



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS  
ÁREA DE METALOGÊNESE

José Adilson Dias Cavalcanti

**Mineralização Aurífera de Lages-Antônio Dias, Ouro Preto - MG**  
**Controles Lito-estratigráficos e Estruturais**

Dissertação apresentada ao Instituto de Geociências como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Geociências na Área de Metalogênese.

Orientador: Prof. Dr. Alfonso Schrank

Esta dissertação foi aprovada e aceita para a  
redação final pelo Conselho de Pós-graduação em Geociências  
por José Adilson Dias Cavalcanti  
e aprovada pelo Conselho de Pós-graduação em Geociências  
em 26/02/1999  
Alfonso Schrank  
ORIENTADOR

CAMPINAS - SÃO PAULO  
FEVEREIRO - 1999



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS  
ÁREA DE METALOGÊNESE

José Adilson Dias Cavalcanti

**Mineralização Aurífera de Lages-Antônio Dias, Ouro Preto - MG**  
**Controles Lito-estratigráficos e Estruturais**

Dissertação apresentada ao Instituto de Geociências como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Geociências na Área de Metalogênese.

**Orientador:** Prof. Dr. Alfonso Schrank – IG/UNICAMP

**Co-Orientador:** Prof. Dr. Carlos Roberto Souza Filho – IG/UNICAMP

CAMPINAS - SÃO PAULO  
FEVEREIRO - 1999

DADE BC  
CHAMADA: Unicamp  
C314m  
Ex.  
MBO BC/ 39749  
OC. 229/99  
C  D   
ECO R\$ 31,00  
TA 17-12-99  
CPD

CM-00133176-9

**FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA  
BIBLIOTECA I.G. - UNICAMP**

Cavalcanti, José Adilson Dias  
C314m Mineralização aurífera de Lages-Antônio Dias, Ouro Preto-MG,  
controles lito-estratigráficos e estruturais / José Adilson Dias  
Cavalcanti.- Campinas, SP.: [s.n.], 1999.

Orientador: Alfonso Schrank, Carlos Roberto Souza Filho  
Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas,  
Instituto de Geociências.

1. Ouro – Ouro Preto – Quadrilátero Ferrífero 2. Turmalinito –  
Minério. 3. Estratigrafia I. Schrank, Alfonso. II. Souza Filho, Carlos  
Roberto de. III. Universidade Estadual de Campinas, Instituto de  
Geociências. IV. Título.



**UNICAMP**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS**

**Dissertação de Mestrado**

**AUTOR: José Adilson Dias Cavalcanti**

**TÍTULO DA DISSERTAÇÃO:**

**Mineralização Aurífera de Lages-Antônio Dias, Ouro Preto, Minas Gerais:  
controles lito-estratigráficos e estruturais**

**ORIENTADOR: Prof. Dr. Alfonso Schrank**

**CO-ORIENTADOR: Prof. Dr. Carlos Roberto Souza Filho**

Aprovado em: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

**EXAMINADORES:**

**Prof. Dr. Alfonso Schrank**

**(Presidente)**

**Dr. Ronald Fleischer**

**Prof. Dr. Roberto Perez Xavier (UNICAMP)**

**SUPLENTE:**

**Prof. Dr. Fernando Flecha Alkmim (UFOP)**

Campinas, \_\_\_\_ de \_\_\_\_ de 1999.



**UNICAMP**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS  
ÁREA DE METALOGÊNESE**

**Dissertação de Mestrado**

**AUTOR: José Adilson Dias Cavalcanti**

**TÍTULO DA DISSERTAÇÃO:**

**Mineralização Aurífera de Lages-Antônio Dias, Ouro Preto, Minas Gerais:  
controles lito-estratigráficos e estruturais**

**ORIENTADOR: Prof. Dr. Alfonso Schrank**

**CO-ORIENTADOR: Prof. Dr. Carlos Roberto Souza Filho**

**Aprovado em: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_**

**EXAMINADORES:**

**Prof. Dr. Alfonso Schrank**

**(Presidente)**

**Dr. Ronald Fleischer**

**Prof. Dr. Roberto Perez Xavier (UNICAMP)**

Campinas, \_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de 1999.

*Há entre nós um conceito errôneo quanto ao valor prático e influência da investigação científica no aproveitamento dos recursos minerais do país. Do ponto de vista da indústria mineral, o resultado das pesquisas científicas pode mudar o rumo dos acontecimentos econômicos.*

*A.I. Oliveira, 1937.*

*Aos meus pais*

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS  
ÁREA DE METALOGÊNESE

**Mineralização Aurífera de Lages-Antônio Dias, Ouro Preto - MG**  
**Controles Lito-estratigráficos e Estruturais**

José Adilson Dias Cavalcanti

RESUMO

Com base na cartografia geológica da área de Lages-Antônio Dias (escala 1:2.000) e das minas Chico Rei, Scliar e Duas Bocas (escala 1:250), é demonstrável que os minérios que contêm ouro são os turmalinitos e os veios de quartzo-sulfetos. Estes minérios ocorrem, principalmente, nas zonas de contatos litológicos e nas descontinuidades estruturais.

Os turmalinitos possuem associação direta com os veios de quartzo em diferentes litologias e nos diversos andares stratigráficos que formam a Serra de Ouro Preto. Possivelmente, sua formação resulta da interação de fluidos hidrotermais com as rochas hospedeiras, tendo o fluido penetrado em fraturas, independentes do empilhamento lito-estratigráfico. Os turmalinitos podem ocorrer de quatro formas distintas. São observados nos contatos (i) entre o Grupo Nova Lima e a Formação Moeda, (ii) entre as Formações Moeda e Batatal, (iii) entre as Formações Batatal e Cauê e, (iv) sob a forma de corpos secantes às Formações Moeda e Batatal.

Os veios sulfetados estão associados a estruturas rúpteis que encontram-se, na maioria das vezes, mascaradas pela superposição de eventos deformacionais posteriores a sua colocação. Estes veios aparecem preenchendo fraturas extensionais verticais e conjugadas. São do tipo quartzo-arsenopirita, quartzo-pirita-calcopirita e quartzo-pirrotita, contendo turmalina em menor quantidade. Os veios de quartzo-arsenopirita aparecem de duas formas: (i) veios secantes encaixados na Formação Batatal, com orientação  $230^\circ$ , com porções maciças de arsenopirita e, (ii) veios bandados com orientação  $230^\circ$ , associados a fraturamentos conjugados. Os veios de quartzo-pirrotita também são bandados e ocorrem numa zona de cisalhamento com movimento normal para sudeste, instalada na base da Formação Cauê. Já os veios de quartzo-pirita-calcopirita são secantes, com direção  $230^\circ$  e estão encaixados na Formação Cauê.

