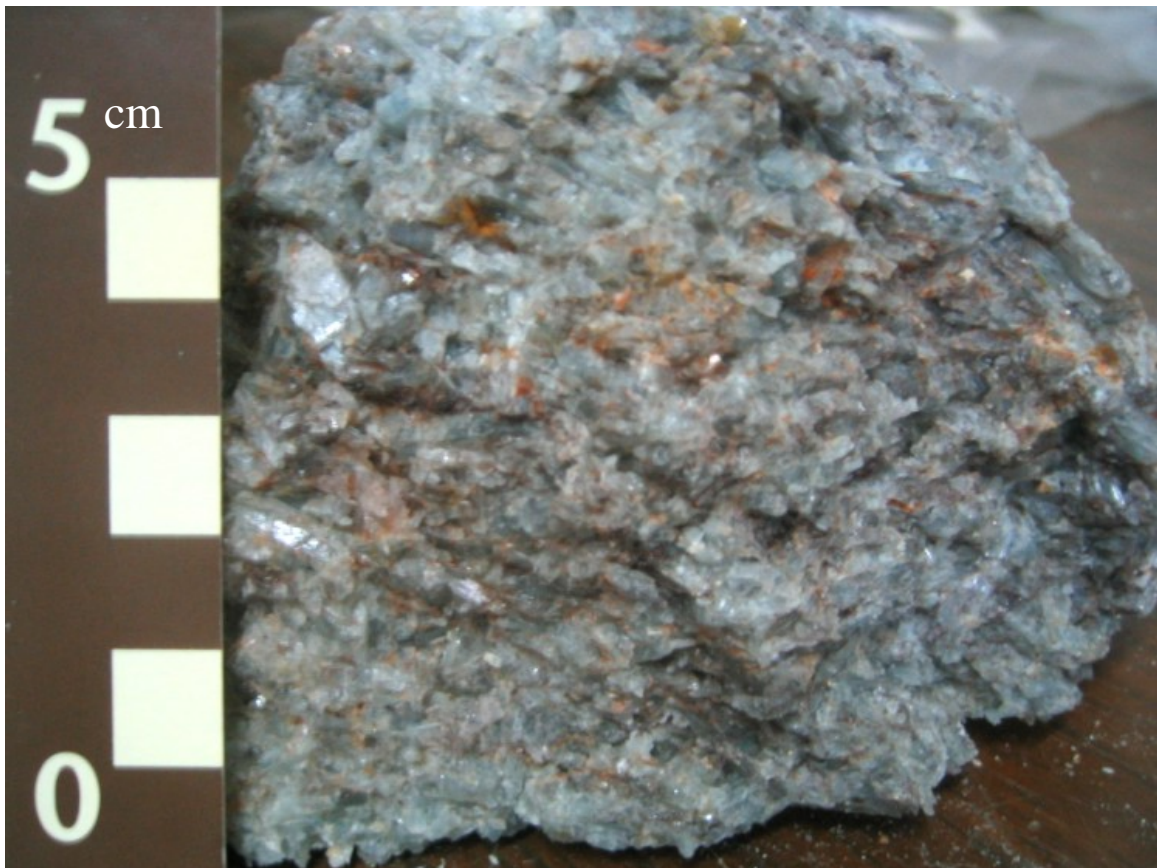


Figura 3.38 – Aspecto macroscópico do cianitito. Destaque para cor azul e granulação média a grossa de cianita com macroestrutura diablástica.



Figura 3.39 – Aspecto macroscópico do cianitito na mina de cianita, na Fazenda Cianita. Destaque para isotropia da rocha com cristais de cianita diablásticos.

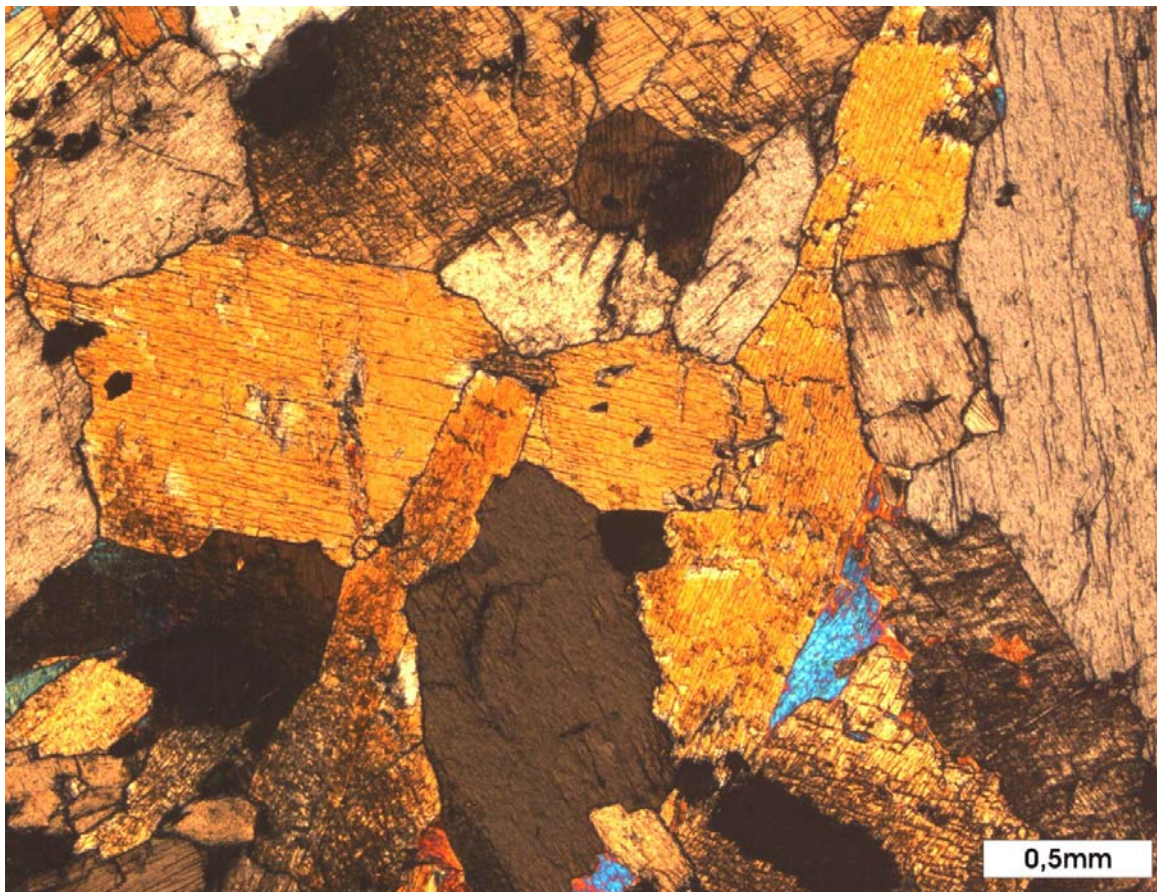


Figura 3.40 – Fotografia de lâmina delgada do cianitito (Nx). Destaque para arranjo granoblástico de cristais de cianita.

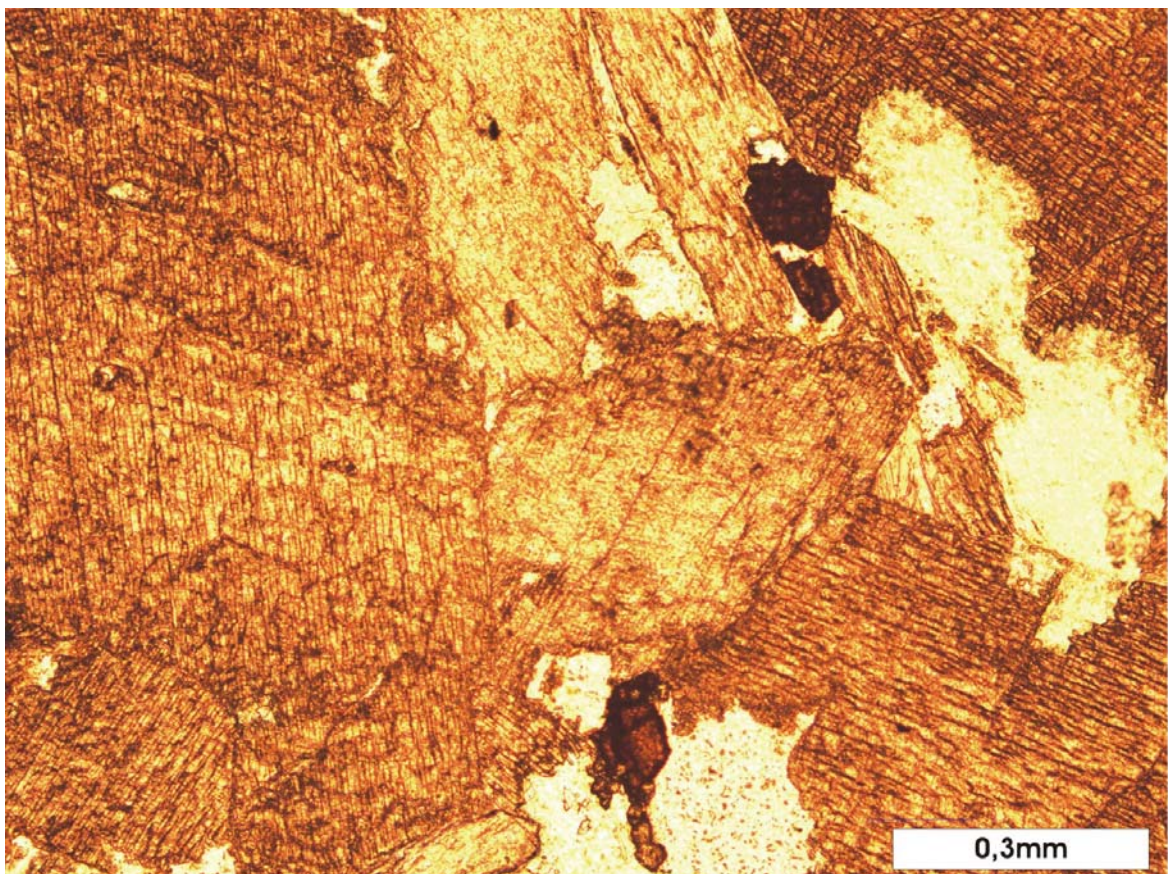


Figura 3.41 – Fotografia de lâmina delgada do cianitito (Nx). Destaque para grãos de rutilo entre os cristais de cianita diablásticos.



Figura 4.42 – Aspecto macroscópico do cianita quartzito da Serra das Araras. Detalhe para foliação difusa, segregação quartzosa e sigmóides de cianita delimitados por muscovita.

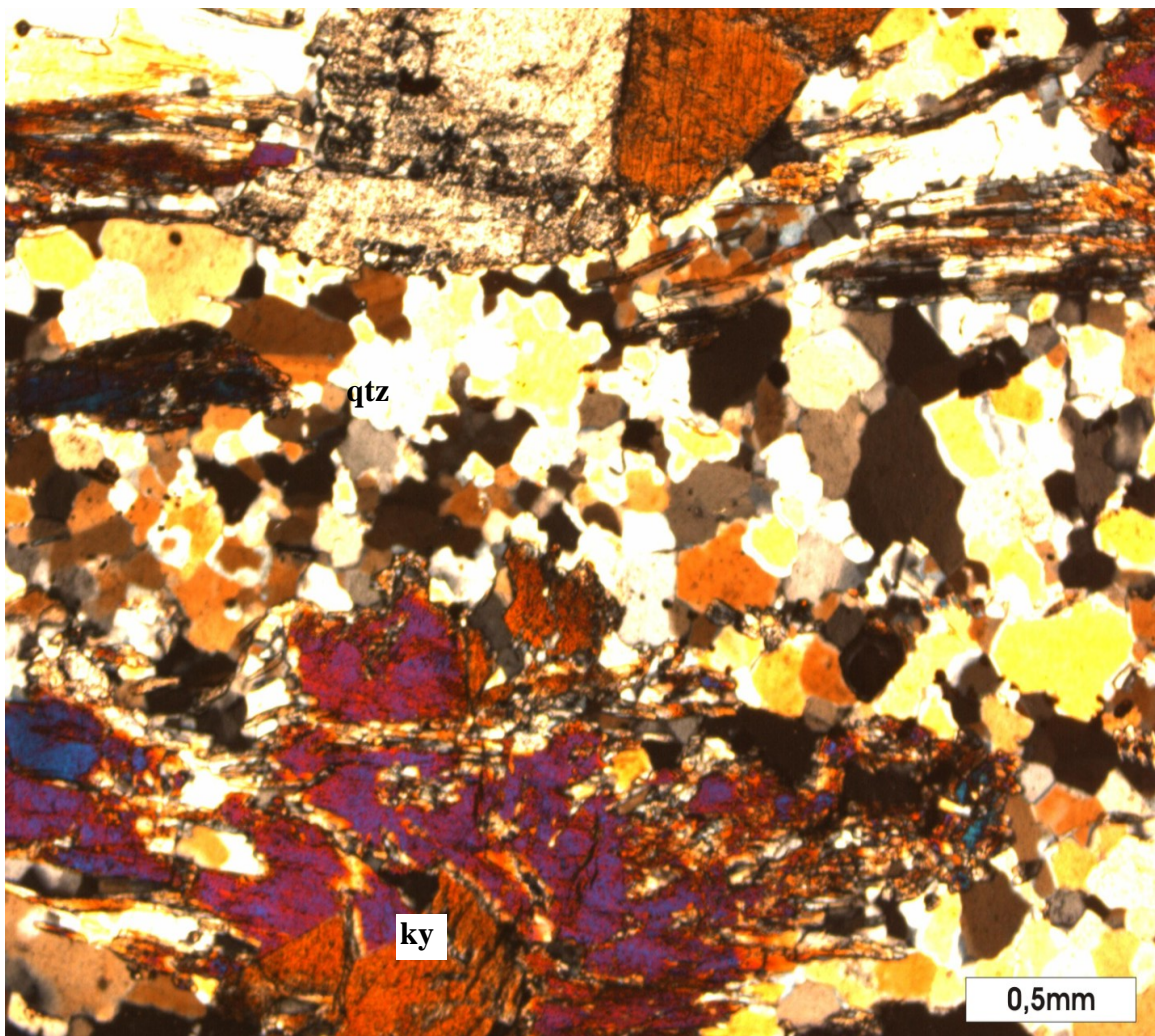


Figura 3.43 – Fotografia de lâmina delgada de cianita quartzito (Nx). Destaque para cristais estirados de cianita (ky) parcialmente substituídos por muscovita e segregação de quartzo (qtz) recristalizado com macroestrutura granoblástica.

