



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS  
ÁREA DE METALOGÊNESE

ALEXANDRE MATTOS DA CRUZ FILGUEIRAS

“ESTUDOS LITOESTRUTURAIS DO GREENSTONE BELT MORRO DO FERRO  
ENTRE A FAIXA MUMBUCA E A FAIXA MORRO DO FERRO, MINAS GERAIS, E  
SUA IMPLICAÇÃO PARA MINERALIZAÇÕES SULFETADAS”

**Orientador:** Professor Doutor Asit Choudhuri

**Co-orientador:** Professor Doutor Gergely A. J. Szabó, (IG-USP)

MESTRADO

CAMPINAS - SÃO PAULO

Maio de 2000

Este exemplar corresponde  
redação final da tese defendida  
por Alexandre Mattos Cruz Filgueiras  
e aprovada pela Comissão Julgadora  
em 10/11/00.

Asit Choudhuri  
ORIENTADOR

2001 02 356



UNIDADE 30  
 I. CHAMADA:  
 F475e  
 Ex.  
 TOMBO DC/ 43828  
 PROC. 26.392/01  
 C  D   
 PREC. R\$ 11,00  
 DATA 20/02/01  
 N.º CPD

CM-00154446-0

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA  
 PELA BIBLIOTECA I.G. – UNICAMP

F475e Filgueiras, Alexandre Mattos da Cruz  
 Estudos litoestruturais do Greenstone Belt Morro do Ferro  
 entre a faixa Mumbuca e a faixa Morro do Ferro, Minas Gerias,  
 e sua implicação para mineralizações sulfetadas / Alexandre  
 Mattos da Cruz Filgueiras.- Campinas, SP.: [s.n.], 2000.

Orientadora: Asit Choudhuri  
 Dissertação (mestrado) Universidade Estadual de Campinas,  
 Instituto de Geociências.

1.\*Greenstone Belt. 2. Metamorfismo (Geologia).  
 3. Metassomatismo (mineralogia). I. Choudhuri, Asit .  
 II. Universidade Estadual de Campinas, Instituto de  
 Geociências. III. Título.



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS  
ÁREA DE METALOGÊNESE

**AUTOR:** Alexandre Mattos da Cruz Filgueiras

**“ESTUDOS LITOESTRUTURAIS DO GREENSTONE BELT MORRO DO FERRO  
ENTRE A FAIXA MUMBUCÁ E A FAIXA MORRO DO FERRO, MINAS GERAIS, E  
SUA IMPLICAÇÃO PARA MINERALIZAÇÕES SULFETADAS”**

**ORIENTADOR:** Professor Doutor Asit Choudhuri

**CO-ORIENTADOR:** Professor Doutor Gergely A. J. Szabó, (IG-USP)

Aprovada em: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

**BANCA EXAMINADORA**

**PRESIDENTE:** Prof. Dr. Asit Choudhuri

Prof. Dr. Job Jesus Batista

Prof. Dr. Antenor Zanardo

*Asit Choudhuri*  
\_\_\_\_\_  
*J. J. Batista*  
\_\_\_\_\_  
*Antenor Zanardo*  
\_\_\_\_\_

Campinas, de maio de 2000.

# ÍNDICE

RESUMO	iii
ABSTRACT	v
ÍNDICE DE FIGURAS	vi
ÍNDICE DE FOTOS	ví
ÍNDICE DE FOTOMICROGRAFIAS	vii
ÍNDICE DE TABELAS	viii
AGRADECIMENTOS	ix
I - INTRODUÇÃO	1
I.1 - LOCALIZAÇÃO DA ÁREA	2
I.2 - OBJETIVO	3
I.3 - METODOLOGIA	4
I.4 - JUSTIFICATIVA	5
II - GEOLOGIA REGIONAL	7
II.1 - ESTRUTURAÇÃO DO COMPLEXO CAMPOS GERAIS	16
II.2 - PADRÃO METAMÓRFICO DO COMPLEXO CAMPOS GERAIS	18
III - GEOLOGIA DA ÁREA	21
III.1 - COMPARTIMENTAÇÃO GEOLÓGICA	21
III.1.1 - FAIXA MUMBUCA	24
III.1.1.A - Terrenos gnáissicos- graníticos-migmatíticos	24
III.1.1.B - Terrenos vulcano-sedimentares	27
III.1.1.B.1 - Olivina - ortopiroxênio - hornblenda xisto / fels	27
III.1.1.B.2 - Serpentinóis	31
III.1.1.B.3 - Talco xistos	35
III.1.1.B.4 - Metapiroxenóis	35
III.1.1.B.5 - Anfíbolóis	38
III.1.1.B.6 - Metassedimentos	40
III.1.1.C - Intrusivas máficas	40
III.1.2 - FAIXA MORRO DO FERRO	42
III.1.2.A - Terrenos pertencentes ao Granitóide São João	42
III.1.2.B - Terrenos gnáissicos-graníticos	42
III.1.2.C - Terrenos Vulcano-Sedimentares	44
III.1.2.C.1 - Actinolita - clorita xistos	47
III.1.2.C.2 - Mg-clorita-Ca-anfíbólio xistos - talco-tremolita-clorita xistos	48
III.1.2.C.3 - Metapiroxenóito	49
III.1.2.C.4 - Tufitos	50
III.1.2.C.5 - Serpentinóis	53

III.1.2.C.6 –Metassedimentos	54
III.1.2.D - Metadiabásio porfirítico	55
<b>IV - ASPECTOS ESTRUTURAIS</b>	<b>56</b>
IV.1 – Introdução	56
IV.1.1 – Faixa Mumbuca	61
IV.1.2 – Faixa Morro do Ferro	62
IV.1.3 – Avaliação final	62
<b>V - ASPECTOS METAMÓRFICOS</b>	<b>67</b>
V.1 – INTRODUÇÃO	67
V.2 – Associações mineralógicas na Faixa Mumbuca	68
V.3 – Associações mineralógicas na Faixa Morro do Ferro	72
V.4 – Serpentinização e Talcificação	73
<b>VI - CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	<b>78</b>
VI.1 – Discussões sobre aspectos lito-estruturais	78
VI.2 - Discussões metalogenéticas	81
<b>VII - BIBLIOGRAFIA</b>	<b>83</b>
<b>ANEXO - MAPA GEOLÓGICO/ESTRUTURAL</b>	

**UNICAMP**  
**BIBLIOTECA CENTRAL**  
**SEÇÃO CIRCULANTE**

## RESUMO

A área estudada está situada na porção sudoeste do estado de Minas Gerais, próximo às localidades de Passos e Fortaleza de Minas e apresenta-se limitada pelas coordenadas U.T.M. 7682-7690 N e 320-340 E.

O alvo principal da dissertação é a relação lito-estrutural dos litotipos metaultamáficos/metamáficos presentes na área. Estas rochas são espacialmente limitadas e dispostas de forma alongada nos terrenos gnáissico-granítico-migmatítico. Regionalmente estes litotipos fazem parte do Domínio Norte do Complexo Campos Gerais, mais precisamente do “*Greenstone Belt* Morro do Ferro”, composto por rochas Meta-Vulcano-Sedimentares de afinidade komatiítica. Este *greenstone belt* possui padrão metamórfico heterogêneo e progressivo, apresentando condições metamórficas de fácies xisto-verde a fácies anfíbolito superior-granulito.

O estudo destas litologias possibilitou a observação de diferenças metamórficas entre dois conjuntos de rochas metaultamáficas/metamáficas. Estes dois conjuntos estão estruturalmente separados por uma falha transcorrente de caráter sinistral, rúptil, denominada ZC2, que se desenvolveu por sobre uma ampla e antiga zona de cisalhamento dúctil, chamada de ZC1. Os terrenos possuem “trend” regional WNW/ESE, sendo afetado pelos mesmos eventos estruturais. Estas feições estruturais formaram a presente geometria e distribuição dos remanescentes do greenstone assim como o contato com as outras litologias.

O primeiro conjunto de rochas metaultamáficas/metamáficas foi denominado Faixa Morro do Ferro, apresentando a seguinte associação mineral: Mg-clorita, Ca-anfíbólio e cummingtonita. Os corpos anfibolíticos estudados nestes terrenos possuem como paragênese: plagioclásio, cummingtonita e hornblenda. Estas associações minerais indicam condições metamórficas de fácies anfíbolito.

O segundo conjunto, corresponde à Faixa Mumbuca, consistindo rochas que alcançaram condições metamórficas de fácies granulito. As rochas metaultamáficas/metamáficas pertencente a esta faixa estão associadas com alguns corpos metamáficos anfibolíticos e apresentam a seguinte paragênese: ortopiroxênio, clinopiroxênio, plagioclásio e hornblenda. As rochas metaultamáficas: ortopiroxênio – hornblenda ± olivina ± espinélio verde. A associação destas rochas indicam pico metamórfico em fácies granulito.

A atual justaposição destas duas faixas tectônicas formadas em diferentes níveis crustais, ocorreu por movimentação oblíqua, gerada a partir de dois componentes, um vertical com subida e descida de blocos e outro relacionado com a zona de cisalhamento transcorrente regional (ZC2), de caráter sinistral, que cortou e remodelou os citados terrenos.

## ABSTRACT

The area studied is situated in the southwest part of Minas Gerais State, near the towns Passos and Fortaleza de Minas. The limits of the terranes are given by the coordinates UTM 7682-7690 N and 320-340 E.

The main objective of the dissertation is to study the litho-structural relationship between metaultrabasic/metabasic lithologies present in the area. These rocks are limited spatially and form elongated shapes in the gneissic-granitic-migmatitic basement. Regionally, these lithologies belong to the Northern Domain of the Campos Gerais Complex, more exactly to the Morro do Ferro *Greenstone Belt*, composed of Meta-Volcano-Sedimentary Sequence of komatiitic origin. This *Greenstone Belt* has undergone heterogeneous and progressive metamorphism varying from greenschist facies to upper amphibolite-granulite facies.

The study of these rocks reveals metamorphic differences between two groups of metaultrabasic/metabasic rocks separated structurally by a brittle transcurrent shear zone with sinistral movement, named ZC2, that developed on a larger and older ductile shear zone, named ZC1. The terrane has the same regional direction trend WNW / ESE, having been affected by similar structural episodes. This structural characteristic gave rise to the present geometry and distribution of the greenstone remnants as well as the contacts with the other lithologies.

The first belt of metaultrabasic/metabasic rocks, named Morro do Ferro sub-area, shows the mineral association: Mg-chlorite, hornblende and cummingtonite. The amphibolites studied in this terrane have the paragenesis: plagioclase, cummingtonite and hornblende. These rocks show metamorphic condition in amphibolite facies.

The second group occurs in the Mumbuca sub-area, and the main lithotype has the paragenesis: orthopyroxene, hornblende  $\pm$  olivine  $\pm$  green spinel. This rock type is connected with some amphibolites bodies, and at places shows traces of granulite facies paragenesis: orthopyroxene, clinopyroxene, plagioclase and hornblende. These rock associations show peak metamorphism in granulite facies.

The present juxtaposition of these two tectonic sub-areas, formed in distinct crustal levels, is thought to have resulted by vertical movement, block faulting and uplift associated with the regional transcurrent shear zone (ZC2), which cuts across the greenstone belt and has remodelled the terranes.

## ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. I.1 - Mapa rodoviário, com as vias de acesso à área de estudo.	3
Fig. II.1 – Esboço geológico do sudoeste de Minas Gerais.	8
Fig. II.2 – Compartimentação Tectônica do Complexo Campos Gerais.	13
Fig. III.1 - Compartimentação Tectônica da área estudada.	22
Fig. IV.1 – Diagrama da foliação principal, medida ao longo da zona de cisalhamento ZC2 que separa as duas faixas.	64
Fig. IV.2 – Diagrama da foliação anterior à foliação principal, Faixa Mumbuca.	64
Fig. IV.3 - Diagrama da foliação principal, para os terrenos ortognáissicos, Faixa Mumbuca.	64
Fig. IV.4 – Diagrama da foliação principal, para os terrenos metaultramáficos /metamáficos, Faixa Mumbuca.	64
Fig. IV.5 – Diagrama de lineação mineral e de estiramento, Faixa Mumbuca.	65
Fig. IV.6 – Diagrama de eixo de dobra, Faixa Mumbuca.	65
Fig. IV.7 – Diagrama da foliação principal, para os terrenos metaultramáficos /metamáficos, Faixa Morro do Ferro.	65
Fig. IV.8 – Diagrama da foliação principal, para os terrenos ortognáissicos, Faixa Morro do Ferro.	65
Fig. IV.9 – Diagrama de foliação principal para os terrenos do granitóide São José.	66
Fig. IV.10 – Diagrama de lineação mineral e de estiramento, Faixa Morro do Ferro.	66
Fig. V.1 – Mapa com o esboço metamórfico regional e da área de estudo.	69
Fig. V.2 – Curva univariante pertinente à estabilidade da Mg-clorita no sistema $H_2O$ -MgO- $Al_2O_3$ - $SiO_2$ com excesso de $H_2O$ . Jenkins & Chernosky (1986).	70

## ÍNDICE DE FOTOS

Foto III.1 – Característica geral dos gnaisses migmatíticos da Faixa Mumbuca. 1) protólito aparentemente tonalítico; 2) porção de composição granítica e; 3) biotita gnaisses, homogêneo.	24
Foto III.2 – Ponto 095 – Afloramento do biotita gnaisse migmatítico; Faixa Mumbuca.	26
Foto III.3 – Característica morfológica dos afloramentos metaultramáficos do vale do córrego Mumbuca, representados por morrotes de contorno amendoado indicando cisalhamento.	28
Foto III.4 – Ponto 275 – Afloramento do tipo litológico mais evidente na Faixa Mumbuca. Em alguns afloramentos pode-se notar os porfiroblastos de opx (e/ou ol) com tamanho centimétrico.	29
Foto III.5 – Ponto 114 – Amostra do serpentinito presente no corpo principal de Mumbuca. Neste afloramento é possível ver estruturas do tipo “ <i>extension gashes</i> ”.	32
Foto III.6 – Afloramento do metapiroxenito. Neste caso pode-se notar uma variação granulométrica dos pseudomorfos de piroxênio, diminuindo na direção da seta.	36
Foto III.7 – Amostra do anfíbolito da Faixa Mumbuca. Neste afloramento este litotipo apresenta-se recortado por veios, contendo principalmente epidoto e clinopiroxênio.	38
Foto III.8 – Ponto 224 – Afloramento do metassedimento psamo-pelítico, com porfiroblastos de granada em torno de 2 cm de diâmetro.	41
Foto III.9 – Ponto 064 – Afloramento típico do actinolita-clorita xisto.	45
Foto III.10 – Ponto 245 – Afloramento apresentando textura “ <i>spinifex</i> ”, Faixa Morro do Ferro, com Mg-clorita e Ca-anfíbólio como minerais principais.	45
Foto III.11 – Ponto 062 – Vista geral dos metatufos pertencentes à Faixa Morro do Ferro.	46
Foto III.12 – Ponto 062 – Amostra do mesmo ponto, apresentando estratificação cruzada.	46
Foto III.13 – Ponto 273 – Amostra do serpentinito da Faixa Morro do Ferro.	53
Foto III.14 – Ponto 206 – Afloramento de dique de diabásio porfirítico.	55

Foto IV.1 – Fazenda Rosa Francisca de Lima. O traço A - representa a direção da foliação das rochas metaultramáficas da Faixa Mumbuca. O traço B - indica a direção das foliações dos gnaisses migmatíticos com mergulho para SW. A linha de contorno C - representa os mesmos tipos litológicos da (A) sendo que estes foram segmentados por ação da zona de cisalhamento ZC1 expressa por F.	58
Foto IV.2 – Mesmo afloramento da foto IV.1. O traço F, corresponde a ZC1.	58
Foto IV.3 – Ponto 079 – Rocha proveniente do cisalhamento rúptil ZC2, bastante silicificada e com veios de epidoto e quartzo.	58
Foto IV.4 – Ponto 066 – Gnaise granítico silicificado, com aspecto cataclástico.	58
Foto IV.5 – Ponto 095 – Forma geral dos afloramentos, apresentando padrão anastomosado.	59
Foto IV.6 – Ponto 095 – Biotita gnaise da Faixa Mumbuca. Nesta ponto é possível observar uma zona de cisalhamento sinistral de direção WNW/ESE (B), truncando a foliação de direção mais antiga NNE/SSW (A).	59
Foto IV.7 – Ponto 095 – Detalhe da foto anterior.	59

### INDICE DE FOTOMICROGRAFIAS

Fotomicrografia III.1 – Ponto 095 – Detalhe do biotita gnaise migmatítico com foliação milonítica e porfiroclastos de microclina assimétricos. Sentido de deslocamento sinistral. Filtros polarizadores descruzados e objetiva de 2,5X.	25
Fotomicrografia III.2 – Ponto 095 – O mesmo da fotomicrografia anterior. Filtros polarizadores cruzados e objetiva de 2,5X.	25
Fotomicrografia III.3 – Ponto 109 – porfiroblasto de ortopiroxênio englobando uma antiga foliação, definida pela orientação dos minerais clorita, anfibólio e opacos. Filtros polarizadores cruzados e objetiva de 2,5X.	29
Fotomicrografia III.4 – Ponto 275 – Ponto próximo à Fazenda Rosa Francisca de Lima. Detalhe do ortopiroxênio-olivina-hornblenda xisto/fels com espinélio verde. Filtros polarizadores descruzados e objetiva de 2,5X.	30
Fotomicrografia III.5 – Ponto 275 – O mesmo da fotomicrografia anterior. Filtros polarizadores cruzados e objetiva de 2,5.	30
Fotomicrografia III.6 – Ponto 108 – Serpentinó da Faixa Mumbuca. Filtros polarizadores cruzados e objetiva de 10X.	32
Fotomicrografia III.7 – Litotipo metaultramáfico principal da Faixa Mumbuca, possuindo porfiroblastos de Ol e Opx. Estes minerais estão sendo transformados a olivina para serpentina e o ortopiroxênio para talco. Nicóis X e objetiva de 2,5X.	33
Fotomicrografia III.8 – Detalhe da mesma lâmina, onde o porfiroblasto de olivina esta sendo transformado para serpentina. Nota-se que serpentina está envolvendo a Mg-clorita. Nicóis X e objetiva de 10X.	33
Fotomicrografia III.9 – Detalhe da mesma lâmina, onde o porfiroblasto de ortopiroxênio está sendo talcificado. Nota-se que o talco está envolvendo a serpentina de uma fase anterior. Nicóis X e objetiva de 10X.	34
Fotomicrografia III.10 – Lâmina obtida na mineração O’Toole, correspondente ao dunito serpentizado. No geral, observa-se que o processo de serpentização ocupa toda lâmina, destacando-se as fitas de serpentina. Filtros polarizadores cruzados e objetiva de 2,5X.	34
Fotomicrografia III.11 – Ponto 276 – Metapiroxenito próximo à Fazenda Rosa Francisca de Lima. A associação mineral é marcada pela presença de hornblenda, Mg-clorita e serpentina. Nicóis X e objetiva de 2,5X.	36
Fotomicrografia III.12 – Metapiroxenito presente na Faixa Mumbuca, próximo ao ponto 33. Nesta lâmina pode-se observar uma possível textura cumulática, representada atualmente pela hornblenda. Nota-se também a presença da clorita nos planos de cisalhamento. Nicóis // e objetiva de 2,5X.	37

Fotomicrografia III.13 – O mesmo da fotomicrografia anterior. Nicóis X e objetiva de 2,5X.	37
Fotomicrografia III.14. – Anfíbolito da Faixa Mumbuca, localizado nas cercanias da Serra Água Azul. Possui a seguinte mineralogia: clinopiroxênio, ortopiroxênio, hornblenda, plagioclásio e quartzo. Nicóis X e objetiva de 10X.	39
Fotomicrografia III.15 – O mesmo da fotomicrografia anterior. Nicóis X e objetiva de 10X.	39
Fotomicrografia III.16 – Ponto 278 – Formação ferrífera apresentando quartzo, granada e grunerita. Nicóis X e objetiva de 2,5X.	41
Fotomicrografia III.17 – Ponto 063 – Detalhe do biotita gnaisse milonítico, com biotita estirada adquirindo, localmente, forma de <i>mica fish</i> . Sentido de deslocamento sinistral. Filtros polarizadores descruzados e objetiva de 2,5X.	43
Fotomicrografia III.18 – Ponto 063 – O mesmo da anterior. Nicóis X e objetiva de 2,5X.	43
Fotomicrografia III.19 – Litotipo principal da Faixa Morro do Ferro. Observa-se a foliação xistosa, representada pela paralelização do S <sub>0</sub> e do S <sub>1</sub> . Nicóis X e objetiva de 2,5X.	47
Fotomicrografia III.20 – Ponto 245 - Rocha ultramáfica da Faixa Morro do Ferro, próximo ao Rio São João, apresentando textura “ <i>spinifex</i> ”, com Ca-anfíbólio plumoso e Mg-clorita. Nicóis X e objetiva de 10X.	48
Fotomicrografia III.21 – Ponto 178 – Detalhe do metapiroxenito, onde ainda é possível observar a forma do antigo piroxênio, transformado para hornblenda. Filtros polarizadores cruzados e objetiva de 10X.	49
Fotomicrografia III.22 – Ponto 062 – Tufito presente na Faixa Morro do Ferro. Destaque para diferença granulométrica entre os estratos. Mineralogia: tremolita e clorita. Filtros polarizadores descruzados e objetiva de 2,5X.	51
Fotomicrografia III.23 – Ponto 062 – O mesmo da fotomicrografia anterior. Filtros polarizadores cruzados e objetiva de 2,5X.	51
Fotomicrografia III.24 – Ponto 062 – Detalhe da fotomicrografia anterior. Filtros polarizadores cruzados e objetiva de 10X.	52
Fotomicrografia III.25 – Ponto 062 – Detalhe de pequenas “nuvens” de clorita e anfíbólio. Filtros polarizadores cruzados e objetiva de 2,5X.	52
Fotomicrografia III.26 – Ponto 273 – Lâmina de serpentinito, ressaltando a serpentina e a Mg-clorita. Filtros polarizadores cruzados e objetiva de 2,5X.	54
Fotomicrografias IV.1, IV.2, IV.3 e IV.4 – Estas fotomicrografias do actinolita-clorita-hornblenda xisto, ponto 064, indicam o aumento do grau da deformação em direção à borda do corpo. Esta seqüência termina com a formação de uma rocha milonítica. Filtros polarizadores cruzados e objetiva de 2,5X.	60
Fotomicrografia V.1 – Ponto 278 – Clorita Ca-anfíbólio xisto com textura poligonal. Nicóis X e objetiva de 2,5X.	74
Fotomicrografia V.2 – Ponto 278 – Clorita Ca-anfíbólio xisto com evidência de serpentinitização incipiente. Nicóis X e objetiva de 2,5X.	75
Fotomicrografia V.3 – Ponto 278 – Nesta fotomicrografia pode-se notar a serpentinitização mais generalizada e o consumo do Ca-anfíbólio. Nicóis X e objetiva de 2,5X.	75
Fotomicrografia V.4 – Serpentinito formado pelo sucessivo processo de substituição. Nicóis X e objetiva de 2,5X.	76
Fotomicrografia V.5 – Processo de serpentinitização sendo substituído por talcificação. Nicóis X e objetiva de 2,5X.	76
Fotomicrografia V.6 – ponto 275 - Surgimento da antofilita o que corresponde a uma etapa intermediária na evolução metassomática da área. Nicóis X e objetiva de 2,5X.	77

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela I – Assembléias mineralógicas da Faixa Mumbuca.	72
Tabela II – Assembléias mineralógicas da Faixa Morro do Ferro.	73

## AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, Carlos e Maura, as minhas irmãs, Daniela e Patrícia, por todo incentivo, preocupação e compreensão.

A Claudia Sayão valladares, pelas sugestões, discussões e pela revisão do texto final.

Ao meu orientador Asit Choudhuri, que com sua inspiração procurou me auxiliar tanto no andamento da dissertação, quanto na realização do seu desfecho.

Ao meu co-orientador Gergely Szabó, pela ajuda nas várias etapas desta dissertação, principalmente nos trabalhos de campo e na obtenção de lâminas petrográficas.

Ao Sr. José Honório Neto e sua esposa Sr. Irene, pelos dias agradáveis em que estive em sua casa na vila de Mumbuca.

Aos meus amigos: Catarina, Guilherme, José Renato, Analuiza, Marcelo (Carreira) e Tati, pelas longas discussões geológicas sobre o sul de Minas Gerais de forma mais ampla e pelo convívio sempre festivo.

Aos outros amigos com quem compartilhei estes anos de IG-UNICAMP; Maria Irian, Márcio, Carlos, entre outros, o meu muito obrigado.

Um agradecimento especial para Valdirene e para o Juarez, pela constante boa vontade em resolver qualquer problema.

## I - INTRODUÇÃO

O estudo dos terrenos granito-*greenstone* não é restrito somente à sua importância econômica, uma vez que hospedam importantes depósitos de Fe-Ni-Cu, mineralizações auríferas, platinóides, antimônio, talco e magnesita, entre outros (Anhaeusser 1976), mas também devido ao seu grande interesse científico no que diz respeito à história da crosta e do manto superior da Terra, já que tais terrenos correspondem a porções cratônicas arqueanas preservadas.

A região abordada nesta dissertação está inserida no *Greenstone Belt* Morro do Ferro (Teixeira & Danni 1979 a, b; Brenner *et al.* 1990), composto por rochas vulcano-sedimentares, incluindo komatiitos. Todo o conjunto vulcano-sedimentar apresenta-se cisalhado e reestruturado, fazendo parte do Complexo Campos Gerais (Cavalcante *et al.* 1979). Sequências vulcânicas com komatiitos foram descritas inicialmente no vale do Rio Komati, *greenstone belt* de Barberton, África do Sul, por Viljoen & Viljoen (1969). A partir dos trabalhos realizados em Barberton os komatiitos tornaram-se reconhecidos e suas características foram observadas em várias partes do mundo, como no Canadá (Arndt *et al.* 1977; Jolly 1982), Austrália (Nesbitt *et al.* 1979), Brasil (Schorscher 1978; Sabóia 1978; Teixeira 1978). Na área em questão a afinidade komatiítica foi inicialmente definida por Teixeira (1978), ressaltada por Schmidt (1983) e mais recentemente por Brenner *et al.* (1990) e Szabó (1989, 1996).

A Sequência Vulcano-Sedimentar Morro do Ferro está localizada no sudoeste do estado de Minas Gerais, onde historicamente sempre foram realizadas muitas pesquisas e estudos. Isto deve-se à sua interessante e intrigante trama geológica, além de sua grande potencialidade para exploração mineral. Nestas últimas décadas, a região foi alvo de vários trabalhos científicos por parte das universidades e de algumas empresas de mineração, culminando em 1983 com a descoberta da primeira jazida de níquel e cobre vulcanogênica, do Brasil, com reservas de 6,6 milhões de toneladas de minério, sendo a gênese deste minério ligada a processos de segregação magmática máfico - ultramáfica de filiação komatiítica.

Esta descoberta foi realizada pela B.P. Mineração - Projeto Furnas, nas proximidades de Fortaleza de Minas, sudoeste de Minas Gerais, embasada nos trabalhos anteriores como os de Teixeira & Danni (1979 a, b) e Carvalho & Batista (1983), entre outros.

Vários foram os estudos realizados na região enfocada pela presente dissertação, muitos de interesse regional, procurando caracterizar melhor a compartimentação litoestrutural dos terrenos pertencentes ao Domínio Norte do Complexo Campos Gerais (CCG) (Crósta *et al.* 1986; Roig & Schrank 1992; Zanardo 1992; Szabó 1996), outros dando ênfase à Sequência Vulcano-Sedimentar Morro do Ferro (SVS-MF), e em particular, ao depósito de O'Toole (Marchetto, 1986; Brenner *et al.*, 1990). Apesar do volume de trabalhos realizados, persistem áreas onde a continuidade dos corpos máficos/ultramáficos ainda não é totalmente esclarecida. Procurando elucidar um pouco mais esta questão a presente dissertação aborda os litotipos pertencentes à Unidade Morro do Níquel (Brenner *et al.* 1990) e da Faixa Mumbuca (Szabó, 1996), integrantes do Cinturão Vulcano-Sedimentar Morro do Ferro, sendo relevante o melhor esclarecimento de questões como: diferenças metamórficas entre tais áreas, suas relações estruturais e a potencialidade econômica dos terrenos metaultramáficos da Faixa Mumbuca.

Durante o desenrolar do presente trabalho, a região do Cinturão Vulcano-Sedimentar Morro do Ferro foi melhor compartimentada geologicamente. O limite entre a Unidade Morro do Níquel e a Faixa Mumbuca foi estabelecido, com base nas relações litoestruturais observadas no campo e nos estudos de lâminas petrográficas. Destaca-se as diferenças metamórficas dos constituintes metamáficos/metaultramáficos presentes nos dois segmentos e a diferença entre os constituintes metassedimentares. Estruturalmente os dois segmentos passaram por processos deformacionais semelhantes e estão separados por uma falha transcorrente de caráter sinistral, rúptil, que se desenvolveu por sobre uma ampla e antiga zona de cisalhamento dúctil. Estas questões serão discutidas nos capítulos seguintes.

## **I.1 - LOCALIZAÇÃO DA ÁREA**

A área de estudo está situada na porção sudoeste de Minas Gerais (Fig. 1.1), próximo às localidades de Passos e Fortaleza de Minas. Apresenta-se limitada pelas coordenadas U.T.M. - 7682 a 7690 N e 320 a 340 E.

As localidades acima identificadas podem ser acessadas a partir da cidade de Campinas, seguindo pela rodovia SP 330, no sentido de Ribeirão Preto. Desta cidade segue-se em direção à cidade de Passos pela rodovia MG 050. O acesso à área em enfoque pode ser feito a partir da

cidade de Fortaleza de Minas ou de Passos em direção a Bom Jesus da Penha, ambas as rotas por estrada de terra.

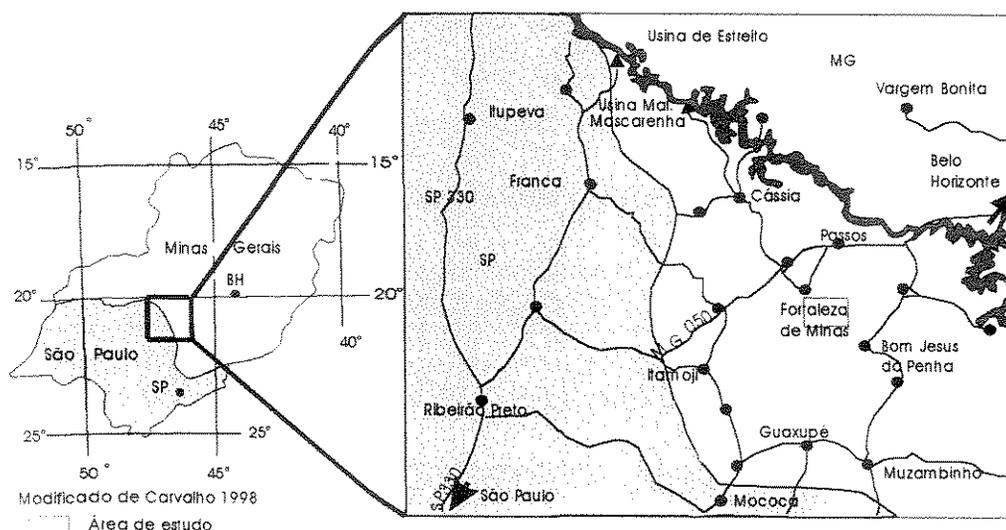


Fig. I.1: Mapa rodoviário, com as vias de acesso à área de estudo.

## I.2 - OBJETIVO

As ocorrências de rochas metamáficas/metaultramáficas da Unidade Morro do Níquel (Brenner *et al.* 1990) e da Faixa Mumbuca (Szabó 1996) apresentam-se com formas alongadas e paralelas às falhas transcorrentes NW/SE que cortam todo o CCG. Estas rochas possuem diferenças no grau metamórfico, sendo a Unidade Morro do Níquel de grau mais baixo que a Faixa Mumbuca, uma vez que o aumento do grau metamórfico regional ocorre para leste, segundo Carvalho *et al.*, (1982). Já os trabalhos de Szabó (1989; 1996), mostram uma evolução contrária no aumento do grau metamórfico, ou seja de leste para oeste, com ponto culminante em Mumbuca. O principal objetivo é procurar esclarecer, se existe continuidade entre as duas faixas abordando seus aspectos estruturais e metamórficos, além de ressaltar a possível potencialidade para mineralizações na área de Mumbuca.

### **I.3 - METODOLOGIA**

Para a realização desta dissertação, foi utilizado como principal ferramenta o mapeamento geológico-estrutural, somado às descrições petrográficas ao microscópio óptico de luz transmitida.

Para a realização do trabalho de mapeamento, foi utilizada como base para a localização dos afloramentos a folha topográfica Fortaleza de Minas (IBGE - folha SF-23-V-A-VI-4), na escala 1:50.000, fotos aéreas USAF 1:60.000 da região e aparelho GPS (“Global Positiony System”) da instituição IG-UNICAMP.

As etapas de trabalho e métodos foram:

a) Revisão bibliográfica - compreendendo a atualização e o levantamento dos trabalhos realizados na área de estudo.

b) Etapas de campo - Foram realizadas cinco etapas de campo, totalizando 34 dias de campo. A etapa inicial incluiu o levantamento da área proposta, visita aos afloramentos típicos e coleta de dados estruturais e de amostras para estudos petrográficos preliminares. Nas etapas subseqüentes a sistemática adotada foi o desenvolvimento do mapeamento geológico da área proposta (ver mapa geológico/estrutural - anexo), onde se procurou visitar o maior número possível de afloramentos, destacando-se os levantamentos de perfis realizados ao longo das estradas e trilhas que recortam a região, esperando-se com isso confeccionar o mapa geológico da área. Com o intuito de melhor cartografar os tipos litológicos e suas relações de contato, a escala do mapa utilizada foi de 1:25.000.

c) Estudos petrográficos - Durante o decorrer desta dissertação foram confeccionadas 60 lâminas petrográficas, sendo que utilizou-se a mais 50 lâminas cedidas pelo Prof. Dr. Gergely Szabó (IG -USP). A classificação da granulação utilizada segue os intervalos: Fina (<1,0mm), Média (entre 1,0 e 3,0mm), Grossa (>3,0mm) e Muito grossa (>5,0mm).

d) Elaboração de diagramas estruturais - Esta fase teve a finalidade de auxiliar na interpretação estrutural da região. Objetivando o tratamento estatístico de todas as medidas estruturais obtidas em campo, foram feitos diagramas de foliação, lineações de estiramento e eixos de dobras.

e) Elaboração de um esboço geológico da região - Nesta fase, para efeito da apresentação dos resultados, foi utilizada a escala de 1:25.000, tanto para o mapa, quanto para os

perfis. O mapa compreende o esboço geológico/estrutural, contendo os diagramas estruturais representativos de foliação e os pontos visitados nos trabalhos de campo (anexo).

f) Confeção da dissertação – Nesta fase foi realizado o somatório de todos os dados obtidos nas fases anteriores, com a intenção de informar os resultados alcançados nesta dissertação.

## **I.4 - JUSTIFICATIVA**

A área abordada nesta dissertação esta situada dentro do Complexo Campos Gerais. Este complexo vem sendo estudado por vários pesquisadores de instituições distintas, destacando-se as seguintes universidades: UNESP, USP e UNICAMP. As universidades produziram um montante considerável de informações, sendo estas obtidas na forma de teses de livre docências e de doutorado, dissertações de mestrado, trabalhos de iniciação científica, relatórios internos dos cursos de graduação e trabalhos publicados em revistas especializadas. Além da abordagem científica, este complexo foi pesquisado por algumas empresas de mineração como a BP-Mineração e mais atualmente a RTZ Mineração.

Os primeiros trabalhos geológicos realizados na área foram executados pela companhia Eletro-Metalúrgica de Ribeirão Preto (SP), que explorou a formação ferrífera bandada do Morro do Ferro entre o período de 1922 e 1925, segundo Abreu (1976). No decorrer dos trabalhos de avaliação da jazida, foram encontrados indícios de mineralizações niquelíferas, evidenciada pela presença de pequenos veios de garnierita, no então denominado Morro Pelado, correspondendo atualmente à jazida do Morro do Níquel.

A primeira descrição desta jazida foi feita por Moraes (1935), no trabalho intitulado "Níquel no Brasil", onde são feitas algumas considerações sobre o potencial do depósito e o caráter intrusivo do corpo serpentínico na Série Minas. Desta maneira, tanto esta referência quanto as de Sandivañez (1965), Swensson (1968) e Griffon & Richter (1976), correspondem às bibliografias pioneiras com objetivos econômicos para a região.

Entre outros trabalhos de caráter metalogenético, destaca-se o trabalho de Carvalho & Batista (1983). Estes autores realizaram estudos ao redor de Fortaleza de Minas, com o objetivo de avaliar a geologia e o potencial de mineralização. Baseados em outros trabalhos e relatórios internos da UNESP, estes autores conseguiram determinar três anomalias geoquímicas de primeira

ordem superpostas (Ni-Cu-Co). Neste mesmo ano e nesta mesma área foi descoberto o depósito de sulfeto maciço de níquel, cobre e cobalto denominado O`Toole, pela BP Mineração.

O interesse em realizar esta dissertação, deve-se em parte à ocorrência do depósito O`Toole relacionado aos corpos máficos - ultramáficos de natureza komatiítica. Outra característica que promoveu o estudo foi a complexa evolução tectônica do Complexo Campos Gerais. Este Complexo possui metamorfismo diferenciado e uma intrigante trama estrutural, onde as rochas estão segmentadas por zonas de cisalhamentos de amplitude regional e dispostas de forma alongada. Esta dissertação procurou ressaltar a relação entre as condições metamórficas e estruturais das rochas máficas e ultramáficas pertencentes ao "Greenstone belt Morro do Ferro".

## II - GEOLOGIA REGIONAL

Nesta parte da dissertação optou-se por utilizar o esboço tectônico contido em Zanardo (1992) e o mapa regional de Szabó (1996), uma vez que estes mapas apresentam uma boa integração dos trabalhos geológicos realizados na área. Estes mapas estão parcialmente modificados, utilizando-se somente as informações relevantes.