Os dados obtidos sugerem que a mineralização aurífera ocorreu em pelo menos dois estágios distintos. O primeiro deu origem a turmalinitos e veios a quartzo-sulfeto, os quais associam-se a fraturamentos hidráulicos verticais que interseptam o Quartzito Moeda, Filito Batatal e Itabirito Cauê. Nestas interseções, os turmalinitos ocorrem distribuídos em vários patamares stratigráficos. Num segundo estágio, os veios a quartzo-sulfeto associam-se à fraturamentos hidráulicos conjugados hospedados em zonas cisalhamento e falhamentos normais. Evidências de campo indicam que os dois principais pulsos da mineralização aurífera ocorreram anteriormente à formação do Anticlinal de Mariana. Os produtos gerados por estes dois pulsos foram posteriormente modificados devido ao soerguimento do anticlinal.

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS

**Mineralização Aurífera de Lages-Antônio Dias, Ouro Preto - MG**  
**Controles Lito-estratigráficos e Estruturais**

José Adilson Dias Cavalcanti

ABSTRACT

The Lages-Antônio Dias area is comprised within the Ouro Preto mountain range, Minas Gerais. The area hosts a number of ancient, abandoned gold mines; Chico Rei, Scliar and Duas Bocas being among the largest deposits. Detailed geological mapping of both the Lages-Antônio Dias area (1:2000) and these mines (1:250 scale) showed that gold is associated with tourmaline- and -sulphide-rich quartz veins. Such veins occur dominantly along lithologic contacts and structural discontinuities.

The gold-bearing tourmalinites are associated with quartz veins hosted within several litho-stratigraphic units that compose the Ouro Preto mountain range. Their formation probably results from the interaction between hydrothermal fluids and the host rocks. It is demonstrable that these fluids pervaded through fracture systems regardless the local stratigraphy. The tourmalinites are found in four different circumstances. They occur between the lithological contacts of (i) Nova Lima Group and Moeda Formation assemblages; (ii) Moeda Formation and Batatal Formation rocks; (iii) Batatal Formation and Cauê Formation rocks and, (iv) as cross-cutting veins within Moeda and Batatal Formations.

The sulphide-rich veins are akin to brittle structures to which later, ductile strains were superimposed. These quartz veins were emplaced along vertical and/or conjugated extensional fractures and are composed of (i) arsenopyrite, (ii) pyrite/calcopyrite and, (iii) pirrotite, besides minor tourmaline. The arsenopyrite-rich quartz veins occur in two different styles: (i) as discordant veins within the Batatal Formation, where massive knots of arsenopyrite are found; (ii) as banded veins, enveloped by Moeda Formation quartzites, associated with conjugated normal faults that are part of an ubiquitous system of normal shear zones. The pirrotite-rich veins are also banded and occur along a normal shear zone, showing sense of movement to the south. They are mainly found emplaced in the lower portions of the Cauê Formation. The pyrite-calcopyrite-rich veins are discordant and cut only the Cauê Formation.

Although the mechanisms of emplacement are yet poorly constrained, the data gathered in this study suggests that the gold-mineralization was formed at least in two different stages, prior to regional deformation. The first stage was responsible for the emplacement of tourmalinites and quartz-sulphidic veins, which are associate to fractures cutting the Moeda quartzites, the Batatal carbonaceous-phyllites and schists and the Cauê itabirites. The tourmalinites assembled mainly between the intersection of fractures and sedimentary bedding. The second stage was marked only by the emplacement of sulphidic-rich veins formed along conjugated fractures that were developed within major normal-shear zones and faults. Field evidences indicate that these two main stages of mineralization occurred prior to the formation of the Mariana anticline. The veins, formed along these two stages, were also later geometrically modified by the anticline uplift.

## ***Agradecimentos***

*Agradeço a todos que de alguma forma contribuíram para o desenvolvimento desta pesquisa e em especial:*

*Aos amigos do IG/Unicamp, pelas discussões, sugestões e pela força de suas presenças.*

*Aos professores Dr. Alfonso Schrank pela orientação ao longo de todo o período da pesquisa, e Dr. Carlos Roberto Souza Filho, pela co-orientação.*

*À Unicamp pela oportunidade de realizar esta pesquisa.*

*Aos órgãos financiadores desta pesquisa: CNPq e FAPESP.*

*Aos professores: Prof. Dr. Bernardino R. Figueiredo, por tirar algumas dúvidas no microscópio ótico; Prof. Dr. Issamu Endo (DEGEO/UFOP) pelas discussões e ida ao campo; e Dr. Rogério Rodrigues da Silva (UNICAMP), pelas discussões, revisões de texto e sugestões.*

*Ao colega Francisco R. de Abreu (DOCEGEO) pelo acompanhamento de campo, discussões e sugestões. Também ao Sr. Diogenes Scipioni Vial (DOCEGEO) pelo incentivo, atenção e pela cessão de mapas de algumas minas da área.*

*À Sociedade Excursionista Espeleológica, por ter cedido alguns membros e equipamentos para o desenvolvimento dos trabalhos de campo. Especialmente aos membros: Miltinho, Luciana, Andréia, Claudiom (DEGEO/UFOP) e Baruel, que participaram diretamente das atividades de campo. Aqui, estendo meu agradecimento ao Sobrinho (Antônio de Pádua).*

*À Dona Mariazinha (Maria Bárbara de Lima), proprietária da Mina Chico Rei, pela sua presença de espírito, receptividade e muito carinho. E também a seus filhos e amigos.*

*Ao Dailto, pela ajuda nos microscópios óticos e eletrônico, e pela paciência. À Valdirene pela atenção indispensável.*

*À Marilda pela dedicação, carinho e incentivo nas horas difíceis e, também, pela paciência e ajuda nas revisões dos textos.*

*Aos meus pais Sr. Sílvio e Sra. Ivone.*

*À Deus por me proteger durante as campanhas de campo nas minas subterrâneas.*

# SUMÁRIO

**RESUMO**

**ABSTRACT**

**AGRADECIMENTOS**

## **Capítulo 1 - INTRODUÇÃO**

<b>1.1 – Breve Histórico</b>	<b>01</b>
<b>1.2 – Objetivos e Justificativa</b>	<b>02</b>
<b>1.3 – Localização da Área Estudada</b>	<b>02</b>
<b>1.4 – Metodologia e Atividades Desenvolvidas</b>	<b>03</b>
1.4.1 – Cartografia	03
1.4.2 – Etapas e Métodos	04