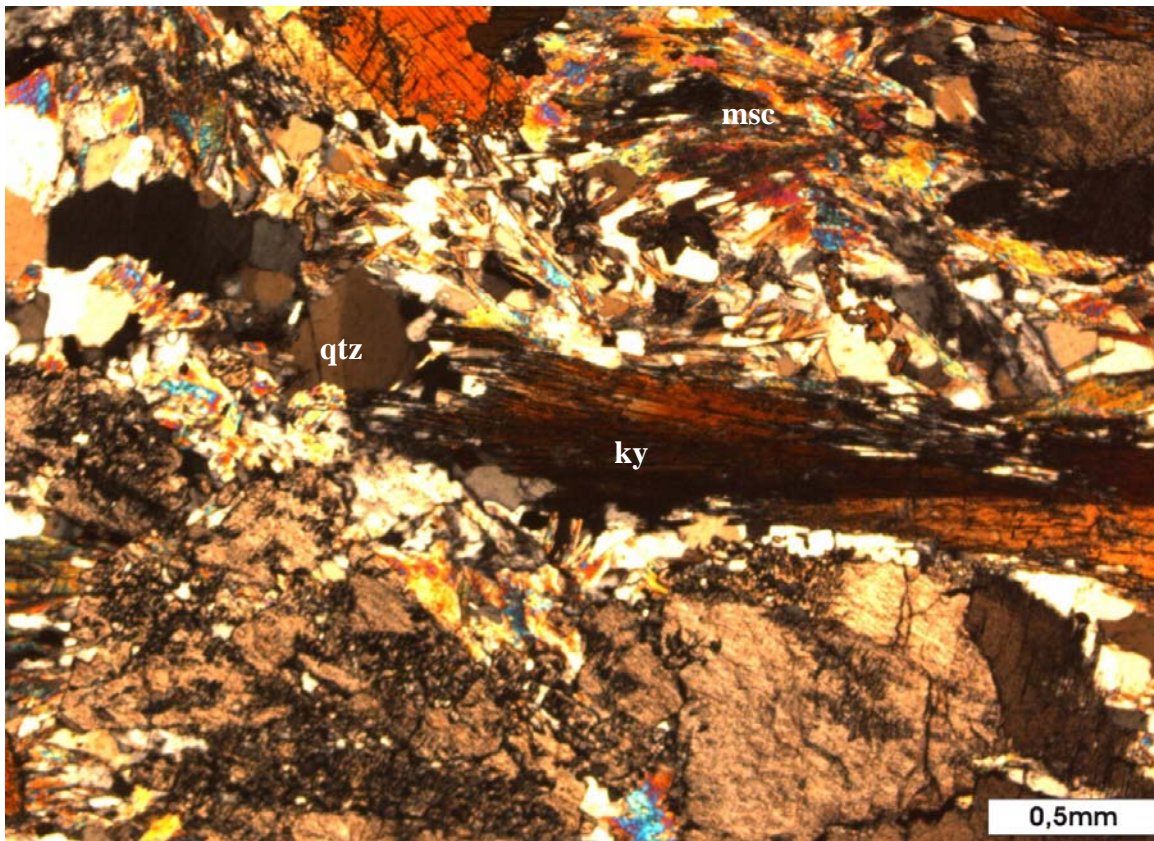


Figura 3.44 – Fotografia de lâmina delgada do muscovita-cianita quartzito (Nx). Destaque para cristais de cianita (ky) estirados, grãos de quartzo (qtz) deformados e lamelas radiais de muscovita (msc).

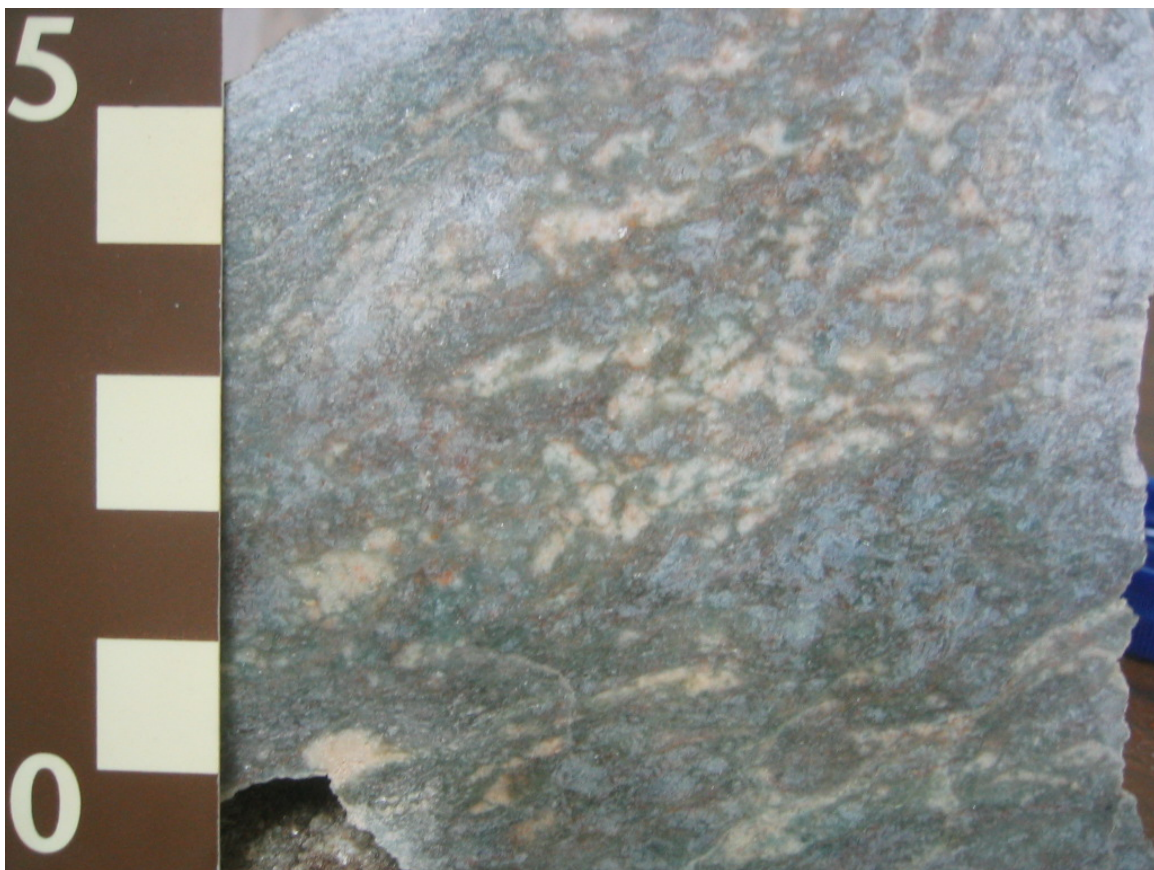
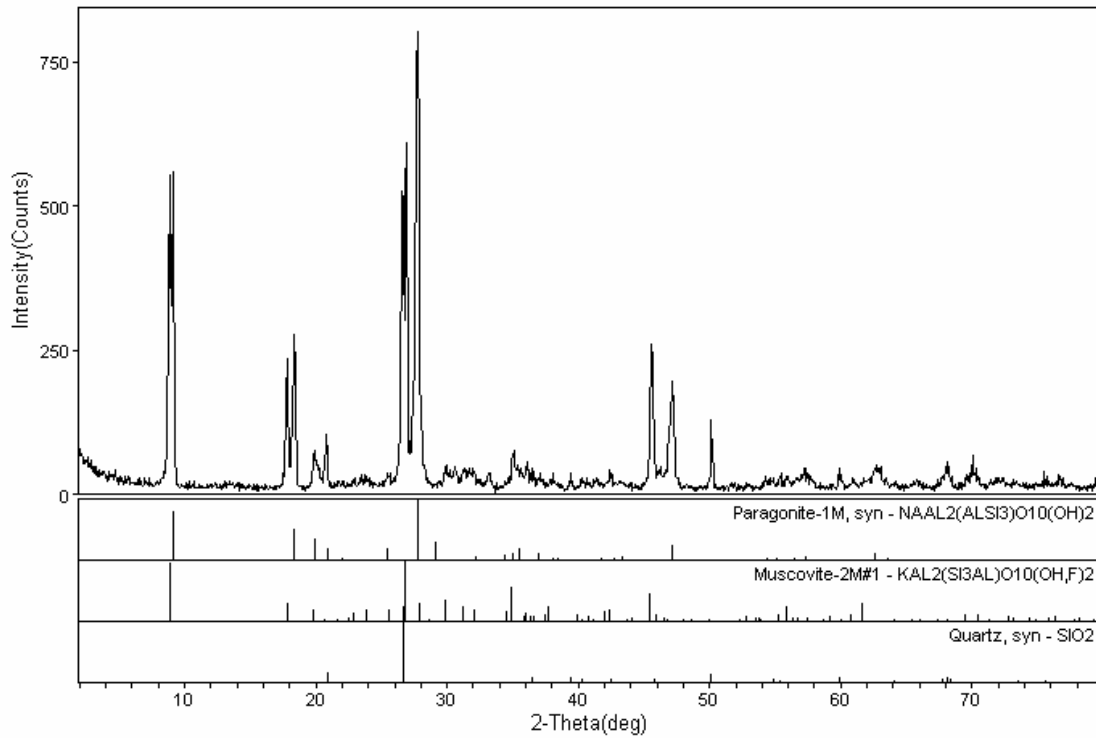


Figura 3.45 – Aspecto macroscópico do feldspato-paragonita-cianita xisto. Destaque para domínios micáceos brancos de paragonita e muscovita intercalados com porções esverdeadas de cianita.



Laboratorio de DRX - IG/UnB

<d:\caroli-1\marco06> Saturday, Mar 25, 2006 @ 10:20a

Figura 3.46 – Difratoograma da porção micácea do feldspato-paragonita-cianita xisto.

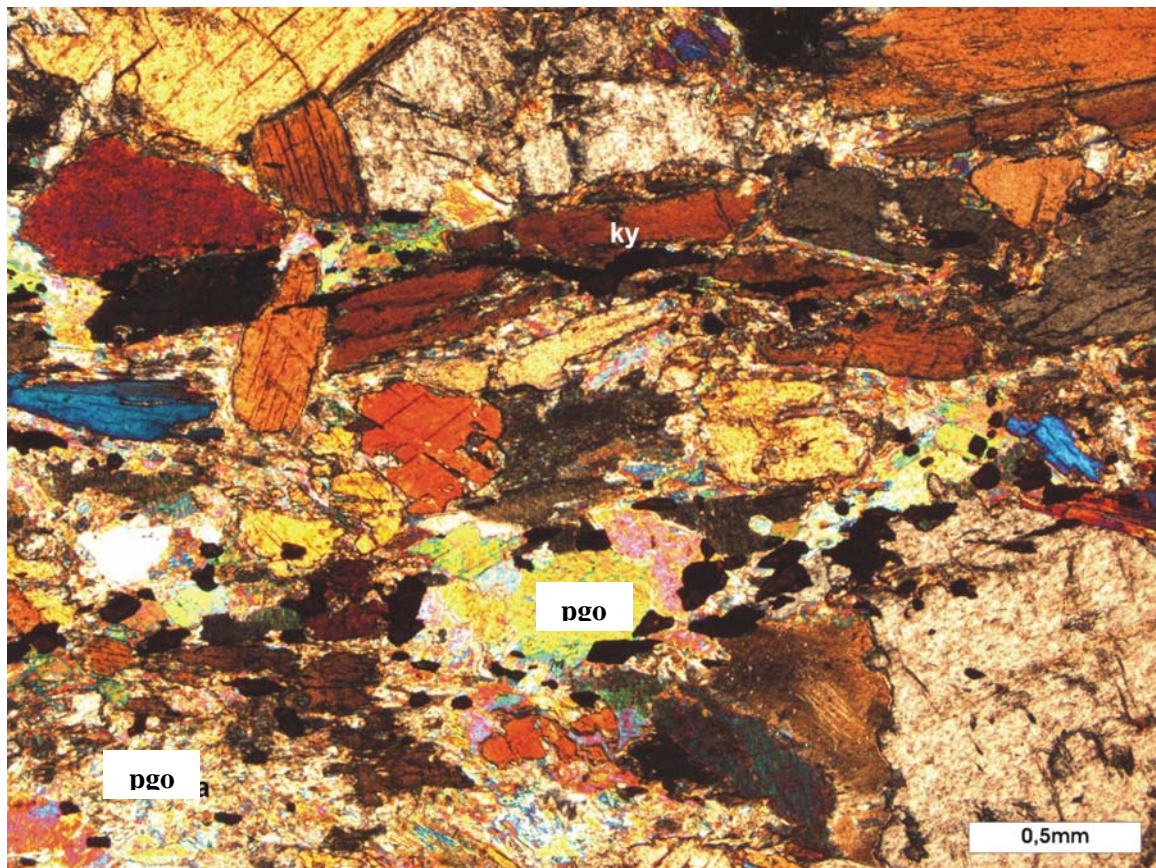


Figura 3.47 – Fotografia de lâmina delgada do feldspato-paragonita-cianita xisto (Nx). Destaque para cristais de cianita (ky) em meio à paragonita (pgo).

Capítulo 4 – Contexto Estrutural

4.1 - Introdução

O contexto geotectônico do Arco Magmático Mara Rosa expressa sistemas de falhas de empurrão e estruturas deformacionais planares, com tendência regional NE-SW, de mergulho de baixo ângulo (10° - 35°) para NW, geradas por esforços compressivos horizontais NW-SE (figura 4.1). Estas estruturas são detalhadas na região dos garimpos de esmeralda de Campos Verdes (Biondi 1990, Barros Neto 2000, D`el-Rey Silva & Barros Neto 2002), na mina de Cu e Au Chapada em Alto Horizonte (Ramos Filho *et al.* 2003, Borges *et al.* 2005) e em Posse (Palermo 1996).

No entorno da região estudada, são descritas grandes estruturas geradas no sistema compressivo brasileiro: a Zona de Cisalhamento Rio dos Bois (Ramos Filho *et al.*, 2004); a Zona de Cisalhamento Mandinópolis (Jost *et al.*, 2001); e o Sinclínório do Rio do Peixe (Barros Neto 2000, D`el-Rey Silva & Barros Neto 2002). A Zona de Cisalhamento Serra das Araras, demarcada pela serra homônima e onde se localiza a mina de cianita, está associada ao mesmo evento de geração destas estruturas.

4.1.1 – Zona de Cisalhamento Rio dos Bois

A Zona de Cisalhamento Rio dos Bois é uma importante feição estrutural regional compressão brasileira localizada a leste do Arco Magmático Mara Rosa, que se estende para nordeste perto de Tocantins (figura 4.1). Mostra-se em grande extensão delineada pelo rio homônimo e sua expressão geomorfológica é de maneira geral discreta, sendo localmente realçada por serras lineares e estreitas demarcadas por cianita quartzito e cianitito. Esta descontinuidade tectônica, que delimita unidades do Arco Mara Rosa com os terrenos do Maciço de Goiás, comporta-se de maneira geral como uma zona de cisalhamento reversa com alta obliquidade e disposição geral $N20-40^{\circ}E/20-40^{\circ}NW$.

Na região de Chapada, a falha Rio dos Bois coloca a seqüência Mara Rosa sobre a seqüência Santa Terezinha, e é responsável pelo metamorfismo retrogressivo de fácies xisto verde com alteração hidrotermal (Ramos Filho *et al.* 2003).

4.1.2 – Zona de Cisalhamento Mandinópolis

Jost *et al.* (2001) descrevem a Zona de Cisalhamento Mandinópolis, localizada no extremo sul do Arco Mara Rosa, entre as cidades de Santa Terezinha de Goiás e Guarinos, como parte do sistema de falhas Rio dos Bois gerado durante o brasileiro.

Esta zona de cisalhamento também limita terrenos proterozóicos de arco magmático com arqueanos do Maciço de Goiás. O traço de cisalhamento tem direção E-W e se estende por 45 km. Esta falha é representada por 300 m de largura de milonitos e ultramilonitos, associados à protomilonito, com atitude média da foliação EW/30°N. Tem caráter de rampa frontal com transporte das rochas proterozóicas para sul, com variações para sudeste, sobre os terrenos arqueanos. Alteração hidrotermal está associada à falha e representada por carbonatação disseminada de intensidade crescente dos protomilonitos aos milonitos (Jost *et al.* 2001).