A área de estudo situa-se na porção limítrofe entre os blocos São Paulo e Brasília, sudoeste de Minas Gerais, conhecido como Complexo Campos Gerais. Esta região apresenta padrões deformacionais e metamórficos bastante complexos e com diferentes graus de intensidade, devido aos progressivos processos geológicos atuantes, que foram responsáveis pela deformação, lenticularização e individualização de corpos litológicos no interior dos blocos em que o complexo foi dividido, mostrando regionalmente um padrão amendoado.

Esta área é constituída por rochas de diferentes idades que vão desde o arqueano até o recente. Há poucos registros geocronológicos disponíveis: um deles é de um mobilizado não deformado de um migmatito, atribuído ao grupo Barbacena, dos arredores de Fortaleza de Minas, com idades Rb/Sr de  $2.918 \pm 105$  Ma, (Wernick *et al.* 1981). Outro dado foi obtido por Choudhuri *et al.* (1992), em granitóides remobilizados da Serra do Quilombo, a SE da cidade de Alpinópolis, mostrando reativações no Ciclo Transamazônico, através de uma isócrona Rb/Sr de  $1.878 \pm 50$  Ma.

As rochas do Complexo são afetadas por tectônica direcional dúctil a dúctil-rúptil, sendo recobertas a norte e a noroeste por uma seqüência alóctone metassedimentar pertencente ao Grupo Araxá/Canastra (Teixeira 1978; Teixeira & Danni 1978; Valeriano 1993). Na porção oeste os terrenos do CCG são recobertos por litologias pertencentes às formações da Bacia do Paraná, ao sul estão em contato com rochas gnáissicas-granulíticas do Complexo Varginha-Guaxupé e a leste as rochas gnáissicas anatexíticas são relacionadas ao Grupo Barbacena (Fig. II.1).

O CCG descrito por Fonseca *et al.* (1979), é representado por uma cunha estreita, com orientação WNW/ESE, estendendo-se das cidades de São Sebastião do Paraíso e Jacuí, borda da Bacia do Paraná, a oeste, até Nepomuceno-Lavras a leste. Nesta área os litotipos do Complexo são relacionados ao Complexo Barbacena.

# ESBOÇO GEOLOGICO DO SUDOESTE DE MINAS GERAIS

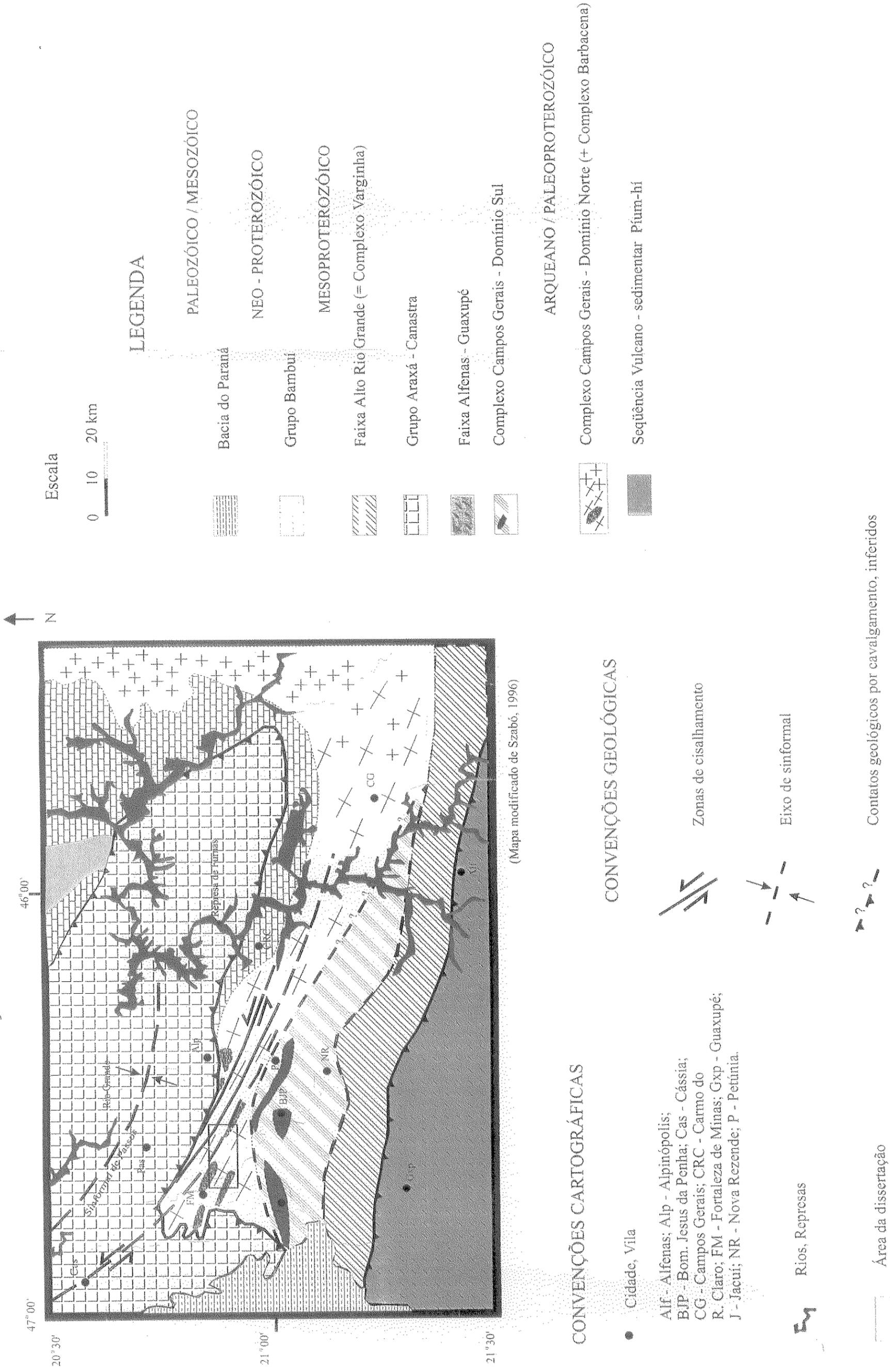


Fig. II.1: esboço geológico do sudoeste de Minas Gerais.

Teixeira & Danni (1979 a, b), estudando as rochas básicas-ultrabásicas e os metassedimentos associados nos arredores da cidade de Fortaleza de Minas, definiram o conjunto como pertencentes ao “Cinturão Vulcano-Sedimentar Morro do Ferro”. Esta definição foi estabelecida devido às peculiaridades litológicas e estruturais observadas na área. O Cinturão foi subdividido em três unidades litoestratigráficas, da base para o topo:

Unidade Morro do Níquel - Composta por xistos magnesianos, tufos, “*cherts*”, formações ferríferas bandadas e grauvacas. Por conter derrames ultrabásicos, esta Unidade corresponderia à porção do Cinturão mais favorável para o desenvolvimento de mineralizações sulfetadas.

Unidade Córrego Salvador - Constituída por epidoto-tremolita-clorita xistos, “*cherts*” ferríferos e rochas sedimentares derivadas do retrabalhamento de rochas vulcânicas.

Unidade Morro do Ferro - Possui caráter predominantemente metassedimentar, com filitos sericíticos, metacalcários, cloritóide xistos e formações ferríferas.

De acordo com estes autores, o Cinturão Vulcano-Sedimentar Morro do Ferro acha-se em contato direto com rochas cataclásticas, que marcariam as zonas de cisalhamentos de expressão regional, sendo o cinturão caracterizado por isoclinais apertadas com planos axiais verticalizados e orientação das lineações noroeste, com ao menos três etapas de deformação distintas, registradas em “*kinkbands*” e crenulações. O metamorfismo teria se desenvolvido em pressões intermediárias, na fácies xisto verde.

Com o decorrer dos trabalhos do Projeto Fortaleza de Minas, (Teixeira *et al.* 1987), a Unidade Córrego Salvador foi suprimida e incorporada à Seqüência Carmo do Rio Claro e à Faixa Bom Jesus da Penha-Jacuí.

A caracterização de um Cinturão Vulcano-Sedimentar incentivou o desenvolvimento de vários trabalhos nesta região, desde os mais específicos até os de cunho regional.

Carvalho & Batista (1983), estudando a potencialidade metalogenética dos arredores de Fortaleza de Minas, registraram a presença de três anomalias geoquímicas de primeira ordem superpostas (Ni-Cu-Co), através de dados de geoquímica de solo e rocha, em uma área de 4 km<sup>2</sup> constituída por serpentinitos, talco xistos, clorita-tremolita xistos e formações ferríferas.

Neste mesmo ano a B.P. Mineração descobriu nesta região o primeiro depósito vulcanogênico de níquel-cobre e cobalto do Brasil, relacionado a processos de segregação

magmática máfico-ultramáfica, associado a komatiitos. Com reservas geológicas de 5,1 milhões de toneladas de minério, este depósito encontra-se localizado na mesma área onde foram identificadas as anomalias acima descritas.

Machado Filho *et al.* (1983), prolongam o CCG para NW, acompanhando uma zona de cisalhamento que segue até a cidade de Cássia. Estes autores distinguem no CCG o Grupo Fortaleza de Minas, que corresponde ao “Cinturão Vulcano-Sedimentar Morro do Ferro” (Teixeira & Danni 1979 a, b). Este Grupo é indicado na forma de duas faixas contínuas, uma de direção WNW-ESE, iniciando próximo da cidade de Fortaleza de Minas e outra E-W, entre Jacuí e a cidade de Bom Jesus da Penha.

Marchetto (1986), trabalhando com os sulfetos do depósito O’Toole, destaca a presença de platinóides ocorrendo freqüentemente como inclusões na ganga silicática, bem como nos sulfetos predominantes, a saber: pirrotita, pentlandita e cobaltita. Isto indicaria que os EGP foram formados inicialmente, ou seja nos primeiros estágios da cristalização do magma, antes dos sulfetos e dos arsenetos.

Brenner *et al.* (1990), dividem a região em três grandes segmentos crustais, possuindo trend WNW/ESE, que são:

A) Gnaisses migmatíticos do embasamento com granitóides intrusivos.

B) *Greenstone-belt* Morro do Ferro: ocorre como segmentos lineares rompidos de forma alongada, em uma janela estrutural abaixo da falha de cavalgamento proterozóica Araxá-Canastra. As rochas correspondentes ao *greenstone belt* possuem aproximadamente 80 km de comprimento por 5 km de largura, localizados entre as cidades de Fortaleza de Minas e Conceição da Aparecida. Segundo Brenner *et al.* (1990), estes segmentos são restos de sinclinais erodidas preservadas dentro do embasamento gnáissico-migmatítico. O contato entre os terrenos do *greenstone belt* e o embasamento é marcado por intensa foliação e zonas miloníticas. O segmento Fortaleza de Minas do *greenstone belt* Morro do Ferro, foi dividido em duas unidades:

1) *Unidade Morro do Níquel* - Suas melhores exposições estão a sul da cidade de Fortaleza de Minas, e correspondem a uma sucessão de derrames komatiíticos maciços e diferenciados, possuindo por vezes estruturas almofadadas e textura *spinifex*. A rocha mais comum é um actinolita-clorita xisto/fels, interpretado como metabasalto komatiítico, seguido por derrames diferenciados com textura cumulática de pseudomorfos de fenocristais de olivina

cercados por clinopiroxênio, descrito como clinopiroxenitos de filiação komatiítica. Sua associação mineral é composta por: serpentina ± tremolita ± clorita ± magnetita, e cromita esquelética. Subordinadamente ocorrem os serpentinitos normalmente maciços e sem textura primária. Os derrames são intercalados com precipitados químicos e tufos. No geral, a assembléia primária dos derrames é transformada para serpentina-tremolita-talco e clorita. Os contatos entre os metabasaltos komatiíticos e os clinopiroxenitos são normalmente transicionais, e entre os serpentinitos e os clinopiroxenitos são geralmente bruscos.

2) *Unidade Morro do Ferro* - Melhor representada a noroeste da cidade de Fortaleza de Minas e é composta por sedimentos químicos (formações ferríferas, “*cherts*” e fuchsitita “*cherts*”), clásticos (sericita-clorita-quartzo xistos, grafita xistos e cloritóide-clorita-sericita xistos) e tufáceos intercalados com rochas metavulcânicas. As metavulcânicas são representadas principalmente por komatiitos talcificados, apresentando pontualmente texturas cumulática e *spinifex*.

#### C) Cinturão móvel de alto grau Alfenas.

Segundo Soares *et al.* (1990), a arquitetura destes complexos litológicos no contexto geotectônico corresponde a uma região de cavalgamento de antepaís, que possibilitou a preservação das rochas supracrustais de Alpinópolis e de Fortaleza de Minas. A organização estrutural das rochas pertencentes ao *greenstone belt*, em conjunto com os migmatitos encaixantes deve-se à dinâmica do Cinturão de Cisalhamento Campo do Meio - CCCM (Cavalcante *et al.* 1979).

Carvalho (1998), mostra que na Faixa de Fortaleza de Minas a unidade Morro do Níquel corresponde ao segmento basal de um *greenstone belt*, contendo rochas metaultramáficas/metamáficas de derivação komatiítica, rochas metabásicas de caráter toleítico, metatufos e metacherts. Destaca o metamorfismo entre as fácies xisto verde a anfíbolito. Na unidade Morro do Ferro são descritas principalmente rochas metassedimentares pelíticas e químicas silicosas, seguidas de rochas metaultramáficas e metamáficas, mármore e possíveis metavulcânicas ácidas. A Faixa Fortaleza de Minas foi substituída na região da cidade de Bom Jesus da Penha, por uma faixa homônima, uma vez que nesta área ocorre o predomínio de rochas metassedimentares psamo-pelíticas, com metamorfismo em grau mais alto, de fácies anfíbolito superior.

Segundo alguns autores o Complexo Campos Gerais apresenta como modelo de compartimentação tectono-estratigráfica dois domínios maiores distintos, um a Norte e outro a Sul (Crósta *et al.* 1986; Soares *et al.* 1990; Zanardo 1992; Roig & Schrank 1992; Roig 1993; Szabó *et al.* 1993; Choudhuri *et al.* 1995; Szabó 1996), que de forma geral são: (Fig.II.2).

*Domínio Norte:* autóctone, representado por terrenos granito-*greenstone belt*, cisalhados e reorganizados ao longo de extensas zonas de cisalhamento direcionais WNW-ESE, de alto ângulo, sinuosas e anastomosadas, de expressão regional, com rochas ultramáficas de filiação komatiítica pertencentes à Sequência Vulcano-Sedimentar Morro do Ferro. Este domínio corresponderia a parte da borda meridional do Cráton do São Francisco, retrabalhada no ciclo Transamazônico.

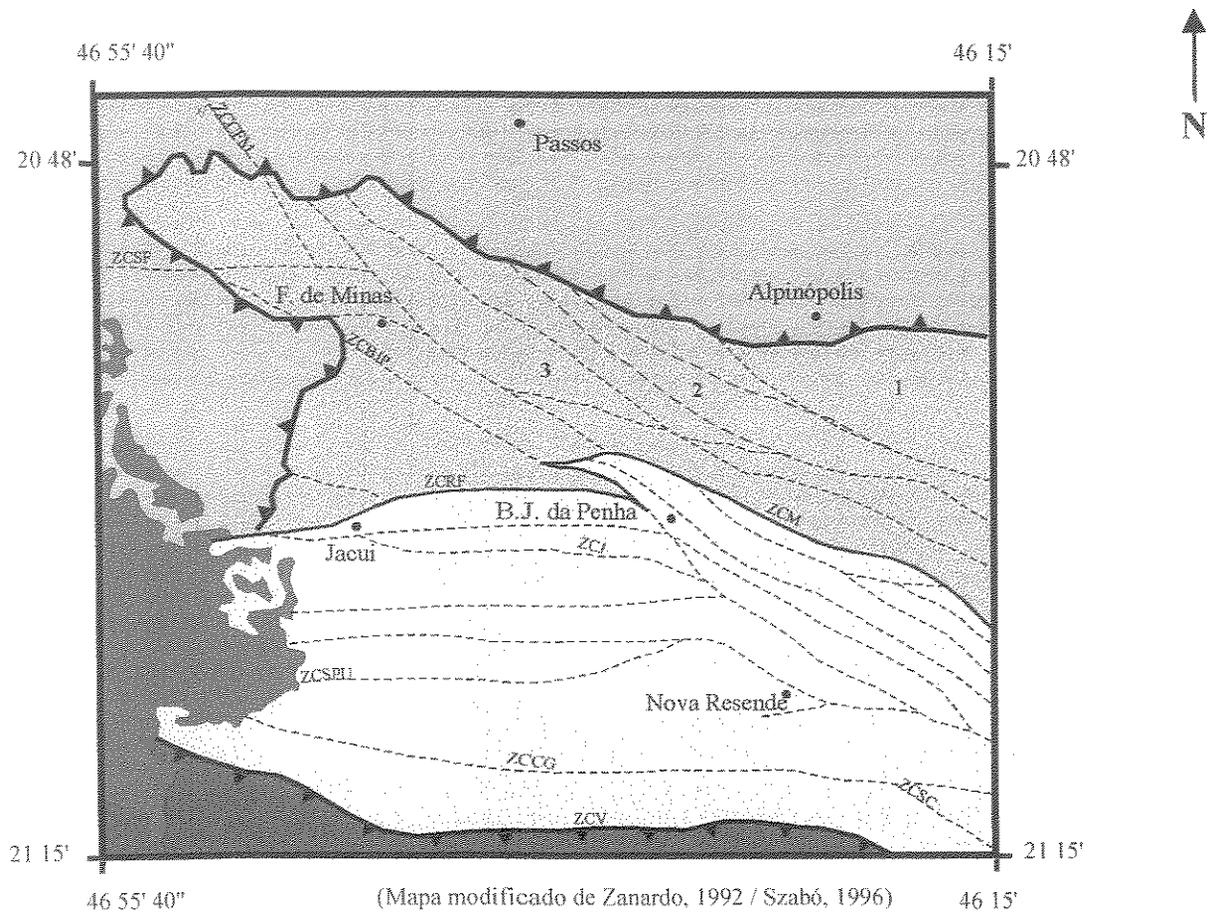
Neste mesmo Domínio tem-se a presença da Mina O'Toole com mineralizações de sulfetos de Fe-Ni-Cu-Co e EGP, localizada a sul da cidade de Fortaleza de Minas. Localmente as rochas metaultramáficas apresentam feições reliquiares preservadas como textura *spinifex* e subordinadamente estruturas almofadadas, acompanhando estas rochas tem-se formações ferríferas bandadas e metavulcânicas básicas (anfíbolitos). Estas feições reliquiares, normalmente, estão preservadas em núcleos dos corpos ultramáficos. Estes litotipos, bem como os demais, estão na forma de lentes envolvidas por foliação milonítica, intercalados com ortognaisses tonalíticos-granodioríticos cisalhados com padrão de deformação heterogêneo. As relações de contato com as unidades vizinhas são discutíveis e problemáticas, especialmente entre o Domínio Norte e o Domínio Sul.

O Domínio Norte do CCG é recoberto pela seqüência metassedimentar psamo-pelítica alóctone do Grupo Araxá/Canastra, ou Sinformal de Passos (Teixeira 1978; Teixeira & Danni 1978), mais a seqüência Carmo do Rio Claro e litotipos carbonáticos-pelíticos autóctones do Grupo Bambuí (Heilbron *et al.* 1987).

A porção leste deste Domínio é chamada de Complexo Barbacena, sendo que a diferença entre estes dois Complexos é dada pela intensidade da deformação no CCG, onde os terrenos do Domínio Norte são mais intensamente estruturados e orientados na direção WNW/ESE.

Szabó (1996) estudando parte dos terrenos pertencentes ao domínio norte do CCG, propõe a compartimentação da área em três faixas. Estas foram definidas de acordo com as associações litológicas características para cada faixa, e pelas extensas descontinuidades estruturais que as separam. As faixas definidas por este autor são:

# Compartimentação Tectônica do Complexo Campos Gerais



Denominação das Faixas - Domínios Norte - CCG

Escala 1:630.000

--- Forma aproximada das zonas de cisalhamentos que separam as faixas

- 1 - Faixa Serra do Dondó
  - 2 - Faixa Córrego das Almas
  - 3 - Faixa Mumbuca
- (Szabó, 1996)

## LEGENDA

--- Zonas de Cisalhamento

- ZCCFM - Cássia-Foratleza de Minas
- ZCSF - Serra da Fábrica
- ZCM - Mumbuca
- ZCRF - Riacho Fundo
- ZCBJP - Bom Jesus da Penha
- ZCJ - Jacuí
- ZCSPU - São Pedro da União
- ZCCG - Campos Gerais
- ZCSC - Santa Cruz
- ZCV - Varginha

- Litologias da Bacia do Paraná
- Grupo Araxá-Canastra
- Faixa Alfenas-Guaxupé
- Porção sul do Cx Campos Gerais
- Porção norte do Cx Campos Gerais

● Cidades

Fig. II.2: Compartimentação Tectônica do Complexo Campos Gerais..

- *Faixa Serra do Dondó*: marcada por possuir núcleos tonalíticos porfiríticos, preservados em uma suíte de ortognaisses cinza tonalíticos-granodioríticos cisalhados e remobilizados. Os corpos maiores metaultramáficos são caracterizados principalmente por tipos portadores de clorita-Ca-anfíbólio xistos/fels, possuidores de textura *spinifex* preservada. Os corpos metaultramáficos de dimensões menores são marcados pela presença de espinélio verde-ortopiroxênio-olivina-hornblenda, subordinadamente clorita e antofilita. Os demais litotipos máficos/ultramáficos são representados por anfibolitos, serpentinitos, talco xistos, serpentina-talco xistos carbonáticos e metapiroxenitos.

Os constituintes metassedimentares desta Faixa são representados por granada-quartzo micaxistos ± estauroлита ± sillimanita, que ao microscópio apresentam textura grano-lepidoblástica intensamente crenulada. Os metassedimentos de origem química são: “metacherts” e formações ferríferas bandadas, com predomínio de leitos milimétricos a centimétricos, quartzoso e microporfiroblastos prismáticos de grunerita sobre os leitos ferruginosos.

- *Faixa Córrego das Almas*: possui, como na Faixa anterior, um componente tonalítico, entretanto a quantidade de máficos é menor, o que resulta em uma rocha com aspecto mais leucocrático. Esta Faixa não possui ocorrência de rocha metaultramáfica.

- *Faixa Mumbuca*: constituída por gnaisses granodioríticos a monzograníticos, normalmente cisalhados e com porções leucossomáticas graníticas de coloração rosa, menos deformadas. As rochas metaultramáficas nesta faixa não possuem mais texturas reliquiares originais preservadas e apresentam a paragênese mineral: olivina e/ou ortopiroxênio + hornblenda ± espinélio verde e/ou clorita. Esta associação mineral caracteriza o litotipo predominante da seqüência *greenstone* nesta Faixa, que apresenta-se foliado com núcleos lenticulares maciços, granulares, envolvidos por foliação de cisalhamento sinuosa. Outros litotipos metaultramáficos de menor expressão, são representados por: clorita-Ca-anfíbólio xisto/fels, serpentinitos e talco xistos/esteatitos. As rochas metassedimentares são: formações ferríferas com anfíbólio grunerítico; metacherts; rochas metassedimentares psamo-pelíticas: sillimanita ± estauroлита granada-quartzo micaxistos a sillimanita-granada-clorita xistos. As rochas anfibolíticas são texturalmente e mineralogicamente mais variadas que na faixa Serra do Dondó, possuindo paragênese em fácies granulito, com ortopiroxênio, clinopiroxênio, plagioclásio e granada. Estas rochas estão associadas com as rochas metaultramáficas e as formações ferríferas (Szabó 1996).

*Domínio Sul:* possivelmente Alóctone, litologicamente composto de rochas metassedimentares psamo-pelíticas, contendo importantes intercalações de rochas metaultramáficas/metamáficas e seqüências gnáissicas de derivação sedimentar.

No Domínio Sul as rochas metaultramáficas estão na forma de corpos lenticulares-tabulares delgados e extensos, intercalados à seqüência de metassedimentos psamo-pelíticos com deformação mais penetrativa, com tectonitos S-L e L. Próximo a estas metaultramáficas ocorre a presença de muscovita cromífera (fuchsita), bem como de corpos podiformes de cromitito de várias dezenas de metros de extensão.

Estudos realizados na porção meridional (Roig 1993 e Roig & Schrank 1992), em corpos ultramáficos diferenciados com cromititos podiformes associados, acompanhados de rochas metabásicas com assinatura geoquímica de basaltos MORB, indicariam que estes terrenos poderiam fazer parte de lascas de seqüências ofiolíticas tectonicamente embutidas no CCG, ao longo de uma zona de sutura que separa o Domínio Norte do Domínio Sul. Os corpos ultramáficos seriam representantes da parte inferior da pilha crustal envolvida em uma colisão continental oblíqua com transporte para ESE.

Estruturalmente observa-se falhas tardias transcorrentes rúpteis a rúpteis/dúcteis, pós-metamórficas, tardi-colisionais, ocorrendo sobre as superfícies de cavalgamento pretéritas, de médio ângulo, parcialmente modificadas por estas falhas tardias de alto ângulo. Segundo Roig (1993), o Complexo Petúnia corresponderia a restos de uma seqüência ofiolítica ou a partes de um complexo estratiforme, pertencentes ao Domínio Sul, alóctone, que possui afinidade com a faixa de dobramentos Alto Rio Grande, sugerindo a correlação entre o Complexo Petúnia e as porções basais do Grupo Andrelândia, enquanto que o Domínio Norte, autóctone é relacionado com o Complexo Barbacena.

A porção ocidental deste Domínio, a oeste da cidade de Jacuí, possui contato por não conformidade com Seqüências sedimentares Paleozóicas - Mesozóicas da Bacia do Paraná, notando-se a formação de morros testemunhos circulares por sobre o embasamento.

Hasui & Oliveira (1984) mostram que a porção meridional do CCG, representado por metassedimentos do Domínio Sul, entram em contato com rochas granulíticas pertencentes ao Complexo Varginha-Guaxupé, uma vez que a Faixa Alto Rio Grande, que separa estes dois grupos litológicos distintos, apresenta-se interrompida na área ao norte da cidade de Alfenas.

Estes domínios seriam separados por uma zona de cisalhamento oblíqua, tangencial, ao longo da qual teria ocorrido o transporte do Domínio Sul para ESE por sobre o Domínio Norte. Estes domínios diferem em vários aspectos, como: organização estrutural, características petrográficas das rochas ultramáficas e nas associações litológicas.

## II.1 - Estruturação do CCG

O Complexo Campos Gerais é tido como tectonicamente instável desde o Pré-cambriano até o Terciário, englobando rochas arqueanas do embasamento, com sobreposição de falhas mais novas, de caráter rúptil, por sobre zonas de cisalhamentos mais antigas, amplas e de caráter dúctil, mascarando as estruturas pretéritas. Entretanto, em alguns núcleos estruturalmente preservados, é possível observar feições estruturais antigas preservadas.

Segundo Cavalcante *et al.* (1979), a estruturação tectônica deste complexo é marcada pelo CCCM, portador das falhas de Campos Gerais, Bom Jesus da Penha, Petúnia e Jacuí, entre outras. As direções principais variam de E-W a N70W - N80E, sugerindo movimento oblíquo entre os blocos. Isto deve-se ao fato da mistura entre os tipos transcorrente e inverso, com mergulho em torno de 45 graus.

O CCG, de acordo com Morales *et al.* (1983), é caracterizado por dois conjuntos de falhas em seus domínios. O primeiro conjunto, NW/SE, representa a zona rúptil Cássia/Barbacena, agrupando as falhas de Mumbuca e Bom Jesus da Penha. O segundo conjunto, E/W, é representado, principalmente, pela falha de Campos Gerais. São observados dois conjuntos de dobramentos: F1 com dobras intrafoliais de flancos adelgaçados e freqüentemente rompido, ápice espessado, formado por um bandamento metamórfico mais antigo, com foliação plano axial de transposição/cataclástica com alto mergulho para SW. A segunda fase de dobramento F2, foi gerada pela reorientação da foliação de cisalhamento formada em F1, em dobras isópacas, abertas a fechadas em rochas gnáissicas e em “*chevron*” nas rochas xistosas.

De acordo com os trabalhos desenvolvidos por Brenner *et al.* (1990), a região passou por três eventos tectônicos de caráter regional, acompanhados pelo desenvolvimento de dobras. O primeiro evento F1, é evidenciado pela forte transposição da foliação plano axial da estruturação anterior, como evidências tem-se dobras intrafoliais rompidas, sendo que, localmente, estas estão preservadas e redobradas pela fase seguinte F2. Esta transformação é melhor identificada nos terrenos sedimentares e nos gnaisses.

A fase F2 é caracterizada por dobras isoclinais de “*plunge*” 40° para NW com o desenvolvimento de uma foliação subvertical S2. O quadro geral é de paralelismo das foliações S0,S1,S2, devido a forte dobramento isoclinal. Associado a forte transposição, esta configuração dificulta a separação destas três foliações. Durante o desenvolvimento da terceira fase de dobramento, as superfícies S1 e S2 foram dobradas, o que gerou dobras normais, verticais e apertadas. Estas dobras são coaxiais com F2, apresentando “*plunge*” em torno dos 30°-35° para NW. Segundo os autores, estas são algumas das evidências que permitem inferir um modelo de interferência do tipo domos e bacias.

Finalizando o quadro estrutural, a área foi recortada por evidentes e marcantes zonas de cisalhamento N 65°-80° W, que produziram zonas miloníticas. Estas zonas controlam a geometria, a distribuição e os atuais contatos dos restos remanescentes do *greenstone*.

A Zona de Cisalhamento Campo do Meio - ZCCM, é descrita como faixas miloníticas estreitas, contínuas, anastomosadas, de alto ângulo, sobrepondo-se a uma foliação de médio ângulo na fácies anfíbolito, envolvendo núcleos lenticulares que preservam a foliação mais antiga, com orientação preferencial N40-50W, com mergulho tanto para NE, como SW, acompanhadas de feições migmatíticas. A foliação dos núcleos lenticulares junto às faixas miloníticas é flexionada de NW para N70W. As Faixas miloníticas ficam mais espessas na direção sul, correspondendo ao traçado das falhas principais. As lineações são sub-horizontais, com caráter sinistral. Os esforços compressivos são próximos de E/W, interpretados pelas direções N70W e N80E das zonas de cisalhamentos conjugadas. Discretas zonas de empurrão representam feições transpressivas ligadas a zonas de cisalhamento; as áreas transtensivas são preenchidas por diques metabásicos com orientação N60E/vertical. (Morales *et al.* 1991; Morales 1993).

O modelo dinâmico para a região (Szabó 1996), corresponde a regimes compressivos E/W, que desloca o Grupo Araxá/Canastra sobre o CCG, gerando zonas de cisalhamentos direcionais de alto ângulo no embasamento. Estas mascaram as estruturas mais antigas, devido ao cisalhamento dúctil a dúctil/rúptil. A porção mais rúptil ficaria registrada nas porções mais estreitas, como a zona central da falha de Mumbuca, atuando até depois da colocação dos terrenos alóctones, uma vez que corta a superfície de baixo ângulo da base destes pacotes.

Alguns autores, (Roig & Schrank 1992; Zanardo 1992; Roig 1993; Szabó *et al.* 1993), mostraram que a estruturação dos domínios Norte e Sul do CCG são distintos: a norte a zona de cisalhamento possui alto ângulo, enquanto na porção sul o mergulho varia de médio a baixo.

## II.2 - Padrão Metamórfico do CCG

O CCG possui heterogeneidade metamórfica bem marcante, podendo ser o resultado de intensos reequilíbrios mineralógicos, associados principalmente às zonas de cisalhamento de alto ângulo (Zanardo 1992) e policíclico como sugeriu Teixeira (1978). Regionalmente o panorama metamórfico do Domínio Norte do CCG corresponderia a uma evolução progressiva, heterogênea, sob influência de zonas de cisalhamentos dúcteis, em fácies anfíbolito e, localmente, anfíbolito superior - granulito (Faixa Mumbuca), partindo de associações litológicas anteriormente reorganizadas, alcançando pico metamórfico quase-estático para grande parte da suíte (Szabó 1996).

Teixeira & Danni (1979 a, b), indicaram as rochas básicas-ultrabásicas e os metassedimentos associados nos arredores da cidade de Fortaleza de Minas, como pertencentes ao “Cinturão Vulcano-Sedimentar Morro do Ferro”, mostrando que as litologias estão em fácies xisto verde ou grau fraco de Winkler (1977), determinada pelas seguintes feições: coexistência de clorita (pennina)-muscovita+quartzo; a paragênese albita-tremolita, clorita-zoisita/clinozoisita; a presença de cloritóides, bem como xistos metabásicos com paragênese albita-actinolita-clorita-clinozoisita. Tendo em vista estas associações, os autores estimaram temperaturas entre 400°C - 500°C e pressões de 5 kbar, semelhantes a de outros cinturões vulcano-sedimentares com metamorfismo em fácies xisto verde.

Estes mesmos autores, destacam a existência de dois compartimentos metamórficos distintos, um representado pelo embasamento siálico em fácies anfíbolito alto com zonas de migmatização, e outro embutido neste embasamento, em fácies xisto verde, o “Cinturão Vulcano-Sedimentar Morro do Ferro”. A relação entre estes dois terrenos metamórficos contrastantes cria dúvidas sobre a intensidade do soterramento no metamorfismo regional.

Carvalho *et al.* (1982), estudando as rochas metaultramáficas e metamáficas nas proximidades da cidade de Fortaleza de Minas, correlacionaram as paragêneses metamórficas de fácies xisto verde com os respectivos protólitos ígneos: serpentinitos - peridotitos; clorita-tremolita xistos - piroxenitos, e epidoto-albita-actinolita xistos- basaltos. Estes autores relatam o

aumento do grau metamórfico na porção sul da folha de Fortaleza de Minas, onde as paragêneses cummingtonita-actinolita e antofilita-actinolita em xistos ultramáficos evidenciam condições metamórficas em fácies anfíbolito. Estas mesmas condições foram anteriormente mencionadas por Choudhuri (1980), para Faixa Jacuí-Bom Jesus da Penha.

Teixeira *et al.* (1987) indicam aumento do grau metamórfico, passando de fácies xisto verde na área de Fortaleza de Minas para fácies anfíbolito na área de Bom Jesus da Penha. Esta fácies metamórfica foi caracterizada pela paragênese: gedrita-antofilita + hornblenda tschermakítica + plagioclásio + cianita e hornblenda + granada + cianita em rochas magnésio-aluminosas, estimando temperaturas em torno de 600 - 700 °C e pressões na ordem de 7 kbar.

Brenner *et al.* (1990) relatam a variação do grau metamórfico, destacando para o segmento de Fortaleza de Minas, fácies anfíbolito inferior, com estimativas de temperatura em 550°C, e pressões de 3kb ou mais, sugerida pela presença de antigorita nos serpentinitos e actinolita-hornblenda + plagioclásio nos anfíbolitos. No segmento de Bom Jesus da Penha, estudos mais detalhados indicam condições de fácies anfíbolito alto com temperaturas entre 575°C - 625°C e pressões maiores que 6 kbar.

Zanardo (1992) destaca o caráter heterogêneo do metamorfismo, mostrando que as zonas de cisalhamentos e as falhas tardias promoveram processos retrometamórficos de grau variável. Mostra que o tamanho dos corpos ultramáficos, bem como o comportamento frágil às deformações regionais, possibilitaram o reequilíbrio de paragêneses de grau mais baixo, favorecendo a formação de descontinuidades condutoras de flúidos metamórficos. Assim sendo, os corpos de Fortaleza de Minas seriam os mais reequilibrados dos corpos maiores, uma vez que raramente apresentam paragêneses na fácies anfíbolito. Este mesmo autor indica a presença de metagabros com ortopiroxênio, plagioclásio, anfíbólio, e raro clinopiroxênio, recristalizados em condições de equilíbrio gerando “pseudo” granulitos com restos de textura magmática. Estes aspectos, ligados ao aparecimento de hornblenda com bordas enriquecidas em sódio, sugerem colocação e cristalização tardi-pico termal, ainda dentro de um contexto migmatítico, com temperaturas de 650°C ou mais elevadas e profundidades superiores a 20 Km.

Szabó (1996) mostra uma evolução metamórfica para a Suíte Metaultramáfica no Domínio Norte do CCG, em três estágios:

*Precoce*: Definido pela paragênese Mg-clorita-tremolita/actinolita. Segundo o autor, a formação desta paragênese estaria ligada à transformações metamórficas de baixa temperatura,

ou a processos hidrotermais na seqüência vulcânica. Este litotipo apresenta textura *spinifex* preservada em núcleos livres da deformação;

*Progressivo Principal*: Desenvolvimento de porfiroblastos de ortopiroxênios e olivina, sobre uma matriz de Mg -hornblenda, e

*Tardio de Baixo Grau*: Marcado pelas transformações metassomáticas, onde ocorrem a serpentinização e a talcificação.

As transformações metamórficas do Estágio *Progressivo* estão relacionadas ao aumento do grau metamórfico associadas às variações composicionais da Mg-clorita e do Ca-anfibólio, onde o enriquecimento em Al da clorita ocasiona a blastese de olivina e antofilita nas etapas iniciais do metamorfismo progressivo.

Este mesmo autor demonstra que o ponto metamórfico inicial, registrado no interior dos corpos ultramáficos maiores da Faixa Serra do Dondó, possui vestígios de fácies xisto verde, determinada pela paragênese: clorita-tremolita/actinolita, com texturas ígneas pretéritas, e clorita-Ca-anfibólio, de composição inicial mais aluminosa, na Faixa Mumbuca. Quando ocorre a quebra da Mg-clorita, nas etapas do metamorfismo progressivo são estimadas temperaturas mínimas no intervalo de 730 – 780 °C e pressões na ordem de 3 a 6 kbar, baseadas nas associações paragenéticas. As paragêneses de algumas rochas anfibolíticas (clinopiroxênio, ortopiroxênio, plagioclásio) associadas aos corpos ultramáficos, mostram condições máximas para o metamorfismo passando de fácies anfibolito superior para fácies granulito. A Faixa de Mumbuca está estirada em um dos ramos mais antigos da ZCCM, de característica dúctil, segmentada por várias zonas de cisalhamentos e/ou falhas mais estreitas, rúpteis e tardias, de fácies xisto verde ou mais baixa.