## **Capítulo 2 – CONTEXTO GEOLÓGICO**

<b>2.1 – Quadrilátero Ferrífero</b>	<b>09</b>
<b>2.2 - Anticlinal de Mariana</b>	<b>13</b>
2.2.1 – Lito-estratigrafia	13
2.2.2 - Análise Estrutural	16

## **Capítulo 3 – GEOLOGIA LOCAL**

<b>3.1- Seqüência Estratigráfica</b>	<b>21</b>
3.1.1 – Grupo Nova Lima	21
3.1.2 – Grupo Caraça	23
Formação Moeda	23
Formação Batatal	24
3.1.3 – Grupo Itabira	25
Formação Cauê	25
Formação Gandarela	27
3.1.6 – Canga	27
<b>3.2 – Análise Estrutural</b>	<b>30</b>
3.2.1 – Descrição das estruturas	30
3.2.2 – Evolução estrutural	39

<b>Capítulo 4 – MINERALIZAÇÃO AURÍFERA</b>	
<b>4.1 – Introdução</b>	<b>48</b>
<b>4.2 – Análise Química dos Minérios</b>	<b>50</b>
<b>4.3 – Descrição das Minas Estudadas</b>	<b>51</b>
4.3.1 – Mina Duas Bocas	51
4.3.2 – Mina Scliar	60
4.3.3 – Mina Chico Rei	72
<b>4.4 – Análise Integrada dos Corpos de Minério</b>	<b>79</b>
4.4.1 – Distribuição espacial e posicionamento estratigráfico	79
4.4.2 –Paragêneses minerais características	83
<b>4.5 – História da Colocação dos Corpos Mineralizados</b>	<b>85</b>
<b>4.6 – Discussão sobre a Gênese dos Turmalinitos</b>	<b>90</b>
<b>Capítulo 5 - ESTUDO COMPARATIVO ENTRE A OCORRÊNCIA AURÍFERA DE LAGES-ANTÔNIO DIAS E A MINA PASSAGEM DE MARIANA</b>	
<b>5.1 – Introdução</b>	<b>95</b>
<b>5.2 - Distribuição Estratigráfica e Espacial</b>	<b>96</b>
<b>5.3 - Elementos Estruturais</b>	<b>98</b>
<b>CONCLUSÃO</b>	<b>99</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>101</b>

## Lista de Pranchas

**Prancha 3.1** - a) Mina duas Bocas, nível 01. Sericita-quartzo xisto do Grupo Nova Lima totalmente intemperizado. b) Mina duas Bocas, nível 01. Contato tectônico entre os xistos do Grupo Nova Lima e o quartzito da Formação Moeda. O quartzito (topo) mostra feições de cisalhamento e dobras e o xisto (base) encontra-se com feições de deformação, mas totalmente intemperizado. c) Afloramento próximo à Mina Duas Bocas do Quartzito Moeda. O quartzito é de granulometria fina e possui níveis metapelíticos marcando o acamamento primário. d) Afloramento próximo à base do Quartzito Moeda. O quartzito encontra-se recristalizado com aspecto milonítico. e) Afloramento do Quartzito Moeda próximo à drenagem de Lages. Fotografia mostrando detalhe de um nível com pirita concordante com acamamento.

**Prancha 3.2** - Microfotografias de amostras dos quartzitos da Formação Moeda. a) Detalhe de uma porção do quartzito recristalizado com foliação principal demarcada por lamelas de biotita. b) e c) Detalhes dos contatos entre os grãos de quartzo mostrando a presença de grãos de turmalina intragranulares interpretados como resultantes da deposição desse mineral a partir de fluidos que permeiam os cristais. d) aspecto da foliação milonítica com destaque para a presença de cristais de cianita. d) Lâmina da porção basal do quartzito mostrando o aspecto milonítico da rocha com textura de recristalização dinâmica e formação de sub-grãos.

**Prancha 3.3** - a) Mina Scliar: Filito Batatal, cortado por veio de quartzo sub-horizontal. b) Contato tectônico entre o Quartzito Moeda e o Filito Batatal ao qual associa-se um veio de quartzo com *boudinage*, sub-concordante. c) Típico afloramento da Formação Cauê mostrando itabirito silicoso com alternância de lâminas de hematita e quartzo. d) Itabirito Cauê muito alterado pelo intemperismo, apresentando laminação de hematita e material argiloso ocre. e) e f) Duas vistas de um único afloramento de mármore dolomítico da Formação Gandarela, encontrado no Córrego Sobreiro durante a cartografia (não descrito anteriormente na literatura). Em e) observa-se a foliação principal, plano-paralela com leitos carbonáticos que se alternam com níveis margosos. Em f) vista N-S em que se observa *boudinage* dos leitos carbonáticos.

**Prancha 3.4** - Fotomicrografias. a) e b) filito carbonoso na Mina Scliar, onde observa-se zonas preservadas de filito carbonoso sendo destruídas pela progressiva substituição por sericita e turmalina. Em b) observa-se claramente os porfiroblastos de turmalina em meio a matriz de sericita e restos de porções de matéria carbonácea entre a sericita e porfiroblastos de turmalina. O mecanismo concebido para explicar essa substituição é o consumo de matéria carbonácea por reação com o fluido hidrotermal e criação de uma porosidade secundária que permite o avanço do fluido responsável pela formação da turmalina e sericita. A rocha formada foi em seguida deformada com o desenvolvimento de foliação milonítica, alongamento, quebra e rotação de cristais de turmalina. Na foto b) ainda, é clara a distinção entre os contatos da zona carbonosa superior gradual com o turmalina-sericita xisto que o envolve, enquanto o contato com a zona carbonosa inferior é abrupto, demarcado por um plano de foliação retilíneo. c) Itabirito sob luz transmitida contendo opacos, quartzo, turmalina e granada. d) Itabirito em luz refletida, a mesma seção, permite observar o processo de substituição de magnetita por hematita. e) Vista em luz refletida, mármore dolomítico composto por dolomita e quartzo recristalizados após processo de recristalização dinâmica em regime de cisalhamento com alongamento dos grãos de pirita.

**Prancha 3.5** - a) Nível conglomerático de espessura centimétrica intercalado em quartzito da base da Formação Moeda, formado por seixos de quartzo e quartzito. Fotografia tomada paralelamente ao acamamento mostrando o alongamento dos elementos por deformação. b) Quartzito da Fm. Moeda. Fotografia paralela à foliação  $S_n$ , mostrando a forte lineação de alongamento materializada por *ribbons* de quartzo. c) Detalhe do contato entre o Quartzito Moeda com nível conglomerático e um veio de quartzo. A foliação ( $S_n$ ) do quartzito torna-se secante ao veio próximo ao contato. d) Veio de quartzo sub-vertical, na Mina duas Bocas, com direção  $230^\circ$  e foliação/clivagem paralela à foliação  $S_n$  do Quartzito Moeda. e) Veio intensamente fraturado, composto de quartzo, arsenopirita e turmalina, mineralizado, encaixado no Quartzito Moeda, com direção  $230^\circ$ /sub-vertical. f) Falha normal com plano  $230^\circ$ /sub-vertical, associada ao contato entre o sericita-quartzito xisto do Grupo Nova Lima (lado direito) e o quartzito da Formação Moeda (lado esquerdo), na Mina Duas Bocas.