4.1.3 – Sinclínório do Rio do Peixe

O distrito esmeraldífero de Campos Verdes (ou Santa Terezinha) foi alvo de importantes trabalhos que contribuíram para o conhecimento do contexto geológico e estrutural do Arco Mara Rosa (Biondi 1990, Barros Neto 2000, D´el-Rey Silva & Barros Neto 2002).

A seqüência Santa Terezinha é marcada por cisalhamento simples progressivo para SE com descolamento da superfície do acamamento primário (Biondi 1990, Barros Neto 2000, D´el-Rey Silva & Barros Neto 2002, Biondi 2003). São descritos três estágios deformacionais no distrito esmeraldífero (Barros Neto 2000, D´el-Rey Silva & Barros Neto 2002): o primeiro D1 desenvolveu foliação, normalmente miloníticas, sub-paralela ao acamamento primário, com mergulho suave para NW, e dobras isoclinais assimétricas decimétricas a centimétricas; o segundo evento D2 desenvolveu dobras assimétricas fechadas e isoclinais com plano axial de mergulho suave para NW, às quais se associam dobras em bainha com eixo NNW-SSE; e o terceiro evento D3 desenvolveu crenulação e dobras com plano axial sub-vertical de mergulho para NW.

O Sinclínório do Rio do Peixe é uma grande estrutura situada na região de Campos Verdes, com 15 km de extensão e 6 de largura (figura 4.1), como variação gradativa e contínua das direções das foliações das rochas da seqüência Santa Terezinha. Foi originado na última fase deformacional (D3), devido ao fluxo dúctil na direção NNW-SSE a partir de rotação na direção do fluxo regional em função da presença de talco xistos e da compressão NW-SE (Barros Neto 2000).

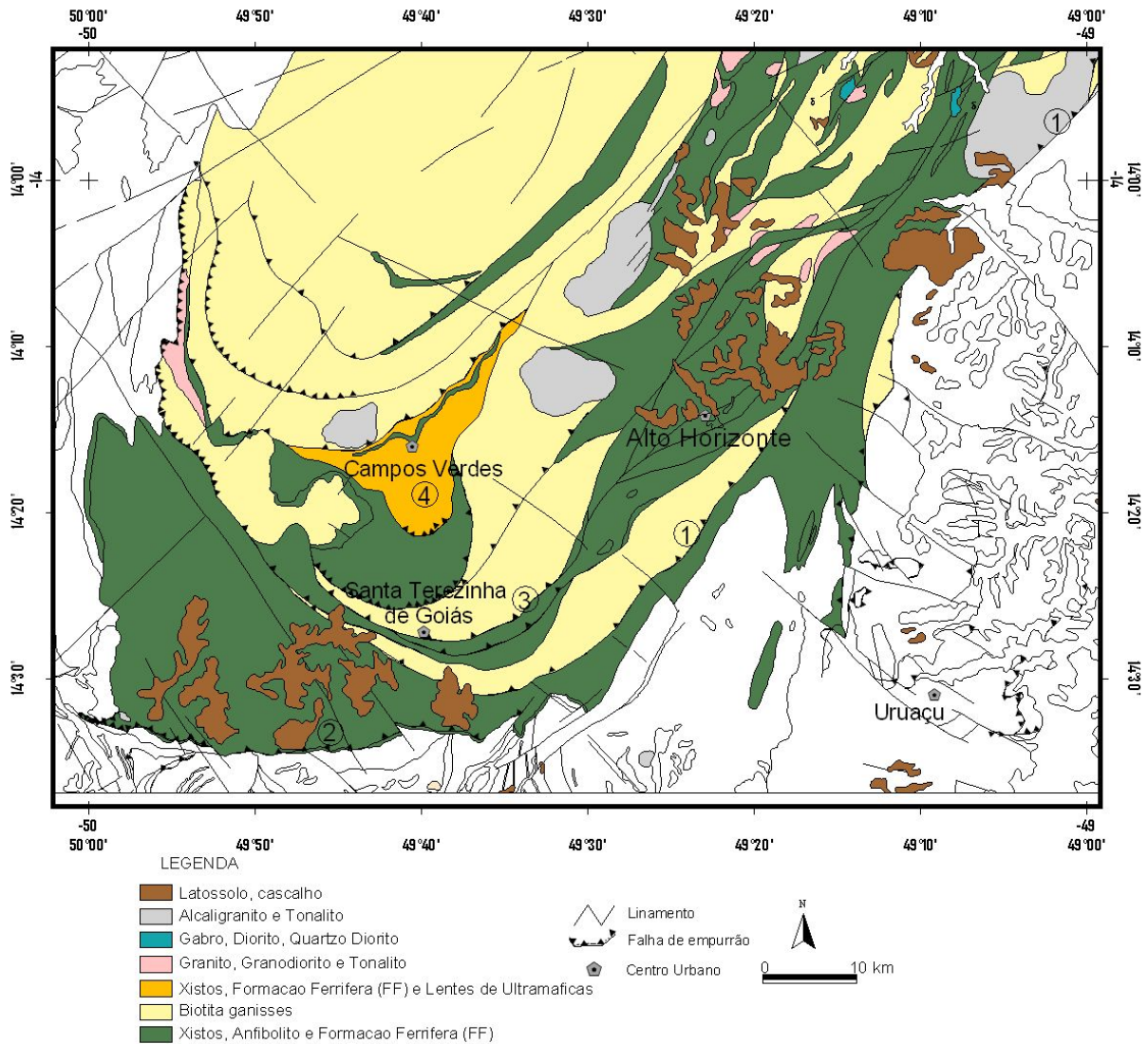


Figura 4.1 – Mapa geológico regional da porção sul do Arco Mara Rosa. 1) Zona de Cisalhamento Rio dos Bois; 2) Zona de Cisalhamento Mandinópolis; 3) Zona de Cisalhamento Serra das Araras; 4) Sinclínório do Rio do Peixe (SIG-Goiás, 2000).

4.2 – Zona de Cisalhamento Serra das Araras

A Zona de Cisalhamento Serra das Araras é curva, em mapa, com o lado côncavo para o norte e localiza-se entre as cidades de Santa Terezinha de Goiás e Nova Iguaçu de Goiás (figura 4.1). É uma falha de empurrão, associada ao sistema de falhas Rio dos Bois, com mergulho de aproximadamente 30° para N-NW com direção da foliação sub-paralela à crista da serra.

A Zona de Cisalhamento Serra das Araras controla as concentrações de cianita e é evidenciada pela topografia saliente da serra homônima demarcada por cianita quartzito e cianitito, com direção NE-SW (figura 4.2A).

4.2.1 – Fases de deformação

Na região de Santa Terezinha de Goiás, apesar da pouca exposição de rochas em afloramento com estruturas preservadas, foi possível constatar que as estruturas impressas nas rochas mostram processo deformacional progressivo que pode ser enquadrado em um evento tectônico, composto por três fases de deformação (D_1 , D_2 e D_3) (tabela 4.1). Os principais lineamentos têm direções NE-SW, NW-SE e EW (figura 4.2).

As duas primeiras fases deformacionais provocaram imbricamento de escamas de empurrão (figura 4.3 A). D_1 é responsável pela foliação SW-NE e dobras interestratais recumbentes. D_2 formou dobras isoclinais assimétricas de vergência para SE e a Zona de Cisalhamento Serra das Araras. D_3 é uma fase rúptil-dúctil que corta as estruturas NE-SW com fraturas de escalas regionais NW-SE.

Tabela 4.1 – Fases de deformação e principais estruturas identificadas.

DEFORMAÇÃO	ESTRUTURAS RESULTANTES
D_1	Foliação NE-SW sub-horizontal, dobras interestratais recumbentes.
D_2	Dobras isoclinais e assimétricas, Zona de Cisalhamento Serra das Araras, segregação da cianita.
D_3	Fraturas NE-SW e NW-SE, falha NE-SW transcorrente dextral e estiramento mineral.

A fase D_1 , descrita regionalmente, responsável por regime de cisalhamento interestratal que desenvolveu foliação (S_1) de direção NE-SW (D'el-Rey Silva & Barros Neto 2002). Em rochas ricas em minerais micáceos (muscovita, clorita e biotita), S_1 é responsável pelo desenvolvimento de xistosidade. Esta foliação é sub-paralela ao acamamento sedimentar primário (S_0), o qual não se faz presente na área em decorrência da intensa deformação imposta pelas sucessivas fases.

A segunda fase deformacional origina extensas falhas de empurrão, foliações e dobras. A foliação S_2 envolve S_1 , durante esta deformação progressiva, com direção NE-SW ora para NW e ora para SE, de mergulho de baixo ângulo (10° - 30°) (figura 4.4A). D_2 é marcada por dobras isoclinais assimétricas de dimensões centimétricas a métricas. Apresentam superfície axial sub-paralela à S_2 e eixos NE-SW (figura 4.3). São descritas regionalmente em D_2 , dobras em bainha de escala centimétrica, com eixo de direção aproximadamente NW-SE e E-W (D'el-Rey Silva & Barros Neto 2002).

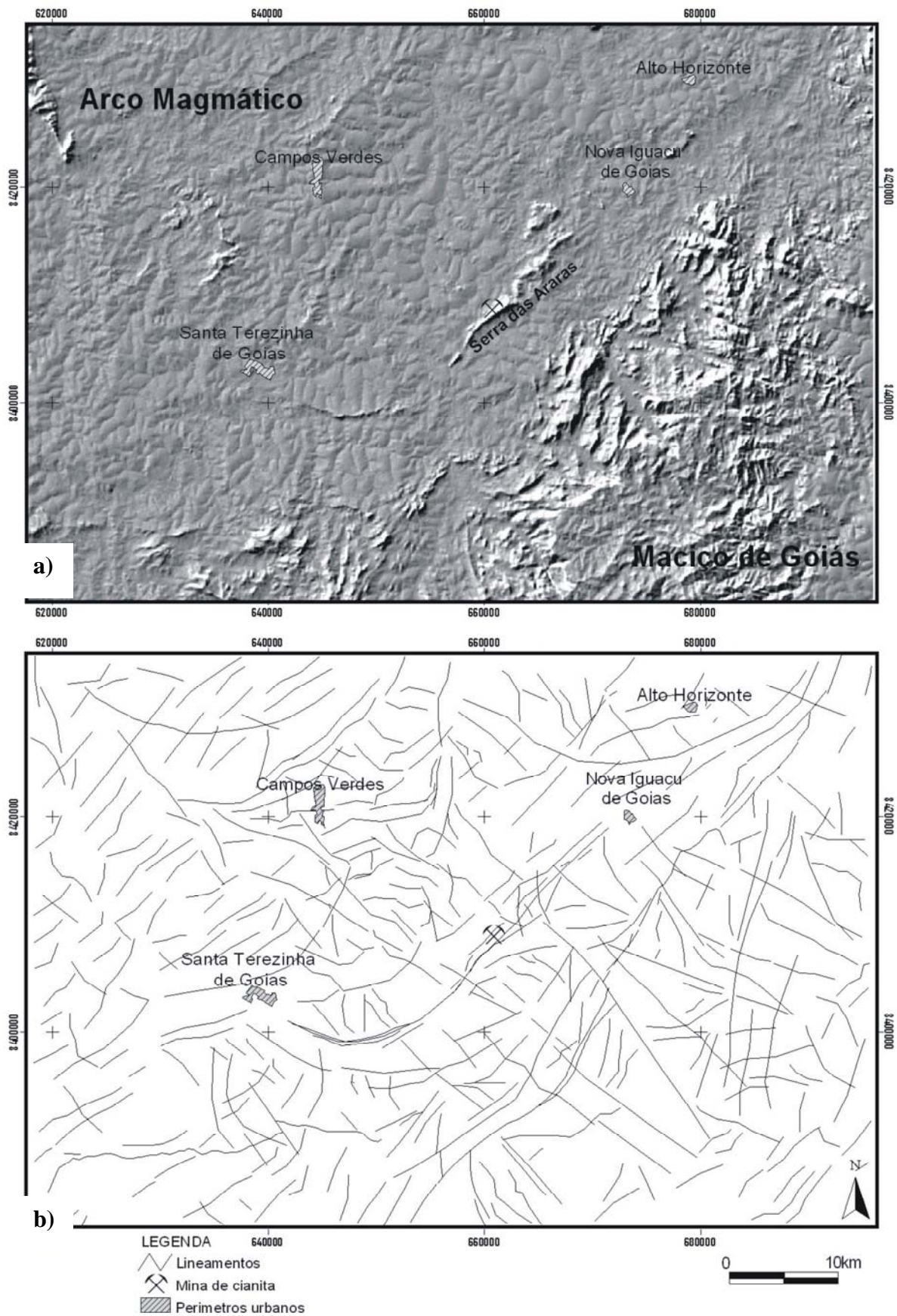


Figura 4.2 – a) Imagem de radar SRTM tratada com filtro direcional de 45° para evidenciar estruturas de direção NE-SW; b) Lineamentos interpretados da imagem radar com filtro em direções variadas.

O domínio da Serra das Araras apresenta estruturas planares de direção NE-SW com mergulho entre 20° e 50° para NW (S_2 300/20°). Afloramentos no alto da serra mostram dobras assimétricas com vergência para SE confirmando o encurtamento crustal NW-SE, com eixos de direção 15/030° (Lb) paralelo à zona de cisalhamento (figura 4.5).

Nesta fase são cristalizados grãos de cianita e formadas segregações em meio ao cianita quartzito, em bolsões constituídos por 90% de cianita diablástica, como remobilizações de cianita para os eixos das dobras e núcleos de sigmóides durante o processo metamórfico progressivo desta fase (figura 4.7 e 4.8). Os cristais de cianita no cianita quartzito e cianita xisto são deformados durante a D_2 , apresentam-se estirados, com extinção ondulante, dobrados e por vezes formam sigmóides (figura 4.9 a 4.14).

A fase D_3 é marcada por lineamentos regionais NW-SE e NE-SW, expressivos nas imagens de satélites (figura 4.15). São falhas e fraturas tardias que deslocaram e desmantelaram as rochas da região. Estes lineamentos recortam os terrenos arqueanos e proterozóicos, e fazem parte de um processo rúptil-dúctil. O Rio do Peixe marca um destes grandes lineamentos. Na região de Campos Verdes também são descritas falhas de direção NNW-SSE e NNE-SSW (Barros Neto, 2000).

A Serra das Araras foi deslocada e fraturada por estes lineamentos que geraram quebra no relevo. Em alguns locais ocorreu o deslocamento da crista para direção N-S (figura 4.2). Este sistema, de fraturas e falhas, forma grandes blocos e matacões e são raros afloramentos ao longo da serra. Além disso, os cristais de cianita são fraturados perpendicularmente ao eixo maior.

Nesta fase também ocorreram falhas transcorrentes dextrais e na área estudada é vista em afloramento de metatonalito na base da Serra das Araras. Estas falhas aparecem localmente no afloramento com foliação vertical de direção NE-SW e geração de sigmóides (figura 4.3C). A Suíte Metaplutônica é marcada por estiramento mineral (Lx_3), decorrente destas transcorrências, com direção NE-SW, de baixo ângulo de caimento (20°) (figura 4.4B). Tais estruturas são geradas por alongação de minerais tabulares como feldspato e quartzo (figura 4.6).