Tendo em vista a compartimentação do CCG apresentada, a área de estudo abordada nesta dissertação encontra-se inserida dentro do Domínio Norte, mais precisamente entre a Faixa Mumbuca (Szabó 1996) e a Unidade Morro do Níquel (Brenner *et al.* 1990), pertencentes ao *greenstone belt* Morro do Ferro.

### III – GEOLOGIA DA ÁREA

De acordo com o que foi descrito no capítulo anterior, a área em questão situa-se no Domínio Norte do CCG. Os litotipos aí inseridos fazem parte de uma associação granito-*greenstone belt* arqueana conhecida como Sequência Vulcano-Sedimentar Morro do Ferro. As rochas pertencentes a esta sequência, apresentam-se dispostas em faixas alongadas nas direções NW/SE - WNW/ESE. Este arranjo foi delineado por evidente e extenso cisalhamento transcorrente, sinuoso e anastomosado, de importância regional. O padrão anastomosado possibilitou a identificação de núcleos estruturalmente preservados, com história de evolução distinta. Na maioria das vezes é possível ver o aumento da intensidade da deformação em direção às bordas dos corpos metamultramáficos/máficos onde observa-se uma foliação milonítica bem definida e coerente com o padrão de deformação regional.

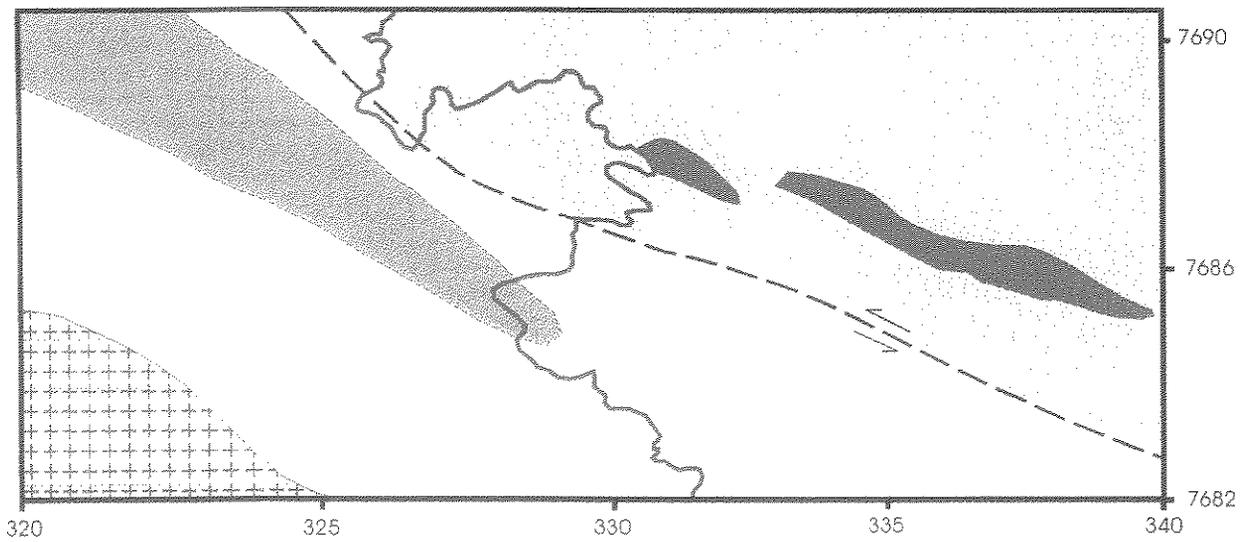
O mapeamento geológico realizado na escala de 1:25.000 possibilitou a identificação, individualização e descrição dos tipos litológicos mais evidentes presentes na área (ver mapa geológico/estrutural em anexo). Tendo como fundamento os dados gerados nesta dissertação, propõem-se a compartimentação da área em dois domínios, chamados: Faixa Morro do Ferro e Faixa Mumbuca. A denominação faixa tem como objetivo ressaltar o caráter tectônico dos domínios, sem discutir as relações estratigráficas da Sequência Vulcano-Sedimentar Morro do Ferro, uma vez que o objetivo proposto para esta dissertação baseia-se nas características litoestruturais dos constituintes metaultramáficos/metamáficos encontrados nos dois domínios.

#### III.1 – COMPARTIMENTAÇÃO GEOLÓGICA

A compartimentação da área em duas faixas tectônicas foi determinada com base nas diferenças metamórficas dos seus constituintes metaultramáficos/metamáficos, nas diferenças dos seus constituintes metassedimentares e pela extensa e sinuosa descontinuidade estrutural, que agiu de forma marcante e em grau variável de intensidade por todo o terreno estudado. (Fig. III.1).

A Faixa Mumbuca é representada por ortognaisses, preferencialmente granodioríticos, normalmente milonitizados e com porções leucossomáticas de composição granítica. Os principais afloramentos de rochas metaultramáficas/metamáficas estão localizados ao longo do córrego da Mumbuca. Representados principalmente por rochas metaultramáficas, destacando-se a seguinte paragênese: olivina e/ou ortopiroxênio+hornblenda±espinélio verde ± clorita. Outros

# COMPARTIMENTAÇÃO TECTÔNICA DA ÁREA



## LEGENDA

Complexo Campos Gerais - Domínio Norte



Granitóide São José

**Faixa Morro do Ferro - Arqueano**



Terrenos ortognáissicos-graníticos



Terreno Vulcanos-Sedimentares

**Faixa Mumbuca - Arqueano**



Terrenos ortognáissicos-graníticos-migmatíticos



Terreno Vulcanos-Sedimentares

Escala



Zona de Cisalhamento

Rio São João

Fig. III.1: Compartimentação Tectônica da área

litotipos que ocorrem neste conjunto, em menor quantidade são: clorita Ca-anfibólio xisto/fels, serpentinitos e talco xistos. Cabe ressaltar que nesta região não foram observadas feições originais reliquias preservadas como acontece na Faixa Morro do Ferro, nas proximidades do rio São João (ponto 245), e no ribeirão dos Munizes segundo Schmidt (1983) e Brenner *et al.* (1990), ou como aquelas descritas por Szabó (1996) na Faixa Serra do Dondó. Alguns dos anfibolitos relacionados às rochas metaultramáficas apresentam a seguinte paragênese: ortopiroxênio-clinopiroxênio-plagioclásio-hornblenda, indicando condições de fácies granulito. Os representantes metassedimentares são: formações ferríferas compostas principalmente por quartzo-granada e grunerita e metassedimentos psamo-pelíticos, com a seguinte associação mineral: sillimanita ± estaurolita-granada-quartzo-clorita xisto. Todos os litotipos mencionados acima estão envoltos por foliação de cisalhamento sinuosa/anastomosada, obedecendo a estruturação regional. Alguns núcleos mais preservados permitem o reconhecimento de estruturações mais antigas, com direção NNE/SSW, como observado no ponto 095 (vide mapa geológico/estrutural em anexo).

A Faixa Morro do Ferro é representada quase que exclusivamente por ortognaisses granodioríticos milonitizados e, pontualmente, observa-se a ocorrência de corpos semi-circulares de composição granítica. As rochas metamáficas/metaultramáficas observadas na área são representadas por uma sucessão de derrames komatiíticos maciços e diferenciados constituídos pelos seguintes litotipos: actinolita-clorita xistos, talco-tremolita-clorita xistos, metapiroxenitos e serpentinitos. Os metassedimentos são constituídos quase que exclusivamente por metacherts, seguidos por formação ferrífera, quartzito com fuchsite e metatufo com estratificação preservada em condições de fácies anfibolito. Nesta Faixa pode-se observar textura ígnea preservada, representada pela textura “*spinifex*” (ponto 245). Assim como na Faixa Mumbuca, as rochas metamáficas/metaultramáficas desta Faixa apresentam-se quase que totalmente substituídas por serpentina, talco e clorita, em proporção modal variada.

Na porção sul desta Faixa nota-se a presença do granitóide São José, composto principalmente por quartzo, K-feldspato e biotita. Este apresenta-se foliado refletindo as condições de deformação que ocorreram na área.

### III.1.1 - FAIXA MUMBUCA

#### III.1.1.A - Terrenos gnáissicos-graníticos-migmatíticos:

As rochas constituintes destes terrenos mostram grande variedade textural indicando uma história evolutiva bem complexa, que inclui anatexia em diferentes graus, mobilização dos leucossomas e migmatização (Fotos III.1 e III.2, Fotomicrografias III.1 e III.2).



Foto III.1 – Característica geral dos gnaisses migmatíticos da Faixa Mumbuca. 1) protólito aparentemente tonalítico; 2) porção de composição granítica e; 3) biotita gnáissicos, homogêneo.

Possuem composição granodiorítica, com granulometria média, destacando-se a biotita como mineral máfico. Os cristais de quartzo apresentam tamanhos variados, são sub-arredondados a sub-angulosos, com extinção ondulante e possuem normalmente bordas corroídas. O plagioclásio é por vezes saussuritizado com bordas menos corroídas. Como acessórios observam-se o zircão e a apatita. Os corpos granitóides possuem composição granítica a granodiorítica e são compostos de plagioclásio, K-feldspato, quartzo, biotita, muscovita e magnetita. A granulometria varia de média a grossa, podendo ser maciço ou foliado.

Fotomicrografia III.1 – Ponto 095 – Detalhe do biotita gnaisse migmatítico com foliação milonítica e porfiroclastos de microclina assimétricos. Sentido de deslocamento sinistral. Nicóis // e objetiva de 2,5X.



Fotomicrografia III.1.1.2 – Ponto 095 – O mesmo da fotomicrografia anterior. Nicóis X e objetiva de 2,5X.

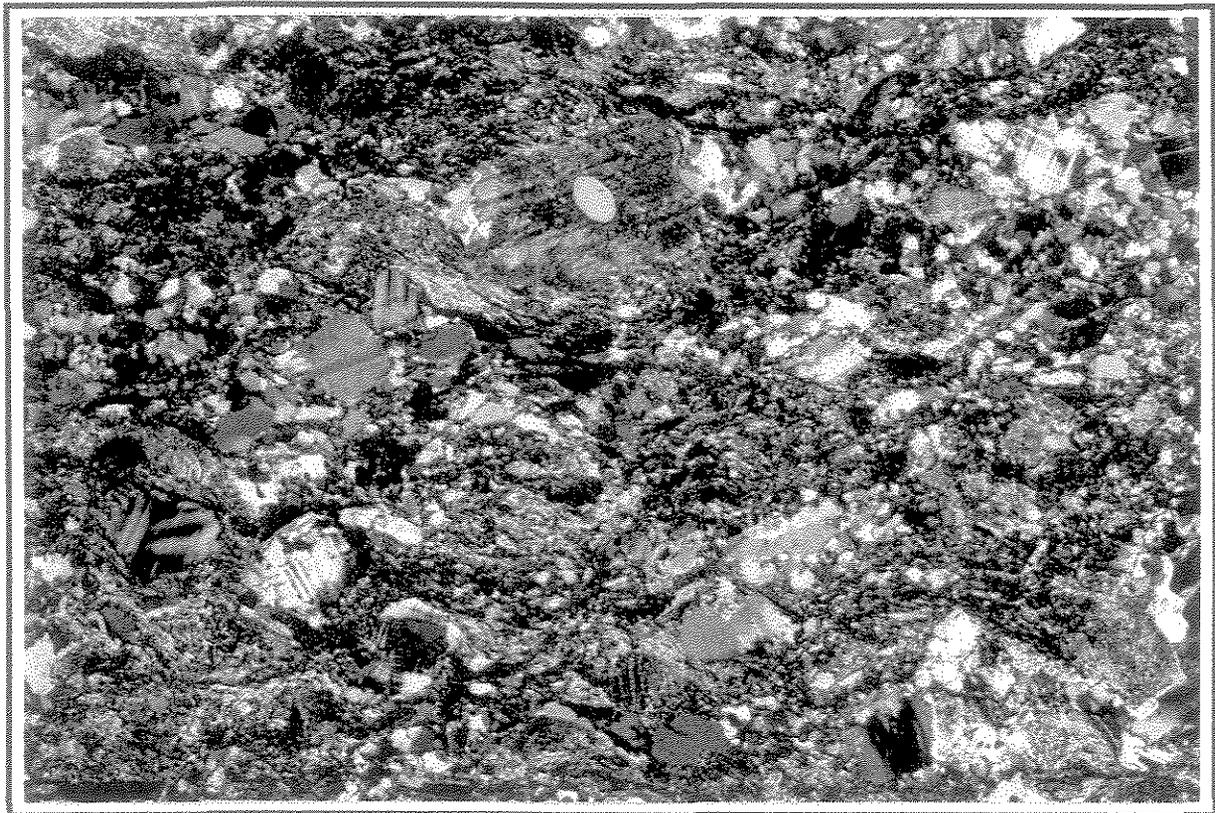
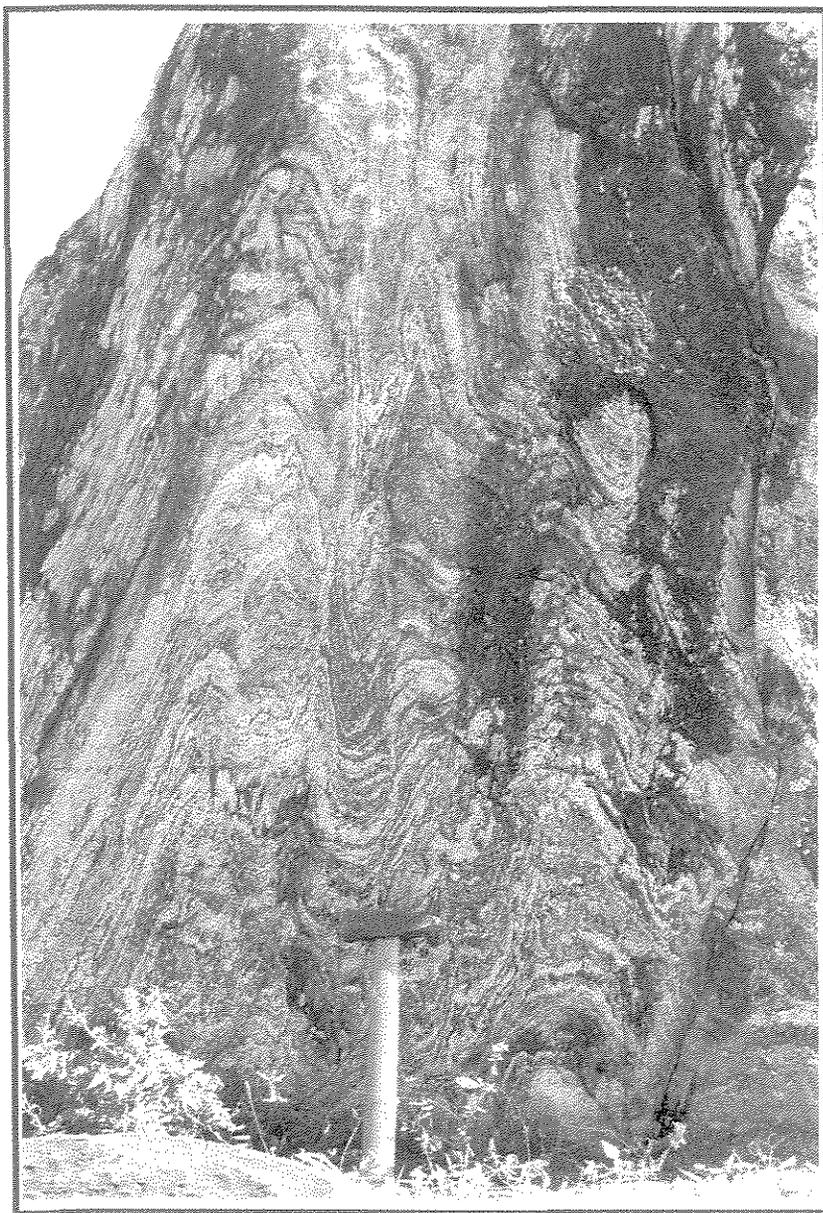


Foto III.2 – Ponto 095 – Afloramento do biotita gnaíse migmatítico; Faixa Mumbuca.



Próximo da zona de cisalhamento transcorrente que separa as duas Faixas (Fig. III.1 e mapa geológico/estrutural em anexo), torna-se mais evidente uma foliação milonítica penetrativa. Em sua porção central seu caráter torna-se rúptil e são comuns tipos cataclásticos (Foto IV.7). Muitas vezes estas rochas estão totalmente silicificadas e cortadas por veios preenchidos por epidoto, sugerindo aporte de fluidos hidrotermais ricos em sílica, com fases finais ricas em epidoto.

Em tipos distintos como biotita gnaisses e gnaisses anfibolíticos, a proximidade com a zona de cisalhamento modifica intensamente as características texturais e mineralógicas

diagnósticas, gerando milonitos e cataclasitos maciços silicificados de cor verde azulada (Fotos IV.3 e IV.7). As rochas de composição granítica a granodiorítica, quando dentro desta mesma zona de cisalhamento, reagem da mesma maneira que as rochas acima descritas, no entanto tornam-se rosadas. Esta transformação de caráter estrutural torna a rocha maciça e homogênea, entretanto, é possível notar a foliação milonítica ainda preservada na capa de alteração.

#### **III.1.1.B - Terrenos vulcano-sedimentares:**

Os litotipos pertencentes a estes terrenos apresentam-se como corpos estreitos e segmentados ao longo do vale do Córrego da Mumbuca, que está encaixado entre as serras das Furnas, a sul, e a serra Água Azul, a norte (vide mapa em anexo). Os afloramentos são identificados pelos morrotes arredondados em forma de amêndoas (Foto III.3). Por vezes, pode-se notar quatro a cinco morrotes alinhados. O corpo principal da Faixa Mumbuca possui espessura em torno de 400 metros e eixo de maior extensão em torno de 7 quilômetros. Normalmente os afloramentos estão alterados, promovendo a formação de solos de coloração vermelha, que muitas vezes auxiliam na identificação das linhas de contorno estrutural. Os contatos com os terrenos ortognáissicos encaixantes são, principalmente, tectônicos.

O tipo litológico predominante nesta faixa é representado por olivina - ortopiroxênio - hornblenda xisto/fels com espinélio verde e clorita (foto III.4), possuindo aspecto nodoso devido aos porfiroblastos de olivina e/ou ortopiroxênio. Normalmente, estes porfiroblastos possuem tamanhos centimétricos e forma ovalada/arredondada. Esta rocha está envolta por foliação de cisalhamento sinuosa, mantendo muitas vezes núcleos granuloses e maciços. Dependendo do grau de alteração pode-se notar a cor bronze dos porfiroblastos de ortopiroxênio, bem como cavidades antes preenchidas por este mineral.

##### **III.1.1.B.1 - Olivina - ortopiroxênio - hornblenda xisto / fels:**

Corresponde à litologia mais freqüente nos terrenos metamáficos/metaultramáficos da Faixa Mumbuca. Esta rocha possui como característica marcante a presença de porfiroblastos de ortopiroxênio e/ou olivina, com granulometria variando de milimétrica a centimétrica. Petrograficamente pode-se observar que alguns destes porfiroblastos englobam uma foliação anterior definida pela orientação dos cristais de clorita, anfibólios e opacos (Fotomicrografia

III.3). Este litotipo está completamente reorganizado/transformado metamorficamente, o que impede a identificação de texturas ígneas pretéritas. Os constituintes minerais são representados principalmente por: olivina, ortopiroxênio (enstatita), hornblenda, Mg-clorita, espinélio verde e pontualmente antofilita (Foto III.4 e fotomicrografias III.4, III.5 e III.7).

A matriz é formada pela coexistência da clorita, do Ca-anfibólio, e esporadicamente, cristais de olivina. Apresentam variação granulométrica de fina a grossa. Nesta rocha foram identificadas as seguintes texturas: “feltro”, nematoblástica, lepido-nematoblástica e randômica.

Quando os cristais de ortopiroxênio e/ou olivina apresentam-se dispersos e a matriz é definida por uma textura randômica de granulometria média a grossa, esta rocha adquire aspecto ígneo. No entanto, essa característica é o resultado da cristalização metamórfica.

Foto III.3 – Característica morfológica dos afloramentos metaultramáficos do vale do córrego Mumbuca, representados por morrotes de contorno amendoado indicando cisalhamento.

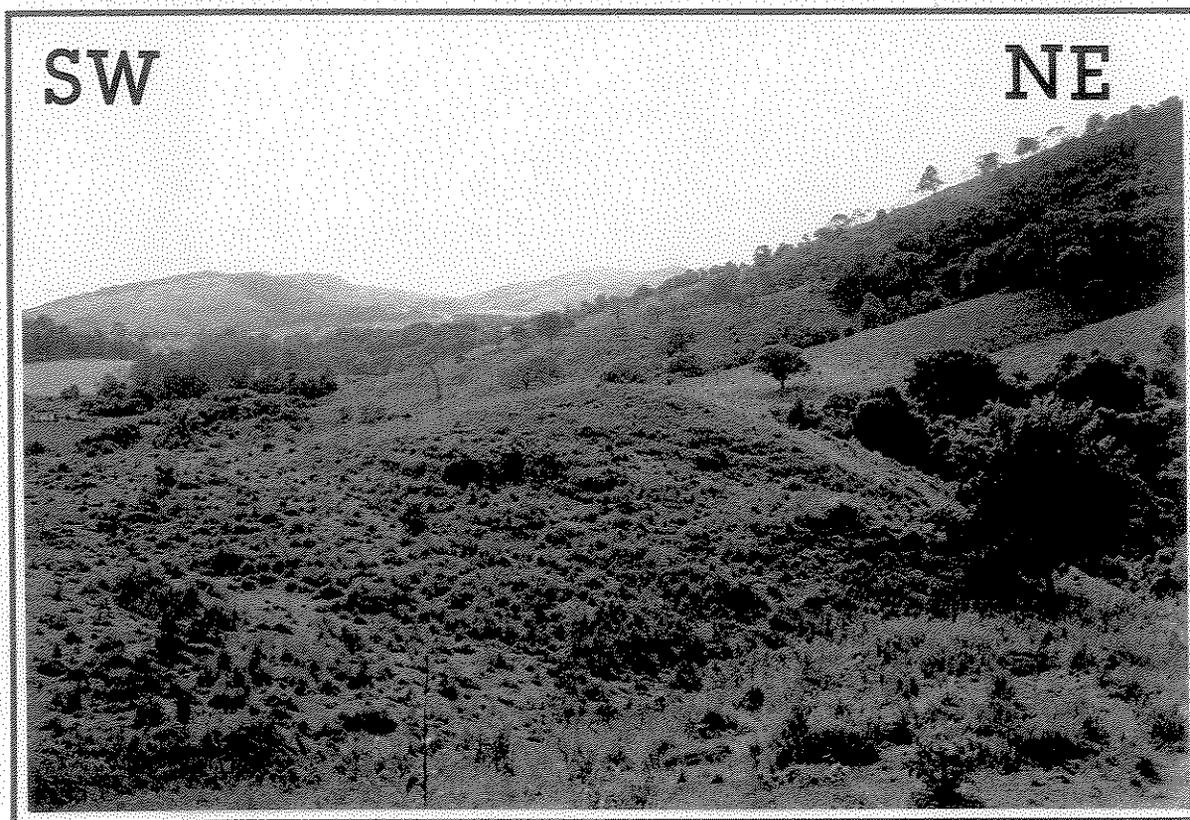
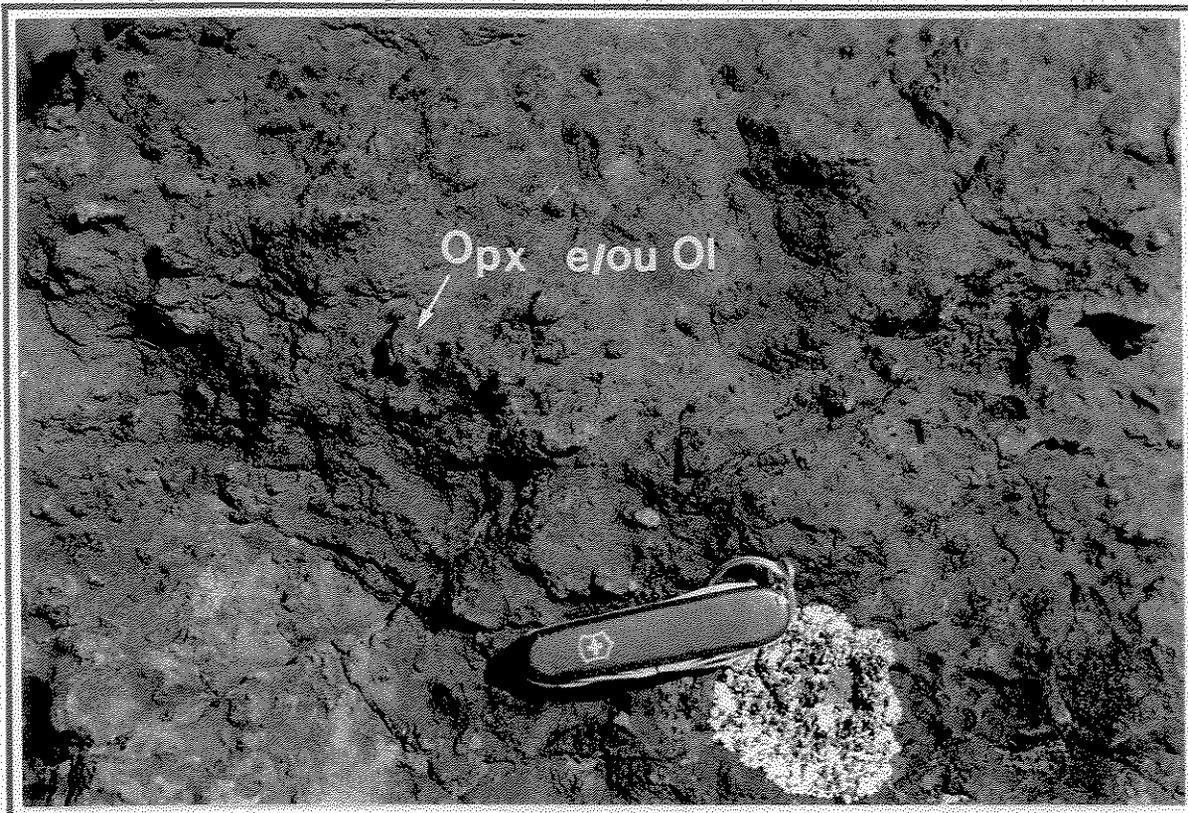
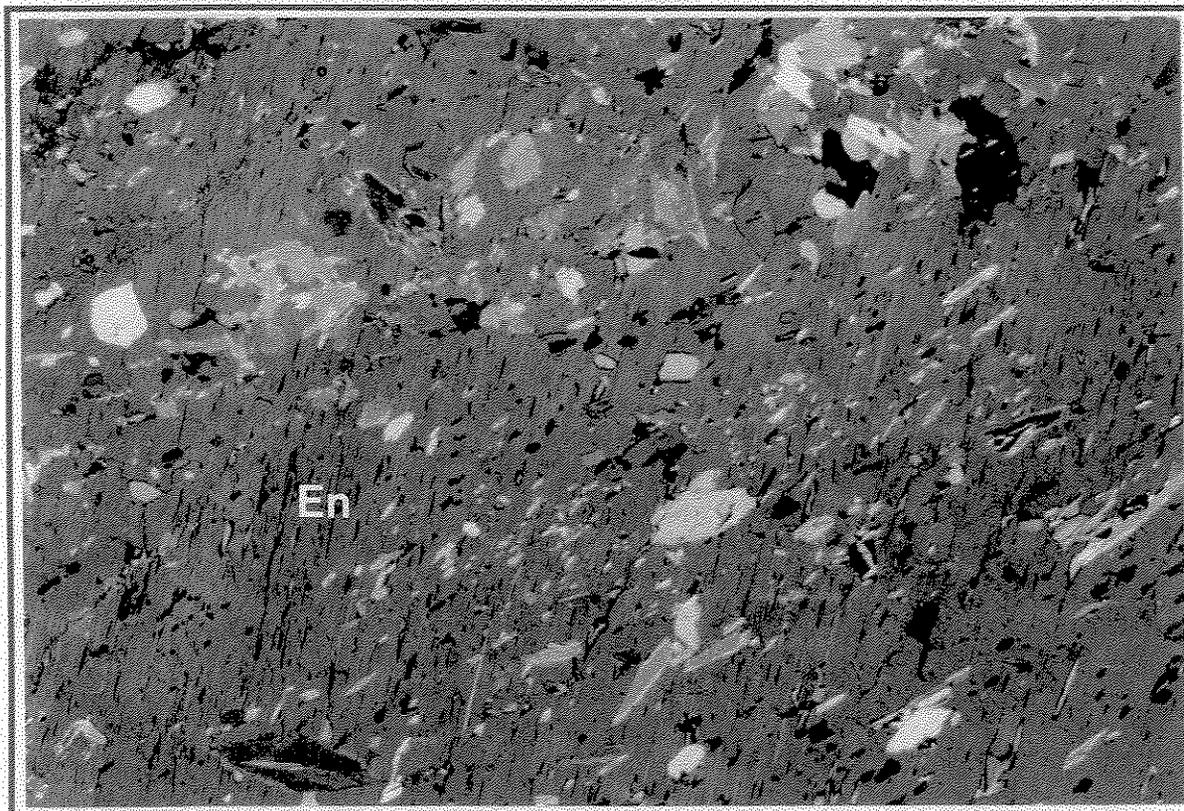


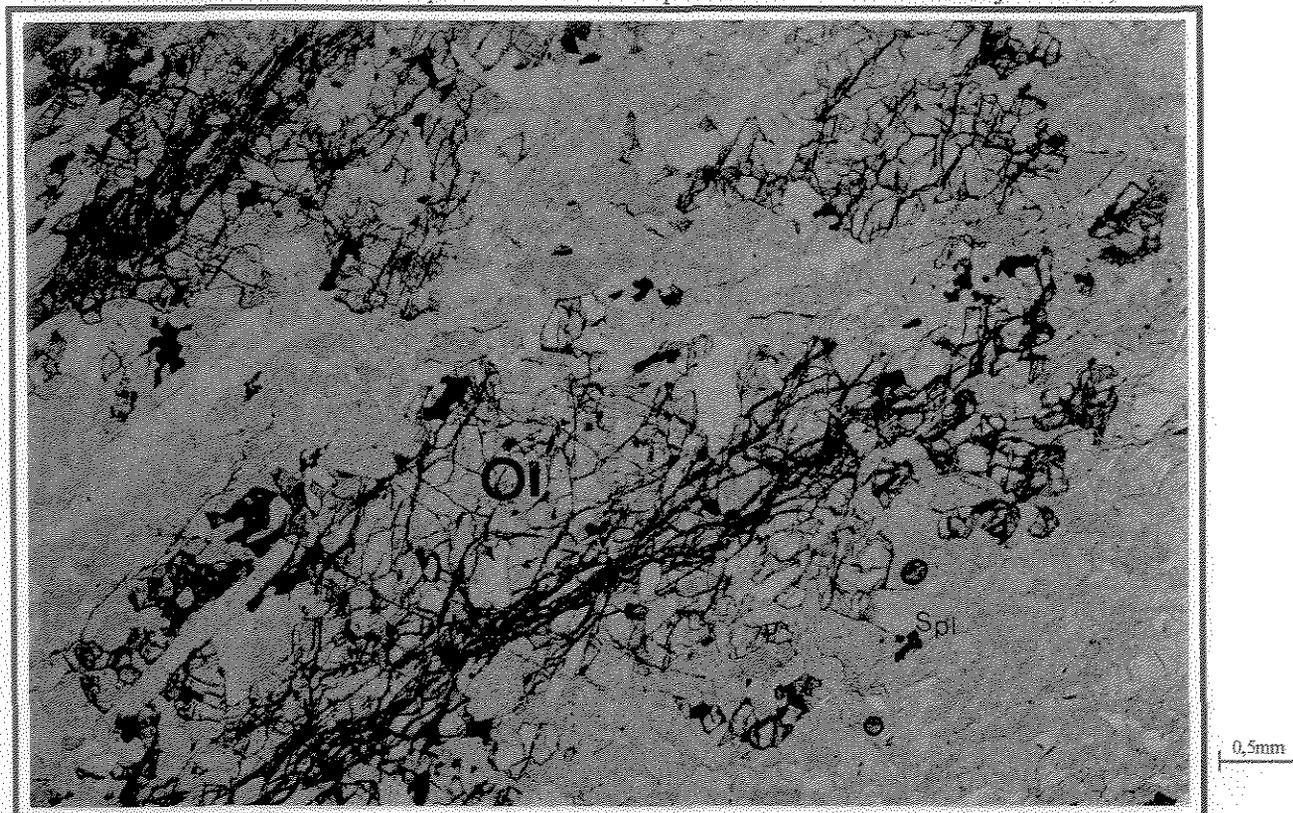
Foto III.4 – Ponto 275 – Afloramento do tipo litológico mais evidente na Faixa Mumbuca. Em alguns afloramentos pode-se notar os porfiroblastos de ortopiroxênios (e/ou olivina) com tamanho centimétrico.



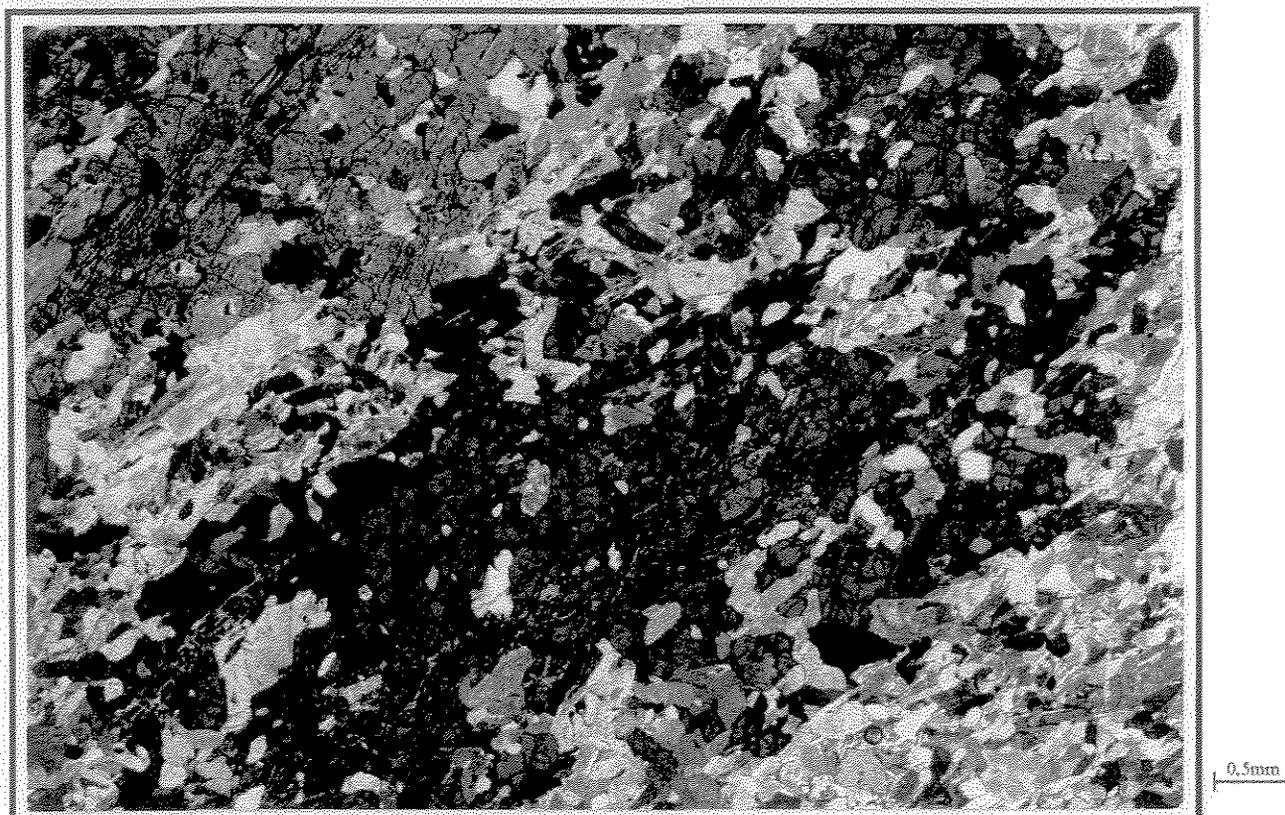
Fotomicrografia III.3 – Ponto 109 – porfiroblasto de ortopiroxênio englobando uma antiga foliação, definida pela orientação dos minerais clorita, anfibólio e opacos. Nícois X e objetiva de 2,5X.



Fotomicrografia III.4 – Ponto 275 – Ponto próximo à Fazenda Rosa Francisca de Lima. Detalhe do ortopiroxênio-olivina-hornblenda xisto/fels com espinélio verde. Filtros polarizadores descruzados e objetiva de 2,5X.



Fotomicrografia III.5 – Ponto 275 – O mesmo da fotomicrografia anterior. Nicóis X e objetiva de 2,5X.



### III.1.1.B.2 - Serpentinitos:

São corpos alongados, lenticulares, de pouca expressão lateral e estão intercalados com os outros tipos metaultramáficos. Possuem coloração cinza-azulada e, por vezes, apresentam pequenas “fitas” de serpentina, bem evidentes macroscopicamente. Quando intemperizados possuem coloração marrom amarelada (Foto III.5 e Fotomicrografia III.6). Os serpentinitos afloram normalmente em zonas de cisalhamento, acreditando-se que sejam formados por metassomatismo relacionado ao aporte de fluídos nestas zonas de cisalhamento.

As amostras de serpentinitos estudadas na Faixa Mumbuca mostram uma substituição seletiva de alguns minerais. Os porfiroblastos de olivina são inicialmente transformados em serpentina (Fotomicrografia III.7 e III.8) e os de ortopiroxênio por talco (Fotomicrografia III.9). Isto representaria o desenvolvimento de serpentinitos por metassomatismo em sistema aberto ligado ao cisalhamento. Alguns tipos de serpentinitos observados na área do depósito O’Toole, foram interpretados (Brenner *et al.* 1990) como derivados de peridotitos e/ou dunitos cumuláticos (Fotomicrografia III.10). Estes serpentinitos corresponderiam às porções basais de derrames komatiíticos ou “sills” estratificados, por conterem texturas pseudomórficas cumuláticas de olivina sendo substituída diretamente pela serpentina.