**Prancha 4.1** - a) Turmalinito negro com bandas de caulim apresentando foliação e dobras, demonstrando ser anterior a deformação principal, situado no topo do sericita-quartzito xisto do Grupo Nova Lima. b) Veio com bandas de quartzo e turmalina, associado ao contato entre as rochas do Grupo Nova Lima e a Formação Moeda. c) e d) Contato entre veio de quartzo e o Quartzito Moeda. A turmalinização (negro) se dá apenas no contato. Na foto d) percebe-se a turmalinização dos níveis pelíticos do quartzito. e) Acima da lapiseira percebe-se o turmalinito constituindo veios centimétricos que isolam fragmentos angulares de quartzito, que representa brechas monolíticas resultante do fraturamento hidráulico. Abaixo da lapiseira, há uma feição peculiar formada por um conjunto de veios estreitos, sub-paralelos (em pente) que podem ser resultado de “*rock failure*” incompetência da rocha por efeito de pressão de fluido. f) O efeito da turmalinização é amplamente predominante neste caso. O veio de quartzo preenche uma rede de fraturas estreitas. A feição “em pente” é bem visível no canto superior direito, com a frente de turmalinização invadindo a rocha encaixante.

**Prancha 4.2** – Fotomicrografias. a) Turmalinito foliado e dobrado encaixado no contato entre o topo do sericita-quartzito xisto do Grupo Nova Lima e à base do quartzito da Formação Moeda. b) Estrutura laminada com quartzo-turmalina associada ao veio no contato entre as unidades do Grupo Nova Lima e Formação Moeda. d) Porção de um “buche” de turmalinito no interior do veio de quartzo. As turmalinas não apresentam orientação e possuem zoneamento interno de cor. e) Destaque para grão de ouro encontrado na amostra anterior.

**Prancha 4.3** - a) Veio de quartzo com envelope de turmalinito, encaixado no filito carbonoso; b) fragmento de veio de quartzo com arsenopirita. c) Fragmento de turmalinito bandado com veio de quartzo, do mesmo nível supracitado. d) Formação pirrotítica bandada formada pela intercalação de bandas de quartzo sacaróide intercaladas com material sulfetado (principalmente pirrotita) muito oxidado.

**Prancha 4.4** - a) e b) Turmalinito bandado com quartzo, associado ao topo do quartzito da Formação Moeda. c) e d) Turmalinização na base da formação pirrotítica bandada da Formação Cauê em contato com o filito carbonoso da Formação Batatal. e) e f) Deformação associada ao nível de turmalinito supracitado. Em e) dobras e f) clivagem associada à crenulação.

**Prancha 4.5** - Caracterização mineralógica da formação pirrotítica bandada. a) e b) Pirrotita sendo alterada supergênicamente. c) Monazita euédrica. d) Monazita detrítica. e) Monazita e rutilo. f) Textura resultante da alteração supergênica que deu origem a goetita.

**Prancha 4.6** – Minérios da Mina Chico Rei. a) Turmalinito maciço de granulometria fina, tabular, encaixado entre o Quartzito Moeda e Filito Batatal, encontra-se recortado por veios de quartzo-carbonatos. b) Porção maciça de arsenopirita no interior de um veio quartzo-arsenopirita discordante encaixado no Filito Batatal. c) Contato secante entre o veio bandado a quartzo e arsenopirita com Quartzito Moeda (ver detalhes no texto). d) Detalhe mostrando o bandamento do veio descrito anteriormente. e) Raro exemplar de pirita preservado, encontrado em meio ao material oxidado envelopando o veio de quartzo. f) Vista do veio a quartzo-pirita-calcopirita anteriormente citado envolvido por um material oxidado sulfetado composto principalmente por pirita e calcopirita.

**Prancha 4.7-** a) Microfotografia de um raro exemplar de pirita fraturada com inclusões de calcopirita encontrado em meio a um material oxidado que envolve um veio de quartzo. Este material foi intensamente explotado da mina, onde foi escavada uma galeria no topo do veio por mais de 50 metros de extensão. b) e c) Nível pelítico do Quartzito Moeda marcado pela presença de arsenopirita. Esta amostra foi coletada próximo ao veio bandado a quartzo-arsenopirita. Em b) luz refletida e c) luz transmitida.

**Prancha 4.8** – Microfotografia de um fragmento de um veio a quartzo e arsenopirita com grãos de ouro associados a fraturas em arsenopirita. O veio possui atitude 230°/sub-vertical e está encaixado no Quartzito Moeda.

## **Lista de Tabelas**

**Tabela 01-** Síntese das características da mineralização aurífera da região do Anticlinal de Mariana, segundo diversos autores precedentes.

**Tabela 02** - Síntese das características das mineralizações auríferas da Serra de Ouro Preto, de acordo com Eschwege (1833), Lacourt (1935) e Dorr (1969).

**Tabela 03** - Composição mineralógica dos corpos de minério: turmalinito 1(associado ao contato superior do Grupo Nova Lima com o quartzito da base da Formação Moeda; turmalinito 2 (em veios de quartzo encaixados no sericita quartzito da Formação Moeda); turmalinito 3 (bandado com quartzo associado ao contato do sericita-quartzito da Formação Moeda com filito carbonoso da Formação Batatal); turmalinito 4 (associado a veios de quartzo encaixados no filito carbonoso da Formação Batatal); turmalinito 5 (associado à zona de contato superior do filito carbonoso da Formação Batatal com formação ferrífera carbonática da base da Formação Cauê).

**Tabela 04:** Associação mineralógica do depósito de Passagem de Mariana.

**Tabela 05** - Principais características da mineralização no depósito de Passagem de Mariana.

**Tabela 06** - Tipologia e características dos minérios na área estudada.

## **Lista de Figuras**

**Figura 1.1** - Mapa de localização das antigas áreas de mineração na Serra de Ouro Preto.

**Figura 1.2** - Reconstituição de um mapa antigo encontrado no Arquivo Público de Ouro Preto, com localização de antigas galerias na área do projeto.

**Figura 1.3** - Mapa de localização e articulação da área de estudo com a região central da cidade de Ouro Preto e o município.