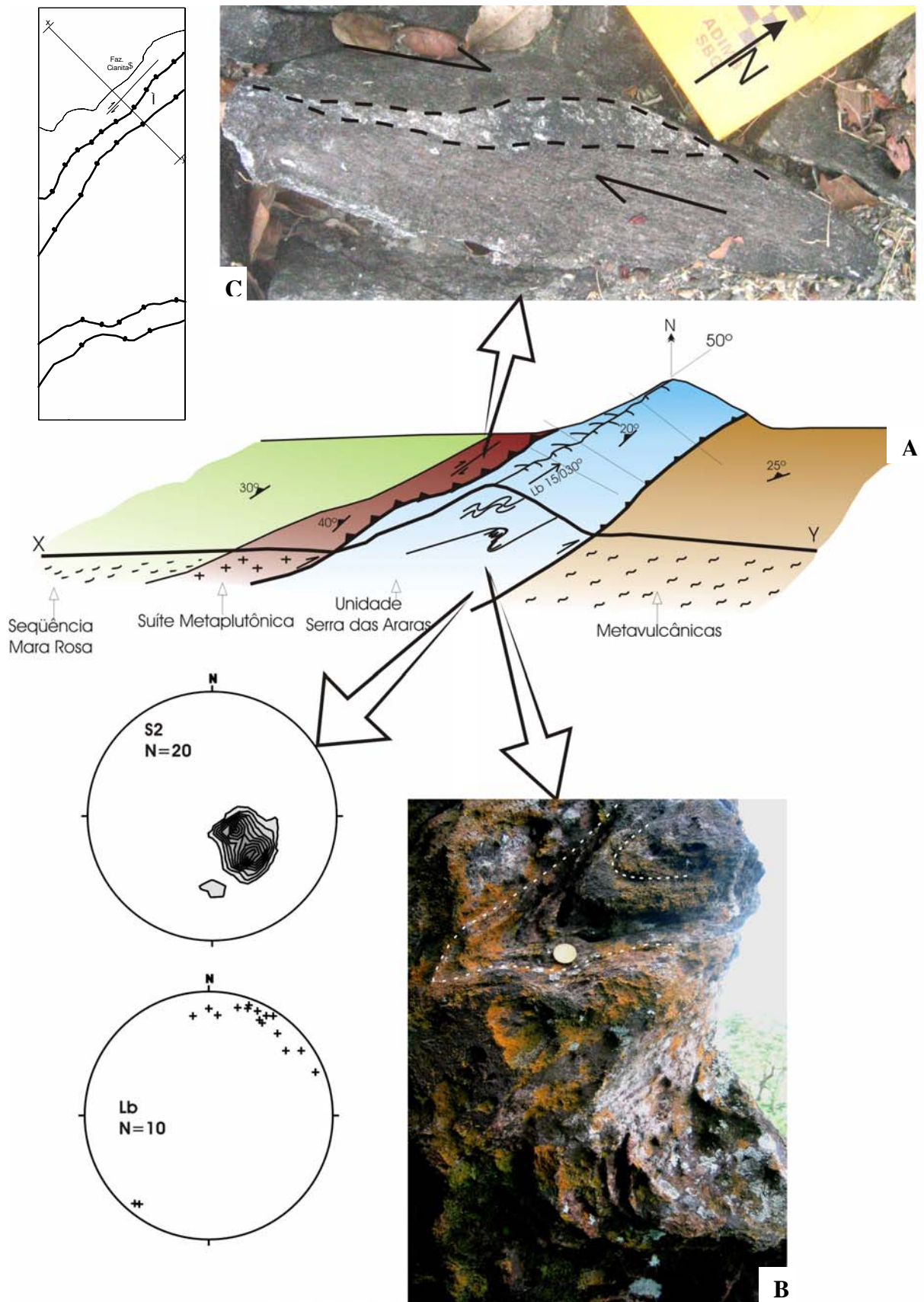


Figura 4.3 – A) Perfil NW-SE (X-Y) englobando a Serra das Araras e domínios encaixantes, com estatística da foliação (S2) e eixo de dobras (Lb) no domínio da Serra das Araras a partir do plote dos pólos no hemisfério inferior da rede Schimidt-Lambert; B) Dobra em afloramento na Serra das Araras; C) Sigmóide em falha transcorrente dextral atribuída à D₃.

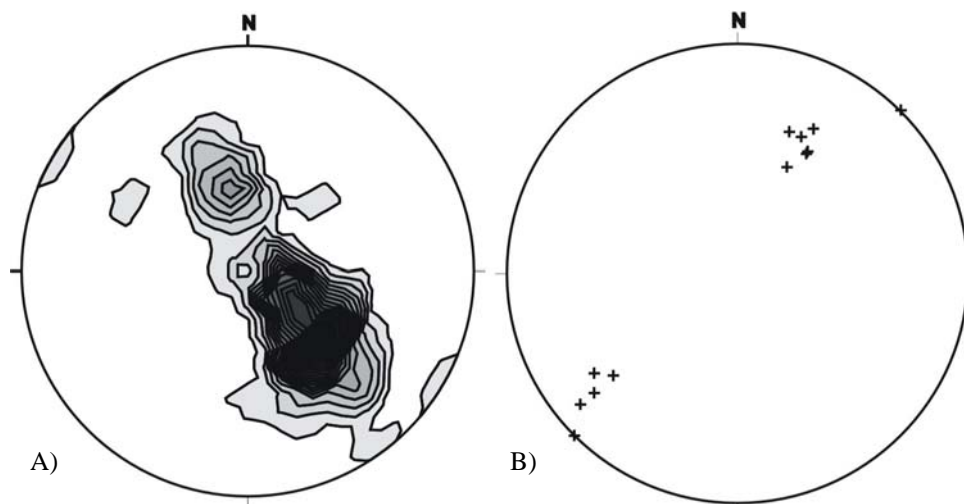


Figura 4.4 - Estatísticas das estruturas próximas a zona de cisalhamento Serra das Araras a partir do plote dos polos no hemisfério inferior da rede Schmidt-Lambert; A) pólos S1//S2 (n=63); B) polos de Lx3 (n=12).



Figura 4.5 – Afloramento no alto da Serra das Araras com dobras assimétricas com vergência para SW.

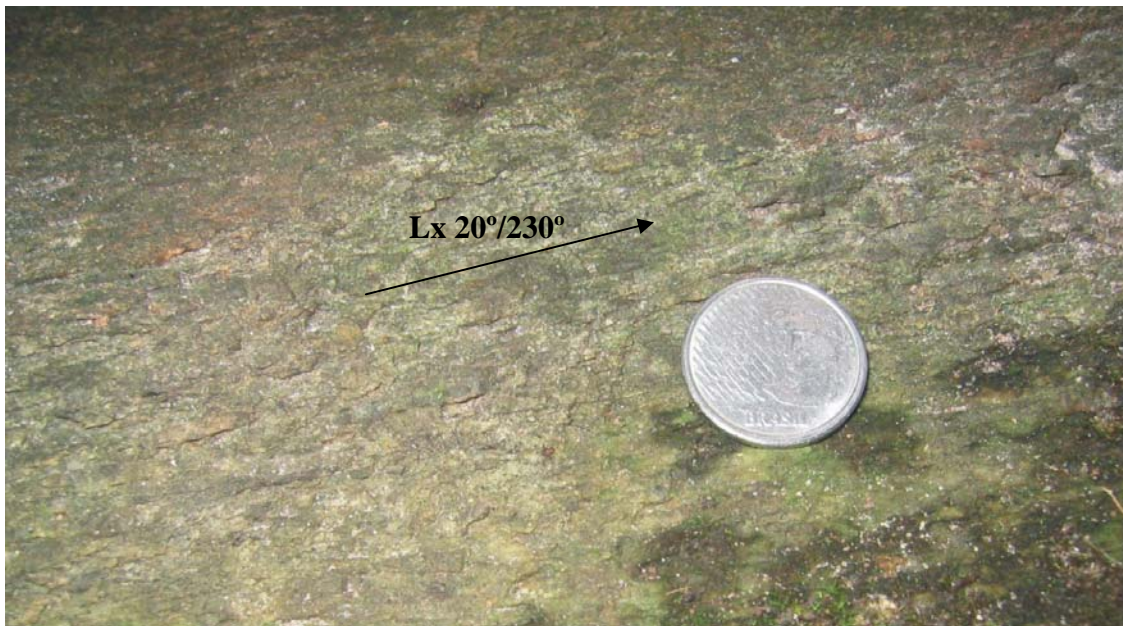


Figura 4.6 – Fotografia de metagranodiorito em afloramento em córrego dentro da Fazenda Cianita, que mostra grãos de quartzo e feldspatos estirados (Lx3 25°/230°).



Figura 4.7 – Bloco de cianita quartzito com nódulo de cianitito com cristais de cianita diabláticos. Localizado na lavra da mina de cianita, na Fazenda Cianita.



Figura 4.8 – Fotografia de afloramento localizado na Serra das Araras na Fazenda Araras. Destaque para nódulo de cianitito em meio ao cianita quartzito.

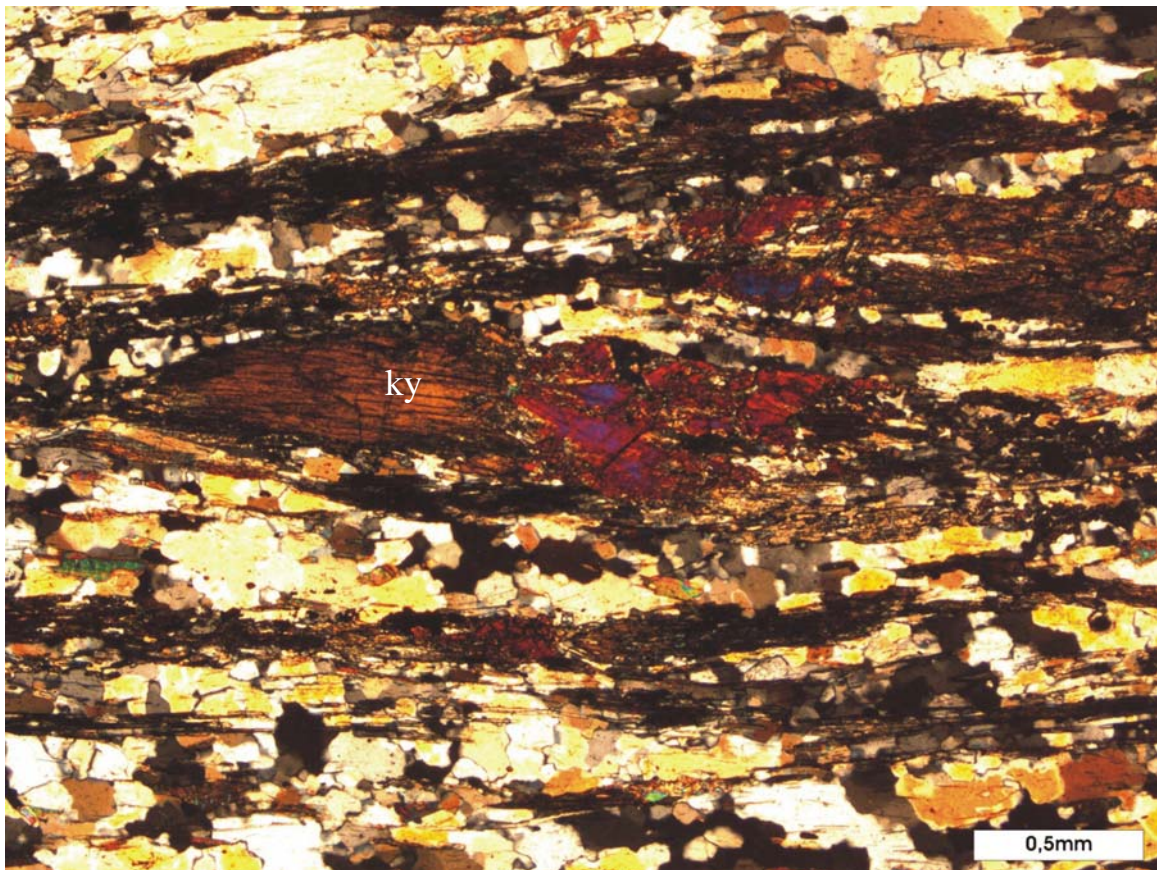


Figura 4.9 – Fotografia de lâmina delgada (Nx) de muscovita-cianita xisto. Destaque para cristais de cianita (ky) estirados.

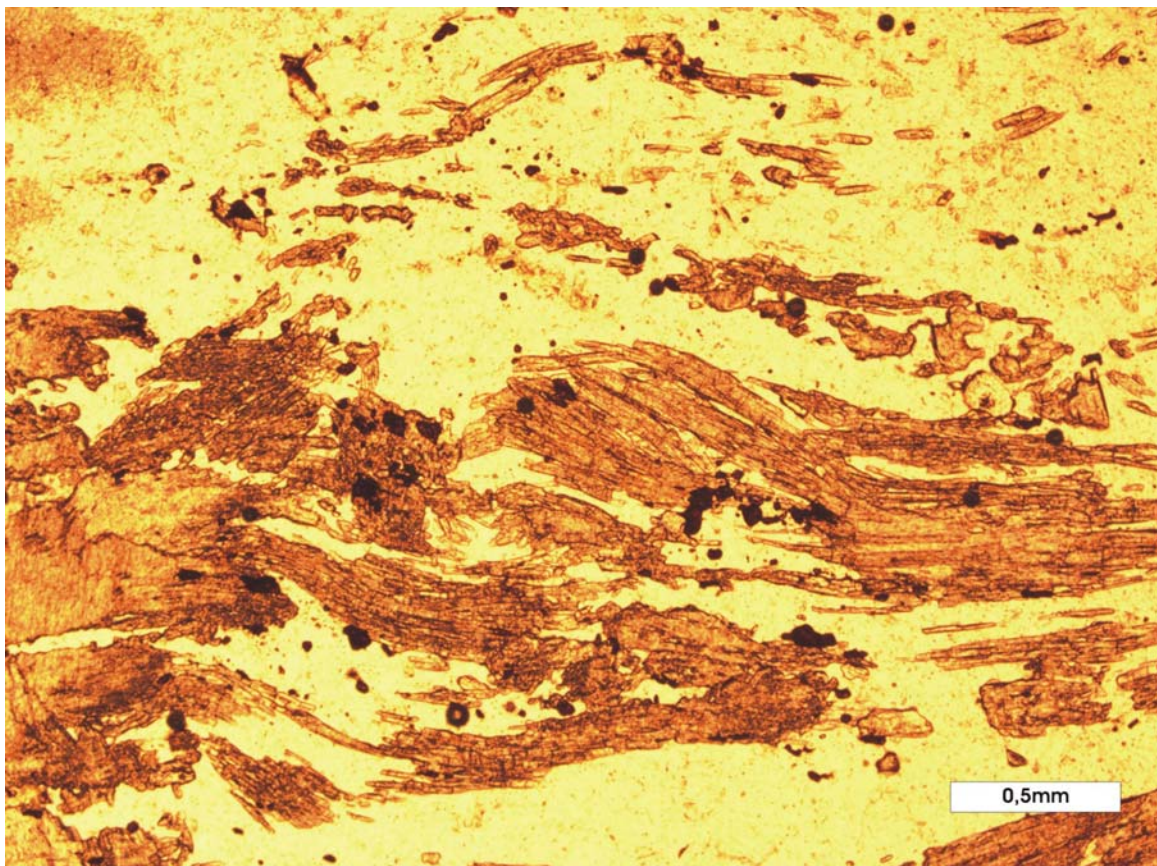


Figura 4.10 – Fotografia de lâmina delgada (N//) de cianita quartzito. Destaque para cristais de cianita deformados em forma de sigmóides.