Com a intensificação do processo metassomático, as transformações tornam-se mais marcantes, gerando rochas monominerálicas com distribuição aleatória, como é o caso dos antofilititos.

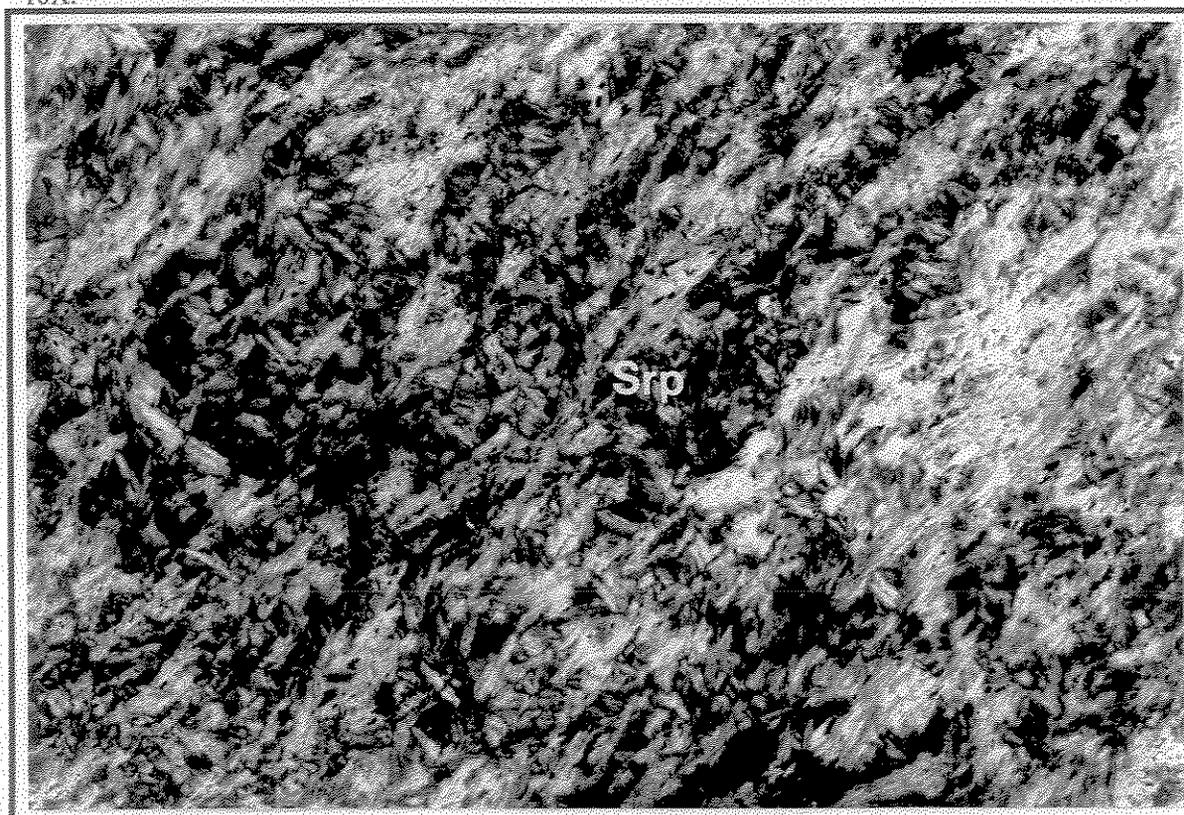
Tentou-se seqüenciar uma ordem nas transformações metassomáticas, iniciando com a antofilitização seguida pela serpentinizacão, acompanhada ou não de cloritização, e uma etapa final de talcificação. Aparentemente estas transformações obedecem esta ordem, embora seja comum a existência de etapas fora desta tendência, desenvolvendo-se em ordens diferentes, ou porque as etapas anteriores foram totalmente obliteradas, ou porque não chegaram a ocorrer por razões termodinâmicas ou físico-químicas (O’Hanley 1997).

Quando a etapa final é mais completa, com a talcificação sobrepondo-se às fases anteriores, gradualmente ou não, ocorre a formação dos seguintes tipos litológicos: serpentina-carbonato-talco xistos, quando a transformação é incipiente e de talco xistos, quando mais intensamente transformados.

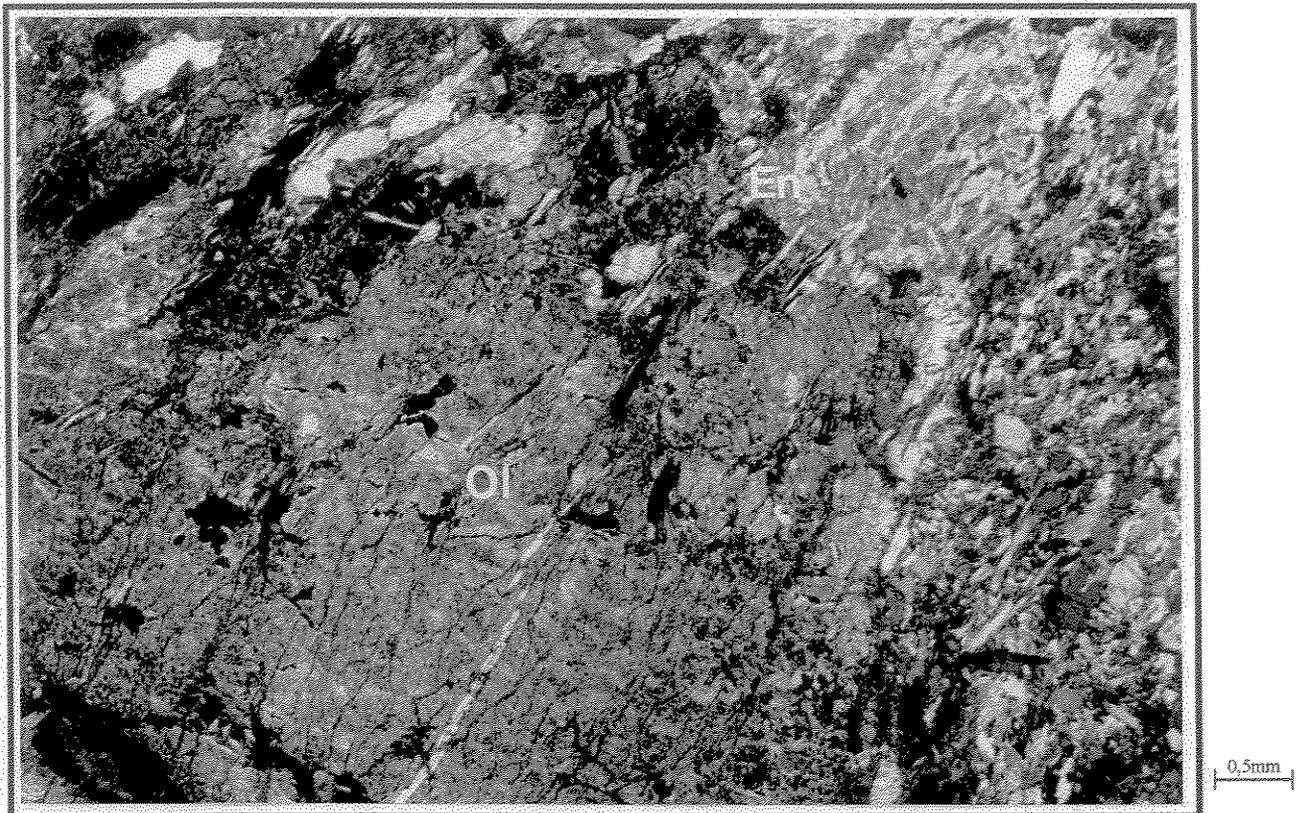
Foto III.5 – Ponto 114 – Amostra do serpentinito presente no corpo principal de Mumbuca. Neste afloramento é possível ver estruturas do tipo “*extension gashes*”.



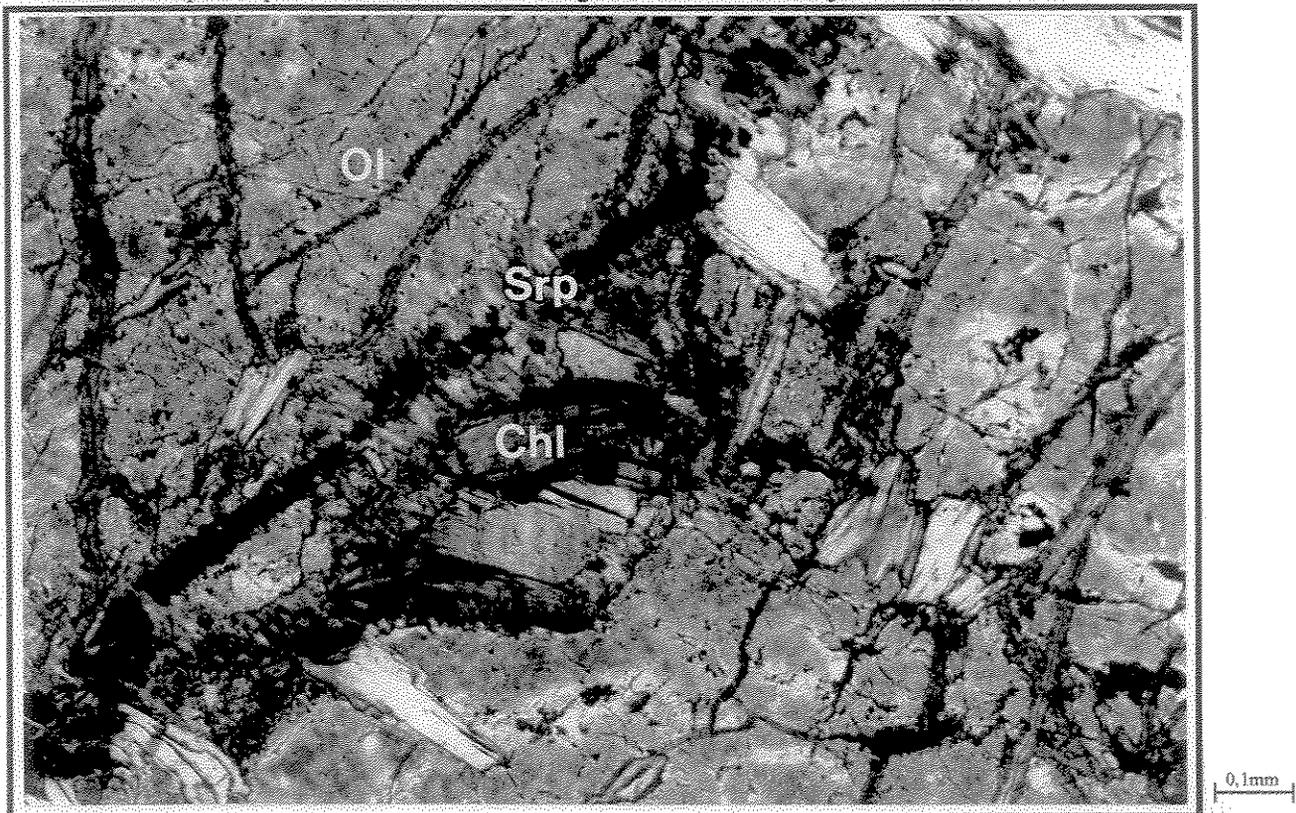
Fotomicrografia III.6 – Ponto 108 – Serpentinito da Faixa Mumbuca. Filtros polarizadores cruzados e objetiva de 10X.



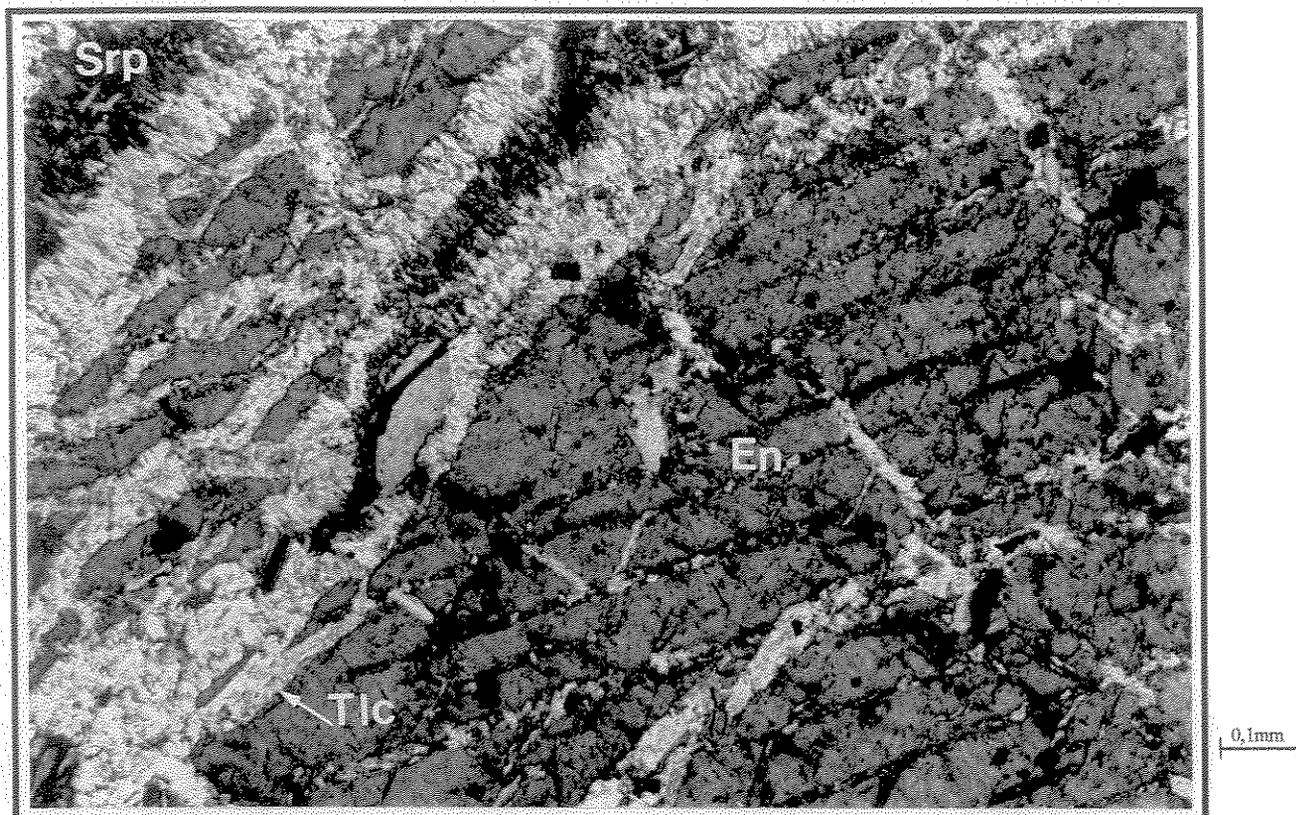
Fotomicrografia III.7 – Amostra 275 (6/5) - Litotipo metaultramáfico principal da Faixa Mumbuca, possuindo porfiroblastos de Ol e Opx. Estes minerais estão sendo transformados a olivina para serpentina e o ortopiroxênio para talco. Nicóis X e objetiva de 2,5X.



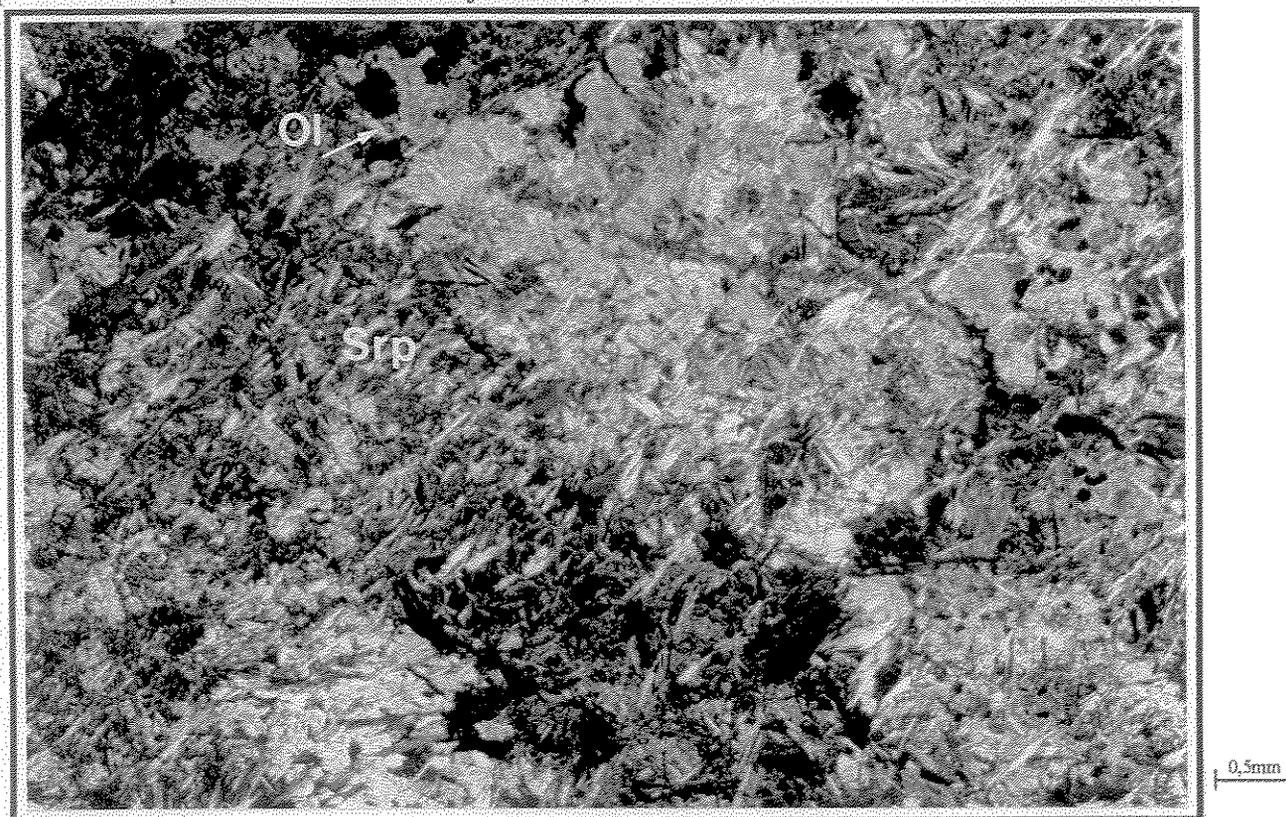
Fotomicrografia III.8 – Detalhe da mesma lâmina, onde o porfiroblasto de olivina está sendo transformado para serpentina. Nota-se que serpentina está envolvendo a Mg-clorita. Nicóis X e objetiva de 10X.



Fotomicrografia III.9 – Detalhe da mesma lâmina, onde o porfiroblasto de ortopiroxênio está sendo talcificado. Nota-se que o talco está envolvendo a serpentina. Nicóis X e objetiva de 10X.



Fotomicrografia III.10 – Amostra (10/13) - Lâmina obtida na mineração O'Toole, correspondente ao dunito serpentizado. No geral, observa-se que o processo de serpentinização ocupa toda lâmina, destacando-se as fitas de serpentina. Filtros polarizadores cruzados e objetiva de 2,5X.



#### **III.1.1.B.3 - Talco xistos:**

Os corpos de talco xistos possuem tamanhos variados e foram observados nas zonas de cisalhamento acompanhando a foliação principal, posicionando-se internamente ou marginalmente aos corpos ultramáficos. Estas rochas são entendidas como resultado dos processos finais de substituição, tendo sempre serpentina e carbonato em proporções variadas, além de antofilita e clorita.

Quando fresca a rocha possui cor verde acinzentada a esbranquiçada e quando intemperizada possui coloração amarelada. A presença do talco como mineral essencial proporciona um caráter macio e sedoso quando tocado e/ou riscado.

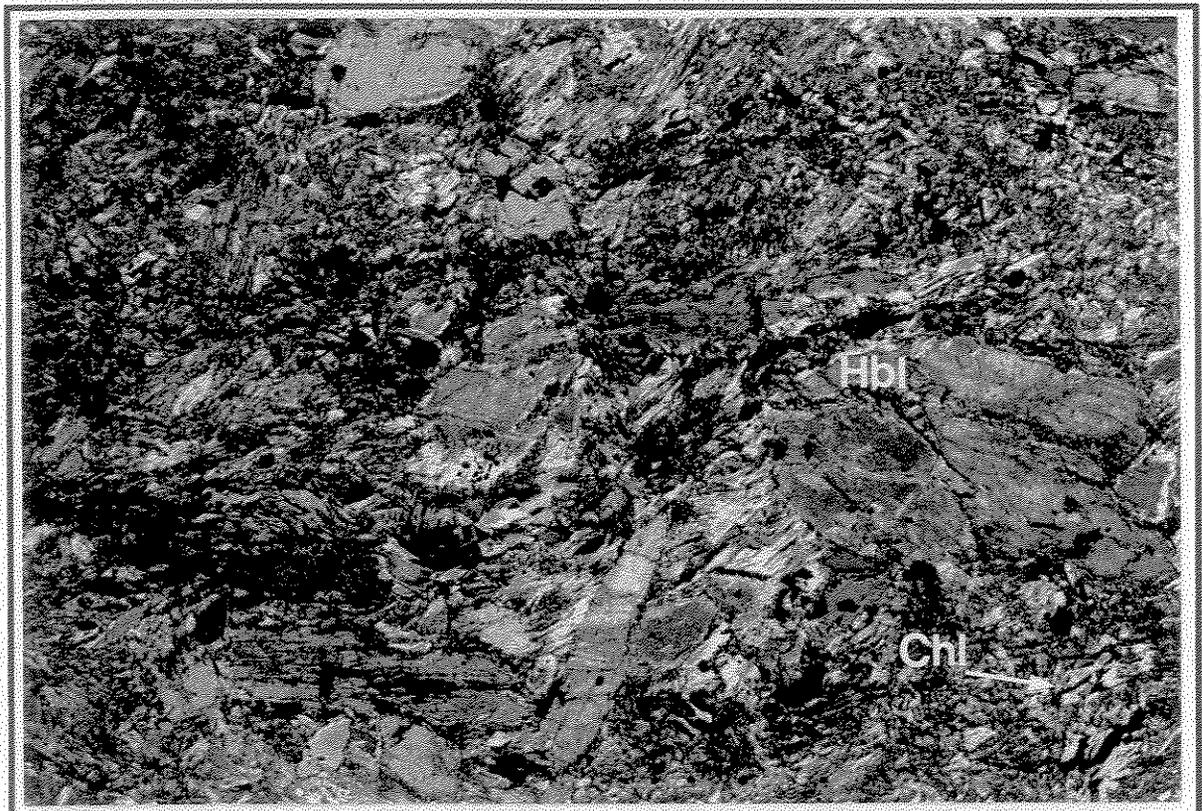
#### **III.1.1.B.4 - Metapiroxenitos:**

Os metapiroxenitos ocorrem intercalados aos demais tipos metamáficos/metaultramáficos da Faixa Mumbuca. Isto deve-se possivelmente à intensa deformação da área que pode ter paralelizado os corpos plutônicos aos derrames (Foto III.6). Os metapiroxenitos estão localizados nos pontos 120, 275 e 276 (Fazenda Rosa Francisca de Lima), formando corpos restritos e sem continuidade física significativa. Normalmente, são maciços, com cor verde acinzentada e apresentam granulação fina a média, representando a textura original preservada. Esta textura é formada por antigos cristais de piroxênio agora transformados em anfibólio distribuído de forma aleatória. Nas bordas destes corpos a granulação é mais fina e eventualmente cisalhada, entretanto ainda pode-se notar a forma do antigo piroxênio, transformado para hornblenda (Fotomicrografia III.11). Metapiroxenitos ocorrem em dois outros pontos da área formando corpos ainda menores que os anteriores, de forma lenticular, um na porção norte da faixa (ponto 222) e o outro no limite leste da área próximo ao ponto 10. Ambos os corpos correspondem macroscopicamente a talco xistos crenulados tendo sido identificada uma textura cumulática pretérita, representada por cristais de hornblenda (Fotomicrografia III.12 e III.13). O ponto 222 apresenta como minerais principais: flogopita, hornblenda e clorita. Ao microscópio é possível observar as linhas correspondentes aos planos de cisalhamento bem desenvolvidos. Nestas porções da lâmina ocorre a formação da clorita indicando um retrometamorfismo para fácies xisto verde.

Foto III.6 – Afloramento do metapiroxenito. Neste caso pode-se notar uma variação granulométrica dos pseudomorfos de piroxênio, diminuindo na direção da seta.



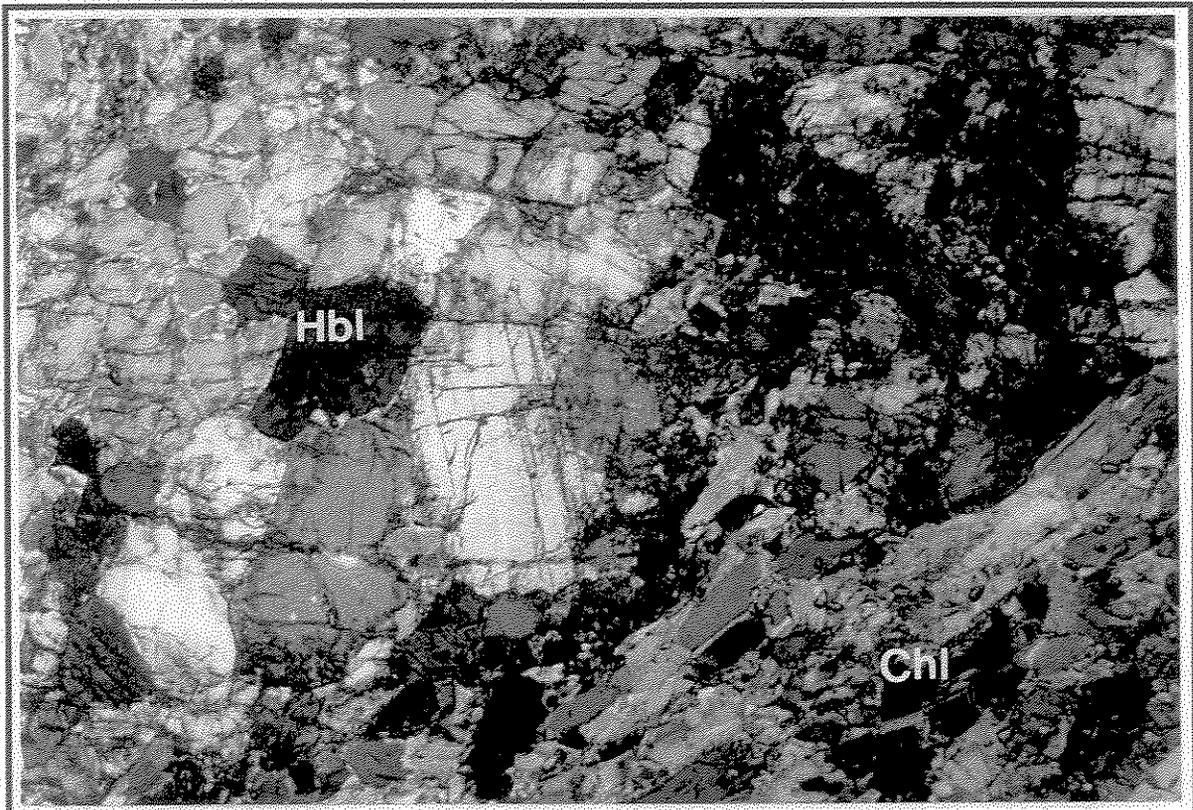
Fotomicrografia III.11 – Ponto 276 – Metapiroxenito próximo à Fazenda Rosa Francisca de Lima. A associação mineral é marcada pela presença de hornblenda, Mg-clorita e serpentina. Nicóis X e objetiva de 2,5X.



Fotomicrografia III.12 -- Metapiroxenito presente na Faixa Mumbuca, próximo ao ponto 33. Nesta lâmina pode-se observar uma possível textura cumulática, representada atualmente pela hornblenda. Nota-se também a presença da clorita nos planos de cisalhamento. Nicóis // e objetiva de 2,5X.



Fotomicrografia III.13 -- O mesmo da fotomicrografia anterior. Nicóis X e objetiva de 2,5X.



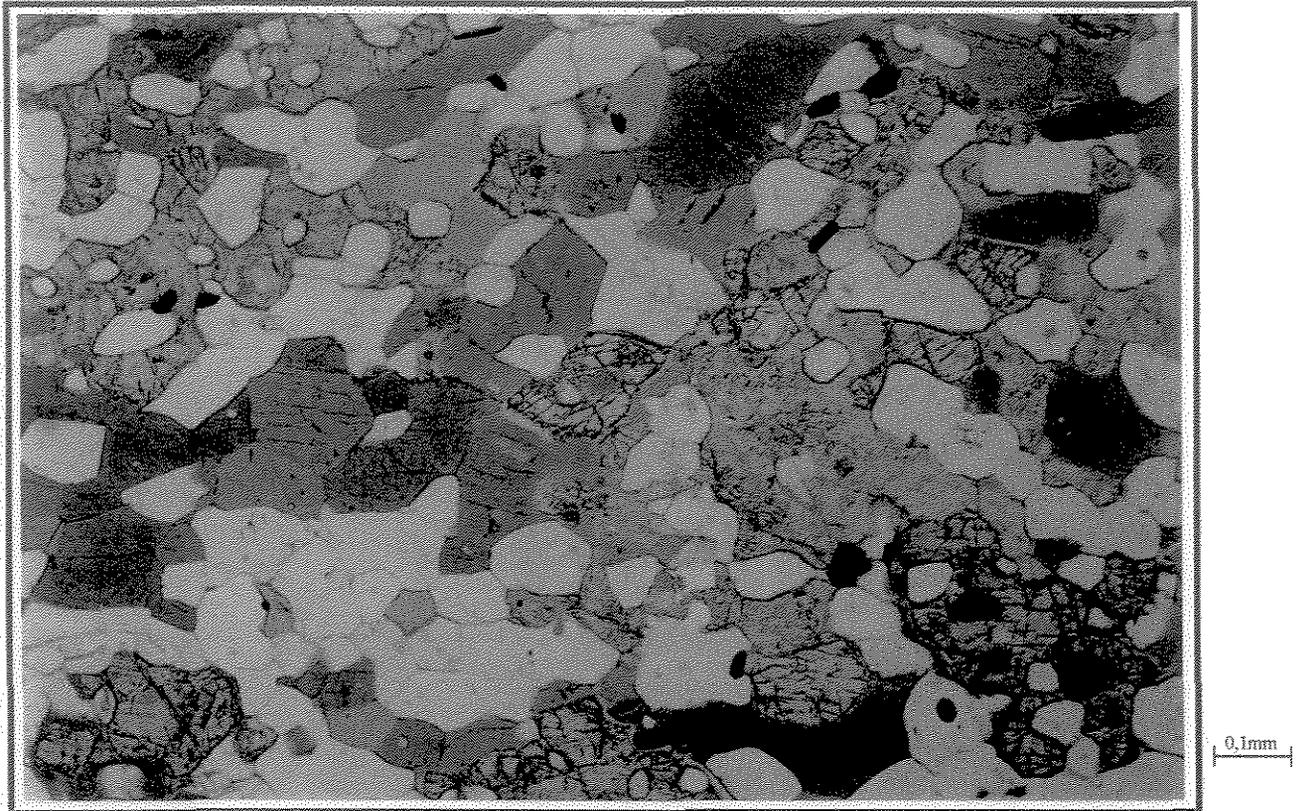
### III.1.1.B.5 - Anfibolitos:

Este litotipo está orientado e deformado, em forma de lentes e/ou amêndoas. Normalmente possui cor preta acinzentada (Foto III.7) e quando alterado, cor marrom acastanhada. Apresenta-se relacionado com as rochas metaultramáficas e com as formações ferríferas desta faixa. Pontualmente destaca-se a seguinte associação mineral: ortopiroxênio, clinopiroxênio, plagioclásio e hornblenda (Fotomicrografias III.14 e III.15). Esta associação mineral em fácies granulito, representa as condições máximas alcançadas pelo metamorfismo progressivo.

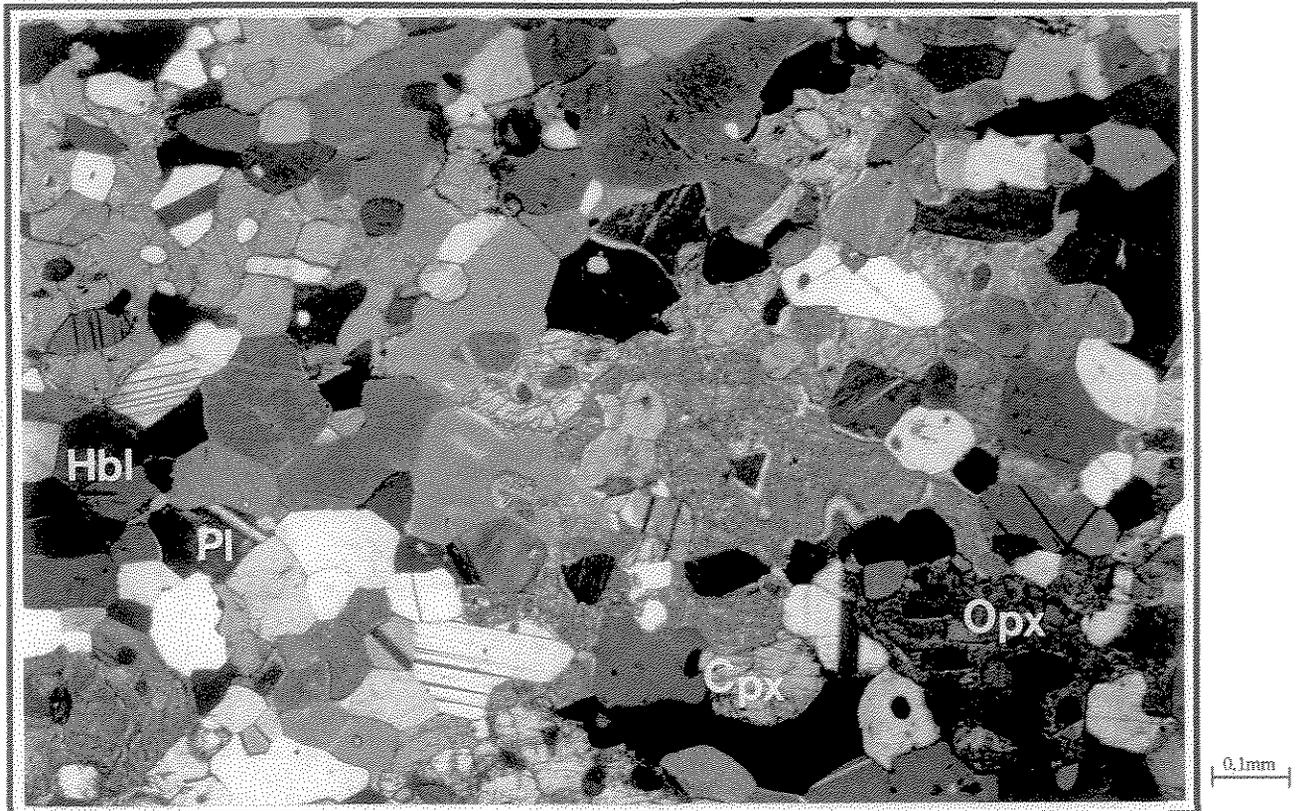


Foto III.7 – Amostra do anfibolito da Faixa Mumbuca. Neste afloramento este litotipo apresenta-se recortado por veios, contendo principalmente epidoto e clinopiroxênio.

Fotomicrografia III.14. – Anfibolito da Faixa Mumbuca, localizado nas cercanias da Serra Água Azul. Possui a seguinte mineralogia: clinopiroxênio, ortopiroxênio, hornblenda, plagioclásio e quartzo. Nicóis // e objetiva de 10X.



Fotomicrografia III.15 – O mesmo da fotomicrografia anterior. Nicóis X e objetiva de 10X.



#### **III.1.1.B.6 –Metassedimentos:**

Nesta faixa os componentes metassedimentares são representados por rochas de origem principalmente química, que são formações ferríferas, seguidas por “metachert”. Pontualmente ocorre um tipo litológico que foi caracterizado como metassedimento psamo-pelítico.

Normalmente os afloramentos das formações ferríferas apresentam-se arrasados, na forma de saibreiros, ou em áreas onde o terreno foi aberto para plantação de café. Geralmente são corpos lenticulares e, por vezes, tabulares com espessuras variáveis. Nas maiores exposições apresentam aproximadamente 4 metros de espessura. Estes corpos estão inseridos nos terrenos gnáissicos-migmatíticos-graníticos, nas bordas dos corpos metaultramáficos e alternando-se com os litotipos do *greenstone belt*. Normalmente apresentam níveis quartzosos recristalizados, contendo quartzo, granada, ferrosilita, grunerita e minerais opacos (Fotomicrografia III.16).

O “metachert” pertencente a esta faixa possui uma extensão areal bem restrita, ocorrendo apenas no ponto 109, próximo da Fazenda Mumbuca, associado ao terreno metaultramáfico. Possui cor cinza clara e o quartzo é o mineral de maior destaque.

Os metassedimentos psamo-pelíticos foram observados apenas nos pontos 223 e 224, localizados no norte da faixa, onde apresentam granadas equidimensionais em torno dos 2 - 3 cm de diâmetro. Estes metassedimentos são xistosos e destacam-se os seguintes minerais: granada, clorita, ( $\pm$  sillimanita), quartzo e ( $\pm$  estaurolita) (Foto III.8).