**Figura 2.1** - Coluna lito-estratigráfica para a região do Quadrilátero Ferrífero (compilada e modificada de Endo, 1997).

**Figura 2.2** - Mapa geológico simplificado do Quadrilátero Ferrífero, com as principais unidades lito-estratigráficas, feições estruturais, minas de ouro e delimitação da região sudeste (extraído e modificado de Ladeira, 1991).

**Figura 2.3** - Mapa geológico simplificado do Anticlinal de Mariana, com localização da área de estudo. Fonte: Projeto Quadrilátero Ferrífero, programa de cooperação Brasil-Estados Unidos (compilado de Barbosa, 1969).

**Figura 2.4** - Esquema da evolução da região do Anticlinal de Mariana e Sinclinal Dom Bosco a partir de uma compartimentação prévia do embasamento local. a) estágio inicial, no qual o Supergrupo Minas não havia sofrido atuação de eventos deformacionais significativos; b) atuação do evento extensional na região sudeste do QF, com conseqüente arqueamento das supracrustais; c) atuação do evento compressional com falhamentos de empurrão pelo interior da calha Dom Bosco e contra o obstáculo do Anticlinal de Mariana. 1) Complexos Metamórficos, 2) Supergrupo Rio das Velhas, 3) Supergrupo Minas, 4) movimento relativo de oeste para leste, 5) movimento relativo de leste para oeste (compilado de Naline, 1993).

**Figura 3.1** - Modelo digital de terreno com sobreposição das unidades geológicas, baseado em mapa topográfico de curvas de nível com intervalos de 50 metros. Base da CEMIG: carta topográfica de Ouro Preto, escala 1:2.000. MCR - Mina Chico Rei, MSC - Mina Scliar e MDB - Mina Duas Bocas.

**Figura 3.2** - Correlação lito-estratigráfica entre os empilhamentos levantados na área e nas minas cartografadas.

**Figura 3.3** - Mapa geológico de Lages-Antônio Dias, com localização da área urbana. Levantamento realizado por J.A.D. Cavalcanti. Base topográfica, escala 1:2.000. CEMIG.

**Figura 3.4** - Perfis geológicos da região de Lages-Antônio Dias.

**Figura 3.5** - Estereogramas das principais estruturas deformacionais descritas na área. Sn (foliação principal), Lcre (lineação de crenulação), Lmin (lineação mineral), b (eixo de dobra), TT (medidas totais da área), Qtz (quartzito), Xist (sericita-quartzo xisto), Fil (filito carbonoso) e Itab (itabirito).

**Figura 3.6** - Rosetas bi-polares: a) direções dos veios e b) direção dos planos de fraturas destes veios.

**Figura 3.7**- Principais indicadores cinemáticos descritos na área. a) Segunda fase: 1- falhamentos normais com geometria de rampas e patamares apresentando deslocamento para sudeste, associado ao Quartzito Moeda; 2- *boudinage* assimétrica com veios associados, próximo ao contato entre os xistos do Grupo Nova Lima e o Quartzito Moeda; 3- *boudinage* associada ao Filito Batatal. b) Terceira fase: 4- estrutura SC de uma zona de cisalhamento normal instalada na formação pirrotítica bandada da

Mina Scliar e *boudinage* com eixo de maior deformação N-S; 5- dobras similares com eixos perpendiculares à lineação mineral, vergentes para sul, no Itabirito Cauê da Mina Scliar. 6- falha normal com deslocamento para sul associada ao Itabirito Cauê, da Mina Scliar; 7- Veio de tensão no interior da zona de cisalhamento, com indicação de movimento normal para sul, na formação pirrotítica da Mina Scliar; 8- sigmóide de foliação interior à zona de cisalhamento normal da formação pirrotítica da Mina Scliar. c) Quarta fase: 9- zona de cisalhamento reversa instalada no contato entre o Quartzito Moeda e o Filito Batatal; 10- falha reversa de alto ângulo interior ao Itabirito Cauê; 11- veio dobrados com vergência para NW, encaixados no Itabirito Cauê da Mina Chico Rei.

**Figura 4.1** - Mapa topográfico da Mina Duas Bocas, com malha onde foram construídas as seções transversais, na escala 1:50.

**Figura 4.1a** - Mapa geológico do nível 01 da Mina Duas Bocas.

**Figura 4.1b** - Mapa geológico do nível 02 da Mina Duas Bocas.

**Figura 4.1c** - Mapa geológico do nível 03 da Mina Duas Bocas.

**Figura 4.2** - Teores em Au (g/t) de 9 amostras de turmalinito, associado ao contato entre o Grupo Nova Lima e a Formação Moeda. O teor máximo encontrado foi de 3,23g/t e o mínimo 0,19g/t.

**Figura 4.3** - Teores em Au (g/t) de 6 amostras de turmalinito associado a veios de quartzo encaixados no Quartzito Moeda. O teor máximo incide em 1,15g/t, e o mínimo de 0,08g/t.

**Figura 4.4** - Mapa topográfico da Mina Scliar.

**Figura 4.4a** - Mapa geológico do nível 01 da Mina Scliar.

**Figura 4.4b** - Mapa geológico do nível 02 da Mina Scliar.

**Figura 4.4c** - Mapa geológico do nível 03 da Mina Scliar.

**Figura 4.5** - Teores em Au (g/t) de 5 amostras da formação pirrotítica bandada. O teor máximo incidiu em 1,26g/t, e o mínimo em 0,11g/t.

**Figura 4.6** - Teores de Au (g/t) de 3 amostras de turmalinito associado a veios de quartzo encaixados no Filito Batatal. O teor máximo encontrado foi 0,81g/t, e o mínimo 0,07g/t.

**Figura 4.7** - Teores em Au (g/t) de 3 amostras de turmalinito associado à base da formação pirrotítica bandada. O teor máximo incide em 4,02g/t, e o mínimo é inferior a 0,05g/t.

**Figura 4.8:** Teores em Au (g/t) de 2 amostras de veios a quartzo- arsenopirita. O teor máximo incide em 6,1g/t, e o mínimo em 5,65g/t.

**Figura 4.9** - Mapa geológico da Mina Chico Rei.

**Figura 4.10** - Teor em Au (g/t) de 1 amostra de veio a quartzo-arsenopirita incidiu em 37,77g/t.

**Figura 4.11** - Teores em Au (g/t) de três amostras do veio de quartzo-pirita-calcopirita. O teor máximo incidiu em 16,3g/t, e o mínimo em 6,45g/t.