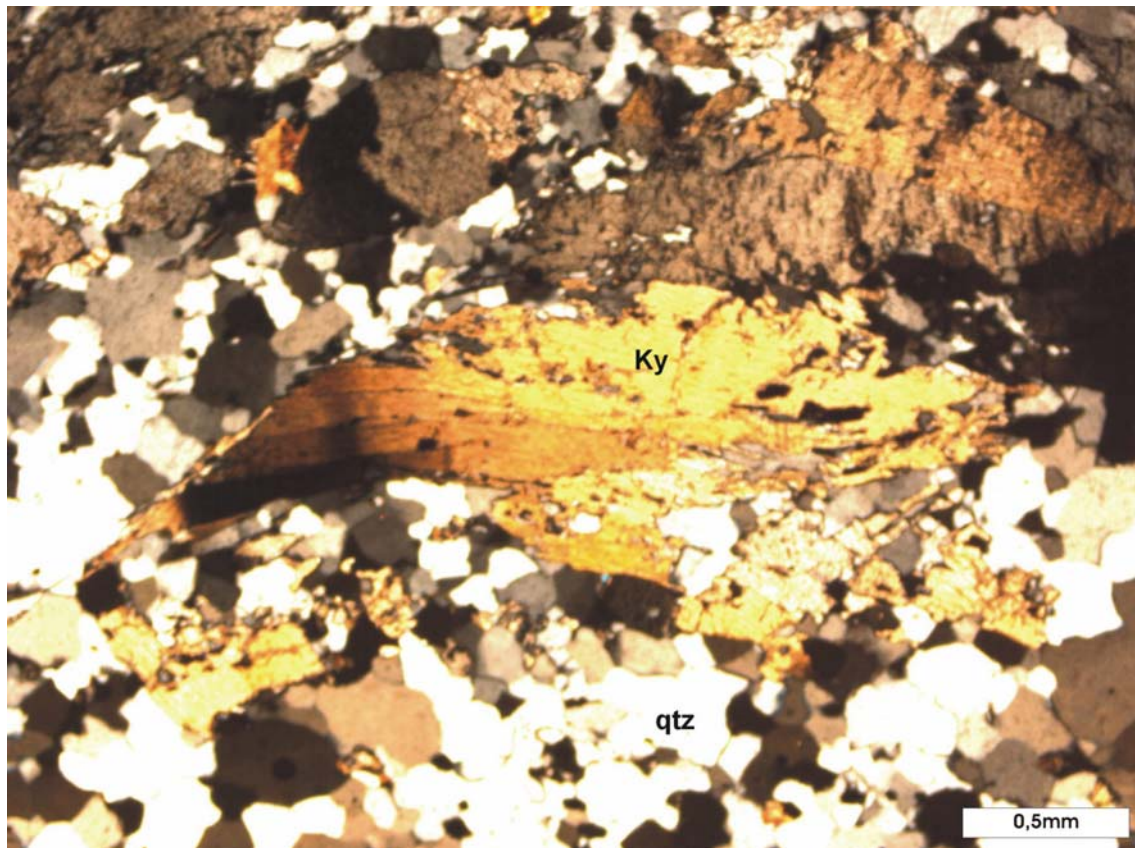


Figura 4.11 – Fotografia de lâmina delgada (Nx) de cianita quartzito. Destaque para cristal de cianita (ky) com extinção ondulante.

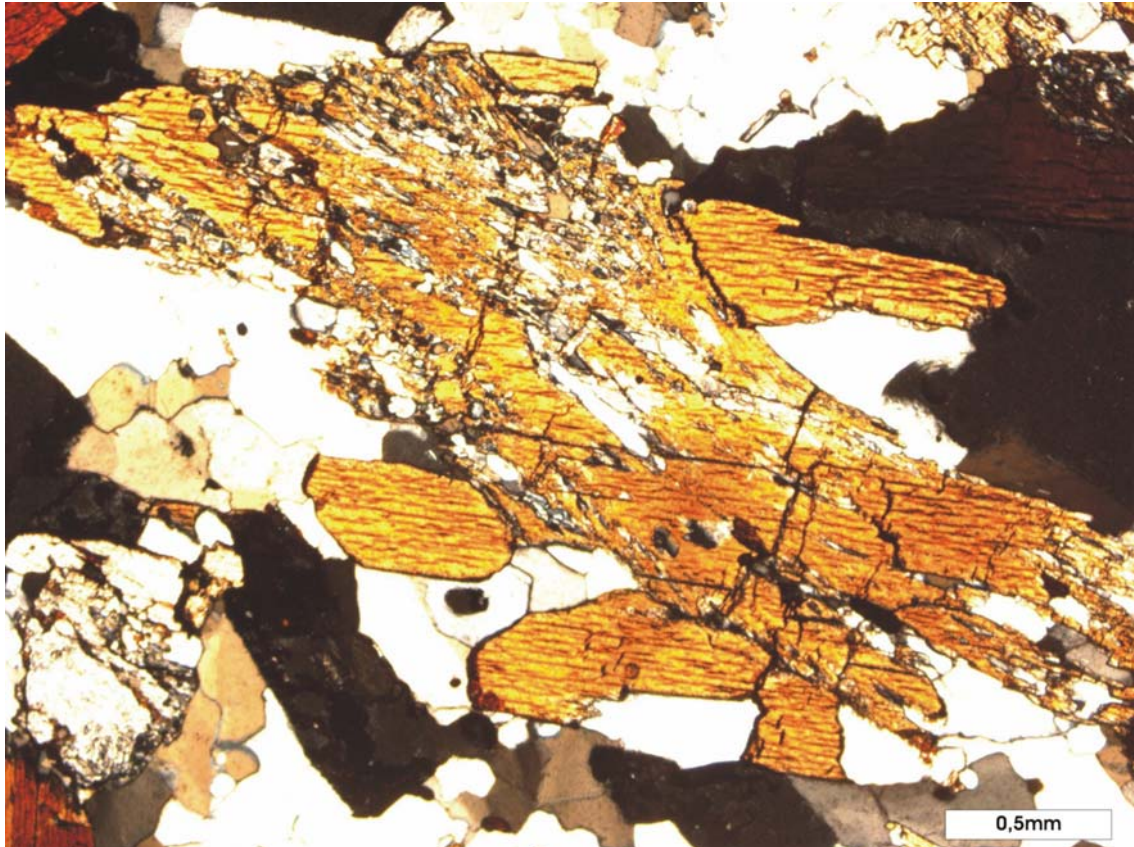


Figura 4.12 – Fotografia de lâmina delgada (Nx) de muscovita-cianita quartzito. Destaque para cristal de cianita deformado.



Figura 4.13 – Fotografia de lâmina delgada (Nx) de muscovita cianita quartzito. Destaque para cristais de cianita deformados, com extinção ondulante e microdobras.

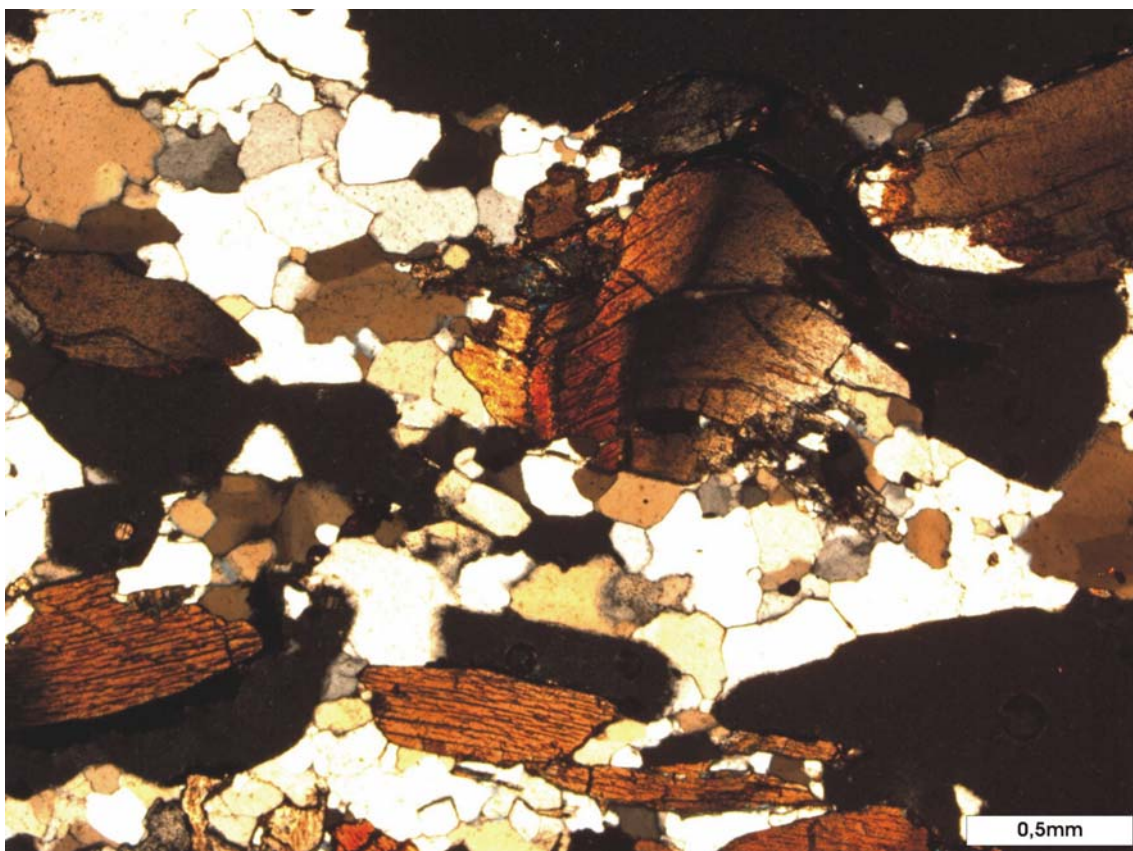


Figura 4.14 – Fotografia de lâmina delgada (Nx) de cianita quartzito. Destaque para deformação impressa nos grãos de cianita com extinção ondulante.

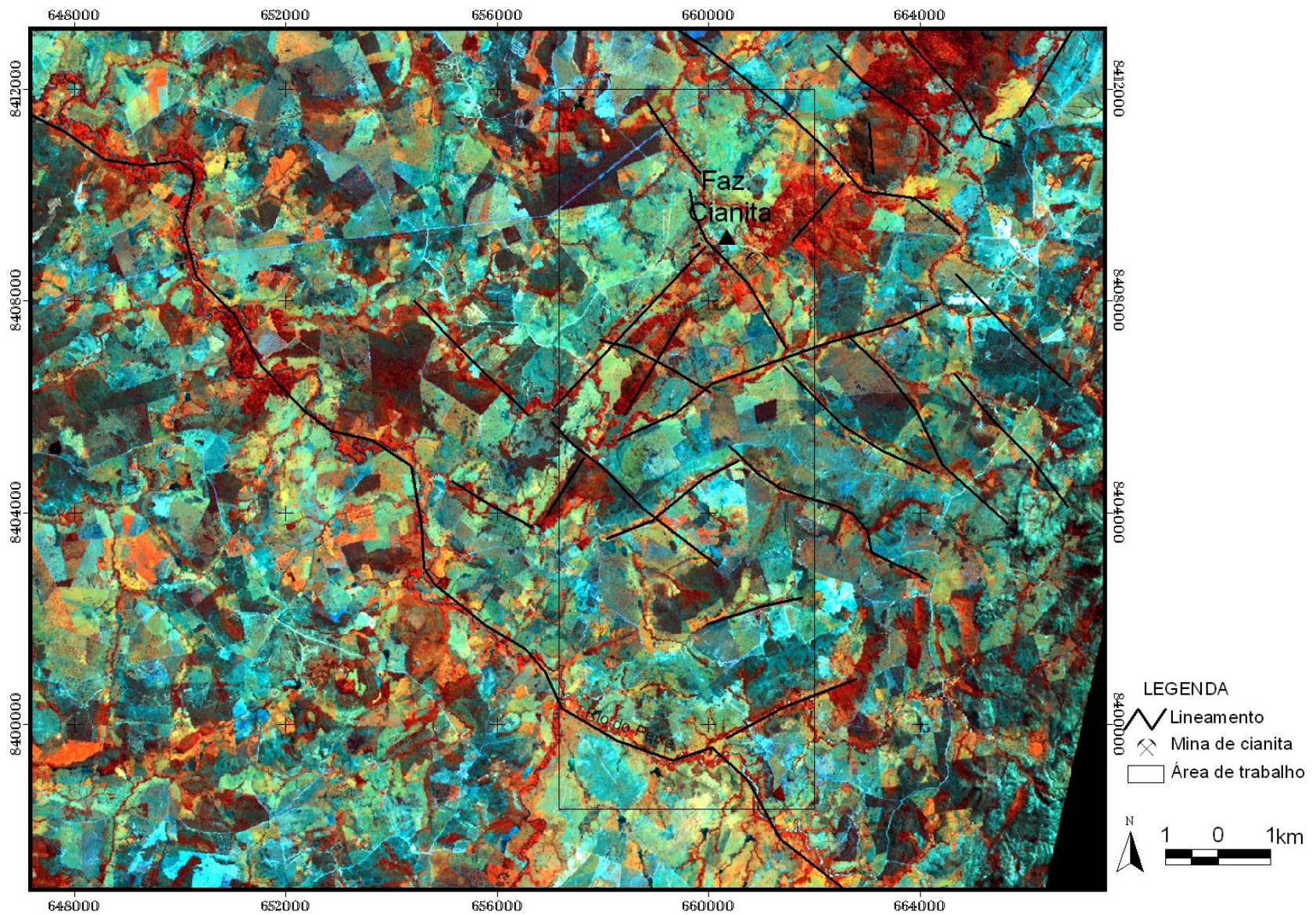


Figura 4.15 – Imagem Aster na banda do infravermelho próximo (VNIR) com lineamentos regionais.

4.3 – Evolução Estrutural e Metamorfismo

O Arco Mara Rosa é caracterizado por evolução tectônica monocíclica brasileira, com fluxo regional de sentido sudeste marcado por imbricamento de várias escamas de empurrão.

A tabela 4.2 resume os principais eventos associados à evolução do Arco Mara Rosa, incluindo a formação do depósito de cianita. Análises geocronológicas Sm-Nd, em granada-rocha total de metassedimentos sugerem dois picos de metamorfismo na região de Mara Rosa. O mais antigo estaria entre 760 e 730 Ma caracterizado por altas condições de P/T, e um mais jovem com idades entre 610 e 600 Ma, interpretadas como o final do fechamento da bacia oceânica (Junges *et al.* 2002). Titanitas de rochas metavulcânicas apresentaram idade U-Pb de 632 ± 4 Ma (Pimentel *et al.* 1997) que podem estar associadas a este pico de metamorfismo mais jovem.

Rutilos de muscovita-cianita quartzito da Serra das Araras foram selecionados para análises convencionais de U-Pb e intercepta a curva de concórdia em $570,6 \pm 5,6$ Ma, considerada como indicadora da época de metamorfismo durante a formação da Zona de Cisalhamento Serra das Araras (figura 4.16). O rutilo aparece como inclusões e entre os grãos de cianita, indicando que este aluminossilicato foi formado durante o metamorfismo (figura 4.17). Esta idade pode estar associada a um pico de metamorfismo subsequente à descrita em 632 Ma por Pimentel *et al.* (1997).

D₁ é associado ao primeiro pico de metamorfismo em fácies anfíbolito (cianita-silimanita) impresso nas rochas da seqüência Mara Rosa (Junges 1998). A segunda fase é responsável por dobras de arrasto, exibindo flancos longos e curtos, com espessamento de charneira, e parasíticas intrafoliares, com assimetria indicativa de vergência geral para SE. Esta fase está diretamente relacionada à formação da Zona de Cisalhamento Serra das Araras e representa metamorfismo de fácies anfíbolito com cristalização de cianita. Segregações de cianita foram formadas nos eixos de charneiras e desenvolveram buchos de cianitito diablástico em meio ao cianita quartzito.