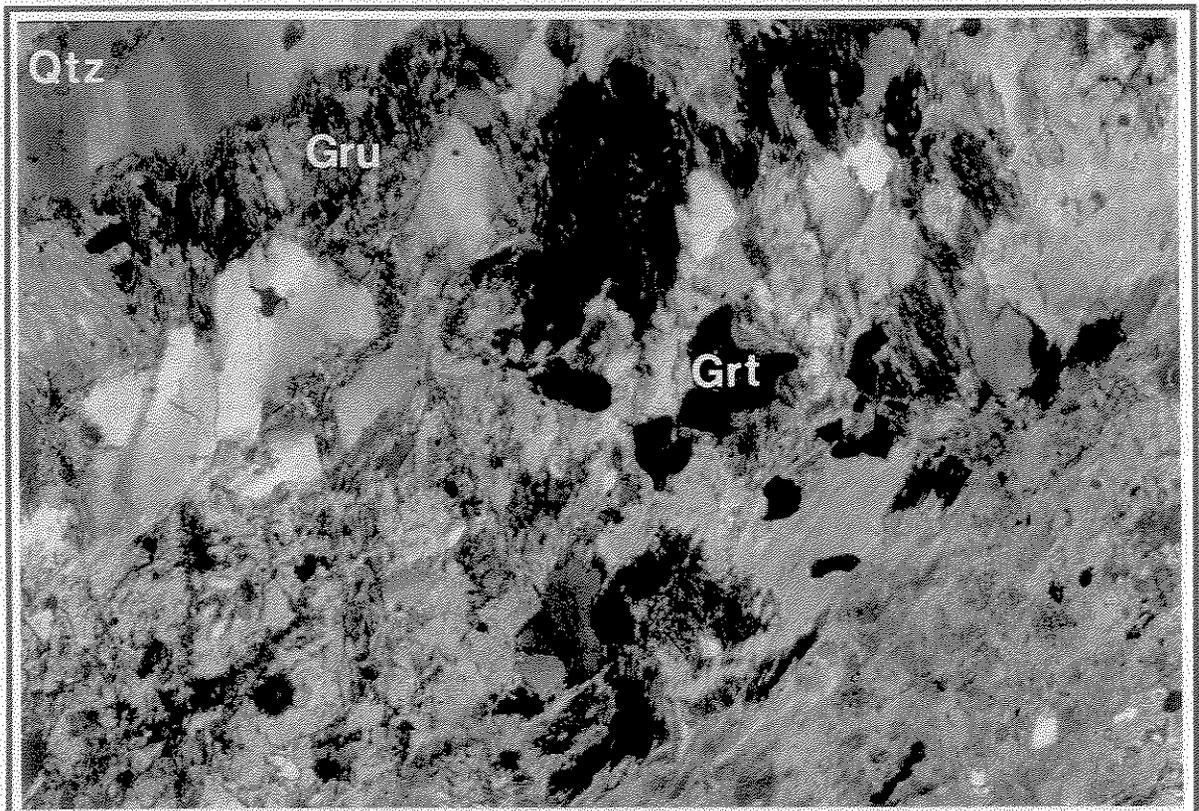
#### **III.1.1.C – Intrusivas máficas:**

Ocorrem na forma de pequenos diques e sills, espacialmente limitados, possuindo extensão máxima em torno de 5 metros. Em alguns destes diques o núcleo possui textura gabróica. Estes corpos estão intrudidos nos terrenos gnáissicos-graníticos e não foram observados cortando as rochas pertencentes à seqüência vulcano-sedimentar, ocorrendo apenas nas bordas desta seqüência, como no ponto 069.

Foto III.8 – Ponto 224 – Afloramento do metassedimento psamo-pelítico, com porfiroblastos de granada em torno de 2 cm de diâmetro.



Fotomicrografia III.16 – Ponto 278 – Formação ferrífera apresentando quartzo, granada e grunerita. Nicóis X e objetiva de 2,5X.



### **III.1.2 - FAIXA MORRO DO FERRO**

#### **III.1.2.A - Terrenos pertencentes ao Granitóide São João:**

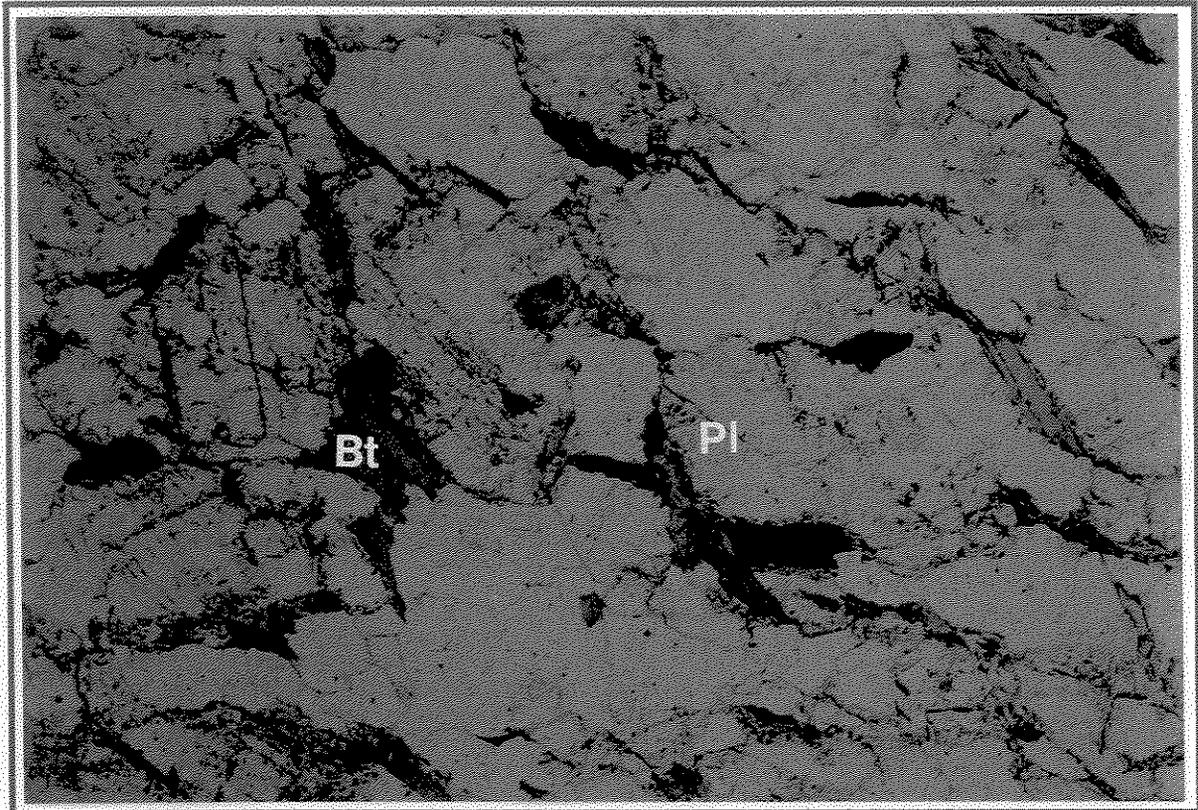
O granitóide São José está localizado na porção SW da área, onde apresenta foliação de alto ângulo, com mergulhos preferencialmente para SW. Aparentemente, o contato deste corpo com o embasamento é de caráter tectônico. O granitóide é leucocrático, destacando-se a biotita como mineral máfico. Segundo Zanardo (1992), este granitóide apresenta composição média granodiorítica.

#### **III.1.2.B - Terrenos gnáissicos-graníticos:**

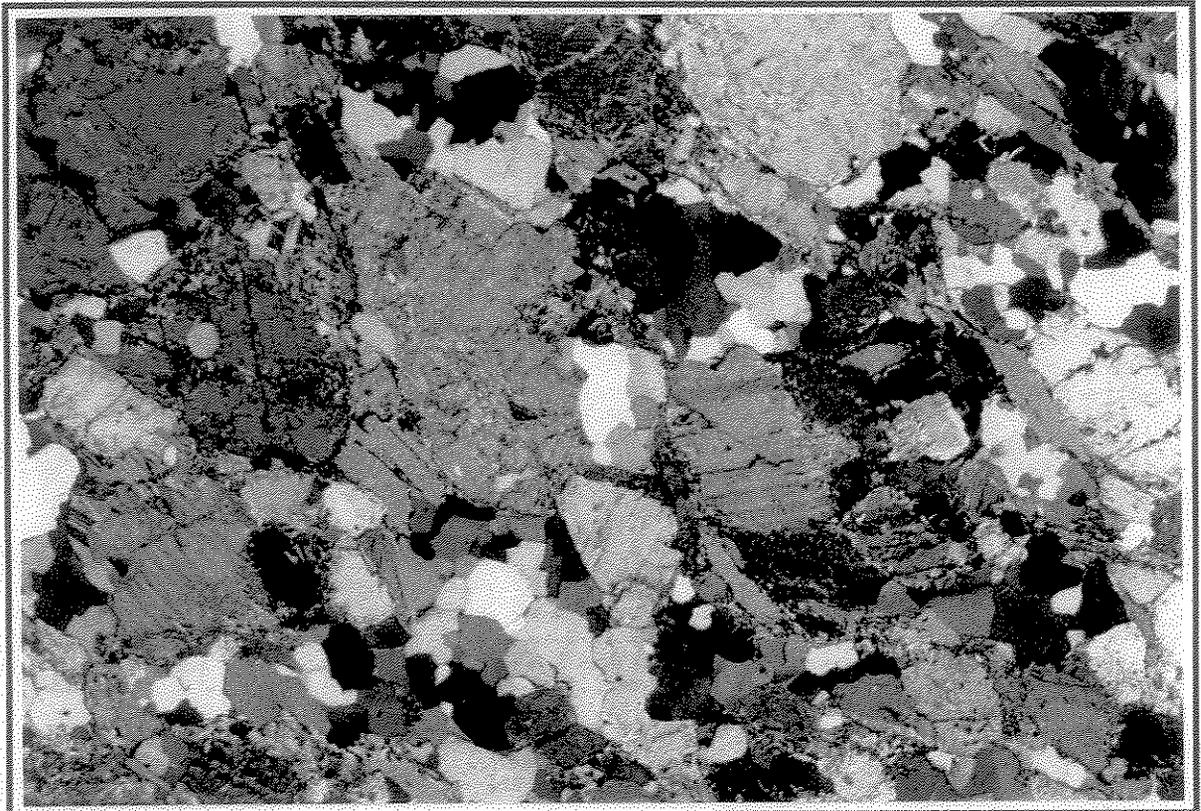
Morfologicamente estes terrenos podem ser divididos em duas partes. Na porção oeste desta faixa, destaca-se uma região topograficamente arrasada. Normalmente, as rochas estão alteradas correspondendo a saprólitos onde ainda é possível observar as feições anteriores. Na porção leste, onde os terrenos gnáissicos-graníticos fazem parte da Serra das Furnas, as rochas estão mais preservadas e suas características melhor expostas. Devido à proximidade da zona de cisalhamento que separa as duas faixas tectônicas, estas litologias apresentam um padrão deformacional semelhante ao dos terrenos gnáissicos-migmatíticos-graníticos da Faixa de Mumbuca. Possuem foliação milonítica e em determinados pontos, próximo ao centro da zona de cisalhamento correspondem a cataclasitos.

O litotipo mais evidente é um ortognaisse de composição granodiorítica e granulação média (fotomicrografia III.17 e III.18). Dentro destes terrenos, destacam-se pequenos corpos graníticos semi-circulares hololeucocráticos. Estes pequenos corpos graníticos (Pontos 082 e 084), apresentam coloração rosada, com quartzo centimétrico aparentemente recristalizado, feldspato potássico e magnetita medindo cerca de 0,5 cm.

Fotomicrografia III.17 – Ponto 063 – Detalhe do biotita gnaisse milonítico, com biotita estirada adquirindo, localmente, forma de *mica fish*. Sentido de deslocamento sinistral. Filtros polarizadores descruzados e objetiva de 2,5X.



Fotomicrografia III.18 – Ponto 063 – O mesmo da fotomicrografia anterior. Nicóis X e objetiva de 2,5X.



### III.1.2.C - Terrenos Vulcano-Sedimentares:

Estes terrenos estão alongados na direção WNW/ESE, possuindo espessuras em torno de 2,5 km na porção NW, afunilando para aproximadamente 1 km na parte SE. A extensão deste domínio na área abordada é de aproximadamente 9 km. Os contatos com os terrenos circunvizinhos são tectônicos. A alteração dos litotipos desta área gera a formação de solos com coloração vermelha, da mesma maneira que na Faixa Mumbuca.

A litologia principal é representada pelos actinolita-clorita xistos (Foto III.9), interpretados por Brenner *et al.* (1990) como equivalentes metamórficos dos basaltos komatiíticos, seguida por talco-carbonato-clorita xistos, metapiroxenitos, tufitos e, pontualmente, serpentinitos. Dentro desta unidade destacam-se as rochas metabásicas em relação às metaultrabásicas, ao contrário do que ocorre na área da Faixa Mumbuca. Pontualmente estes terrenos apresentam textura *spinifex* preservada nos Mg-clorita-Ca-anfibólio xistos/fels (Foto III.10), como foi observado no ponto 245 onde pode-se notar Ca-anfibólio plumoso e estruturas primárias, como foi identificado no ponto 062 (Fotos III.11 e III.12), com estratificação preservada em fácies anfibolito. Devido à escala utilizada no mapeamento geológico, alguns litotipos, como os talco-tremolita-clorita xistos, que ocorrem como lentes métricas intercaladas aos demais tipos litológicos, não podem ser cartografados.

Foto III.9 – Ponto 064 – Afloramento típico do actinolita-clorita xisto.



Foto III.10 – Ponto 245 – Afloramento apresentando textura “*spinifex*”, Faixa Morro do Ferro, com Mg-clorita e Ca-anfibólio como minerais principais.

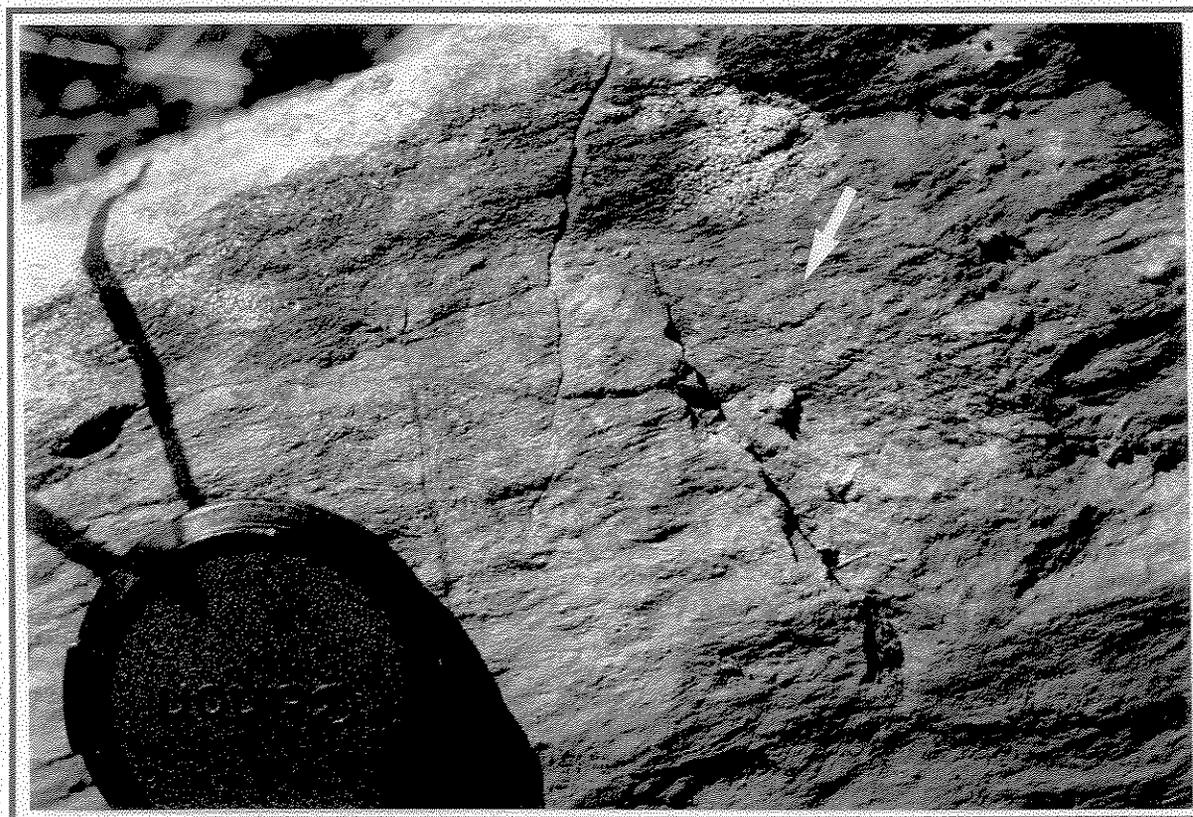
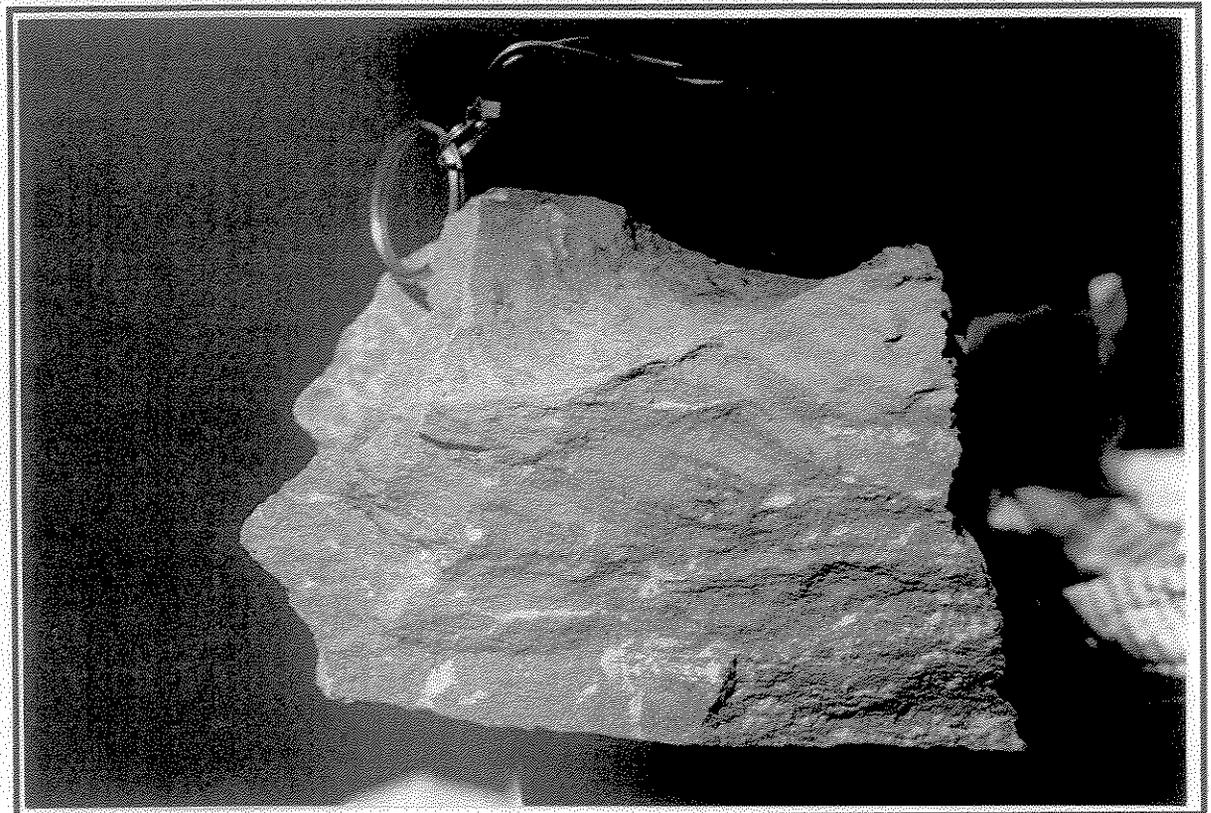


Foto III.11 – Ponto 062 – Vista geral dos metatufos pertencentes à Faixa Morro do Ferro.



Foto III.12 – Ponto 062 – Amostra do mesmo ponto, apresentando estratificação cruzada.



### III.1.2.C.1 - Actinolita – clorita xistos

Esta litologia representa o tipo principal desta faixa. Macroscopicamente possui coloração verde escura, quando fresco, e amarelada quando intemperizado, com granulometria variando de fina a média. A assembléia mineral observada foi actinolita, Mg-clorita e cummingtonita, evidenciando condições metamórficas em fácies anfibolito (Fotomicrografia III.19). Microscopicamente é possível observar, em algumas lâminas, a formação de uma foliação mais recente  $S_n$  com o desenvolvimento de actinolita segundo o plano axial. Esta foliação é oblíqua em relação à foliação xistosa anterior, dada pela paralelização entre o  $S_0$  e o  $S_1$ .



Fotomicrografia III.19 – Litotipo principal da Faixa Morro do Ferro. Observa-se a foliação xistosa, representada pela paralelização do  $S_0$  e do  $S_1$ . Nicóis X e objetiva de 2,5X.

### III.1.2.C.2 - Mg-clorita-Ca-anfibólio xistos, talco-tremolita-clorita xistos:

A relação modal entre talco e clorita presente neste litotipo depende do grau de transformação da rocha original. Esta rocha ocorre pontualmente e possui espessuras variadas, em torno de 2 metros, intercalada às outras litologias. Macroscopicamente são rochas cinza esbranquiçadas, quando frescas, e amareladas quando intemperizadas. Além do talco, sua composição inclui: carbonato, clorita, tremolita e magnetita que, quando visível, apresenta-se bem formada e impõe à rocha um comportamento magnético, a exemplo do que ocorre no ponto 085.

As rochas metaultramáficas desta faixa estão intercaladas com as rochas metamáficas e os afloramento destes tipos litológicos são muito parecidos dificultando a individualização dos tipos rochosos. No ponto 245 pode-se identificar uma rocha metaultramáfica representada por Mg-clorita-Ca-anfibólio xisto, apresentando textura "*spinifex*" preservada (Fotos III.10 e Fotomicrografia III.20).



Fotomicrografia III.20 – Ponto 245 - Rocha ultramáfica da Faixa Morro do Ferro, próximo ao Rio São João, apresentando textura "*spinifex*", com Ca-anfibólio plumoso e Mg-clorita. Nicóis X. e objetiva de 10X.

### III.1.2.C.3 - Metapiroxenito:

Os metapiroxenitos possuem coloração marrom esverdeada com granulação média a fina, apresentando em sua composição: hornblenda (que substituiu pseudomorficamente o piroxênio original), tremolita, clorita e serpentina (Fotomicrografia III.21). Este litotipo foi encontrado nos pontos 064 e 178. Esta rocha apresenta-se cisalhada, com orientação NW/SE coerente com o padrão estrutural observado na área estudada. As lâminas estudadas nesta dissertação não apresentam evidências tais como texturas pseudomórficas cumuláticas de olivina, que auxiliariam na possível correlação entre os pontos observados neste trabalho e as rochas descritas por Brenner *et al.*, (1990) na área da Mineração O'Toole.



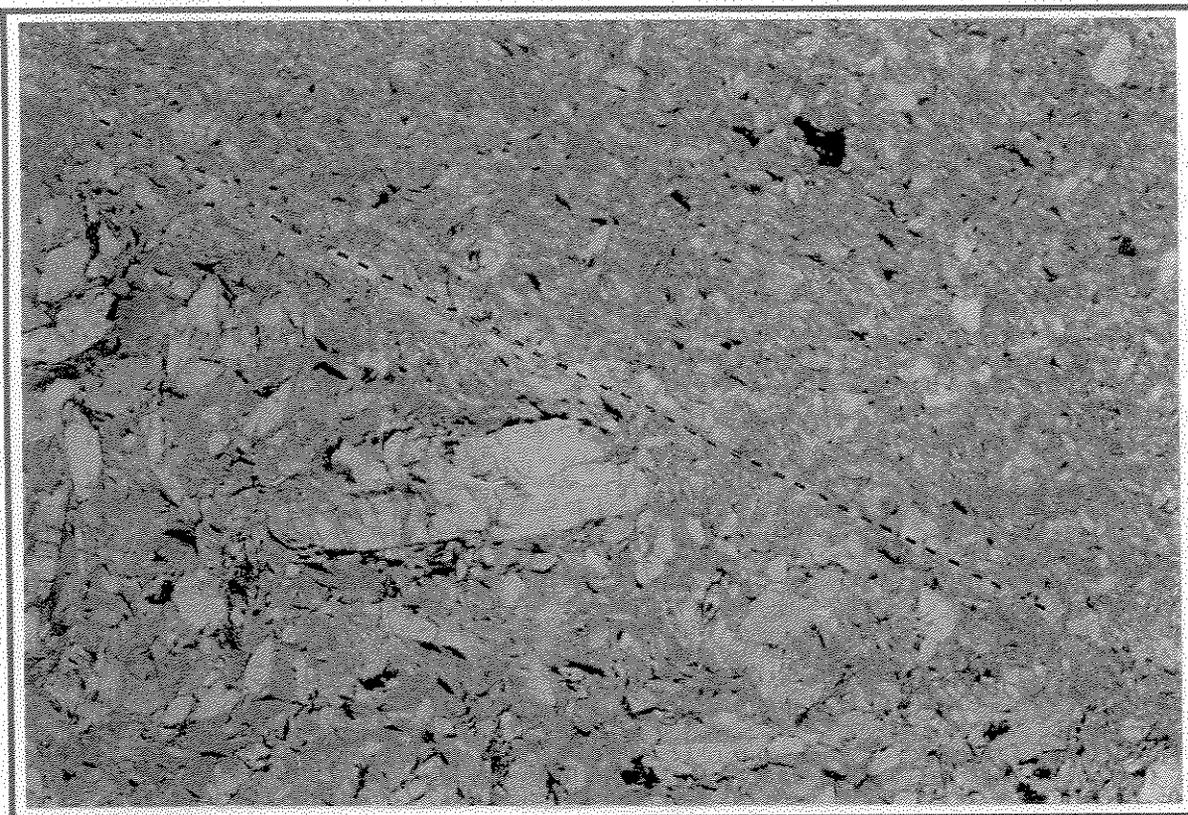
Fotomicrografia III.21 – Ponto 178 – Detalhe do metapiroxenito, onde ainda é possível observar a forma do antigo piroxênio, transformado para hornblenda. Filtros polarizadores cruzados e objetiva de 10X.

#### III.1.2.C.4 – Tufitos:

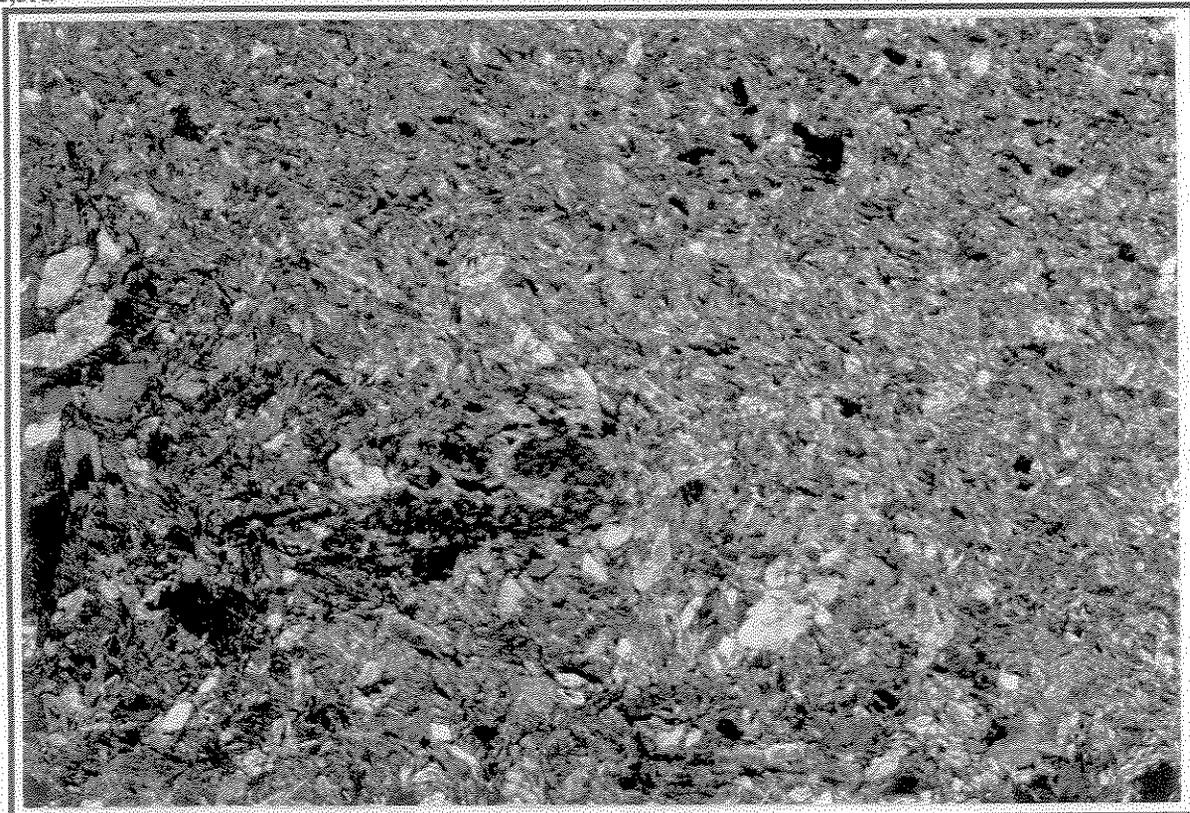
Este tipo litológico não apresenta uma expressão areal significativa, limitando-se às imediações do ponto 062 (Foto III.11 e III.12). Foi observado, tanto em escala de afloramento, quanto ao microscópio, que esta rocha apresenta uma estratificação, dada predominantemente pela diferença de granulação entre os estratos, compostos por clorita e anfibólio (Fotomicrografias III.22, III.23 e III.24). Estes estratos são formados por minerais de granulação fina e outros de granulação média, quando então destacam-se os porfiroblastos de anfibólio. O contato entre as duas porções descritas é aparentemente brusco, nota-se também a interdigitação entre os estratos. Foram observadas pequenas “nuvens” contendo cristais de clorita e anfibólio envolvidas por clorita orientada segundo a foliação ( $S_0/S_1$ ) crenulada. Estas “nuvens” podem representar antigos fragmentos (piroclastos ?) que ficaram com suas formas preservadas (Fotomicrografias III.25). A relação entre as duas foliações existentes é semelhante à observada nos actinolita-clorita xistos, ou seja, ocorre o desenvolvimento de uma foliação mais recente, marcada pelo crescimento da tremolita, fazendo ângulo oblíquo (ca.  $15^\circ$ ) com a foliação anterior, entendida como  $S_0/S_1$ . A relação entre os porfiroblastos e a foliação crenulada ( $S_0/S_1$ ) é na maioria das vezes discordantes, com arranjo randômico.

Devido ao grau de alteração do afloramento (ponto 062) não fica evidente a relação topo/base neste metatufos, entretanto foi possível observar a estratificação. Deve-se ressaltar que esta estrutura encontra-se preservada em condições de fácies anfibolito.

Fotomicrografia III.22 – Ponto 062 – Tufito presente na Faixa Morro do Ferro. Destaque para diferença granulométrica entre os estratos. Mineralogia: tremolita e clorita. Filtros polarizadores descruzados e objetiva de 2,5X.



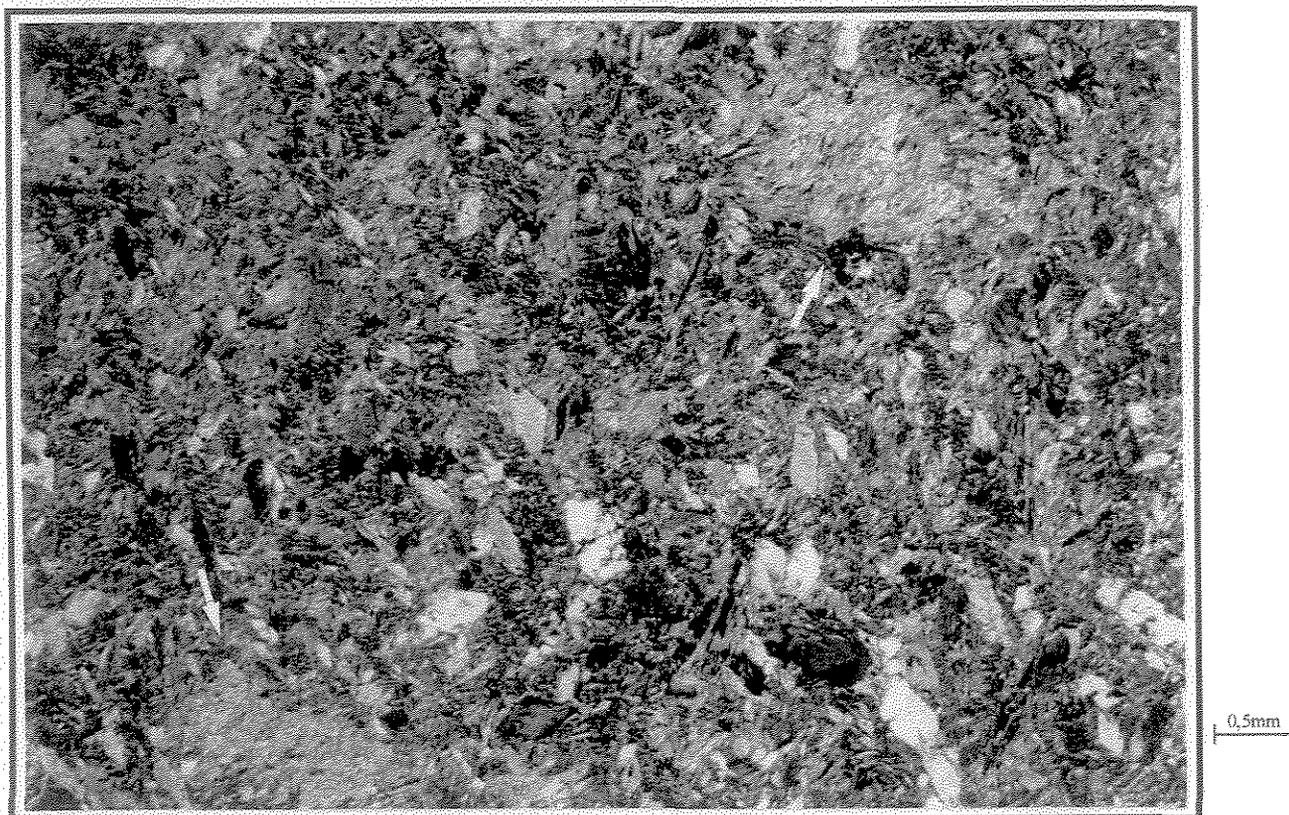
Fotomicrografia III.23 – Ponto 062 – O mesmo da fotomicrografia anterior. Filtros polarizadores cruzados e objetiva de 2,5X.



Fotomicrografia III.24 – Ponto 062 – Detalhe da fotomicrografia anterior. Filtros polarizadores cruzados e objetiva de 10X.



Fotomicrografia III.25 – Ponto 062 – Detalhe de pequenas “nuvens” de clorita e anfibólio. Filtros polarizadores cruzados e objetiva de 2,5X.



### III.1.2.C.5 - Serpentinitos:

Normalmente são corpos estirados com forma lenticular e estão associados às rochas metabásicas/metaultrabásicas. No geral este litotipo apresenta coloração cinza-azulada e cor marrom amarelada quando intemperizado (Foto III.13). Esta rocha foi bem caracterizada no ponto 273 onde observam-se porções da rochas monominerálicas com textura randômica, destacando-se a serpentina e a Mg-clorita (Fotomicrografia III.26). A formação destas rochas monominerálicas está relacionada ao metassomatismo que ocorre nas proximidades das zonas de cisalhamento. Inicialmente as substituições metassomáticas são seletivas ocorrendo da mesma maneira que nos serpentinitos da Faixa Mumbuca. Quando as transformações são mais generalizadas a serpentinização normalmente é substituída pela talcificação, às vezes acompanhada de carbonatação (Szabó *et al.* 1999). Os serpentinitos nas proximidades da Mina O'Toole são descritos como derivados de peridotitos e/ou dunitos cumuláticos, (Brenner *et al.* 1990), apresentando ocasionalmente textura pseudomórfica cumulática de olivina (Fotomicrografia III.10). Estas características não foram observadas com clareza nas lâminas descritas na área, tendo em vista a intensa transformação metassomática.