**Figura 4.12** - Teores em Au (g/t) de 3 amostras do veio bandado a quartzo e arsenopirita. O teor máximo incidiu em 34,02g/t, e o mínimo em 8,14g/t.

**Figura 4.13** – Situação e feições típicas dos corpos de minérios ao longo da coluna estratigráfica da Serra de Ouro Preto (ver discussão no texto).

**Figura 4.14**- Modelo de evolução do sistema hidrotermal estudado, baseado nas situações encontradas nas minas duas Bocas, Scliar e Chico Rei. a) posicionamento inicial da seqüência lito-estratigráfica. b) fraturamento das unidades. c) primeiro pulso de injeção de fluidos na seqüência basal, no contato do SGRV com o SGM. d) segundo pulso de injeção de fluidos no Quartzito Moeda e no contato com o Filito Batatal. e) terceiro pulso de injeção de fluidos no Filito Batatal e na zona de contato com a Formação Cauê. f) deformação posterior à colocação dos veios.

**Figura 4.15** - Modelo de rotação de um sistema de veios após sua colocação, para explicar o caimento médio de 30° na direção 230°, do sistema estudado. a) Posicionamento inicial dos veios quando as seqüências litológicas encontravam-se horizontalizadas. b) Posicionamento dos veios após as seqüências litológicas sofrerem rotação devido ao soerguimento do Anticlinal de Mariana.

**Figura 4.16** - Modelo de geração de veios bandados a quartzo e arsenopirita associado ao fraturamento hidráulico conjugado em regime de cisalhamento normal.

**Figura 4.17** - Bloco diagrama com perfis mostrado as feições de cisalhamento do tipo “em rede” com sigmóides de dezenas de metros de extensão e falhamentos associados às zonas de maior deformação.

# Capítulo I

## INTRODUÇÃO

### 1.1 – Breve Histórico

A mineração do ouro foi a atividade econômica mais absorvente da Capitania das Minas Gerais durante os primeiros setenta anos do século XVIII. Na última década do século XVII, centenas de jazidas auríferas de aluvião começaram a serem descobertas nos córregos e ribeirões das adjacências de Ouro Preto, Mariana, Sabará e Caeté, causando a primeira grande corrida do ouro na História do Brasil (Oliveira, 1979). As cidades de Mariana e Ouro Preto foram o palco onde ocorreram as principais descobertas. A produção mundial de ouro no século XVIII era calculada em 1420 toneladas. Durante o Ciclo do Ouro a região de Ouro Preto e Mariana foi responsável por mais de 50% da produção aurífera do Quadrilátero Ferrífero (Oliveira, 1977). A contribuição mineira (brasileira) era de 700 toneladas (Lanari, 1977), ou seja, foram retiradas 350 toneladas de ouro da região do Anticlinal de Mariana.

Os registros da atividade mineradora ocorrida na Serra de Ouro Preto são nítidos e compreendem escavações superficiais, galerias, canais para condução de água, *mundéus*<sup>1</sup>, áreas de rejeito e artefatos que foram utilizados no processo da extração do metal (Cavalcanti *et al.*, 1997). Através da identificação desses sítios foram caracterizadas oito áreas de lavra de ouro ao longo de toda a extensão da serra (Figura 1.1). Estes sítios arqueológicos de valor histórico foram descritos por Eschwege (1833) e nomeados como: Lavra do Coronel Veloso, Lavra de Lages-Antônio Dias, Lavra do Morro da Queimada, Lavra Saragoça, Lavra do Morro São João, Lavra Tassara e do Moreira, Lavra do Sumaré e Lavra do Taquaral. Estas áreas constituem excelentes alvos de pesquisa que, até hoje, não foram investigados de forma sistemática.

---

<sup>1</sup> Segundo Lanari (1977), os *mundéus* eram grandes tanques construídos de pedra para reter material desmontado juntamente com água, quando tratava-se de minerar material proveniente do desmonte de morros, a céu aberto ou de galerias.

## 1.2 – Objetivos e Justificativa

A maioria dos estudos realizados sobre mineralizações auríferas no Quadrilátero Ferrífero abordam as hospedadas no *greenstone belt* Rio das Velhas, onde instalaram-se as principais minas da região. No entanto, poucos estudos foram realizados em mineralizações hospedadas no Supergrupo Minas, à exceção do depósito de Passagem de Mariana, onde apesar dos vários estudos já realizados, muitas controvérsias ainda persistem quanto ao posicionamento estratigráfico e origem do metal. Particularmente na Serra de Ouro Preto, abaixo do Anticlinal de Mariana, os estudos sobre as ocorrências auríferas são quase inexistentes, e como consequência, pouco ou quase nada se conhece quanto aos controles estratigráficos e estruturais. A maioria dos pesquisadores estudaram o depósito de Passagem de Mariana e estenderam as observações às ocorrências auríferas das serras de Ouro Preto e Antônio Pereira.

A área foi escolhida e delimitada com base em reconstituições de um mapa antigo encontrado no Arquivo Municipal de Ouro Preto com localização de antigas galerias e áreas de lavra (Figura 1.2) e das descrições de Eschwege (1833) e Lacourt (1937a, b). Através do reconhecimento feito ao longo de toda extensão da serra, localizamos vários níveis mineralizados com turmalinitos e veios de quartzo-sulfeto, como ocorre no depósito de Passagem de Mariana, sugerindo que estas mineralizações sejam contemporâneas, só que com uma distribuição lito-estratigráfica mais ampla.

Esta pesquisa teve como objetivo realizar um estudo detalhado nas ocorrências auríferas na região de Lages-Antônio Dias, com intuito de: conhecer os minérios explorados nas antigas minas, a fim de determinar as relações entre as zonas mineralizadas e as rochas e estruturas encaixantes e hospedeiras; determinar suas relações ou continuidade com o depósito de Passagem de Mariana e, ainda, verificar a possível relação que pode existir entre a formação da mineralização e a nucleação do Anticlinal de Mariana.

### **1.3 – Localização da Área Estudada**

A Serra de Ouro Preto localiza-se no sudeste do Quadrilátero Ferrífero. A área de enfoque localiza-se na encosta da Serra de Ouro Preto, próximo à região central da cidade homônima e corresponde a uma das oito áreas de mineração descritas anteriormente, onde encontram-se os bairros Lages, Antônio Dias, Palácio Velho e borda oeste do Morro da Queimada (Figura 1.3). É delimitada pelas seguintes coordenadas UTM: 656.000E, 7.745.000N (vértice inferior esquerdo) e 657.000E, 7.746.000N (vértice superior direito). As minas estudadas em detalhe posicionam-se na faixa oeste da área: Mina Chico Rei (Antônio Dias), Mina Scliar (entre Lages e Antônio Dias) e Mina Duas Bocas (Lages).