Cloritização e epidotização são comuns em anfíbólios e plagioclásios, enquanto sericitização é freqüente em feldspatos e silicatos aluminosos indicando retrometamorfismo em fácies xisto-verde após o pico de metamorfismo responsável pela geração da zona de cisalhamento.

A última fase D₃ é tem caráter rúptil-dúctil representado por falhas e fraturas métricas a quilométricas de direções principais NW-SE e NE-SW. Estas estruturas são regionais e cortam além do Arco Mara Rosa, os terrenos do Maciço de Goiás.

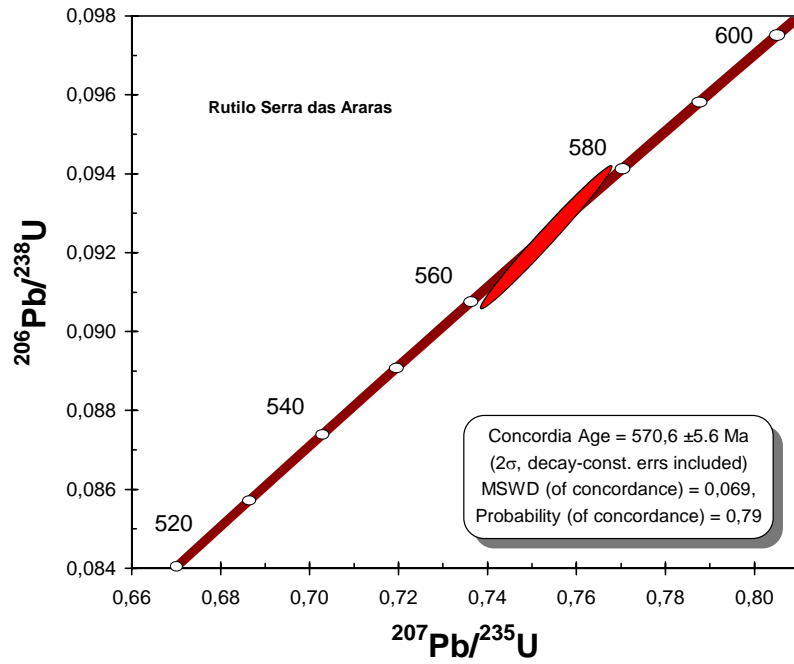


Figura 4.16 – Diagrama concórdia U-Pb que mostra dados do rutilo do muscovita-cianita quartzito da Serra das Araras

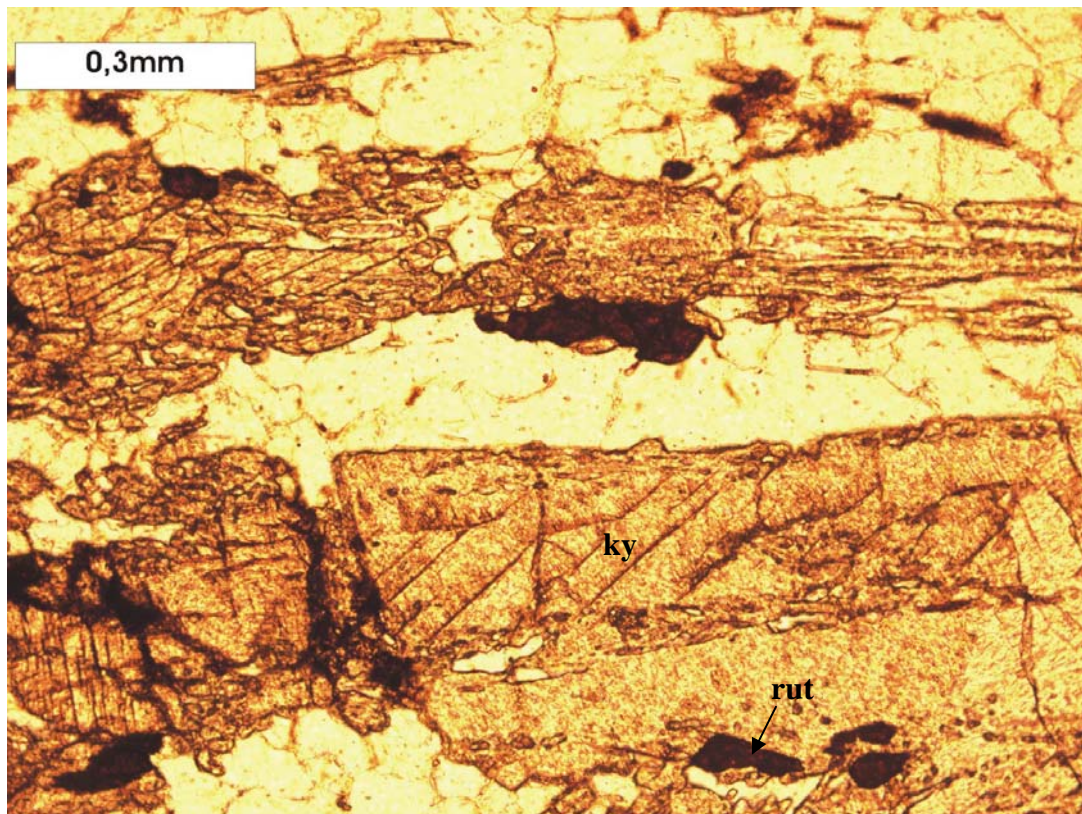


Figura 4.17 – Fotografia de lâmina delgada (N//) de muscovita-cianita quartzito. Destaque para rutilo (rut) como inclusões nos cristais de cianita (ky).

Tabela 4.2 – Evolução geológica do Arco Magmático Mara Rosa.

Deformação	Magmatismo/ Sedimentação	Alteração Hidrotermal	Metamorfismo	Mineralização
	Formação de litosfera oceânica			
	Seqüência Mara Rosa Intrusões tonalíticas 862 ±8 Ma a 856+13/-7 Ma (U-Pb em zircão) ^I	Alteração magmática- hidrotermal aluminosa	Metamorfismo de fundo oceânico	
Fase D₁			Metamorfismo regional de fácies anfíbolito (silimanita-cianita) Metassedimento 760-730 Ma (Sm-Nd em granada- rocha total) ^{II}	
	Seqüência Santa Terezinha Vulcânicas (U-Pb zircão) ^{III} - intermediária 670 ±4 Ma - ácida 666 ±8 Ma Intrusões (U-Pb em zircão) ^{III} - granodiorítica 648 ±5 Ma - tonalítica 633 ±7 Ma - granítica 611 ±11 Ma			
Fase D₂	Intrusões Diorito 630 ±3 Ma (U-Pb em zircão) ^I	Alteração magmática- hidrotermal aluminosa	Metamorfismo regional de fácies anfíbolito (silimanita-cianita) Gnaiss 632 ±4 Ma (U-Pb em titanita) ^I Metassedimento 610-600 Ma (Sm-Nd em granada- rocha total) ^I ; Metamorfismo de fácies anfíbolito (cianita-granada- estaurolita) 570 ±5,6 Ma (U-Pb em rutilo)	Depósito de cianita Serra das Araras

^I Pimentel *et al.* 1997; ^{II} Junges *et al.* 2002; ^{III} Fuck *et al.* submetido.

Capítulo 5 – Química Mineral e Geoquímica

5.1 – Química Mineral

A cianita ($\text{Al}^{[6]}\text{Al}^{[6]}\text{SiO}_5$) é um nesossilicato, que integra o grupo mineralógico dos aluminossilicatos (Al_2SiO_5) e tem como polimorfos a andaluzita ($\text{Al}^{[6]}\text{Al}^{[5]}\text{SiO}_5$) e a silimanita ($\text{Al}^{[6]}\text{Al}^{[4]}\text{SiO}_5$) (Klein & Hurlbut 1999). Os três polimorfos são comuns em rochas metamórficas ricas em alumínio comumente em fácies anfibolito baixo a alto (Miyashiro 1973).

A cianita possui normalmente coloração azul, mas pode ser verde e cinza, com dureza 5 ao longo do prisma e 7 no sentido transversal. O arranjo cristalino da cianita é comumente 1:1, em que as cadeias de octaedros de Al-O paralelo ao eixo cristalino *c* são ligadas entre si pelos íons de Si, Al e O. Os íons de Si são coordenados por quatro íons de oxigênio e o Al por seis, onde o Si fica entre quatro oxigênios e resulta em um tetraedro SiO_4 independente (figura 5.1). Os átomos de oxigênio têm ordenação cúbica, compacta e ligeiramente distorcida (Deer *et al.* 1966).

A estabilidade dos polimorfos de Al_2SiO_5 depende principalmente da pressão e temperatura. São pequenas as diferenças na entropia e energia livre entre os três polimorfos, mas a substituição parcial de Al^{3+} por Fe^{3+} pode resultar na distorção da estrutura e em uma ligeira troca por outros componentes (Miyashiro, 1973).

Chamada também de distênio, a cianita é encontrada comumente em gnaisses e xistos. Ocorre comumente como cristais longos, finos e laminados, ou como agregados cristalinos associado a metamorfismo regional de rochas paraderivadas. O nome deste mineral é derivado da palavra grega *kyanos* que significa azul (Klein & Hurlbut 1999).

A cianita possui 60% de alumina, elemento químico determinante na refratariedade do mineral, além disso, suas propriedades físicas (tabela 5.1) e químicas são importantes para a utilização como matéria prima de produtos cerâmicos e refratários.

Elementos como cromo, ferro e titânio podem estar presentes na estrutura da cianita e alterar suas propriedades físico-químicas. O Ti e o Fe são comuns ao contrário do Cr que ocorre como Cr_2O_3 (Gil Ibarughi *et al.* 1991). Varias inclusões em cianita são descritas normalmente com significado genético: andaluzita, calcita, zircão, monazita e rutilo (King 2003). Cr^{+3} tem sido descrito como em uma variação de cromo-cianita com 1,81% de Cr_2O_3 (King 2003). Cromo-cianitas são descritas por Cooper (1980) em anfibolitos e metacherts da Nova Zelândia. É sugerido que elementos traços podem alterar a estabilidade de substâncias polimorfas, incluindo os de Al_2SiO_5 (King 2003). A

estabilidade da cianita rica em Cr representa cristalização em mais alta pressão (20kb) (Seifert & Langer 1970).

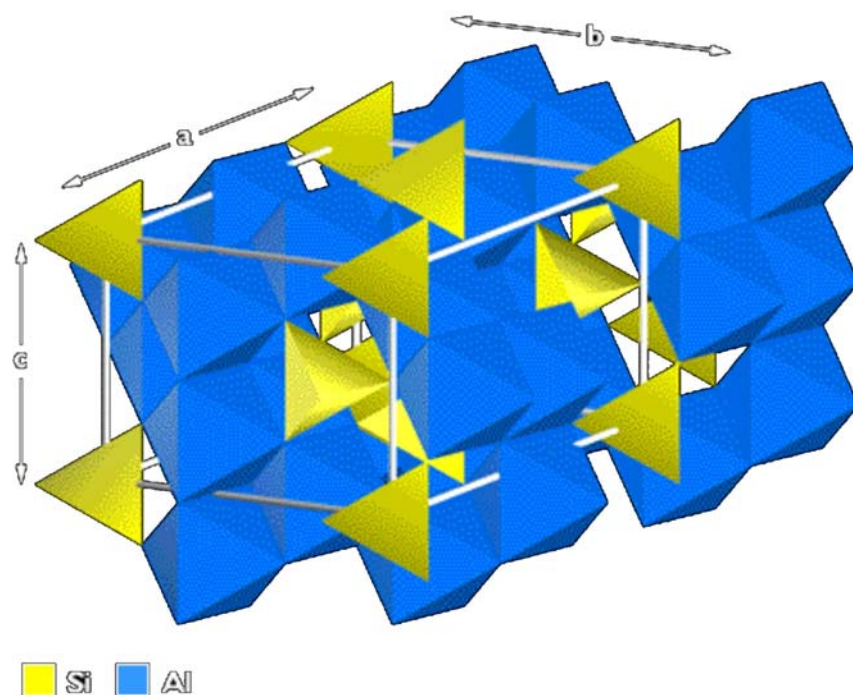


Figura 5.1 – Estrutura da cianita com cela unitária triclínica. A estrutura consiste em tetraedros independentes de SiO_4 ligados a octaedros de Al. (Klein & Hurlbut 1999).

Tabela 5.1 – Propriedades físicas da cianita (Klein & Hurlbut 1999).

Propriedade Física	CIANITA
Sistema Cristalino	Triclínico
Densidade específica	3,55-3,66
Índice de refração	1,712-7,734
Birrefringência	Moderada (0,012-0,016)
Dureza	5 paralelo ao eixo maior do prisma e 7 perpendicular
Cor	Azul, branco, cinza a preto, amarelo, verde
Brilho	Vítreo a fosco
Transparência	Translúcido a transparente
Clivagem	Perfeita {100}, boa {010}, $(100) \wedge (010) = 79^\circ$
Fratura	Solto em fibras
Traço	Branco

A substituição em qualquer um dos quatro sítios octaédricos de Al^{3+} pode resultar na variação de cor do cristal. Como mostra Owens & Dickerson (2001) no exemplo da província de Piedmont, estado da Virgínia – EUA, onde ocorrem dois tipos de cianita, uma azul acinzentado pálido a branco e outra azul acinzentado escuro a azul esverdeado. Análises em microsonda eletrônica do primeiro tipo revelam cerca de 0,4% de Cr_2O_3 e FeO, enquanto que a segunda é constituída quase exclusivamente por Al_2O_3 e SiO_2 . A adição de elementos na cadeia cristalina da cianita pode afetar significativamente a absorção e a reflexão da luz do visível.

5.1.1 - Resultados

Na Serra das Araras, foram selecionadas amostras representativas de cianita quartzito e cianitito maciço para serem caracterizadas por química mineral. Para comparação, também foram analisadas amostras de cianitito do depósito Rio Uru, localizado nas proximidades de Heitorai (GO), inserido no contexto do Complexo Granulítico Neoproterozóico Anápolis-Itaçu. As análises por microsonda eletrônica foram feitas no Laboratório de Microsonda Eletrônica da Universidade de Brasília, utilizando-se um equipamento *CAMECA SX50*.

De acordo com os dados obtidos não há variações químicas significativas entre a cianita que compõe o cianita quartzito e o cianitito (tabela 5.2). Os valores de SiO_2 variam entre 37,03 e 37,53% e Al_2O_3 entre 61,84 e 62,89%. Valores de TiO_2 , Cr_2O_3 , MgO , CaO , MnO , Na_2O e K_2O são abaixo de 0,07% e de FeO variam entre 0,08 e 0,5%.

Estes valores mostram que a cianita da Serra das Araras não possui elementos deletérios na sua estrutura que possam afetar a qualidade do minério como mineral industrial.

A substituição do Al^{3+} no sítio octaédrico por Cr causa variação na cor do cristal. A cianita da Serra das Araras tem tonalidade azul pálido e por vezes apresenta-se cinza, enquanto que a cianita encontrada em Heitorai é de um azul forte e escuro. As análises por microsonda eletrônica apresentam valores semelhantes para cianita dos dois depósitos a não ser pelos altos teores de Cr_2O_3 , entre 0,34 e 0,45%, na cianita do Rio Uru. Estes resultados podem explicar a diferença de coloração entre a cianita destes depósitos. Na Serra das Araras os teores de Cr_2O_3 não ultrapassam 0,06% e a coloração dos cristais é atribuída a valores entre 0,08 e 0,5% de FeO em sua estrutura.