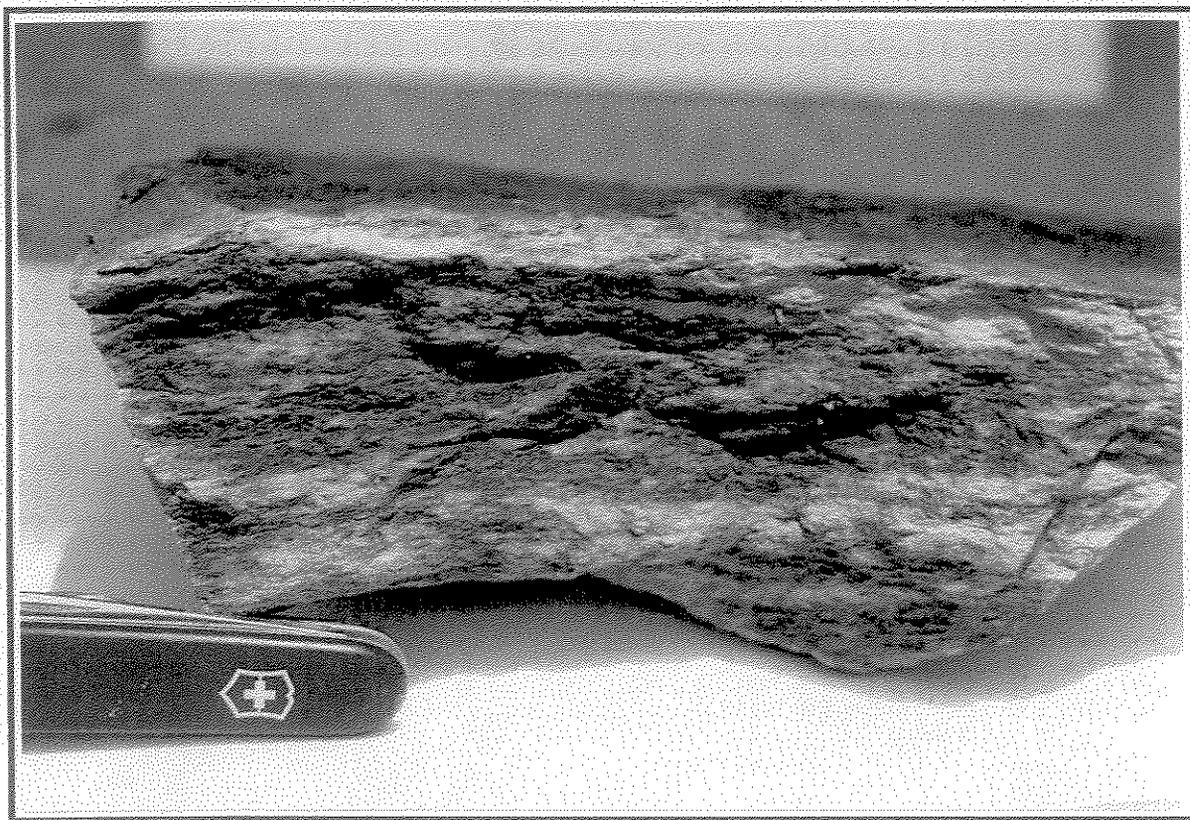
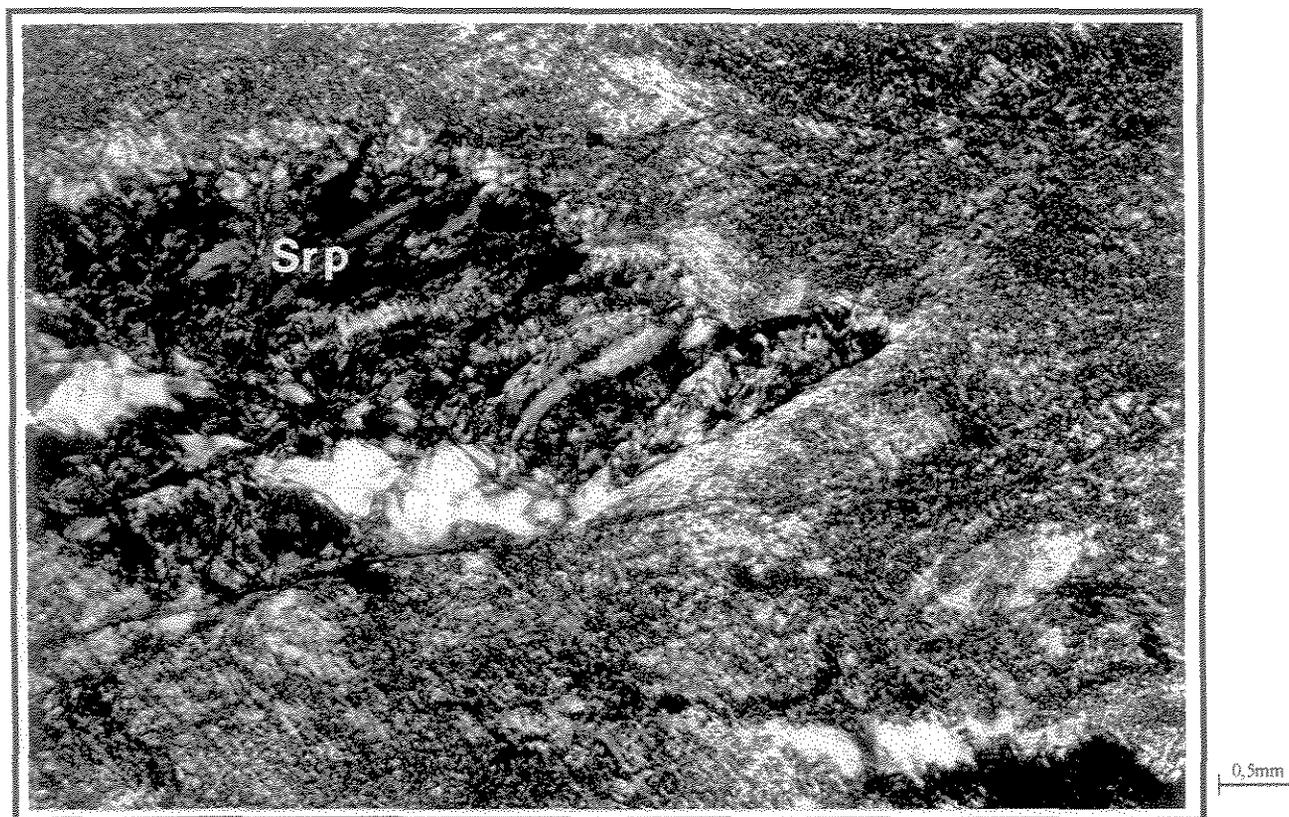


Foto III.13 – Ponto 273 – Amostra do serpentinito da Faixa Morro do Ferro.



Fotomicrografia III.26 – Ponto 273 – Lâmina de serpentinito, ressaltando a serpentina e a Mg-clorita. Filtros polarizadores cruzados e objetiva de 2,5X.

#### III.1.2.C.6 - Metassedimentos:

O constituinte metassedimentar mais representativo desta Faixa é o “metachert”, seguido de formação ferrífera e quartzito com muscovita cromífera (fuchsita).

O metachert está associado ao conjunto vulcano-sedimentar desta faixa. Macroscopicamente possui alternância entre porções de cor cinza e de cor esbranquiçada, ambas representadas por quartzo e poucos minerais opacos. Microscopicamente apresenta intercalações de níveis semi-paralelos de granulação fina a média. Observa-se também um conjunto de falhas preenchidas por quartzo recristalizado sem orientação preferencial.

Os quartzitos afloram apenas nas imediações dos pontos 061 e 234, possibilitando o estabelecimento de uma continuidade entre estes afloramentos. Ao microscópio destacam-se o quartzo, a muscovita cromífera (fuchsita) e o zircão. O quartzo possui granulação fina, extinção ondulante e bordas angulosas.

A formação ferrífera observada nesta área possui a mesma extensão areal que o quartzito, localizando-se nos mesmos pontos. Nestes afloramentos esta rocha apresenta-se alterada,

destacando-se o quartzo sacaroidal e porções com óxido de manganês, observado macroscopicamente.

#### III.1.2.D - Metadiabásio porfirítico:

Localizado entre os pontos 206, 278 e 210 na porção Sul da área, corresponde a um afloramento quase contínuo, destacando-se pequenas lajes e blocos nos topos de pequenos morrotes alinhados ao longo destes pontos. Está orientado segundo a direção NE/SW e apresenta foliação milonítica nas bordas destas lajes ocasionada por cisalhamento. Na parte central do afloramento 206, nota-se um fluxo magmático de direção E/W marcado pelo plagioclásio (albita), (Foto III.14).



Foto III.14 – Ponto 206 – Afloramento de dique de diabásio porfirítico.

## IV - ASPECTOS ESTRUTURAIS

### IV.1 - INTRODUÇÃO

A estruturação da região estudada é complexa e policíclica destacando-se um “corredor” de zonas de cisalhamento sinuosas com orientação principal para WNW.

Estas zonas de cisalhamento estão posicionadas dentro do Cinturão de Cisalhamento Campo do Meio – (CCCM), que apresenta padrão anastomosado (Morales *et al.* 1991; Morales 1993). Estas estruturas truncam todas as deformações pretéritas da região, substituindo gradualmente as zonas de cisalhamento mais antigas.

Na região estudada nesta dissertação foram observados pelo menos dois tipos distintos de cisalhamento, que indicam níveis estruturais distintos de deformação. A zona de cisalhamento mais antiga de caráter dúctil, foi denominada de ZC1. Possui uma exposição areal mais ampla e apresenta orientação predominantemente WNW a localmente NNW, como observado nas proximidades da fazenda Rosa Francisca de Lima, onde os anfibólitos cisalhados estão orientados segundo a direção NNW (Fotos IV.1 e IV.2).

O segundo tipo de cisalhamento se instalou a partir da ZC1 e foi denominado de ZC2. Esta zona de cisalhamento, posterior, sinistral, de caráter dúctil-rúptil a rúptil, apresenta na sua porção central uma intensa silicificação, seguida por epidotização (Foto IV.3 e IV.4). Estes processos estão relacionados a uma falha transcorrente sub-vertical de expressão regional, com continuidade para a área de Petúnia (Roig 1993).

A separação entre a Faixa Mumbuca e a Faixa Morro do Ferro foi baseada na ZC2 (vide mapa em anexo), que corresponde a mais uma das extensas e sinuosas descontinidades estruturais que compartimentam o Domínio Norte do CCG.

Este “corredor” de cisalhamento heterogêneo, propiciou a formação de estruturas semelhantes a lentes/amêndoas, com núcleos, normalmente, menos deformados, e bordas com foliação milonítica penetrativa. Esta característica é evidente nas duas Faixas (Foto IV.5). Microscopicamente pode-se seqüenciar o aumento da deformação, saindo da parte central, aparentemente homogênea, seguindo em direção às bordas das lentes/amêndoas, mais deformadas, como observado em lâminas obtidas nas imediações do ponto 064 (Fotomicrografias IV.1, IV.2, IV.3 e IV.4). Algumas vezes, no centro destas amêndoas é possível notar uma estruturação mais antiga, como observado no ponto 095.

Neste ponto observa-se uma foliação incipiente, mais antiga de direção NE/SW (pré-ZC1), transposta por cisalhamento sinistral (Fotos IV.6 e IV.7), provavelmente relacionado a ZC1.

A história de evolução do CCCM é bastante heterogênea. Além da pré-ZC1, notam-se diques com orientações diversas que intrudiram este cinturão (Foto III.14). Estes diques foram afetados pelo cisalhamento em diferentes graus de intensidade, dependendo da idade da intrusão e sua relação espacial com as zonas de cisalhamento.

Dentro desta trama, as litologias das duas Faixas moldam-se de forma semelhante, ou seja, quanto mais próximo da ZC2, mais evidente torna-se a deformação. Nas vizinhanças da ZC2 observam-se foliações miloníticas a blastomiloníticas bem marcantes.

A Faixa Morro do Ferro e a Faixa Mumbuca possuem aspecto estrutural semelhante, observando-se evidente intercalação de rochas metassedimentares e metamáficas/metaultramáficas, com rochas gnáissicas-graníticas-migmatíticas. Os contatos entre as litologias é preferencialmente tectônico.

A zona de cisalhamento (ZC2) que separa as duas faixas tectônicas é caracterizada por apresentar foliações de cisalhamento de alto ângulo, destacando-se com um conjunto de planos de foliação com 1° máximo ao redor de N17E e um 2° em torno de N55E (Figura IV.1). Ambos os máximos indicam uma foliação aproximadamente WNW/ESE subvertical, mergulhando com alto ângulo para SW, correspondendo a foliação principal observada na área. O segundo máximo pode ser um efeito do padrão “amendoado”, observado em campo (Fotos IV.5). Este padrão deve ser o resultado de diferentes zonas de cisalhamento que ocorreram no CCG. As evidências de campo ressaltam o caráter sinistral das zonas de cisalhamento observadas na área, (Fotos IV.6 e IV.7).

UNICAMP  
BIBLIOTECA CENTRAL  
SEÇÃO CIRCULANTE

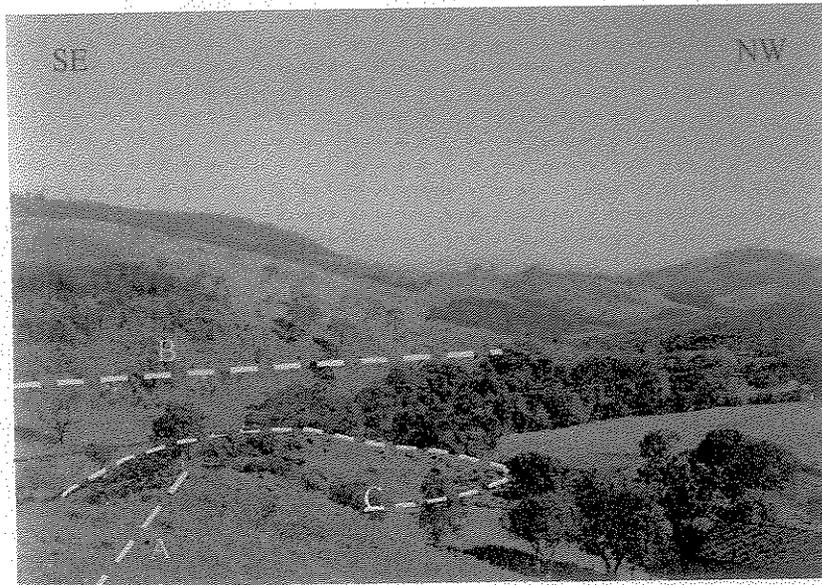


Foto IV.1 - Fazenda Rosa Francisca de Lima. O traço A - representa a direção da foliação de rochas metaultramáficas da Faixa Mumbuca. O traço B - indica a direção das foliações dos gnaisses migmatíticos com mergulho para SW. A linha de contorno C - representa os mesmos tipos litológicos de (A) sendo que estes foram segmentados por ação da zona de cisalhamento Zc1 expressa por F.

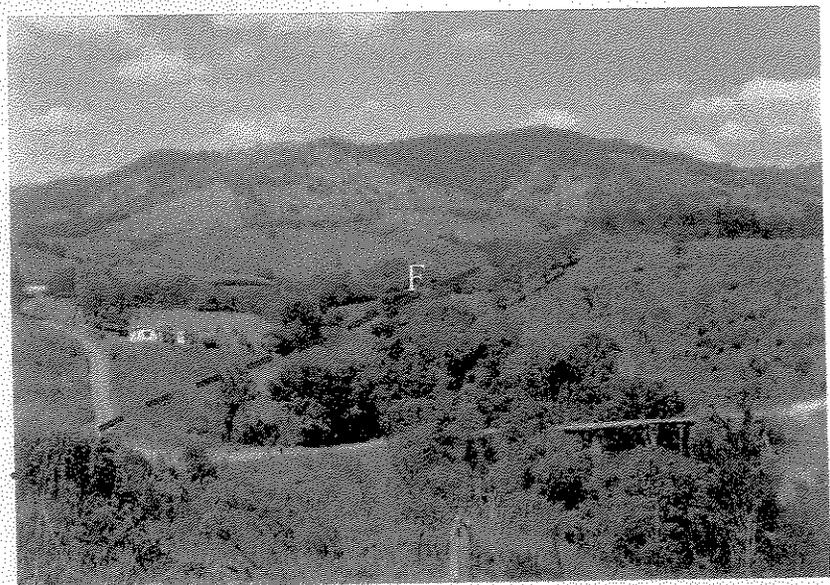


Foto IV.2 - Mesma fazenda. O traço F, corresponde a Zc1.

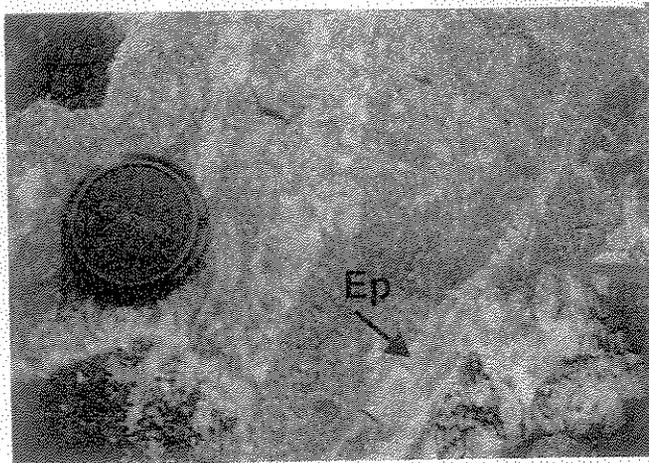


Foto IV.3 - Ponto 079 - Rocha proveniente do cisalhamento rúptil ZC2, bastante silicificada e com veios de epidoto e quartzo.

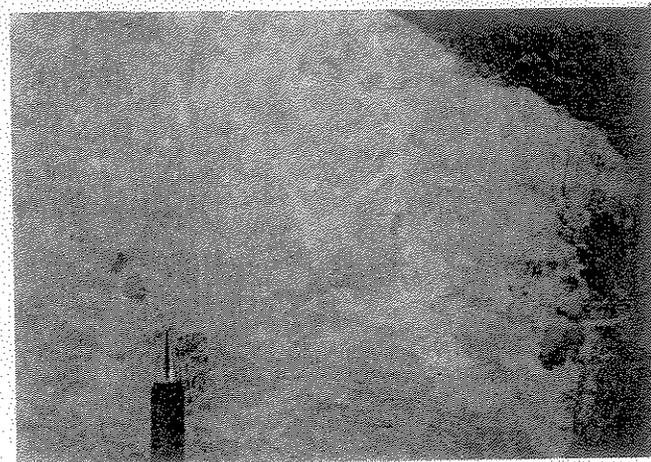


Foto IV.4 - Ponto 066 - Gnaiss granítico silicificado, com aspecto cataclástico.

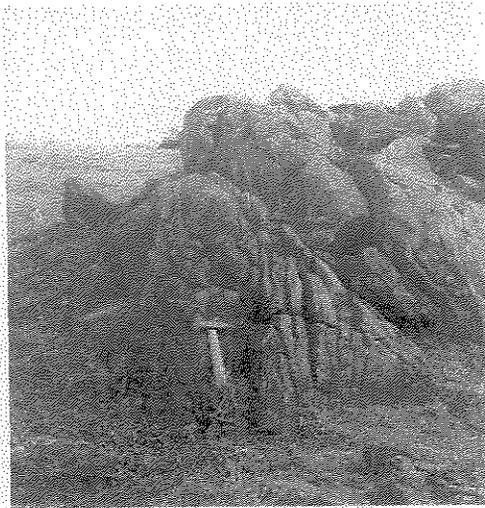


Foto IV.5 - Ponto 095 - Forma geral dos afloramentos, apresentando foliação com padrão anastomosado.

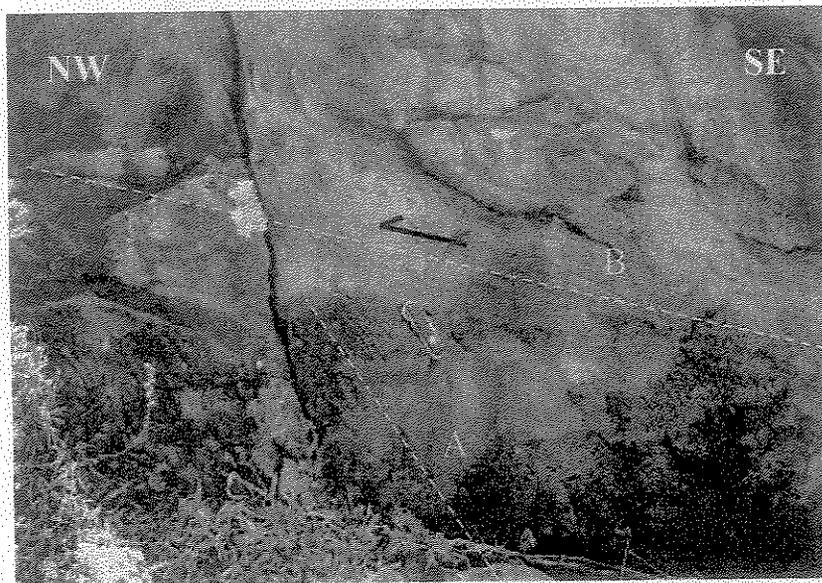


Foto IV.6 - Ponto 095 - Biotita gnaise da Faixa Mumbuca. Neste ponto é possível observar uma zona de cisalhamento sinistral de direção WNW/ESE (B), truncando a foliação de direção mais antiga NNE/SSW(A).

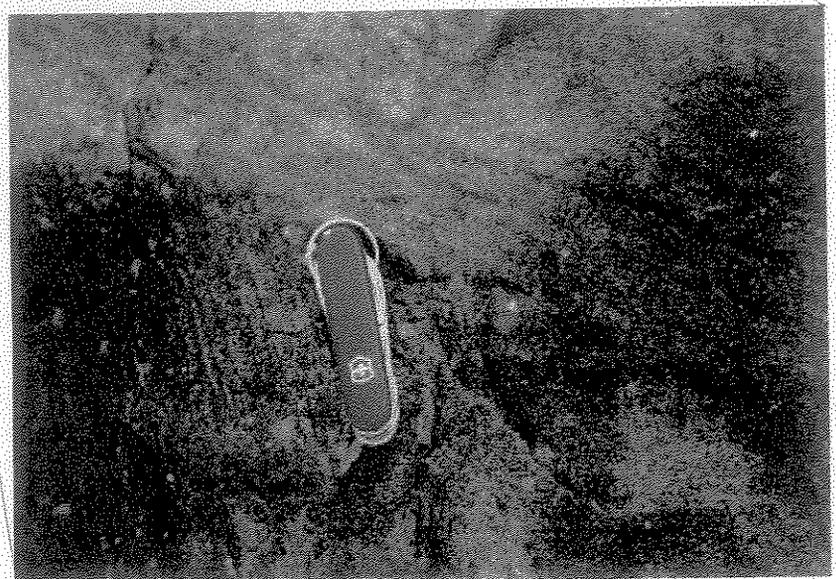
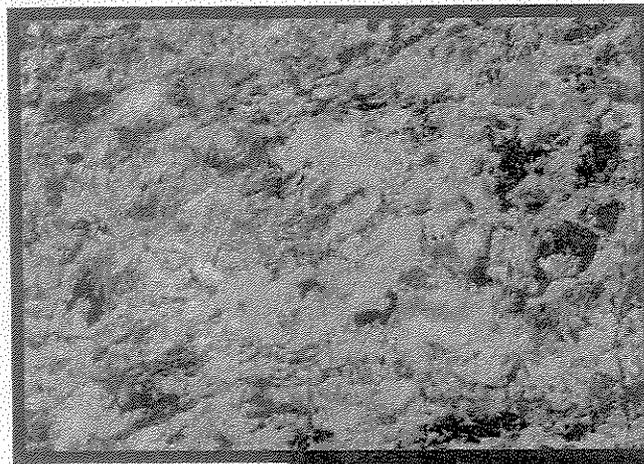
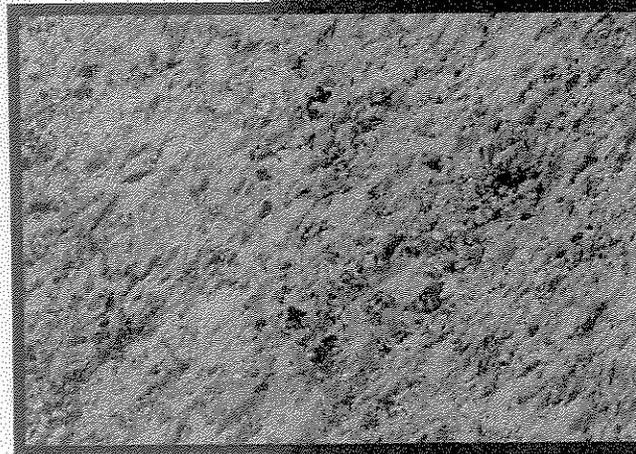
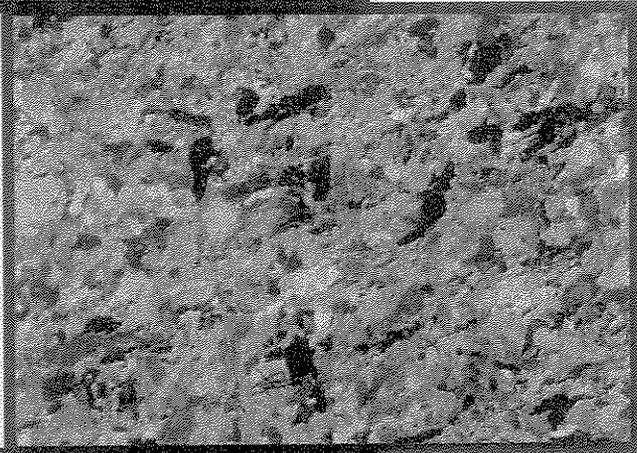


Foto IV.7 - Detalhe da foto anterior.



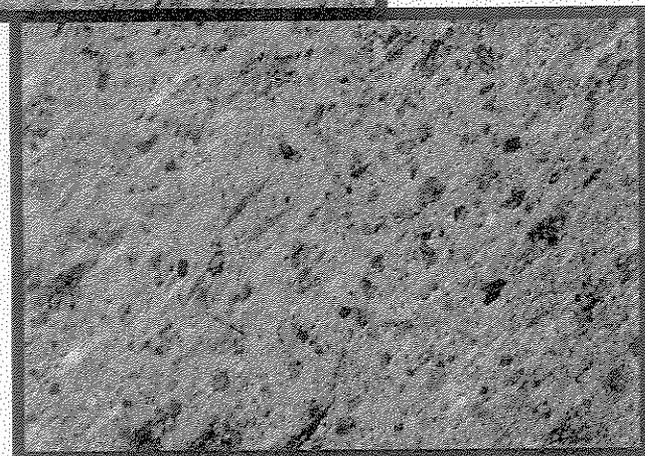
Fotomicrografia IV.1

Fotomicrografia IV.2



Fotomicrografia IV.3

Fotomicrografia IV.4



Fotomicrografias IV.1, IV.2, IV.3 e IV.4 - Estas fotomicrografias dos actinolita-clorita-hornblenda xisto, ponto 064, indicam o aumento do grau da deformação em direção à borda do corpo. Esta sequência termina com a formação de uma rocha milonítica, devido à intensidade da deformação.

#### IV.1.1 – FAIXA MUMBUCA

O contexto estrutural da Faixa Mumbuca é coerente com o padrão deformacional observado regionalmente. Dentro dos terrenos gnáissicos-graníticos-migmatíticos desta faixa pode-se dois diagramas de foliação. O primeiro diagrama representa os planos de foliação anterior a foliação principal, observados apenas nos centros das estruturas de forma “amendoada”, e exibem orientação da foliação em torno de N30-40E, ressaltando os mergulhos de médio ângulo tanto pra NW, quanto para SE (Figura IV.2), deve-se destacar que foram coletadas poucas medidas desta estrutura. O segundo diagrama corresponde à estruturação mais marcante nesta faixa, com foliação principal apresentando orientação em torno de N60W e mergulhos de alto ângulo. Esta orientação, mais nova, é evidente tanto nos terrenos gnáissicos-graníticos-migmatíticos, quanto nos terrenos vulcano-sedimentares (Figuras IV.3 e IV.4).

Os dados de lineação foram tratados de forma uniforme, somando-se tanto as medidas de lineação mineral, que ocorre em menor quantidade, quanto as medidas de lineação de alongamento. Estas lineações são representadas principalmente pelo alinhamento de quartzo e feldspato, quando em rochas ortognáissicas, e por antofilita e outros anfibólios, quando em terrenos metamáficos/metaultramáficos. O diagrama de lineação obtido para Faixa Mumbuca apresenta uma concentração de medidas NW, com ângulo de mergulho baixo (Figura IV.5).

O diagrama de eixos de dobras (Figura IV.6), apresenta o mesmo padrão do das lineações. Esta feição estrutural ocorre pontualmente nesta Faixa e aparentemente correspondem a anisotropias locais durante o cisalhamento dúctil. Apesar da concentração dos resultados, deve-se ressaltar que foram obtidas poucas medidas deste tipo de estrutura. Petrograficamente, os litotipos da Faixa Mumbuca estão reorganizados/transformados metamorficamente e os estudos microestruturais evidenciam preferencialmente o cisalhamento, observando-se o aumentando da deformação em direção à borda das amêndoas.

#### IV.1.2 – FAIXA MORRO DO FERRO

O diagrama de foliação principal dos terrenos metamáficos/metaultramáficos da Faixa Morro do Ferro indica uma orientação da foliação entre N50-60W, com mergulhos predominante no quadrante SW, seguido por mergulhos no quadrante NE, ambos de alto ângulo (Figura IV.7). A guirlanda da foliação principal das rochas gnáissico-graníticas apresenta uma concentração de medidas de alto ângulo, com mergulho para sul e orientação quase E/W (Figura IV.8).

O granitóide São José, na área estudada, apresenta-se deformado, com orientação da foliação principal em torno de N50W (Figura IV.9). Nesta guirlanda destaca-se uma concentração de medidas com mergulhos de alto ângulo para NW, o que pode ser consequência do padrão “amendoado”.

Assim como na Faixa Mumbuca as lineações mais marcantes da Faixa Morro do Ferro são as de estiramento. A figura IV.10, apresenta medidas de lineação com mergulhos suaves em NW.

Em algumas lâminas petrográficas das rochas metamáficas/metaultramáficas foi possível observar o desenvolvimento de uma foliação plano-axial, pouco marcante denominada  $S_n$ . Esta foliação, dada por orientação preferencial de cristais de anfibólio, desenvolve-se no plano axial da foliação anterior  $S_0/S_1$ , que apresenta-se crenulada.

Devido à intensa estruturação da região, onde observa-se a paralelização das foliações e sobreposição de fases deformacionais, deve-se levantar um montante maior de informações, como: dobras intrafoliais, transposição de foliação e outras evidências, para um melhor entendimento da relação entre as fases deformacionais. Tendo em vista a falta de informações relevantes, optou-se denominar esta foliação mais recente de  $S_n$ , pois podem ter ocorrido outras foliações anteriores e estas serem atualmente paralelas.

#### IV.1.3 – AVALIAÇÃO FINAL

A análise em conjunto das informações de campo, dos dados das medidas estruturais e a análise dos diagramas, permitiram a interpretação de que a região estudada está inserida em um “corredor” de cisalhamento. Neste “corredor” destacam-se duas zonas de cisalhamento distintas, denominadas, ZC1 e ZC2. A ZC1 é mais antiga, de caráter dúctil e possível orientação preferencial WNW-NNW. A ZC2 possui caráter dúctil-rúptil/rúptil e desenvolveu-se, aparentemente, por sobre a ZC1. A porção central desta zona de cisalhamento sinistral, mais

nova, corresponde a uma falha transcorrente de alto ângulo que separa as duas faixas tectônicas estudadas nesta dissertação: a Faixa Mumbuca e a Faixa Morro do Ferro.

O padrão estrutural nas duas faixas tectônicas é muito semelhante. Isso pode ser observado quando comparamos os seus diagramas estruturais, tanto os de foliação principal das rochas gnáissicas-graníticas-migmatíticas (Figuras IV.3 e IV.8) e das rochas metamáficas/metaultramáficas (Figuras IV.4 e IV.7), como os de lineação mineral/estiramento (Figuras IV.5 e IV.10). No geral, nota-se que a foliação principal possui mergulhos de alto ângulo, em torno de 75° e direção aproximada NW/SE. Os elementos lineares possuem mergulho suave, em torno de 15°, e orientação aproximada para SE.

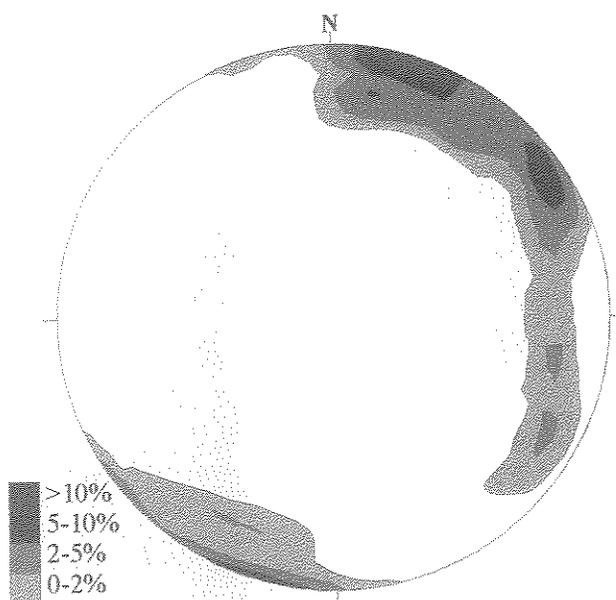


Fig.IV.1- Diagrama de foliação principal, medida ao longo da zona de cisalhamento ZC2 que separa as duas faixas. Máximo 11.05% (17/85), 54 medidas.

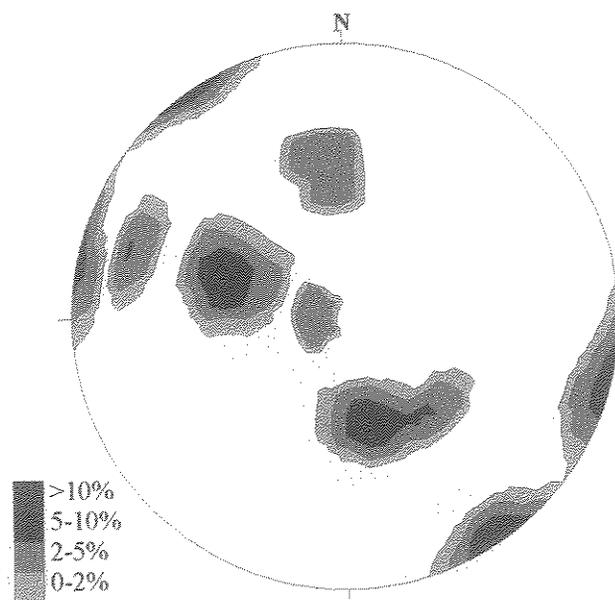


Fig.IV.2 - Diagrama de foliação anterior à foliação principal, Faixa Mumbuca. Máximo 10.79% (290/54), 14 medidas.

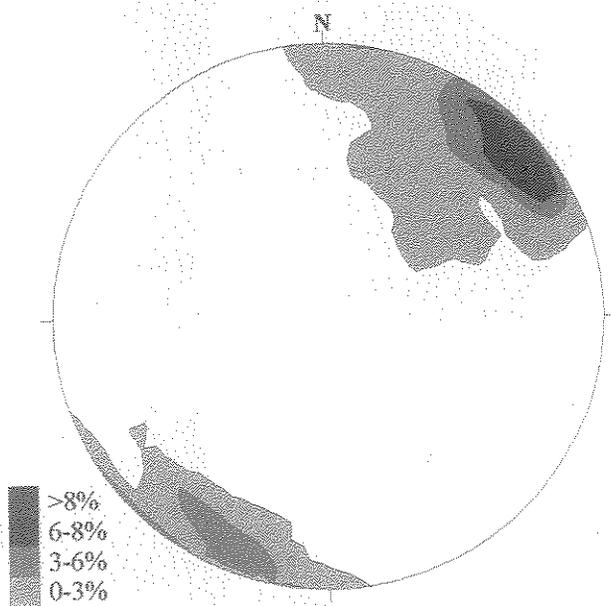


Fig.IV.3- Diagrama de foliação principal, para os terrenos ortognáissicos, Faixa Mumbuca. Máximo 8.91% (56/84), 258 medidas.

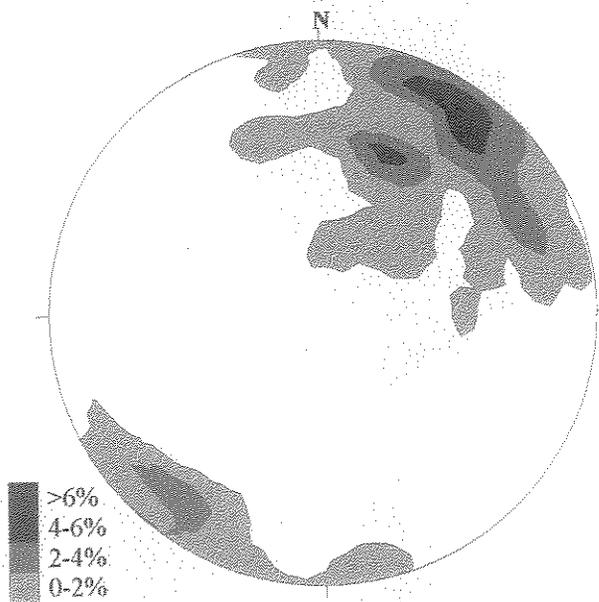


Fig.IV.4- Diagrama de foliação principal, para os terrenos metaultramáficos/metamáficos, Faixa Mumbuca. Máximo 6.49% (34/84), 112 medidas.

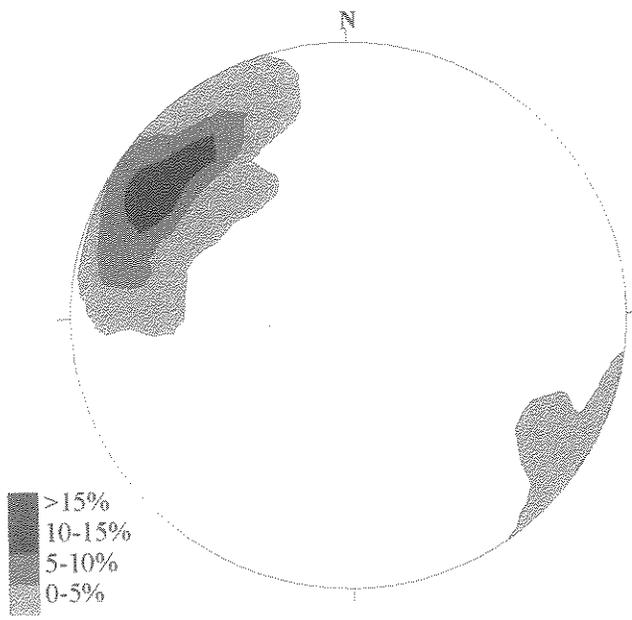


Fig.IV.5- Diagrama de lineação mineral e de alongamento, Faixa Mumbuca. Máximo 16.08% (300/12), 63 medidas.

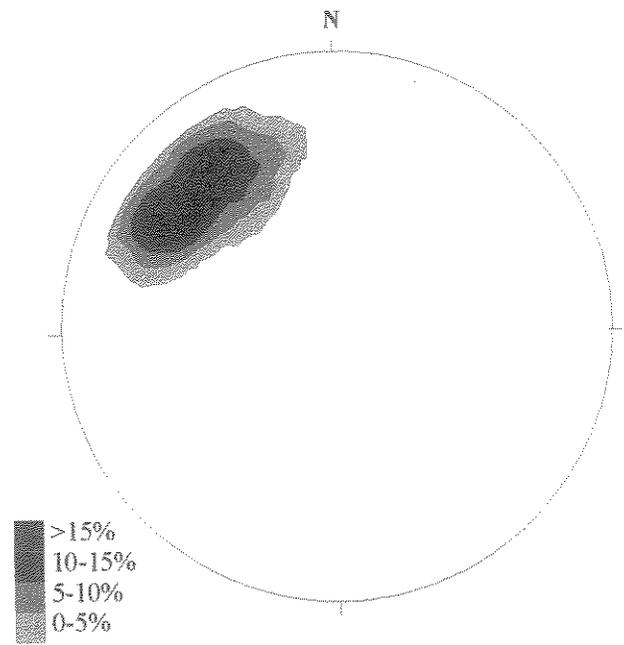


Fig.IV.6- Diagrama de eixo de dobra, Faixa Mumbuca. Máximo 31.12% (305/18), 20 medidas.