O acesso principal à cidade de Ouro Preto se faz pela BR-040, a partir de Belo Horizonte em direção ao Rio de Janeiro, por cerca de 30 km, tomando-se a seguir a rodovia dos Inconfidentes por mais 70 km.

### **1.4 – Metodologia e Atividades Desenvolvidas**

#### **1.4.1 - Cartografia**

A área estudada possui dimensão 1 km<sup>2</sup> e o mapeamento geológico foi realizado na escala 1:2.000, utilizando como base a Carta Topográfica de Ouro Preto (CEMIG, 1985), na escala 1:2.000 e fotos aéreas na escala 1:10.000 (Cruzeiro, 1960).

A partir do levantamento do arcabouço geológico da área, realizamos o mapeamento subterrâneo das minas na escala 1:250. Iniciamos com o mapeamento topográfico planialtimétrico, o qual contou com o apoio de uma equipe da SEE<sup>2</sup>. Para este trabalho foi adotada a metodologia descrita por Cavalcanti (1996). O mapeamento geológico foi realizado em cada nível separadamente. Confeccionamos a planta baixa, seções longitudinais e transversais das minas, usando como referência o piso das galerias (superfície onde estão posicionadas as estações topográficas). Mediante o mapeamento topográfico e geológico das minas, analisamos os seus *desenvolvimentos*, localizando, portanto, os vestígios dos minérios explorados. Posteriormente, foram levantadas seções transversais aos corpos de minério, na escala 1:50, nas três minas, a fim de definir as relações entre encaixantes, estrutura e minério.

---

<sup>2</sup> Sociedade Excursionista Espeleológica – SEE, UFOP, Ouro Preto.

Foram realizados 77 dias de campo que resultaram em: 1 mapa geológico da região de Lages e Antônio Dias, na escala 1:2.000; 3 perfis geológicos da área, na escala 1:2.000; 3 mapas topográficos, na escala 1:250; 7 plantas geológicas dos níveis das três minas e 7 perfis longitudinais, na escala 1:250; 100 seções transversais nas três minas, na escala 1:50; 64 amostras coletadas para a confecção de lâminas e 45 para análises químicas; 200 slides de rochas, veios, minérios e estruturas.

#### **1.4.2 – Etapas e Métodos**

##### **Pesquisa Bibliográfica**

Foi realizada nas bibliotecas do IG/UNICAMP, DEGEO/UFOP, IG/USP e Arquivo Público de Ouro Preto. Teve como objetivos: catalogar as principais obras referentes ao estudo das mineralizações auríferas na região sudeste do Quadrilátero Ferrífero; estratigrafia e evolução estrutural do Quadrilátero Ferrífero; mecanismos de geração e deformação de veios; e estudos de turmalinitos associados a depósitos auríferos, principalmente os de origem hidrotermal.

##### **Análise Petroológica**

Foram analisadas em microscópio ótico 55 lâminas delgadas-polidas em luz transmitida e refletida, a partir das amostras coletadas na área cartografada e nas minas. O enfoque principal foi a determinação da paragênese mineral das rochas encaixantes e hospedeiras e dos minérios, enfatizando também as texturas e as estruturas, com cortes paralelos ao plano da foliação, cortes verticais na direção da lineação mineral e perpendiculares à mesma.

Foram realizadas ainda análises em lâminas delgadas polidas no microscópio eletrônico de varredura (MEV), a fim de caracterizar minerais acessórios e outros em processo de oxidação. Com estas análises obtivemos imagens dos minerais e espectros da composição química destes minerais.