Como já foi discutido, de acordo com os teores de Cr elevados, é atribuída a cianita da região de Heitorai fácies metamórfica com pressões mais elevadas do que em Santa Terezinha de Goiás.

Tabela 5.2 – Análises químicas por microsonda eletrônica de cianita que compõe o cianita quartzito e o cianitito maciço da Serra das Araras e cianitito do Rio Uru/Heitorai (Fórmula estrutural calculada com base em 20 oxigênios).

Análise	Santa Terezinha de Goiás								Rio Uru			
	Cianita Quartzito				Cianitito maciço				Cianitito Maciço			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
SiO₂	37,53	37,47	37,28	37,11	37,03	37,49	37,24	37,28	37,32	37,30	37,32	37,95
TiO₂	0,00	0,02	0,04	0,02	0,03	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,03
Al₂O₃	62,26	62,46	62,41	62,78	61,84	63,24	62,89	62,71	63,31	62,19	62,12	61,42
Cr₂O₃	0,03	0,00	0,02	0,00	0,03	0,03	0,06	0,02	0,45	0,36	0,40	0,47
MgO	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00
CaO	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00
MnO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00
FeO	0,50	0,36	0,46	0,45	0,13	0,08	0,08	0,16	0,15	0,13	0,18	0,17
Na₂O	0,02	0,00	0,02	0,03	0,07	0,01	0,07	0,00	0,01	0,02	0,01	0,01
K₂O	0,00	0,01	0,00	0,01	0,03	0,01	0,03	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	100,38	100,34	100,33	100,45	99,20	100,93	100,42	100,25	101,26	100,08	100,05	100,04
Si	4,04	4,03	4,02	3,99	4,03	4,01	4,00	4,01	3,99	3,99	4,03	4,10
Ti	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Al	7,90	7,92	7,93	7,96	7,93	7,97	7,97	7,96	7,97	7,92	4,92	7,82
Cr	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,040	0,03	0,03	0,04
Mg	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ca	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Mn	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fe	0,04	0,03	0,04	0,04	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01
Na	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
K	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
total	12,00	12,00	12,01	12,21	12,00	12,00	12,01	12,00	12,01	12,00	12,00	11,98

5.2 - Geoquímica

O concentrado de cianita para indústria de refratários deve conter o mínimo de impurezas, tais como Fe₂O₃, TiO₂, CaO, MgO, Na₂O e K₂O (Bulut & Yurtsever, 2004).

Recentemente, a Diretoria Geral de Desenvolvimento Tecnológico (*Directorate General of Technical Development-DGTD*), por meio do Sub-Comitê de Material Refratário Bruto recomendou especificações para a indústria de refratários, onde determina a qualidade do concentrado de cianita. Os parâmetros determinados limitam em um máximo de 1,5% de Fe₂O₃. O concentrado de alta qualidade (*grade I*) deve conter no mínimo 58% de Al₂O₃ e comprimento entre 25 e 300 milímetros, já o de menor qualidade (*grade II*) aceita 54% de Al₂O₃ e não possui especificações quanto à dimensão. Os valores de refratariedade, de acordo com o Equivalente Cone Pirométrico (P.C.E.), recomendados são de no mínimo 37 (*grade I*) e 36 (*grade II*). Equivalente Cone Pirométrico é a medida de refratariedade dada de acordo com os testes feitos com o material em um cone padrão.

A deformação e amolecimento resultantes de elevação de temperatura são comparados a materiais padrões.

Diferentes depósitos possuem diferentes impurezas e com isso as indústrias assumem parâmetros e regras variadas com relação a quantidades de elementos deletérios (tabela 5.3). Como é o caso da *Kyanite Mining Corporation* (KMC), na Virginia EUA, que tem como deletérios óxidos de Fe, Ti e álcalis. A empresa assume como regra, que a combinação de Fe_2O_3 e TiO_2 deve ser menor que 1% para um resultado satisfatório, mas aceita variação entre 1-1,5% enquanto que para os álcalis apenas 0,3% (Dilip Jain diretor do serviço técnico da KMC comunicação pessoal 2005). A Indústria de Refratários TOGNI S/A que explora depósito em Minas Gerais atualmente admite quantidades de Fe_2O_3 menor ou igual a 2% e álcalis até 1% para um concentrado de boa qualidade (Osvaldo Luís Regonha consultor da Togni S/A comunicação pessoal 2005).

Tabela 5.3 – Parâmetros químicos do concentrado de cianita considerados pelo *Directorate General of Technical Development*, (DGTD), *Kyanite Mining Corporation* (KMC) e pela TOGNI S/A.

	DGTD Grade I	DGTD Grade II	KMC	Togni S/A
Al_2O_3	58% (mín.)	54% (mín.)	54-60% (mín.)	60% (mín.)
Fe_2O_3	1,5% (máx.)	1,5% (máx.)	1-1,5% (máx.)	2,0% (máx.)
TiO_2	-	-		-
Álcalis	-	-	0,3% (máx.)	1% (máx.)
Tamanho	25-300mm	-	35-325 mesh	1 mm (mín.)
P.C.E.	37 (mín.)	36 (mín.)	-	-

5.2.1 - Resultados

Como já citado neste trabalho, a classificação dos depósitos de cianita (ky) em proporções economicamente explotáveis é comum em cianita quartzito (15 a 40% de ky), cianita xisto (2 a 25% de ky) e cianitito (>80% de ky). De acordo com estas características, foram selecionadas nove amostras da Serra das Araras com proporções variadas de cianita para análise geoquímica: cianitito (90%), cianitito (85%), muscovita cianitito (85%), cianita quartzito (50%), cianita quartzito (40%), muscovita-cianita quartzito (45%), muscovita-cianita xisto (33%), cianita-granada-muscovita xisto (10%) e feldspato-paragonita-cianita xisto (30%). Também foi selecionada uma amostra do cianitito do Rio Uru para comparação quanto à composição da rocha total. O cianitito da Serras das Araras tem associado à cianita minerais como muscovita, roscoelita (muscovita vanadínifera), quartzo, rutilo, zircão e coríndon em proporções variadas.

Os dados geoquímicos de rocha total foram obtidos no ACME *Analytical Laboratories*, Canadá, por ICP/ES (*Inductively Coupled Plasma-Emission Spectrometry*).

O procedimento foi feito com 0,2g de amostra seguido de fusão com metaborato/tetraborato de lítio e diluição por digestão com ácido nítrico. A avaliação de perda ao fogo (LOI) foi feita por diferença de peso depois de aquecido a 1000°C.

As amostras de cianitito da Serra das Araras apresentaram valores de Al_2O_3 entre 40 e 60%, Fe_2O_3 entre 0,5 e 0,7%, TiO_2 entre 0,2 e 1,4% e álcalis entre 0,1 e 2% enquanto que o cianita quartzito possui Al_2O_3 entre 16 e 45% (tabela 5.4). O muscovita-cianita xisto e o cianita-granada-muscovita xisto apresentam baixa concentração de Al_2O_3 , entre 18 e 28%.

O feldspato-paragonita-cianita xisto apresenta composição química diferenciada das outras amostras analisadas da Serra das Araras. As características de alta porcentagem de Na_2O e K_2O (3,13%) atribuída a paragonita e muscovita identificadas por difratometria de raios-X, presença de pseudomorfos de feldspatos, valores elevados de Sr e Ba, induzem a interpretação de um protolito ígneo hidrotermalizado.

O cianitito Rio Uru tem composição satisfatória para ser utilizado na indústria de refratários e foi confirmada a alta porcentagem de Cr desta rocha como impureza.

A figura 5.2 ilustra a relação entre Fe_2O_3 e Al_2O_3 , do cianitito e cianita quartzito, e os parâmetros do DGTD, onde apenas o cianitito se encaixa no domínio de qualidade exigida. Deve-se observar que os parâmetros considerados pela DGTD são para concentrados de cianita e as amostras analisadas são de rocha total. Para o aproveitamento da cianita nestas amostras são necessários processos de separação dos minerais como muscovita e quartzo para se obter o concentrado de cianita.

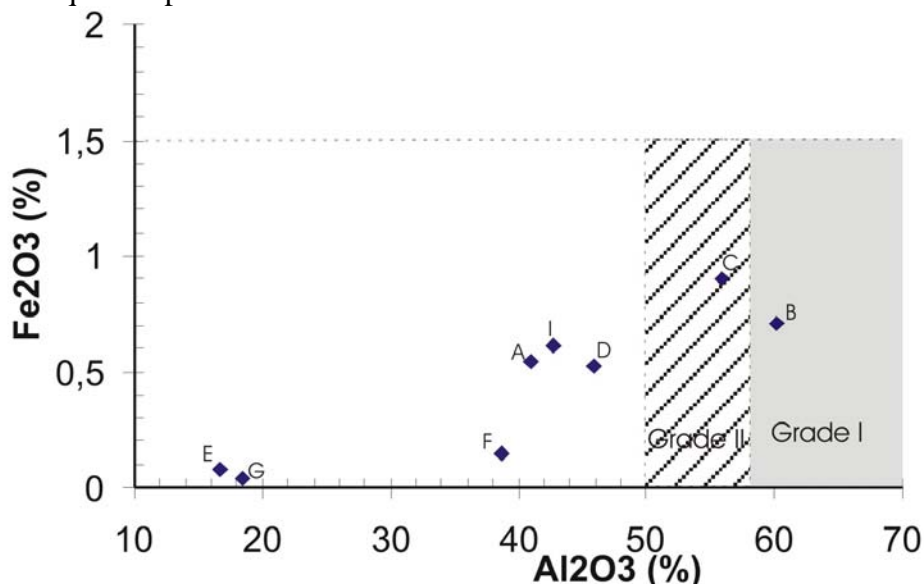


Figura 5.2 – Diagrama de Al_2O_3 x Fe_2O_3 com amostras plotadas. A área hachurada representa o domínio de concentrado considerado de Grade II e em cinza o domínio de concentrado de melhor qualidade (Grade I) segundo DGTD. A - cianitito; B - cianitito; C - muscovita cianitito; D - cianita quartzito; E - cianita quartzito; F - muscovita cianita quartzito; G - muscovita cianita xisto; I – feldspato-paragonita-cianita xisto.

Tabela 5.4 – Análises geoquímicas por ICP/ES. A - cianitito; B - cianitito; C - muscovita cianitito; D - cianita quartzito; E - cianita quartzito; F – muscovita-cianita quartzito; G – muscovita-cianita xisto; H – cianita-granada-muscovita xisto; I – feldspato-paragonita-cianita xisto e J - cianitito Rio Uru. LOI – perda ao fogo; TOT/C – total de carbono e TOT/S – total de enxofre.

amostra		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
SiO₂	%	55,71	36,10	38,69	51,06	81,59	58,63	79,98	46,48	44,08	36,65
Al₂O₃	%	40,93	60,07	56,00	45,82	16,70	38,66	18,51	28,41	42,74	60,21
Fe₂O₃	%	0,54	0,71	0,90	0,52	0,08	0,15	0,04	17,06	0,61	0,72
MgO	%	0,01	0,06	0,10	0,01	0,01	0,01	0,02	0,46	0,16	0,02
CaO	%	0,01	0,01	0,19	0,01	0,01	0,08	0,01	0,2	0,78	0,01
Na₂O	%	0,06	0,07	0,7	0,08	0,07	0,58	0,16	2,85	3,13	0,09
K₂O	%	0,04	0,34	1,45	0,04	0,04	0,32	0,31	1	3,13	0,07
TiO₂	%	1,43	0,93	0,24	1,50	0,77	0,79	0,55	1,08	1,85	0,09
P₂O₅	%	0,02	0,10	0,06	0,01	0,13	0,04	0,03	0,13	0,06	0,01
MnO	%	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,15	0,01	0,01
Cr₂O₃	%	0,005	0,003	0,032	0,006	0,004	0,002	0,001	0,001	0,056	0,393
Ba	ppm	9	251	233	12	195	71	60	255	520	6
Ni	ppm	6	5	5	7	5	5	5	5	5	5
Sr	ppm	32	132	93	29	623	186	25	351	656	7
Zr	ppm	31	767	125	69	290	597	390	91	765	5
Y	ppm	5	5	266	5	5	47	13	25	37	5
Nb	ppm	5	34	5	5	15	19	19	5	31	6
Sc	ppm	6	9	5	6	14	5	6	45	16	3
LOI	%	1,3	1,5	1,6	1	0,5	0,5	0,4	2,1	3,2	1,8
TOT/C	%	0,03	0,01	0,01	0,02	0,03	0,03	0,01	0,02	0,07	0,73
TOT/S	%	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
SUM	%	100,03	100,04	100,05	100,04	100,04	99,89	100,05	100,01	100,05	100,06

Capítulo 6 – Discussões e Conclusões

As ocorrências de cianita na região do Arco Mara Rosa estão predominantemente associadas a zonas de cisalhamento. A seqüência Mara Rosa é a hospedeira de algumas destas ocorrências como nas regiões de Santa Terezinha de Goiás, Porangatu, Posse, Mara Rosa e Alto Horizonte.

Em Santa Terezinha de Goiás a concentração de cianita se deu na Serra das Araras, mas também são encontradas rochas ricas em cianita em outras localidades na seqüência Mara Rosa. As rochas portadoras de cianita neste depósito são essencialmente cianitito e cianita quartzito.

O depósito Serra das Araras é controlado pela Zona de Cisalhamento homônima que determina o limite tectônico das seqüências Mara Rosa e Santa Terezinha. Esta zona de cisalhamento é associada a metamorfismo de fácies anfibolito definido pela paragênese granada-cianita-estauroлита. Análises de U-Pb em rutilo de muscovita-cianita quartzito apresentaram idade em torno de 570 Ma considerada como indicadora da época de metamorfismo.

A zona de cisalhamento Serra das Araras desenvolveu-se em regime deformacional dúctil a dúctil-rúptil, identificado por dobras assimétricas que exibem ruptura de flanco e espessamento de charneira, além de intenso dobramento intrafolial apertado. As maiores concentrações de cianita estão diretamente associadas à segregação deste mineral ao longo de linhas de charneira, o que lhes conferem corpos com geometria cilíndrica, além de bolsões irregulares. A cianita deste contexto mostra textura diablástica e granulação média a grossa, enquanto ao longo de flancos e faixas miloníticas o mineral apresenta-se deformado, com evidências de fraturamento, encurvamento e estiramento. O processo metamorfismo foi seguido de subsequente retrometamorfismo de fácies xisto-verde, indicado por sericitização de cianita.

O crescimento da cianita pode estar ligado simultaneamente a dois processos: (i) um envolveria diretamente metamorfismo de rochas sedimentares pelíticas sob condições de fácies anfibolito; e (ii) outro estaria ligado à alteração hidrotermal-magmática prévia de rochas intrusivas ácidas, seguido por metamorfismo de fácies anfibolito de produtos hidrotermais aluminosos do estágio avançado de alteração.

Na região de Posse Palermo (1996) descreve ocorrências de rochas semelhantes contendo cianita e silimanita na seqüência Mara Rosa encontrada principalmente na Serra de Bom Jesus, interpretadas como rochas transformadas a partir da alteração de granito na Serie de Posse (microclínio gnaiss). A alteração hidrotermal das rochas intrusivas ácidas

na Serie de Posse a Bom Jesus elevaram a reação por fluidos relacionados ao magmatismo gerado ao longo de todo o Arco Mara Rosa por volta de 862 Ma (Palermo *et al.* 2000).