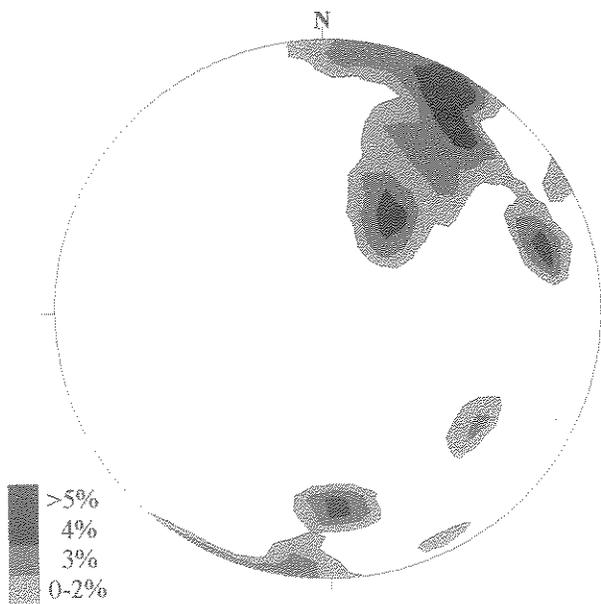


Fig.IV.7- Diagrama de foliação principal, para os terrenos metamáfico/metaulttramáficos, Faixa Morro do Ferro. Máximo 5.67% (30/80), 103 medidas.

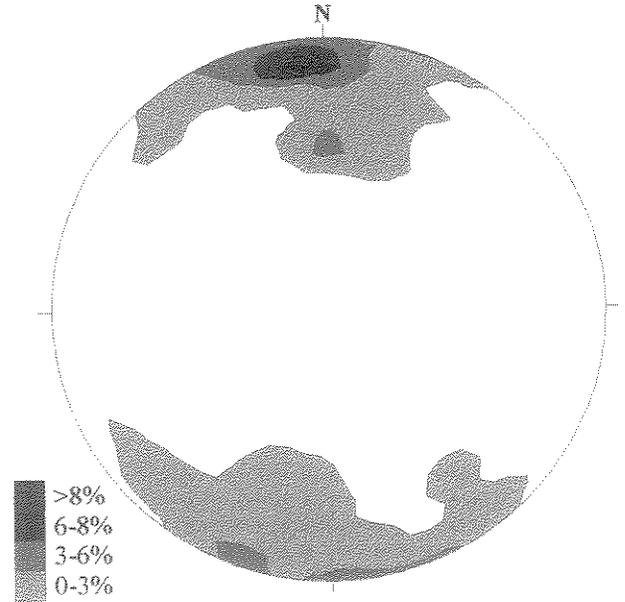


Fig.IV.8- Diagrama de foliação principal, para os terrenos ortognáissicos, Faixa Morro do Ferro. Máximo 10.91% (355/78), 78 medidas.

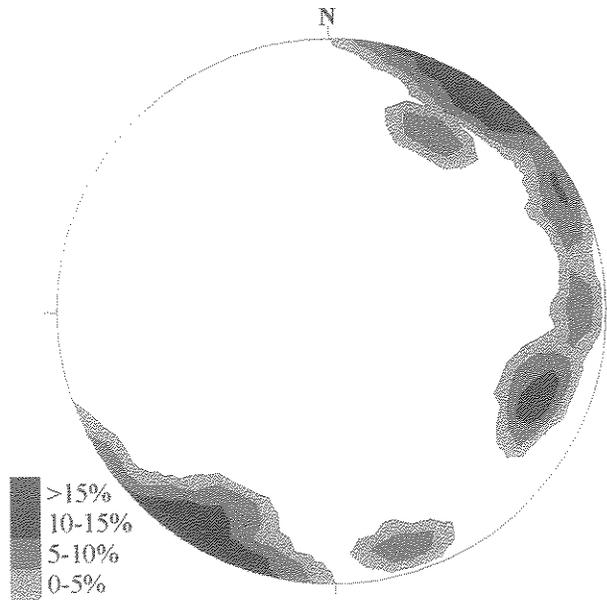


Fig.IV.9- Diagrama de foliação principal, para os terrenos do granitóide São José. Máximo 12.32% (34/80), 17 medidas.

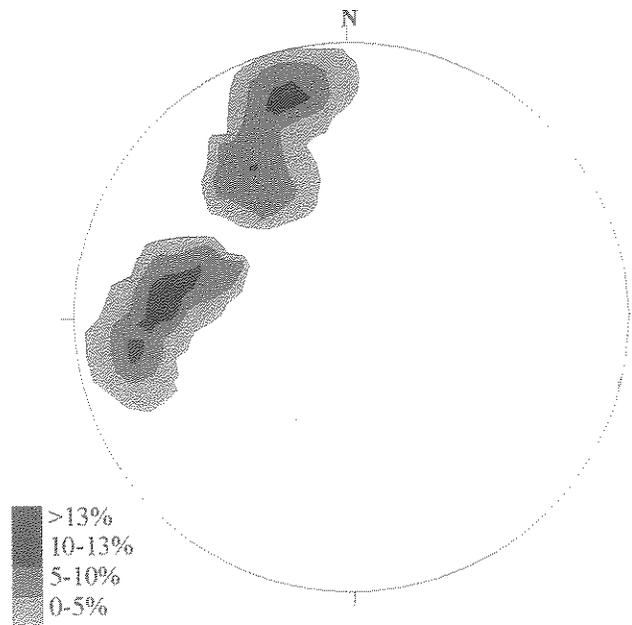


Fig.IV.10- Diagrama de lineação mineral e de alongamento, Faixa Morro do Ferro. Máximo 13.81% (278/24), 26 medidas.

## V - ASPECTOS METAMÓRFICOS

### V.1 – INTRODUÇÃO

Os estudos mais atuais de metamorfismo em terrenos *granito-greenstone belt* mostram que, em alguns casos, os litotipos presentes neste ambiente podem alcançar condições de P-T-t de fácies granulito, como observado por Rollinson (1983, 1999) em Serra Leoa e por Wilkins (1997) que discute os aspectos do metamorfismo regional nos *greenstone belts* Arqueanos. Estas pesquisas revelam que estes terrenos não são condicionados unicamente pela fácies xisto verde, podendo alcançar fácies metamórficas mais elevadas.

A região abordada nesta dissertação corresponde a uma pequena área dentro do *Greenstone Belt* Morro do Ferro, que possui padrão metamórfico heterogêneo. A suíte metamáfica/metaultramáfica de filiação komatiítica apresenta condições de fácies xisto-verde a fácies anfibolito superior–granulito. Tendo em vista esse contexto metamórfico foi necessário se conhecer melhor as áreas adjacentes. Com essa finalidade foram estudadas lâminas delgadas pertencentes à Faixa Serra do Dondó, mais especificamente os constituintes metaultramáficos da área de Alpinópolis. Nesta área, visitada três vezes durante este estudo, a evolução metamórfica foi registrada por Szabó (1996). Observações de campo também foram feitas na região de Petúnia (Domínio Sul – CCG), na área entre Jacuí - Bom Jesus da Penha, além de duas visitas ao depósito O'Toole, pertencente à Faixa Morro do Ferro. As visitas de campo realizadas às áreas adjacentes, somadas ao estudo petrográfico de lâminas delgadas da área de Alpinópolis, contribuíram para um melhor entendimento do cenário tectono-metamórfico da área de estudo.

Os levantamentos acima referidos, em conjunto com os estudos específicos conduzidos na área da dissertação e as informações bibliográficas consultadas, referentes ao *Greenstone belt* Morro do Ferro, levam à conclusão que o metamorfismo foi progressivo. Este metamorfismo inicia-se em fácies xisto-verde, com a paragênese Mg-clorita–Ca-anfibólio, na área de Alpinópolis (Szabó 1996), e passa por transformações sucessivas na composição mineralógica, atingindo condições de fácies granulito na Faixa Mumbuca, representadas pela paragênese: ortopiroxênio – hornblenda ± olivina ± espinélio verde ± Mg-clorita e pontualmente antofilita. (Foto III.4 e Fotomicrografias III.3, III.4, III.5, III.7, III.8 e III.9). A Faixa Morro do Ferro inicia sua evolução metamórfica em condições de fácies xisto verde, nas proximidades de Fortaleza de Minas (Carvalho *et al.* 1982), e finaliza em fácies anfibolito na região da área estudada, com textura “spinifex” preservada, como observado nas proximidades do Rio São João (Foto III.10). De

Alpinópolis para Mumbuca o metamorfismo aumenta de NE para SW. Já de Fortaleza de Minas para a Faixa Morro do Ferro o metamorfismo aumenta de NW para SE (Fig.V.1).

Além das diferenças metamórficas acima referidas, observa-se algumas transformações retrógradas, que são o resultado de intensos e progressivos reequilíbrios mineralógicos, relacionados, principalmente, às zonas de cisalhamento de alto ângulo, que propiciaram a entrada/mobilidade de fluídos.

As duas regiões, Faixa Mumbuca e Faixa Morro do Ferro, possuem condições metamórficas distintas, e serão abordadas separadamente a seguir:

## V.2 – ASSOCIAÇÕES MINERALÓGICAS NA FAIXA MUMBUCA

Em geral, os terrenos gnáissicos-migmatíticos-graníticos não possuem mineralogia que permita diagnosticar as condições metamórficas dessa área, entretanto os processos de migmatização indicam temperaturas em torno de 700°C–900°C (Bucher & Frey, 1994). Os migmatitos observados possuem bandamento migmatítico nítido a difuso (Ponto 095, Foto III.2) e estruturas do tipo “*schlieren*”. Estas feições migmatíticas não foram observadas na Faixa Morro do Ferro.

Os terrenos metaultramáficos estão bastante reorganizados/transformados textural e mineralogicamente, o que mascara o registro dos seus respectivos protólitos. A assembléia mineral característica do corpo principal é: ortopiroxênio – hornblenda ± olivina ± espinélio verde ± Mg-clorita. Este tipo litológico tem sua formação a partir das transformações das rochas com paragênese inicial Mg-clorita e Ca-anfibólio. Esta passagem é marcada pelo aumento gradual em alumínio, em substituições tschermakíticas nas cloritas e edeníticas – tschermakíticas nos Ca-anfibólios. Destacam-se também as reações para a formação de forsterita, enstatita e espinélio a partir da quebra final da Mg-clorita. Estas relações foram descritas por Szabó (1996) tendo como base os trabalhos experimentais de Jenkins & Chernosky (1986), que determinaram a seguinte curva PxT, (Fig. V.2).

# MAPA METAMORFICO

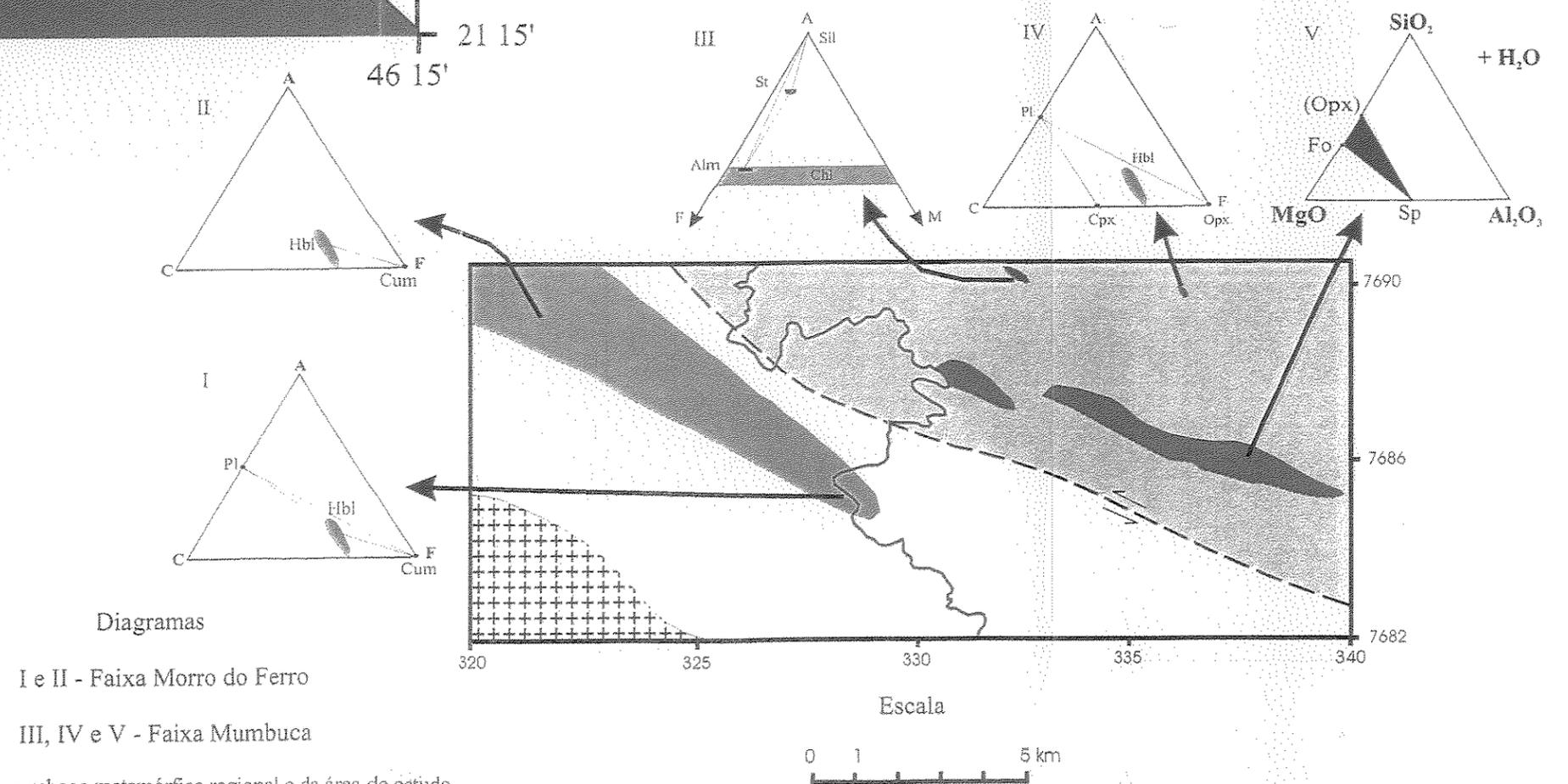
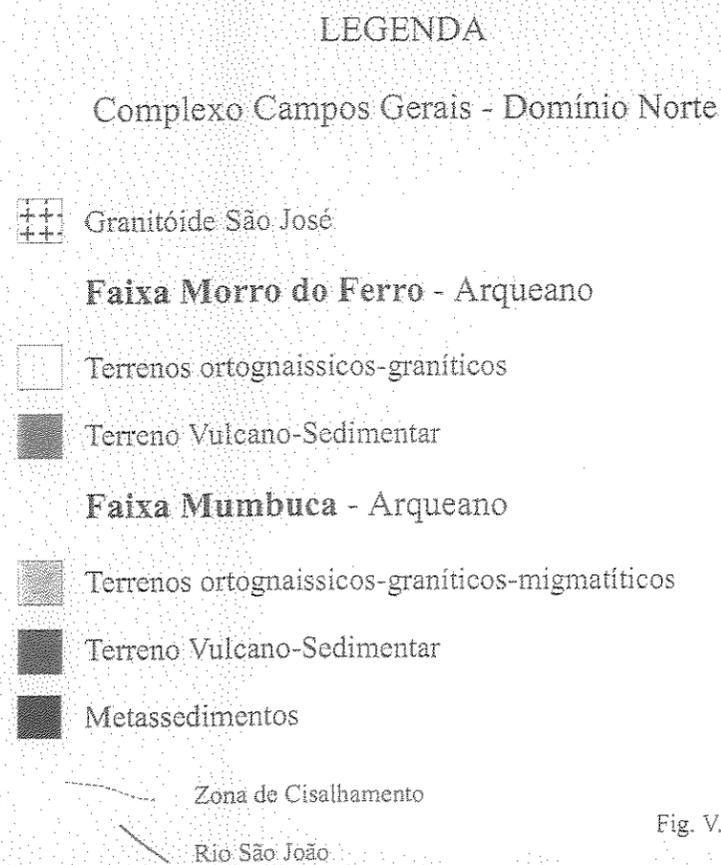
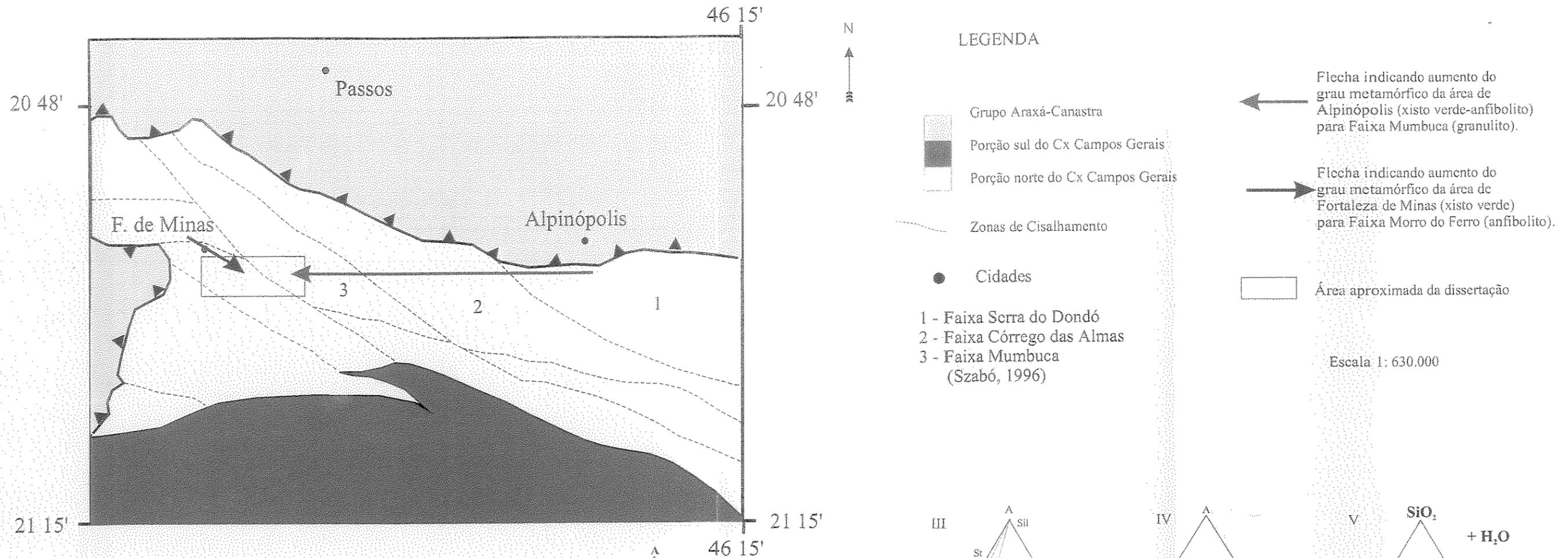


Fig. V.1: Mapa com o esboço metamórfico regional e da área de estudo.

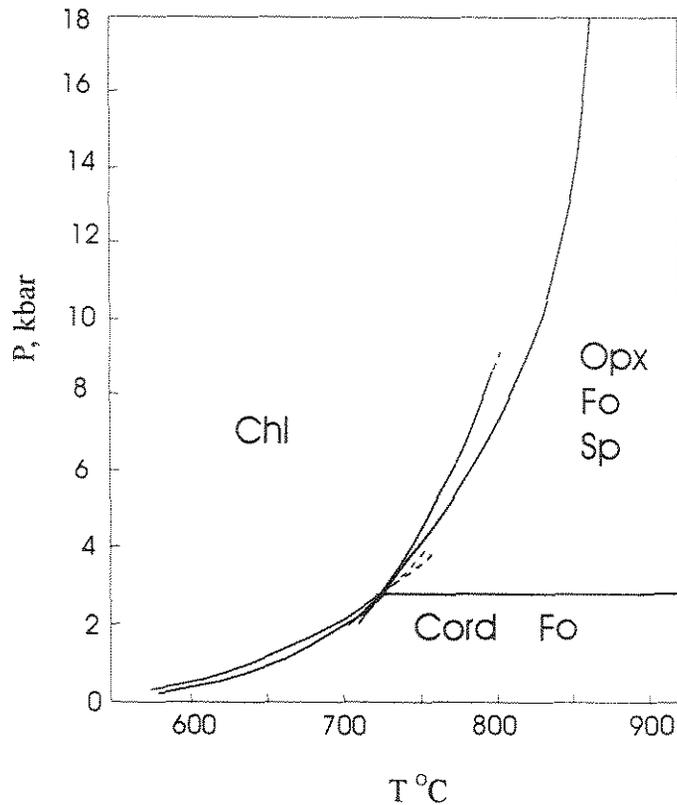


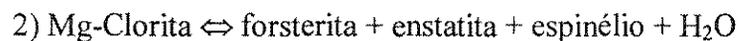
Fig.V.2 – Curva univariante pertinente à estabilidade da Mg-clorita no sistema  $H_2O$ - $MgO$ - $Al_2O_3$ - $SiO_2$  com excesso de  $H_2O$ . Jenkins & Chernosky (1986).

Segundo Szabó (1996) este enriquecimento em Al promove a diminuição da proporção modal da clorita magnésiana, tornando-a cada vez mais aluminosa. Como resultado deste enriquecimento tem-se a formação de olivina, seguida em menor quantidade por antofilita. Dependendo do grau de enriquecimento, esta transformação vai ocorrer de forma progressiva e contínua, segundo a reação:



Durante esta fase o Ca-anfibólio também enriquece em Al, entretanto a proporção modal é fixa dependendo do conteúdo de Ca na rocha, podendo eventualmente este elemento ser remobilizado por metassomatismo o que influenciaria na quantidade de Ca-anfibólio.

Para Szabó (op. cit.) o surgimento do ortopiroxênio ocorre quando o conteúdo em Al da clorita chega ao seu valor máximo de estabilidade durante o metamorfismo progressivo, com temperaturas de 730 e 780 °C a pressões respectivas de 3 a 6 kbar. Esta quebra final implica na seguinte reação:



As reações 1 e 2 correspondem ao estágio de mais alto grau metamórfico alcançado na Faixa Mumbuca. Entretanto, esta reação não ocorre isolada, ou seja as transformações do Ca-anfibólio vão interferir na composição modal das rochas envolvidas e em suas texturas.

Além das transformações metamórficas descritas acima, alguns corpos anfibolíticos, estudados nesta dissertação, pertencentes aos terrenos metaultramáficos/metamáficos, apresentam vestígios de paragênese específica de fácies granulito, representada pelos seguintes minerais: ortopiroxênio, clinopiroxênio, plagioclásio e hornblenda, indicando que a região teve pico metamórfico em condições de fácies granulito, (Tabela I).

Determinadas formações ferríferas, nesta área, apresentam a seguinte associação mineral: quartzo, granada, biotita, grunerita e ferrosilita. Esta associação ocorre em condições metamórficas entre as fácies anfibolito superior e granulito.

As litologias desta Faixa também apresentam processos de transformação por metassomatismo, evidenciado pela formação dos serpentinitos e dos talco xistos. Neste caso, as condições metamórficas estão diretamente relacionadas à deformação, com aporte de fluidos ricos em H<sub>2</sub>O ( $\pm$ CO<sub>2</sub>) em zonas de cisalhamento. As relações texturais observadas na área de Mumbuca, evidenciam uma substituição seletiva na mineralogia: os porfiroblastos de olivina transformam-se para serpentina, que englobam a Mg-clorita, (Fotomicrografia III.8) e os de ortopiroxênio transformam-se para talco, que englobam a serpentina, (Fotomicrografia III.9). A evolução destes processos, em sistema aberto, estão relacionados aos cisalhamentos tardios, que proporcionam o desenvolvimento de serpentinitos, gerados por substituição metamórfica, ou, mais provavelmente, por processos metassomáticos. O aumento do aporte de fluido torna essas transformações mais evidentes, gerando rochas monominerálicas com textura randômica.

Na Faixa Mumbuca foi possível observar um retrometamorfismo para fácies xisto verde, ocorrendo de forma pontual e fora do corpo metaultramáfico principal, localizado no ponto 222, em uma lente menor isolada. Em lâmina delgada pode-se observar hornblenda, evidenciando uma antiga textura cumulática, e clorita esverdeada crescendo em planos de cisalhamento ZC1.

Tabela I – Assembléias mineralógicas da Faixa Mumbuca.

	Xisto Verde / baixo	Xisto verde / anfíbólito	Anfíbólito médio	Anfíbólito / granulito
<b>Rochas Metaultramáficas / máficas</b>				
Ortopiroxênio				-----
Olivina			---	-----
Espinélio				-----
Mg-clorita	-----	-----	-----	---
Hornblenda			-----	-----
Antofilita		-----	-----	---
Talco	-----	-----		
Tremolita/actinolita	-----	-----		
Cummingtonita			---	-----
<b>Formações Ferríferas</b>				
Ferrosilita				-----
Grunerita		-----	-----	-----
Granada		-----	-----	-----
<b>Anfíbólitos</b>				
Ortopiroxênio				-----
Clínopiroxênio			---	-----
Hornblenda			-----	-----
Plagioclásio		-----	-----	-----

### V.3 - ASSOCIAÇÕES MINERALÓGICAS NA FAIXA MORRO DO FERRO

Da mesma maneira que na faixa adjacente, os terrenos ortognáissicos não propiciam paragêneses para determinar as condições metamórficas. No entanto, os terrenos metamáficos/ultramáficos na área estudada indicam condições metamórficas de fácies anfíbólito, determinada pela presença de cummingtonita e hornblenda, nas rochas metaultramáficas (Tabela II e Foto III.4.6).

O retrometamorfismo é marcado pela talcificação e pela serpentinização e também pode ser observado em um dos anfíbólitos, localizado nas proximidades do ponto 245, com a seguinte associação mineral: hornblenda, com borda de actinolita e lamelas de exsolução de cummingtonita, plagioclásio e clorita. Apesar desta rocha possuir paragênese de fácies anfíbólito, é possível observar um início de retrometamorfismo para xisto verde incipientemente estabelecido, determinado pela clorita esverdeada, menos desenvolvida, como mineral retrógado.

Nesta unidade também foram observados serpentinitos derivados de processos metassomáticos (ponto 273), semelhantes aos serpentinitos estudados na Faixa Mumbuca, acreditando-se que as relações de transformação para formar este tipo litológico ocorreram da mesma forma em toda a área estudada, como resultado da interação entre os cisalhamentos, aporte de fluidos e rochas reativas. De forma geral, os processos aparentam ser progressivos finalizando com serpentinação e/ou talcificação, substituindo a olivina, o ortopiroxênio e o anfibólio.

Tabela II – Assembléias mineralógicas da Faixa Morro do Ferro.

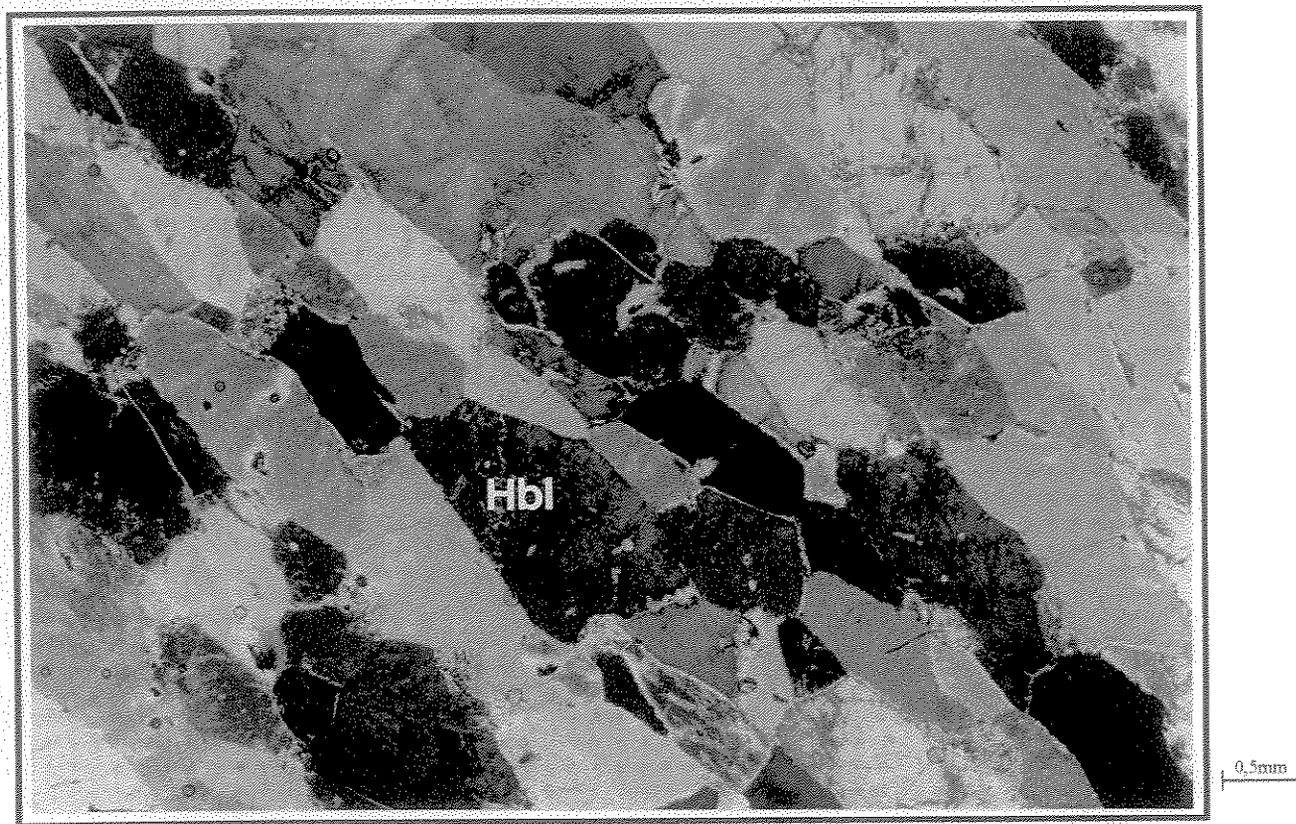
	Xisto Verde / baixo	Xisto verde / anfíbólito	Anfíbólito médio	Anfíbólito / granulito
<b>Rochas Metaultramáficas/ máficas</b>				
Mg-clorita	-----	-----	-----	
Talco	-----	-----	-----	
Tremolita/actinolita	-----	-----	-----	
Hornblenda			-----	
Cummingtonita			---	-----
<b>Anfíbólitos</b>				
Hornblenda			-----	
Actinolita	-----	-----		
Cummingtonita			---	-----
Plagioclásio			-----	-----
Clorita	-----	-----	---	

#### V.4 – SERPENTINIZAÇÃO E TALCIFICAÇÃO

Os serpentinita xistos/fels e os talco xistos, são tipos rochosos bastante frequentes em ambientes do tipo *Greenstone belt*. Estas rochas ocorrem na área estudada e estão associadas às zonas de cisalhamentos dúcteis que recortam os terrenos metaultramáficos/metamáficos de ambas as faixas. Apresentam-se como corpos lenticulares intercalados aos demais litotipos deste terreno. Em alguns pontos estes serpentinitos são relacionados aos dunitos e/ou peridotitos cumuláticos da base do derrame, como ocorre na mineração O’Toole (Fotomicrografia III.10). Em alguns pontos estes serpentinitos de “substituição direta” são incompatíveis com o grau metamórfico que a faixa alcançou, como é o caso da Faixa Mumbuca, onde o pico metamórfico chegou em condições de fácies anfíbólito superior-granulito.

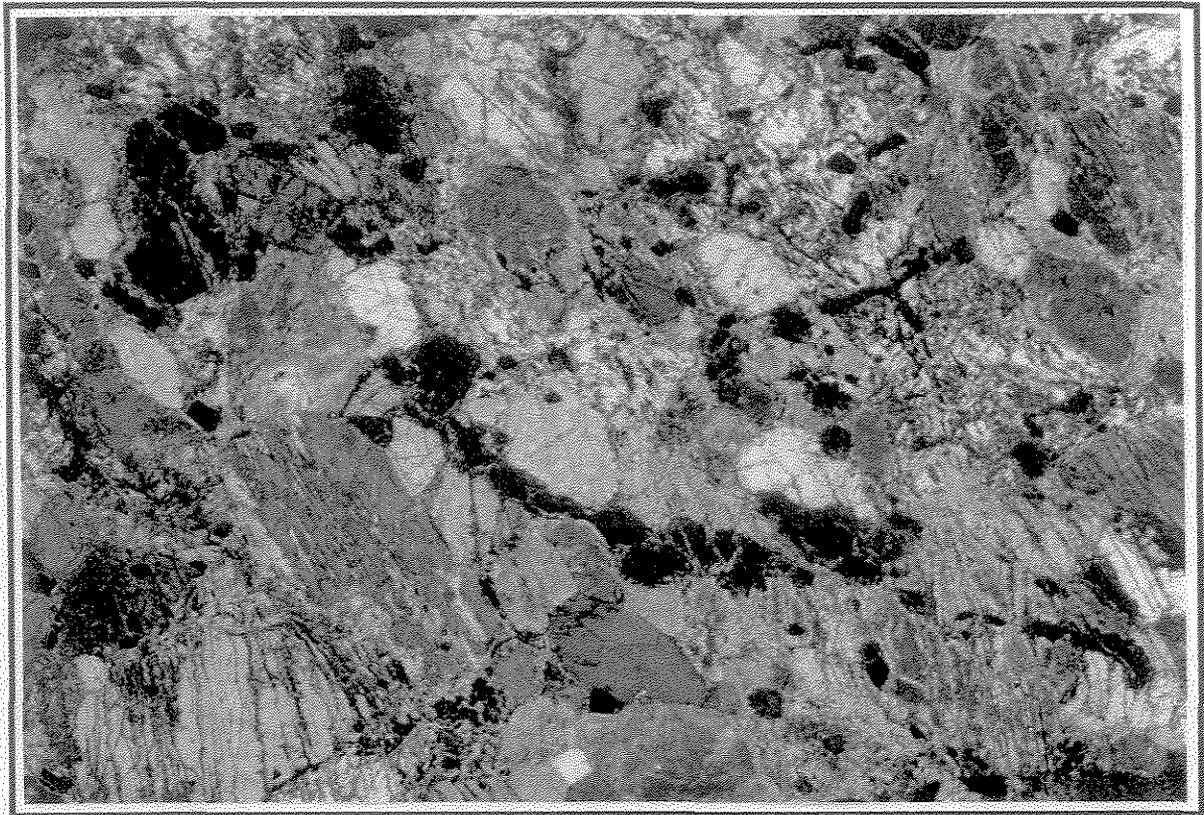
Os estudos petrográficos dos serpentinitos desta faixa revelam transformações em sistema aberto, ocorrendo de forma incipiente a generalizada. A substituição é inicialmente seletiva, como descrito anteriormente (olivina → serpentina e ortopiroxênio → talco). Observa-se também a serpentina ao longo de veios substituindo gradualmente a clorita e o Ca-anfibólio e culminando com a serpentinização generalizada, (Fotomicrografias V.1, V.2, V.3 e V.4). Eventualmente a serpentinização é superada pela talcificação, resultando na formação dos talco xistos (Fotomicrografia V.5). Nota-se também a presença de um estágio intermediário dentro deste caminho de evolução metassomática, representado pelos antofilititos, que ocorrem pontualmente (Fotomicrografia V.6).

Estas observações acabam interferindo nas pesquisas exploratórias, uma vez que nem todos os serpentinitos da área corresponde aos níveis cumuláticos do derrame.

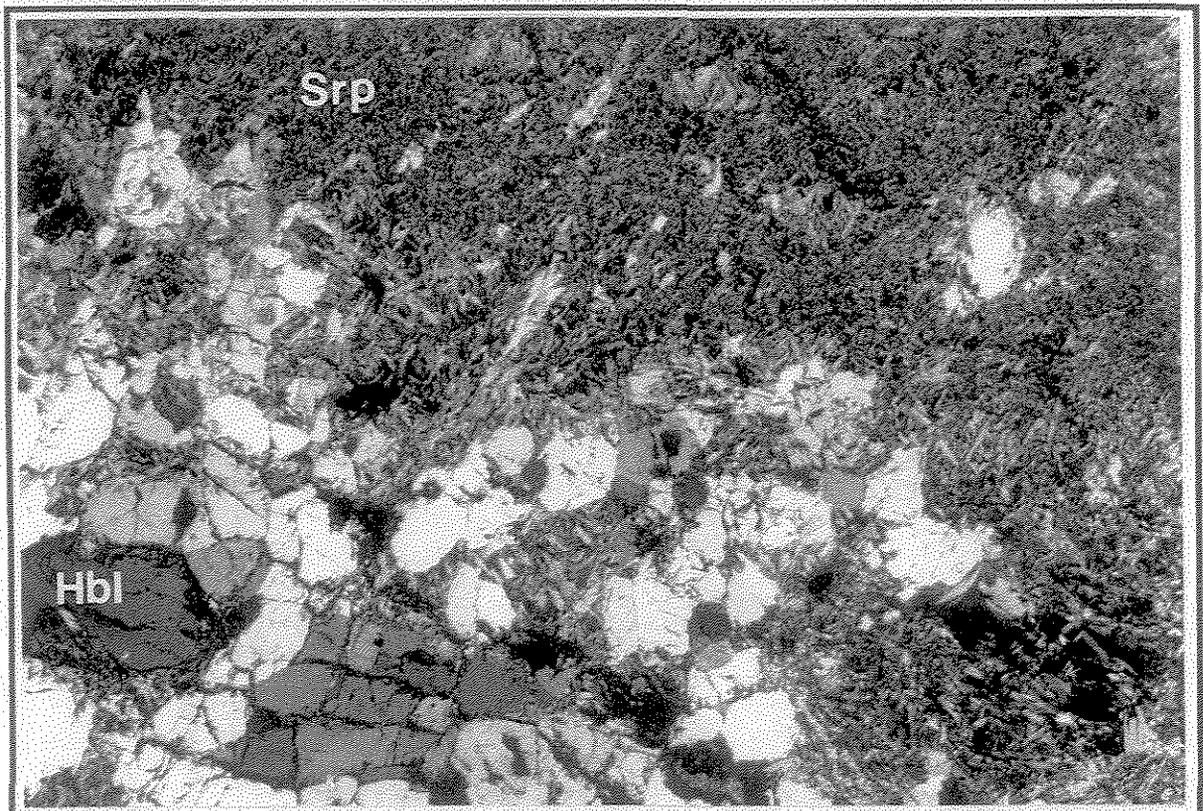


Fotomicrografia V.1 – Ponto 278 – Clorita Ca-anfibólio xisto com textura poligonal. Nicóis X e objetiva de 2,5X.