A mina de cianita da Serra das Araras teve seu auge de exploração na década de 1980 e encontra-se atualmente com suas atividades paralisadas. A lavra a céu aberto tem sede na Fazenda Cianita onde ainda existem vestígios da planta de beneficiamento.

As rochas portadoras de cianita ocorrem em blocos e matacões ao longo de toda a serra. O minério era utilizado como mineral industrial refratário. Os padrões para classificação quanto à qualidade do concentrado de cianita são relacionados ao tamanho do grão e quantidade de elementos deletérios. Elementos como Fe_2O_3 , TiO_2 e álcalis podem modificar o ponto de fusão do material refratário e gerar pontos de fraqueza nas peças.

A cianita deste depósito apresenta baixa quantidade destes elementos em sua estrutura. Os teores de FeO não ultrapassam 0,5% enquanto os de TiO_2 , Cr_2O_3 , MgO, CaO, MnO, Na_2O e K_2O são menores que 0,07%.

Quanto à geoquímica de rocha total, apesar de não ter sido analisado concentrado de cianita, o cianitito da Serra das Araras possui características químicas compatíveis às exigidas pelo *DGTD*. Análises de cianitito mostram valores de Al_2O_3 acima de 50% e deletérios abaixo de 2%. Os elementos deletérios encontrados correspondem a minerais como micas, quartzo e rutilo e podem ser separados por métodos de beneficiamento.

A paralisação da mina pode ter se dado pela exaustão da porção contendo o minério de melhor qualidade (cianitito). A interrupção de minas como esta ocorre no Brasil pela falta de investimentos em minerais não metálicos, devido aos baixos preços destes materiais.

Referências Bibliográficas

Alecrim J.D. 1982. *Recursos minerais da Estado de Minas Gerais*. Belo Horizonte, Metamig, 298 pp.

Aksel C. 2003. The effect of mullite on the mechanical properties and thermal shock behavior of alumina-mullite refractory materials. *Ceramics International* **29**:183-188

Barros Neto, L.S. 2000. *Evolução estrutural do distrito esmeráldífero de campos verdes, GO*. Dissertação de Mestrado 149, Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, 111 p.

Bennet P.J & Castle J.E. 1975. Kyanite and related minerals. In: Leford S.J. (ed) *Industrial Minerals and Rocks*. New York, NY, pp.:729-736

Biondi, J.C. 1990. Depósitos de esmeralda de Santa Terezinha (GO). *Revista Brasileira de Geociências*, **20**(1-4): 7-24.

Biondi, J.C. 2003. *Processos Metalogenéticos e os depósitos minerais brasileiros*. São Paulo, Oficina de Textos, 528 pp.

Blum, M.L.B. 1999. *Processamento e Interpretação de Dados de Geofísica Aérea no Brasil Central e sua Aplicação à Geologia Regional à Prospecção Mineral*. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, 229p.

Blum, M.L.B., Moreira Silva, A., Jost, H., Meneses, P.R., Fuck, R.A., Brod, J.A., Teixeira, A.A, Cardoso da Silva, A., Spicolon, A.L.D., Maas, M.V.R., Souza, M.M., Macedo Junior, P., Lima, B.E.M., Campos, M.O. 2001. Aplicação de dados aerogeofísicos no mapeamento geológico do limite entre os terrenos arqueanos e proterozóico da região de Crixás-Cedrolina, Goiás. *Revista Brasileira de Geociências*, **31**(3):279-286

Borges, C.E.P., Araújo, J.M.V., Rugolo Filho, R.A., 2005. Caracterização geológica, estrutural e hidrogeológica preliminar da mina de Chapada. Mineração Maracá/Yamana Gold - Alto Horizonte - Goiás. In: IX Simpósio de Geologia do Centro-Oeste, *Anais*, p.208-209.

Brandão, P.R.G. & Mendes L.C. 1998. *Kyanite from Minas Gerais, Brazil: characterization for use in ceramic materials*. Innovations Miner. Coal Process.. Proc. Int. Miner. Process. Symp.. 7th. 295-300.

Bulut, G. & Yurtsever, C. 2004. Flotation behavior of Bitlis kyanite ore. *Internacional Journal Mineral Processing*. **73**:29-36.

Cooper, A.F. 1980 Retrograde alteration of chromian kyanite in metachert and amphibolite whiteschist from the Southern Alps, New Zealand, with implications for uplift on the Alpine Fault. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **75**, 153-164.

Dantas, E.L., Jost, H., Fuck, R.A., Brod, J.A., Pimentel, M.M., Meneses, P.R., 2001. Proveniência e idade deposicional de seqüências metavulcano-sedimentares da região de Santa Terezinha de Goiás, baseada em dados isotópicos Sm/Nd e U/Pb em monocristal de zircão. *Revista Brasileira de Geociências*, **31**(3): 329-334.

Deer W.A., Howie, R.A., Zussman, J. 1966. *Minerais Constituintes das Rochas - Uma Introdução*. Lisboa, Fundação Calouste Gulbenkian. 558 pp (Trad.: Conde, L.E.N, 1981).

D'el Rey Silva, L.J.H. & Barros Neto, L.S., 2002. The Santa Terezinha-Campos Verdes emerald district, central Brazil: structural and Sm-Nd data to constrain the tectonic evolution of the Neoproterozoic Brasília Belt. *Journal of South American Earth Sciences*, **15**: 693-708.

DNPM-DIDEM / MDIC-SECEX 2001. Anuário Mineral Brasileiro. Parte II - Estatística Mineral por Substâncias. Cianita e outros minerais refratários. Departamento Nacional de Pesquisa Mineral - Diretoria de Desenvolvimento e Economia Mineral / Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior – Secretaria de Comércio Exterior pp.:210-211

DNPM-DIDEM / MDIC-SECEX 2005. Anuário Mineral Brasileiro ano base 2004. Departamento Nacional de Pesquisa Mineral - Diretoria de Desenvolvimento e Economia Mineral / Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior – Secretaria de Comércio Exterior.

Fuck, R.A., Pimentel, M.M., Silva, L.J.H.D., 1994. Compartimentação tectônica da porção oriental Da Província Tocantins. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 38, Balneário Camboriú, 1994, *Boletim de Resumos Expandidos*, Camboriú, SBG, 1, p. 215-216.

Fuck, R.A., Dantas, E.L., De Sordi, D.A., Chiarini, M.F.N., submetido ao IV SSAGI, simposium of south america geology isotopes, Uruguai 2006

Gil Ibarqughi, J.I, Mendia, M., Girardeau, J., 1991. Mg- and Cr-rich staurolite and Cr-rich kyanite in high-pressure ultrabasic rocks (Cabo Ortegal, northwestern Spain). *American Mineralogist*, **76**: 501-511.

Industrial Minerals, 2005. Prices July 2005, Mineral PriceWatch, p. 66-67.

Jensen, M.L. & Bateman. A.M. (Eds.) 1981. *Economic Mineral Deposits*. Third edition. John Wiley & Sons, New York, 593 pp.

Jost, H., Fuck, R.A., Brod, J.A., Dantas, E.L., Meneses, P.R., Assad, M.L.L., Pimentel, M.M., Blum, M.L.B., Silva, A.M., Spigolon, A.L.D., Maas, M.V.R., Souza, M.M., Fernandez, B.P., Faulstich, F.R.L., Macedo Júnior, P.M., Schobbenhaus, C.N., Almeida, L., Silva, A.A.C., Anjos, C.W.D., Santos, A.P.M.T., Bubenick, A.N., Teixeira, A.A.A., Lima, B.E.M., Campos, M., Barjud, R.M., Carvalho, D.R., Scislewski, L.R., Sarli, C.L., Oliveira, D.P.L., 2001. Geologia de terrenos arqueanos e proterozóicos da região de Crixás-Cedrolina, Goiás. *Revista Brasileira de Geociências*, **31** (3): 315-328.

Junges, S.L., 1998. *Caracterização geoquímica e isotópica da faixa oeste da seqüência vulcanosedimentar de Mara Rosa*. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, 111 p.

Junges, S.L., Pimentel, M.M., Moraes, R., 2002. Nd isotopic study of the Neoproterozoic Mara Rosa Arc, central Brazil: implications for the evolution of the Brasília Belt. *Precambrian Research* **117**: 101-118.

- Kelly, T.D. & Potter, M.J., 2004. *Kyanite and Related Materials Statistics*. In: Annual Publications USGS, open-file report 01-006. Historical Statistics for Mineral Commodities in the United States. Version 9.2, Online Only
- King, R.J., 2003. Minerals explained 38, Kyanite. *Geology Today, January-February*, 19, no.1. p. 33-36.
- Klein C. & Hurlbut Jr. C.S., 1999 , Manual Of Mineralogy (after James D.Dana) 21th edition, revised. John Wiley & Sons, Inc. p.:681
- Kuyumjian, R.M., Oliveira, C.G., Campos, J.E.G., Queiroz, C.L., 2004. Geologia do limite entre os terrenos arqueanos e o Arco Magmático neoproterozóico de Goiás, na região de Chapada-Mara Rosa, Goiás. *Revista Brasileira de Geociências*, **34**(3): 329-334.
- Lacerda Filho J.V., Rezende A. e Silva A., 1999. *Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. Geologia e Recursos Minerais do Estado de Goiás e do Distrito Federal. Escala 1:500.000*. 2ª edição. Goiânia: CPRM/METAGO/UnB, 203 pp.
- MacDonald, R.H., 1992. Various industrial mineral commodities; Nova Scotia Department of Natural Resources, Mines and Energy Branches, Economic Geology Series 1992-1. Chapter 2, Andaluzite and Related Materials, p. 5-13.
- Miyashiro, A., 1973. *Metamorphism and metamorphic belts*, London, Georgan Allen & Unwin Ltd.
- Oliveira, C.G., Pimentel, M.M., Melo, L.V., Fuck, R.A., 2004. The copper and gold deposits of the Neoproterozoic Mara Rosa magmatic arc, central Brazil. *Ore Geology Reviews* **25**: 285-299.
- Owens, B. E., and Dickerson, S. E., 2001, Kyanite color as a clue to contrasting protolith compositions for kyanite quartzites in the Piedmont Province of Virginia, *Geological Society of America Abstracts with Programs*, vol., **33**, no. 2, p. 70.
- Palermo, N., 1996. Le gisement aurifere precambrien de Posse (Goiás, Bresil) dans son cadre geologique. These da ENS das Mines de Paris, 175p.
- Palermo, N., Porto, C.G., Costa Jr., C.N., 2000. The Mara Rosa Gold District, Central Brazil. *Revista Brasileira de Geociências*, **30**(2): 256-260.
- Pimentel, M.M., Heaman, L., Fuck, R.A., 1991. Zircon and sphene U-Pb geochronology of upper proterozoic volcanic-arc rock units from southwestern Goiás, central Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, **4**, no 4: 295-305
- Pimentel, M.M. & Fuck, R.A., 1992. Neoproterozoic crustal accretion in central Brazil. *Geology*, **20**:375-379.
- Pimentel, M.M, Whitehouse, M.J., Viana, M.G., Fuck, R.A., Machado, N., 1997. The Mara Rosa arc in the Tocantins Province: further evidence for Neoproterozoic crustal accrecion in central Brazil. *Precambrian Research* **81**: 229-310.

- Pimentel, M.M., Fuck, R.A., Gioia, S.M.C.L., 2000a. The Neoproterozoic Goiás Magmatic Arc, Central Brazil: A review and new Sm-Nd isotopic data. *Revista Brasileira de Geociências*, **30**(1): 35-39.
- Pimentel, M.M., Fuck, R.A., Jost, H., Ferreira Filho, C.F., Araújo, S.M., 2000b. The Basement of the Brasília Fold Belt and the Goiás Magmatic Arc. In: Cordani, U.G., Milani, E.J., Thomaz Filho, A., Campos, D.A. (eds.). *Tectonic Evolution of South America 31st International Geological Congress, Rio de Janeiro, Brazil*. 195-229 p.
- Potter, M.J., 2000. U.S. *Geological Survey Minerals Yearbook-2000. Kyanite and Related Materials*, United State, 44.1-44.3 p.
- Potter, M.J., 2003. U.S. *Geological Survey Minerals Yearbook-2003. Kyanite and Related Materials*, United State, 42.1-44.2 p.
- Potter, M.J., 2004. U.S. *Geological Survey, Mineral Commodity Summaries, January 2004. Kyanite and Related Minerals*, United State, 92-93 p.
- Projeto Levantamento Aerogeofísico do Estado de Goiás 1º Etapa, Arco Magmático de Goiás, 2004. Ministério de Minas e Energias, Secretaria de Minas e Metalurgia, CPRM – Serviço Geológico do Brasil, Estado de Goiás, Secretária de Indústria e Comércio e Fundo de Fomento à Mineração/ FUNMINERAL.
- Ramos Filho, W.L., Araujo Filho, J.O., Kuyumjian, R.M., 2003. Características do Ambiente Estrutural da Depósito de Chapada, Goiás. *Revista Brasileira de Geociências*, **33**(2): 109-116.
- Rancan, C.C., Vilhena, R.M. inédito. Projeto Santa Terezinha de Goiás, relatório final de graduação 2003 / área VIII.
- Sainz M.A., Serrano F.J., Bastida J., Caballero A. 1997. Microstructural evolution and growth of crystallite size of mullite during thermal transformation of kyanite. *Journal of the European Ceramic Society* **17**:1277-1284
- Sampaio A.R., Martins A.M., Loureiro H.C., Arcanjo J.B., Moraes Filho J.C., Souza J.D., Pereira L.H., Couto P.A., Santos R.A., Melo R.C., Bento R.V., Borges V.P., 2004. *Projeto Extremo Sul da Bahia: Estado da Bahia: Geologia e Recursos Minerais*. Salvador, CBPM, Série arquivos abertos **19**, 55 pp.
- Schobbenhaus C. 1997. Geologia da Cianita. In: C. Schobbenhaus, E.T. Queiroz & C.E.S. Coelho *Principais Depósitos Minerais do Brasil*, CPRM, pp.: 251-254
- Seifert, F., and Langer, K., 1970. Stability relations of chromium kyanite at high pressures and temperatures. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **28**: 9-18.
- SIG-Goiás 2000 - Sistemas de Informação Geográfica de Geologia e Recursos Minerais de Goiás e Distrito Federal escala 1:500 000. CPRM/Agência Ambiental de Goiás.
- Silva Sá J.H. & Nery M.A.C., 2002. *Desempenho da mineração na Bahia: 1989 a 2000*. Salvador, SICM.COMIN; UFBA, 232p.

Simandl, G.J., Paradis, S., McCracken, W.H., Hancock, K.D. 1999. Kyanite, Muscovite, Garnet in Metasediments. In G.J. A Simandl, Z.D. Hora and D.V. Lefebure (eds) *Selected British Columbia Mineral Deposit Profiles*, Volume 3, Industrial Minerals, British Columbia Ministry of Energy and Mines.

Viana, M.G. & Pimentel, M.M., 1995. Geoquímica e geocronologia Rb-Sr das rochas de Mara Rosa – norte de Goiás. In: V Congresso Brasileiro de Geoquímica e III Congresso de Geoquímica dos países de Língua Portuguesa, Niterói/RJ, resumos expandidos CDROM.

Viana, M.G., Pimentel, M.M.; Whitehouse, M.J., Fuck, R.A., Machado, N., 1995. O arco magmático de Mara Rosa, Goiás: dados geoquímicos e geocronológicos e suas implicações regionais. *Revista Brasileira de Geociências*, **25**: 111-123