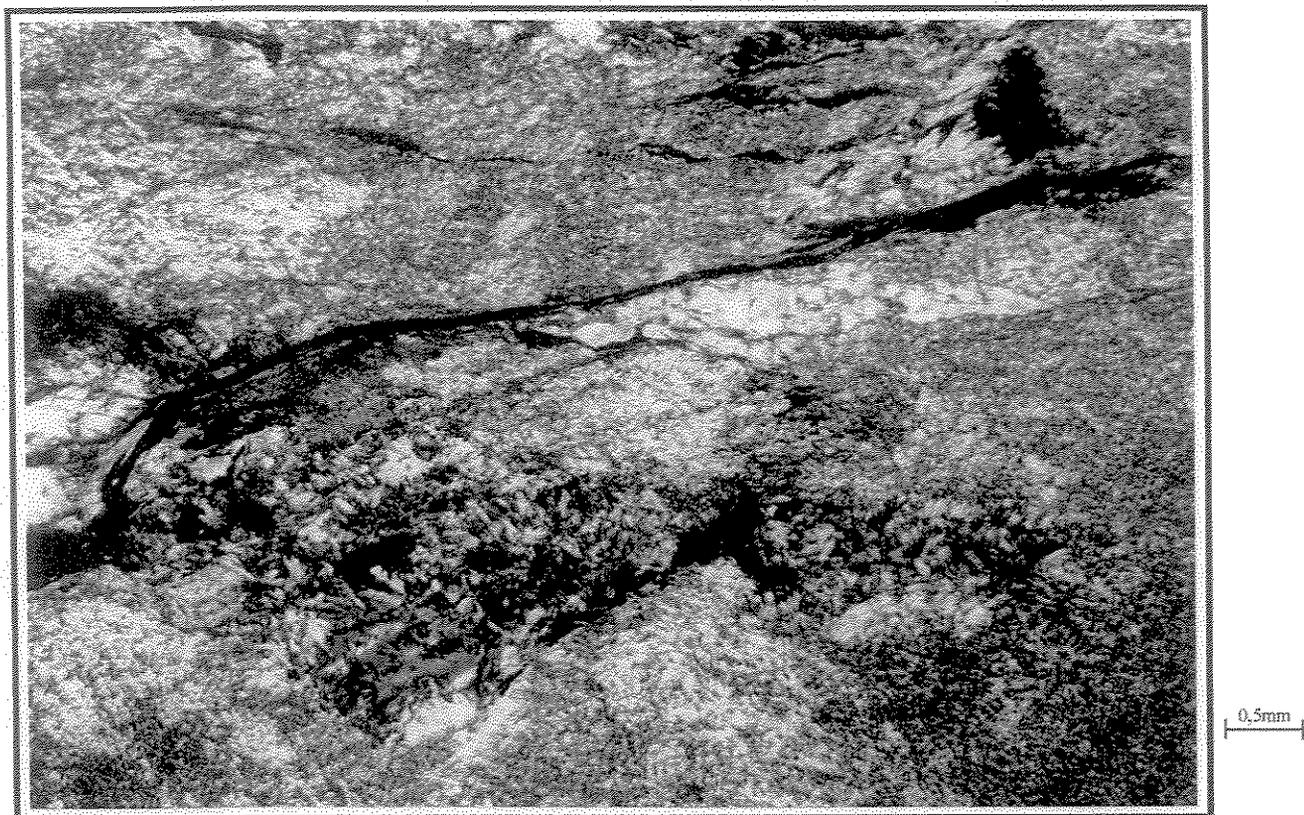
Fotomicrografia V.2 – Ponto 278 – Clorita Ca-anfibólio xisto com evidência de serpentinização incipiente. Nicóis X e objetiva de 2,5X.



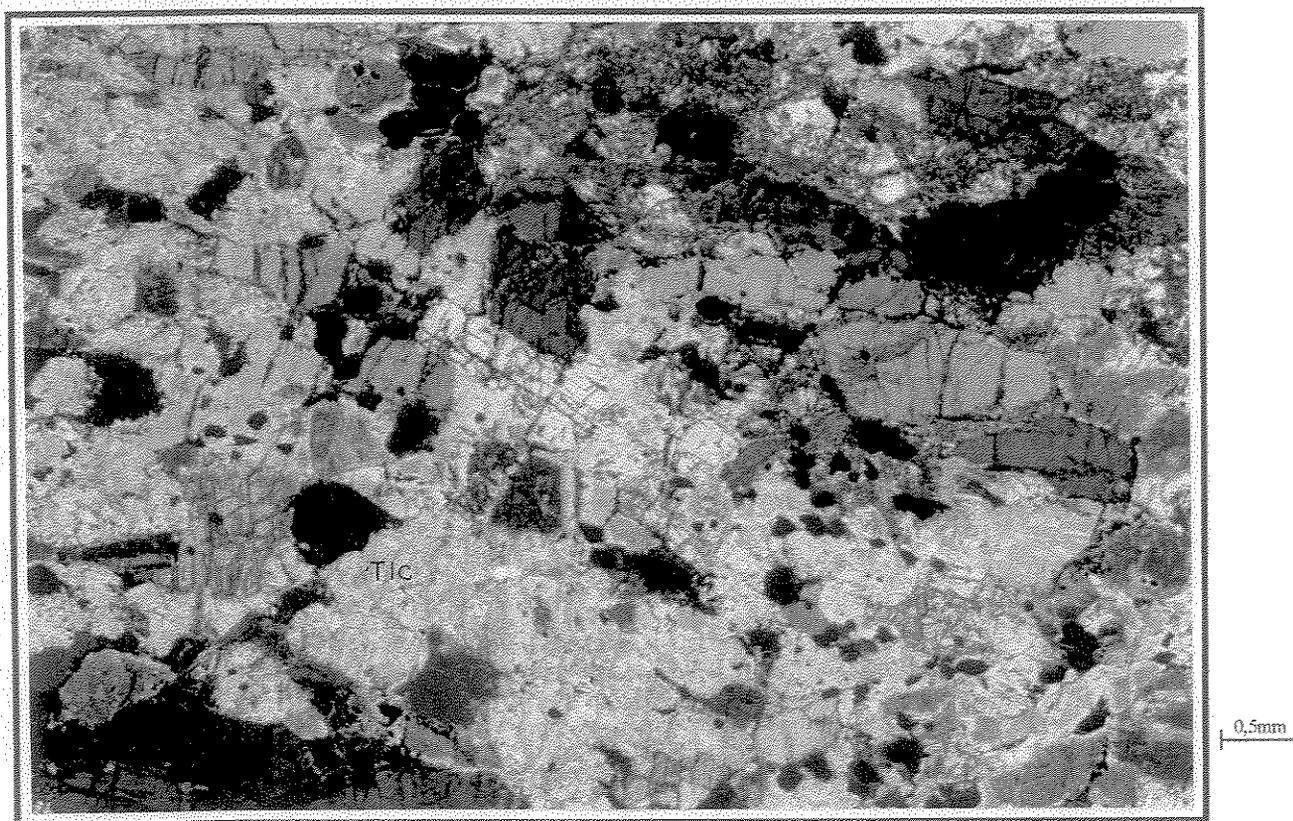
Fotomicrografia V.3 – Ponto 278 – Nesta fotomicrografia pode-se notar a serpentinização mais generalizada e o consumo do Ca-anfibólio. Nicóis X e objetiva de 2,5X.



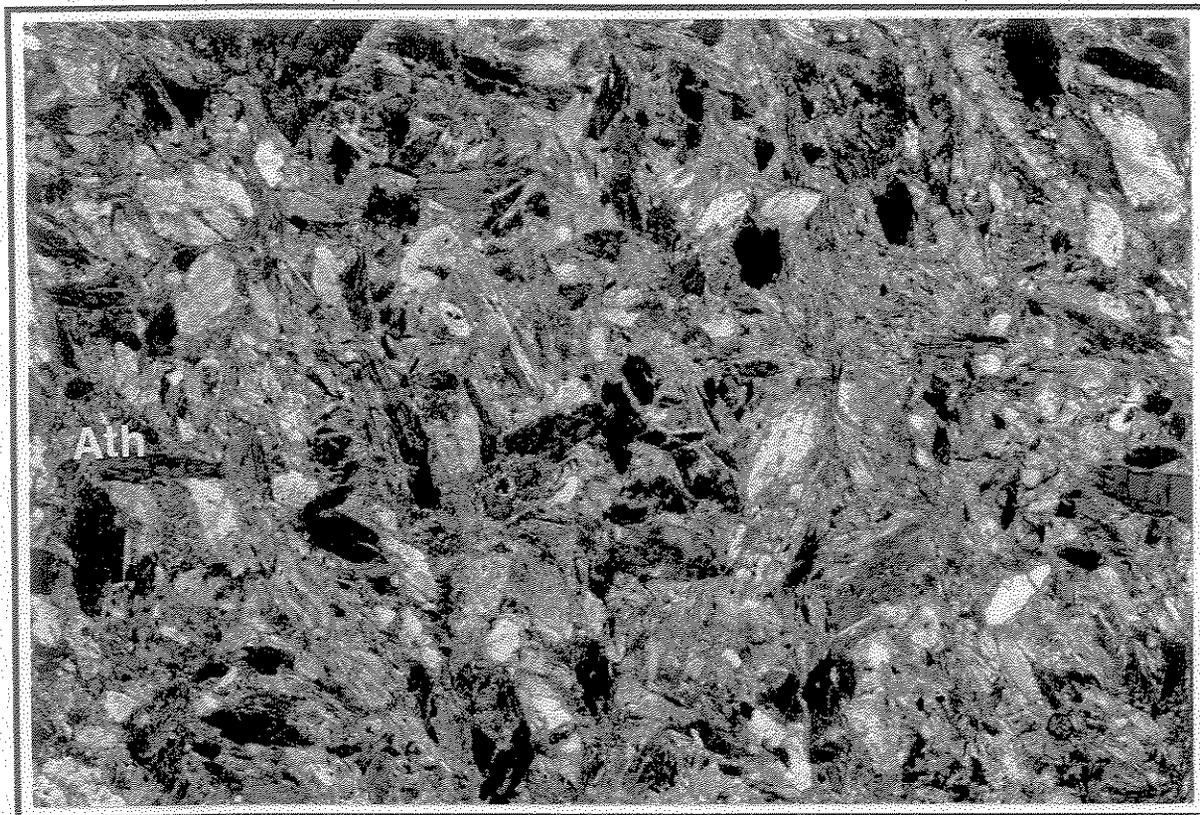
Fotomicrografia V.4 – Serpentinito formado pelo sucessivo processo de substituição. Nicóis X e objetiva de 2,5X.



Fotomicrografia V.5 – Processo de serpentinização sendo substituído por talcificação. Nicóis X e objetiva de 2,5X.



Fotomicrografia V.6 – ponto 275 - Surgimento da antofilita o que corresponde a uma etapa intermediária na evolução metassomática da área. Nicóis X e objetiva de 2,5X.



## VI – CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta parte da dissertação foi dividida em dois blocos, um onde se discutem os aspectos lito-estruturais e outro onde as discussões são direcionadas para os aspectos metalogenéticos. Para o primeiro bloco as considerações têm como base os dados levantados nos capítulos anteriores, ressaltando os enfoques petrológicos e estruturais, tanto para a Faixa Mumbuca, quanto para a Faixa Morro do Ferro. No segundo bloco as discussões chamam a atenção para as diferenças na metalogênese entre as Faixas. Na medida do possível tenta-se atingir os objetivos propostos nesta dissertação, que consistem, primeiramente, em observar se existe ou não continuidade entre as duas faixas tectônicas. No caso da não continuidade entre elas existiam duas possibilidades a serem investigadas: 1) as faixas tectônicas representam sequências semelhantes separadas fisicamente por processos tectônicos; 2) as faixas tectônicas representam sequências distintas, formadas em ambientes tectônicos diferentes. O segundo objetivo a ser atingido correspondeu à investigação da potencialidade para mineralização na área de Mumbuca.

Os resultados desta dissertação indicam que as ocorrências de rochas metamáficas/metaultramáficas das Faixas Mumbuca e Morro do Ferro fazem parte da Sequência Vulcano-Sedimentar Morro do Ferro, apresentando associações vulcano-sedimentares do tipo *greenstone belt*. Estas ocorrências não apresentam continuidade física mas, no entanto, foram paralelizadas por processos tectônicos que atuaram em todo Domínio Norte do Complexo Campos Gerais.

### VI.1– DISCUSSÕES SOBRE ASPECTOS LITO-ESTRUTURAIS

Tendo como base os trabalhos desenvolvidos na área de estudo e nas adjacências, serão discutidos os aspectos metamórficos e estruturais. Quanto ao metamorfismo é possível observar estágios de evolução metamórfica progressivos distintos no Domínio Norte do Complexo Campos Gerais. Dentro deste contexto, os terrenos da Faixa Mumbuca apresentam uma reorganização mineral/textural mais eficiente, quando comparado aos terrenos a oeste, pertencentes à Faixa Morro do Ferro, e aos terrenos a leste, relacionados à Faixa Serra do Dondó.

Esta reorganização metamórfica ocorre em condições de transição fácies anfíbolito superior-granulito. Os corpos anfíbolíticos possuem a associação mineralógica ortopiroxênio, clinopiroxênio, plagioclásio e granada e estão associados com as metaultramáficas da Faixa

Mumbuca, que possuem a paragênese olivina-ortopiroxênio-hornblenda  $\pm$  espinélio. Para estas rochas foram estimadas temperaturas mínimas em torno de 730°C- 780°C e pressões entre 3 e 6 kbar (Szabó 1996). A associação mineral acima descrita foi interpretada como pertencente a uma rocha metamórfica (olivina-ortopiroxênio-hornblenda xistos), e não a uma rocha ígnea, pela observação do crescimento de porfiroblastos de ortopiroxênio englobando uma antiga foliação identificada pela orientação dos cristais de clorita.

Em contrapartida, os terrenos da Faixa Morro do Ferro apresentam condições metamórficas em fácies anfibolito, representada pela associação mineral clorita, tremolita/actinolita, cummingtonita, evidenciando temperaturas próximas de 550°C e condições de pressão acima de 3 Kbar (Brenner *et al.* 1990). Nos terrenos metamáficos/metaultramáficos desta Faixa pode-se observar textura “*spinifex*” preservada.

Os constituintes metassedimentares das duas Faixas são distintos. Na Faixa Mumbuca destacam-se os metassedimentos psamo-pelíticos, com sillimanita, granada  $\pm$  estauroлита e as formações ferríferas, com grunerita, ferrosilita e granada, indicando condições metamórficas de fácies anfibolito superior–granulito. Na Faixa Morro do Ferro tem-se como metassedimento mais evidente o metachert, composto quase que exclusivamente por quartzo, não dando resposta sobre as condições metamórficas desta unidade.

As duas regiões possuem grande afinidade estrutural. Esta conclusão foi baseada na comparação dos diagramas de foliação principal e de lineação das litologias das duas faixas. Entretanto, na área da Faixa Mumbuca, pode-se observar foliações mais antigas, com direção em torno de NE/SW, com mergulhos de médio ângulo, sendo truncadas por cisalhamento sinistral, que vai formar a foliação principal NW/SE, de alto mergulho.

A relação entre as foliações ficou melhor entendida na Faixa Morro do Ferro, onde foi possível observar em lâmina delgada a foliação  $S_0/S_1$  e uma foliação plano-axial mais nova, chamada de  $S_n$ , evidenciada pelo crescimento dos porfiroblastos de anfibólio nos planos axiais das crenulações. Acredita-se, desta forma, que a área passou por pelo menos duas fases de deformação,  $D_1$  marcada pelo paralelismo das superfícies  $S_0$  e  $S_1$ , e  $D_n$  responsável pela formação de uma nova foliação.

A estruturação mais marcante corresponde à zona de cisalhamento sinistral, chamada de ZC2, anastomosada, de caráter dúctil/rúptil com fase final rúptil, que recorta a região. Esta fase final promoveu a formação de cataclastos, intensamente silicificados, que ocorrem nas porções

mais internas da zona de cisalhamento. Esta porção corresponde a uma falha transcorrente com alto ângulo que permitiu separar a Faixa Mumbuca e a Faixa Morro do Ferro, definida nesta dissertação. Os terrenos circunvizinhos a esta falha transcorrente apresentam foliação milonítica que torna-se mais evidente quanto mais próximo da falha.

As observações litoestruturais entre as Faixas Mumbuca e Morro do Ferro indicam que a diferença do grau metamórfico destaca-se em comparação aos aspectos estruturais. Assim sendo, interpreta-se que os terrenos da Faixa Mumbuca foram colocados lado a lado com os da Faixa Morro do Ferro. Esta justaposição de níveis crustais distintos foi causada por movimentação tectônica oblíqua definida por um componente sinistral e outro vertical. Esta interpretação tem como base:

A) Diferença metamórfica entre as Faixas: a Faixa Mumbuca alcançou condições de fácies granulito, iniciando o aumento do metamorfismo progressivo a partir do centro dos corpos metaultramáficos de Alpinópolis, em condição de fácies xisto verde. Este metamorfismo em fácies granulito é evidenciado por: 1) crescimento dos porfiroblastos de olivina, seguidos pelo ortopiroxênio por sobre uma foliação anterior, gerando como resultado desta transformação o tipo metaultramáfico observado na Faixa Mumbuca, 2) paragênese clinopiroxênio, ortopiroxênio, plagioclásio observada em alguns anfibolitos, que se intercalam às rochas metaultramáficas. Na Faixa Morro do Ferro o metamorfismo alcançou condições de fácies anfibolito, determinado pela presença de cummingtonita e hornblenda, nas rochas metaultramáficas.

B) A justaposição da Faixa Mumbuca com a Faixa Morro do Ferro, ocorreu por movimentação tectônica oblíqua. Esta movimentação foi gerada a partir de dois componentes: um vertical e outro sinistral. A componente vertical ocasionou a subida das rochas metaultramáficas da Faixa Mumbuca, que possuem condições metamórficas características de níveis crustais mais profundos. A componente sinistral possibilitou a colocação lado a lado dos dois terrenos. Esta componente é evidenciada pelo desenvolvimento da zona de cisalhamento aqui denominada ZC2, restrita, sinistral, de caráter dúctil/rúptil, com fase final rúptil, que corresponde a uma falha transcorrente que limita as duas faixas. A ZC2 se alojou por sobre antigas zonas de cisalhamento, chamadas ZC1, mais amplas, de caráter dúctil.

## VI.2 - DISCUSSÕES METALOGENÉTICAS

Os terrenos granito *greenstone-belt* foram observados em várias partes do globo, localizados principalmente em áreas cratônicas arqueanas, como os estudados no Canadá, África e Austrália e possuem importantes jazidas de Au, Ni, Co, Cu, Zn, Pb e Ag. No geral estes terrenos apresentam vários aspectos geológicos em comum, como sucessão estratigráfica, metamorfismo e condições tectono-estruturais. Entretanto nem todos esses terrenos passaram pelos mesmos processos evolutivos, implicando estudos comparativos entre os depósitos, quando se quer ressaltar os aspectos metalogenéticos.

A área abordada nesta dissertação faz parte do “*Greenstone Belt* Morro do Ferro” e a característica metalogenética mais marcante é a presença do depósito O’Toole, na Faixa Morro do Ferro, que é um depósito de níquel-cobre e cobalto apresentando reservas de 5,44 milhões de toneladas de minério, com teores de 2,72% de Ni; 0,45% de Cu; 0,06% de Co e 1,3 ppm de platinóides.

Nos trabalhos de Teixeira & Danni (1979 a,b) nota-se a preocupação dos autores no que diz respeito às características metalogenéticas da região, restringindo a potencialidade de mineralização para as porções basais da sequência *greenstone belt*, onde os estratos peridotíticos seriam os níveis mais favoráveis para conter sulfetos maciços, principalmente Ni e Cu.

Carvalho & Batista (1983) destacam a presença de três anomalias geoquímicas de primeira ordem superpostas (Ni-Cu-Co), salientando a potencialidade metalogenética dos arredores de Fortaleza de Minas.

Com a descoberta da jazida em 1983 pela BP Mineração, começam a surgir alguns trabalhos mais específicos, como o de Marchetto (1986), que classifica o corpo de minério O’Toole como sendo do tipo *stratabound*. Esta autora também definiu os tipos de minérios: maciço, semi-maciço e disseminado, e os sulfetos predominantes: pirrotita (65%), pentlandita (30%) e calcopirita (5%). Esta mesma autora em 1990, identifica os minerais do grupo da platina encontrados em maior quantidade no depósito de O’Toole, que são: irarsita e sperrylita.

Brenner *et al.* (1990) destacam a presença de três sequências principais de sucessões estratigráficas, identificadas no depósito, sendo que a sequência intermediária é portadora da mineralização. Esta porção intermediária, segundo os autores, possui quatro ciclos, sendo que o ciclo superior mineralizado é mais contínuo e uniforme, e foi separado em cinco unidades principais, que são: horizonte mineralizado (4m de espessura); serpentinitos (olivina peridotitos),

com 35% de MgO (13m de espessura); clinopiroxenito, com 18% de MgO e textura cumulática (15m de espessura); anfíbolito, com 8% de MgO (20m de espessura) e formação ferrífera bandada (12m de espessura).

Segundo os autores, a afinidade komatiítica destas rochas é semelhante à de alguns litotipos que ocorrem em Munro Township, no Canadá (Arndt *et al.*, 1977), e a outros que ocorrem no Bloco Yilgarn, na Austrália (Nesbitt *et al.*, 1979).

Fora a presença do depósito O'Toole, na Faixa Morro do Ferro, tem-se também como aspecto metalogenético importante a presença de metatufos, de possível afinidade komatiítica, que foram encontrados na região. Deve-se ressaltar que na Guiana Francesa em litotipos semelhantes foram identificadas ocorrências de diamantes (Capdevila *et al.*, 1999).

Com relação à Faixa Mumbuca, os terrenos estão em condições metamórficas distintas dos terrenos da Faixa Morro do Ferro, ou seja, em condições de fácies granulito, como foi discutido anteriormente. Aparentemente, a potencialidade metalogenética desta Faixa fica em segundo plano, em relação ao terreno vizinho. Entretanto, segundo algumas informações obtidas no relatório interno da mineração O'Toole, a porção oriental da Faixa Mumbuca apresenta anomalias com seguintes teores: 3,500ppm Ni, 2,175ppm Cu, 72 ppm de Zn e valores anômalos de EGP, obtidos em furo de sondagem em *gossan*. Estes teores são menores que os da mineralização, mesmo assim justificam um estudo mais detalhado nesta área.

A implicação metalogenética de maior importância obtida neste trabalho, corresponde aos serpentinitos formados por processo metassomáticos relacionados aos eventos tardios da evolução tectono-metamórfica da área. Estas rochas estão associadas às zonas de cisalhamento dúcteis em condições metamórficas mais baixas, de fácies xisto verde, que a observada na área, de fácies anfíbolito superior-granulito. Esta observação indica que nem todos os serpentinitos representam corpos peridotíticos originais prospectáveis.

## VII – BIBLIOGRAFIA

- ABREU, S.F.de., (1976). Recursos minerais do Brasil. 2. Ed. São Paulo: Edgard Blücher, p.754.
- ANHAEUSSER, C.R., (1976). Archean Metallogeny in Southern Africa. *Econ. Geol.* 71: 16-43.
- ARNDT, N.T.; NALDRETT, A.J.; PYKE, D.R., (1977). Komatiitic and iron rich tholeiitic lavas of Munro Township, northeast Ontario. *Jour. Petrology*, 18: 319-369.
- BUCHER, K; FREY, M., (1994). *Petrogenesis of Metamorphic Rocks*. Springer-Verlag. Berlin Heidelberg
- BRENNER, T.L.; TEIXEIRA, N.A.; OLIVEIRA, J.A.L.; FRANKE, N.D.; THOMPSON, J.F.H., (1990). The O'Toole nickel deposit, Morro do Ferro greenstone belt, Brazil. *Econ. Geol.* 85: 904-920.
- CAPDEVILA, R.; ARNDT, N.; LETENDRE, J.; SAUVAGE, J.F., (1999). Diamonds in volcanoclastic komatiite from French Guiana. *NATURE*, 399: 456-458.
- CARVALHO, S.G. de; CHOUDHURI, A.; FIORI, A.P.; OLIVEIRA, M.A.F. DE; SOARES, P.C., (1982). Paragênese e possível origem dos xistos básicos e ultrabásicos em Fortaleza de Minas e arredores, MG. In: Cong. Bras. Geol. 32, Salvador, BA, 1982. *Anais...Salvador, SBG*, 2: 641-647.
- CARVALHO, S.G. de, & BATISTA, J.J., (1983). Prospecção geoquímica de solo no cinturão vulcano – sedimentar “Morro do Ferro”, Fortaleza de Minas (MG). In: Simpósio de geologia de Minas Gerais, 2. Belo Horizonte. Atas... Belo Horizonte: SBG, p. 248-258.
- CARVALHO, S.G. de, (1998). Pesquisa geológica e metalogenética em áreas Pré-Cambrianas no sudoeste do estado de Minas gerais e leste do estado de São Paulo. Livre-Docencia, Dep. Petrologia e Metalogenia do IGCE / UNESP.
- CAVALCANTE, J.C.; CUNHA, H.C. das; CHIEREGATTI, L.A; KAEFFER, L.Q.; ROCHA, J.M. da; DAITX, E.C.; COUTINHO, M.G. da N.; YAMAMOTO, K.; DRUMOND, J.B.V.; ROSA, D.B.; RAMALHO, R., (1979). Projeto Sapucaí - Relatório Final. Convênio DNPM / CPRM. Brasília. 299 p., 4 mapas.
- CHOUDHURI, A., (1980). Implication of exsolution in actinolite schists north of Jacuí, southern Minas Gerais. In: Congr. Bras. Geol. 31, Camboriú, SC, 1980. *Anais...Camboriú, SBG*, 4: 1961-1969.
- CHOUDHURI, A.; CRÓSTA, A.P.; SCHRANK, A.; SZABÓ, G.A.J.; IYER, S.S., (1992). The Quilombo Granite in the archean Morro do Ferro Greenstone Belt, SW Minas Gerais, and character of the transamazonian event. *REM: R. Escola de Minas, Ouro Preto*, 45: 152-153.
- CHOUDHURI, A.; SCHRANK, A.; ROIG, H.L.; SZABÓ, G.A.J., (1995). Negative Ce anomaly in mafic rocks of a possible late proterozoic ophiolite from SW Minas Gerais, Brasil. In: SRIVASTAVA, R.K. & CHANDRA, R. (Eds.) – *Magmatism in Relation to Diverse Tectonic Settings*. Oxford & IBH Publishing Co.PVT.Ltd, - New Delhi, India: p. 283-290.
- CRÓSTA, AP.; CHOUDHURI, A.; SZABÓ, G.A.J.; SCHRANK, A., (1986). Relações entre tipos litológicos e suas estruturas regionais nos terrenos arqueanos e proterozóicos do sudoeste de Minas Gerais. In: Cong. Bras. Geol., 34, Goiânia, 1986. *Anais ... Goiânia, SBG*, 2: 710-721.
- FONSECA, M.J.G.; SILVA, Z.C.G.; CAMPOS, D. de A.; TOSATTO, P., (1979). Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo – Folhas Rio de Janeiro (SF-23), Vitória e Iguape. Texto Explicativo. MME/DNPM, Brasília. 240 p, 1 mapa.
- GRIFFON, J.C., & RICHTER, H., (1976), Geologia, mineração e tratamento do minério de níquel do Morro do Níquel, MG. *Geol. Miner.*, 40: 387-405.
- HASUI, Y; OLIVEIRA, M.A.F. de, (1984). Província Mantiqueira: Setor central. In: Almeida, F.F.M. de; Hasui, Y. (Coordenadores) – *O Pré-Cambriano do Brasil*. Ed. Edgard Blucher, São Paulo.
- HEILBRON, M.; VALERIANO, C.M. de; ZIMBRES, E.; CHRISPIM, S.J.; SIMÕES, L.S.A.; SOUZA, M.A.T. de, (1987). O contato basal do Grupo Canastra entre Itaú de Minas e Carmo do Rio Claro, Mg. In: Simp. Geol. Minas Gerais, 4, Belo Horizonte, MG, 1987. *Boletim...Belo Horizonte, SBG*, 179-198.

- JENKINS, D.M.; CHERNOSKY Jr., J.V., (1986). Phase equilibria and crystallochemical properties of Mg-chlorite. *Am.Mineral.* 71: 924-936.
- JOLLY, W.T., (1982). Progressive metamorphism of komatiites and related Archaean lavas of the Abitibi area, Canada. In: Arndt, N.T.; Nisbet, E.G. – Komatiites. George Allen & Unwin. pp. 247-266.
- MACHADO FILHO, L.; RIBEIRO, M.W.; GONZALES, S.R.; SCHENINI, C.A.; NETO, A.S.; PALMEIRA, R.C.B.; PIRES, J.L.; TEIXEIRA, W.; CASTRO, H.E.F., (1983). Geologia. In: DNPM Proj. RADAM-BRASIL folhas SF-23 Rio de Janeiro e SF-24 Vitória, Rio de Janeiro (Levantamento de Recursos Naturais), 32, 773 p.
- MARCHELTO, C.M.L., BRENNER, T.L., FRANKE, N.D., CHENEY, J.T., TEIXEIRA, N.A., MOREIRA, A.E., PIMENTEL, R.C., GALLO, C.B.M., (1984). Geologia e petrografia do segmento do greenstone belt “Morro do Ferro” a sul de Fortaleza de Minas (MG). In: Cong. Bras. Geol., 33. Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro: SBG, 1984, p.149.
- MARCHELTO, C.M.L., (1986). Platinóides associados ao minério de níquel, cobre e cobalto de Fortaleza de Minas, MG. In: Cong. Bras. Geol., 34. Goiânia. Anais... Goiânia: SBG, 1986, 6: 1589-1603.
- MORAES, L.J., (1935), Níquel do Brasil. Rio de Janeiro: DNPM/DFPM. Boletim, 9, p.169.
- MORALES, N., (1993). Evolução tectônica do cinturão de cisalhamento Campo do Meio na sua porção ocidental. Tese de Doutorado. IGCE-UNESP, Rio Claro, SP. 270 p. (2 volumes).
- MORALES, N.; CARVALHO, S.G. de; CHOUDHURI, A.; FIORI, A.P.; OLIVEIRA, M.A.F. de; RODRIGUES, M.F.B.; SOARES, P.C.; ZANARDO, A., (1983). Geologia das folhas de Fortaleza de Minas, Alpinópolis, Jacuí e Nova Resende, MG. In: Simp. Geol. Minas Gerais 2, Belo Horizonte, MG, 1983. Atas... Belo Horizonte, SBG, 3: 411-422.
- MORALES, N.; ZANARDO, A.; SIMÕES, L.S.A.; GODOY, A.M., (1991). A Zona de Cisalhamento Campo do Meio na região entre Fortaleza de Minas e Alpinópolis, sul de Minas Gerais. In: Simp. Nacional de Est. Tect. 3, Rio Claro, SP, 1991. Boletim...Rio Claro, SBG-UNESP, 1:34-36.
- NESBITT, R.W.; SUN, S.S.; PURVIS, A.C., (1979). Komatiites: geochemistry and genesis. *Canadian Mineralogist*, 17: 165-186.
- O’HANLEY, D.S., (1997). Serpentinites and rodingites as records of metasomatism and fluid history. In: De Wit M, Ashwal LD (eds) Greenstone belts. Oxford Univ. Press, Oxford, pp 164-175.
- ROIG, H.L., (1993). Caracterização da zona de sutura Jacuí-Conceição da Aparecida/MG: implicações geotectônicas e metalogenéticas. Dissertação de Mestrado. IG-UNICAMP, Campinas, SP. 125 p.
- ROIG, H.L. & SCHRANK, A, (1992). Caracterização da Zona de Sutura Jacuí - Conceição da Aparecida - limite norte do Complexo de Nappes Guaxupé/MG. In: Congr. Bras. Geol. 37, São Paulo, SP, 1992. Bol. Res. Expandidos ....São Paulo, SBG, 1: 283-285.
- ROLLINSON, H.R., (1983). The geochemistry of mafic and ultramafic rocks from the Archaean greenstone belt of Sierra Leone. *Mineral Mag.* 47: 268-280.
- ROLLINSON, H.R., (1999). Petrology and geochemistry of metamorphosed komatiites and basalts from the Sula Mountains greenstone belt, Sierra Leone. *Mineral Petrol.* 134: 86-101.
- SABOIA, L.A. de, (1978). Os *greenstone belt* de Crixás e Goiás, GO. Bol. Inform. Soc.Bras.Geol. – Núcleo Centro-Oeste, Goiânia - 9: 43-72.
- SANDIVANÉZ, A.O., (1965), As serpentinas níquelíferas do Morro do Níquel em Pratápolis, Minas Gerais. *Eng. Min. Metal.*, 42, n. 248, p.61-64.
- SCHMIDT, W., (1983). Die Geologie der Araxá Gruppe in Südwest Minas Gerais, Brasilien, unter besonderer Berücksichtigung des Grünstein-Gürtels von Fortaleza de Minas. Tese de Doutorado. Universidade de Freiburg, Alemanha. 134 p.

- SCHORSCHER, H.D., (1978). Komatiitos na estrutura *greenstone belt* da Série Rio das Velhas, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brasil. Cong. Bras. Geol., 30 (Recife, PE-1978) – Resumos das Comunicações (Boletim I). Recife, SBG, 1978. p. 292-293.
- SOARES, P.C., FIORI, A.P., CARVALHO, S.G., (1990). Tectônica colisional oblíqua entre o bloco do Paraná e a margem sul do Cratón do São Francisco, no maciço do Guaxupé. In: Cong. Bras. Geol., 36. Natal: SBG, 1990. 6: 2723-2734.
- SZABÓ, G.A.J., (1989). Contexto Geológico e Petrologia das Rochas Metaultramáficas de Alpinópolis, MG. Dissertação de Mestrado, IG-USP, São Paulo, SP. 203 p.
- SZABÓ, G.A.J., (1996). Petrologia da Suite Metaultramáfica da Seqüência Vulcano-Sedimentar Morro do Ferro na Região de sul a oeste de Alpinópolis, MG (Domínio Norte do Complexo Campos Gerais). Tese de Doutorado, IG-USP, São Paulo, SP. 354 p.
- SZABÓ, G.A.J.; ROIG, H.L.; SCHRANK, A.; CHOUDHURI, A., (1993). Duas faixas litoestruturais distintas e o limite das Províncias Tocantins e Mantiqueira, entre Alpinópolis e Nova Resende (MG). In: Simp. Sobre o Cráton do São Francisco – Salvador, BA, 1993. Anais... Salvador, SBG: 272-274.
- SZABÓ, G.A.J.; CANDIA, M.A.F.; CHOUDHURI, A.; FILGUEIRAS, A.M. da C., (1999). O Dilema dos Serpentinitos: Metacumulatos, ou Metassomatitos?. In: 6 Simp. de Geol. do Sudeste – São Pedro – SP, 1999. Boletim de Resumos...pg. 31.
- SWENSSON, T., (1968), Produção de Ferro-Níquel na usina do Morro do Níquel S&A. In: SEMANA DE ESTUDOS DE OURO PRETO, 6. Ouro Preto.
- TEIXEIRA, N.A., (1978). Geologia e petrologia e prospecção geoquímica da seqüência vulcano-sedimentar Morro do Ferro, Fortaleza de Minas (MG). Brasília. Dissertação de mestrado – Universidade de Brasília. 202 p.
- TEIXEIRA, N.A.; DANNI, J.C.M.,(1978). Contribuição à estratigrafia do Grupo Araxá na região de Passos, MG. In: Congr. Bras. Geol., 30, Recife, PE, 1978. Anais...Recife, SBG, 3:700-711.
- TEIXEIRA, N.A.; DANNI, J.C.M.,(1979a). Geologia da raiz de um greenstone belt na região de Fortaleza de Minas, Minas Gerais. Rev. Bras. Geoc. 9:17-26.
- TEIXEIRA, N.A.; DANNI, J.C.M.,(1979b). Petrologia de lavas metabásicas da seqüência vulcano-sedimentar Morro do Ferro, Fortaleza de Minas (MG). Rev. Bras. Geoc. 9:1951-1958.
- TEIXEIRA, N.A.; GASPAR, J.C.; BRENNER, T.L.; CHENEY, J.T.; MARCHETTO, C.M.L., (1987). Geologia e implicações geotectônicas do greenstone belt Morro do Ferro (Fortaleza de Minas, MG) Rev. Bras. Geoc. 17: 209-220.
- WERNICK, E., FIORI, A.P., BETTENCOURT, J.S., CHOUDHURI, A., (1981). A tectônica rígida do fim do Ciclo Brasileiro e sua implicação na estruturação da borda sul e sudoeste do Cráton do São Francisco: tentativa de um modelo preliminar. In: SIMPÓSIO SOBRE O CRÁTON DO SÃO FRANCISCO E SUAS FAIXAS MARGINAIS, 2, Salvador. Anais... Salvador: SBG, p.164-178.
- WILKINS, C., (1997). Regional and Contact Metamorphism. In: De Wit M, Ashwal LD (eds) Greenstone belts. Oxford Univ. Press, Oxford, pp 126-163.
- WINKLER, H.G.F., (1977). Petrogênese das rochas metamórficas. Tradução: Carlos Burger Júnior, Edgard Blucher, Porto Alegre, 243 p.
- VALERIANO, C. de M., (1993). Evolução tectônica da extremidade meridional da Faixa Brasília, região da represa de Furnas, sudoeste de Minas Gerais. Tese de Doutorado, IG-USP, São Paulo, SP. 192 p.
- VILJOEN, M.J. & VILJOEN, R.P., (1969). Evidence for the Existence of a Mobile Extrusive Peridotitic Magma from the Komati formation of the Onverwacht Group. Sp. Publ. Geol. Soc. S. Africa 2: 87-112.
- ZANARDO, A., (1992). Análise petrográfica, estratigrafica e microestrutural da região de Guaxupé-Passos-Delfinópolis (MG). Tese de Doutorado. IGCE-UNESP, Campus de Rio Claro, Rio Claro, SP. 288 p.

# ANEXO