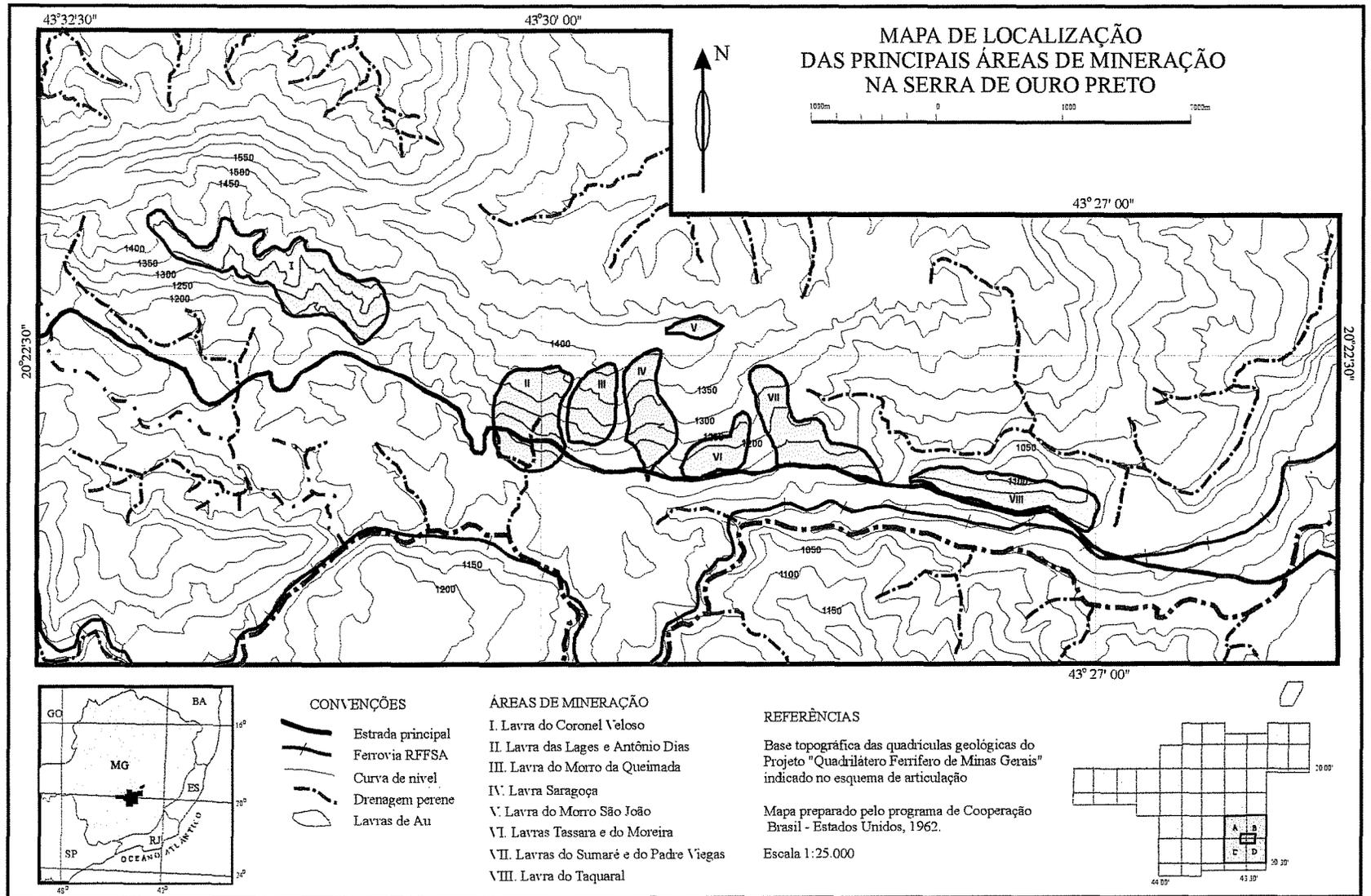
### **Análises Químicas**

As análises químicas para Au ppm (via úmida) e ppb (plasma) foram realizadas nos laboratórios da DOCEGEO em Belo Horizonte, com o objetivo de observar o conteúdo de ouro existente nos prováveis minérios.

### **Trabalhos de Escritório**

Após cada excursão de campo, realizou-se o tratamento dos dados com a confecção de mapas, perfis, blocos diagramas, tabelas e textos. Esta etapa foi encerrada com a integração e análise de todos os dados, culminando na redação do corpo dessa dissertação.

Figura 1.1 – Mapa de localização das antigas áreas de mineração na Serra de Ouro Preto.





**MAPA TOPOGRÁFICO DA ÁREA DE ESTUDO, COM LOCALIZAÇÃO DAS PRINCIPAIS GALERIAS E ÁREA URBANA**

**LEGENDA**

-  Ruas e becos
-  Casario
-  Ruínas
-  Captação de água
-  Drenagens ativas
-  Escarpa vertical a subvertical
-  Curva de nível
-  Localização das galerias
-  Galeria
-  Lavra de quartzito abandonada

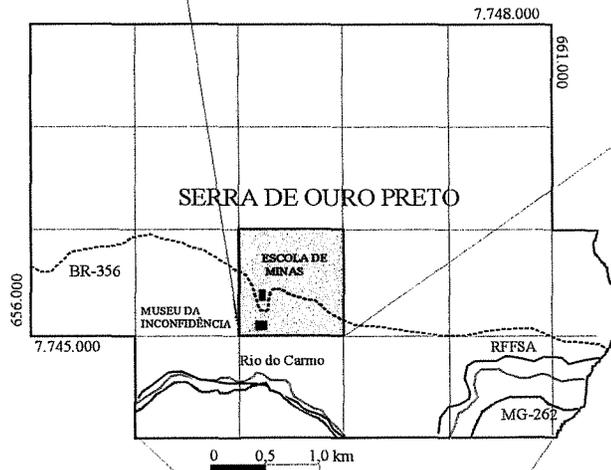
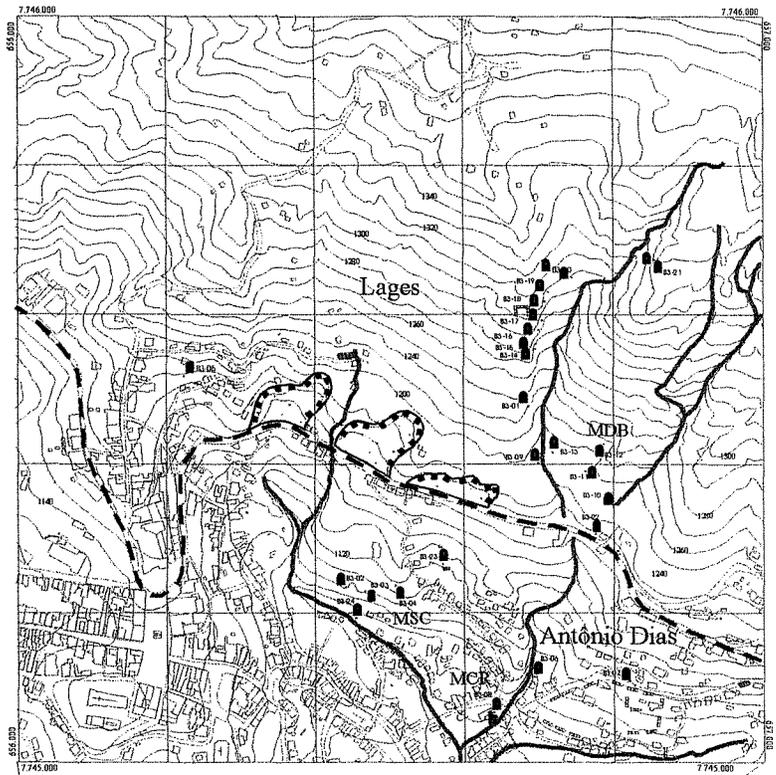
0 100 200m

MDB Mina Duas Bocas

MSC Mina Seliar

MCR Mina Chico Rei

FONTE: Carta topográfica de Ouro Preto  
escala 1:2.000 Articulação:6560/7450.  
Centrais Elétricas de Minas Gerais - CEMIG



**Figura 1.3 – Mapa de localização e articulação da área de estudo em relação à porção central da cidade de Ouro Preto e ao município.**

## Capítulo 2

### Contexto Geológico

#### 2.1 – Quadrilátero Ferrífero

A área estudada situa-se ao sudeste do Quadrilátero Ferrífero (QF), cuja denominação de acordo com Dorr (1969), foi proposta pelo geólogo Gonzaga Campos devido a região possuir inúmeros depósitos de minério de ferro que se situam nos limites de quatro cidades (Itaúna, Mariana, Congonhas do Campo e Itabira) formando, portanto, um quadrilátero. A região do Quadrilátero Ferrífero situa-se na parte central do Estado de Minas Gerais e abrange uma área de, aproximadamente, 7.190 km<sup>2</sup>.

O Quadrilátero Ferrífero é uma porção do segmento meridional do Antepaís do São Francisco envolvido por faixas móveis brasileiras (Endo, 1997). Esta província geotectônica corresponde a uma região da crosta estabilizada desde o Paleoproterozóico, sendo que no Arqueano fazia parte de um bloco mais extenso denominado Cráton Paramirim (Almeida & Hasui, 1984).

A lito-estratigrafia do Quadrilátero Ferrífero compreende quatro grandes unidades: os Complexos metamórficos, o Supergrupo Rio das Velhas (SGRV), o Supergrupo Minas (SGM) e o Grupo Itacolomi (Figuras 2.1e 2.2). Já a estruturação do Quadrilátero Ferrífero tem uma morfologia em “domos e quilhas”(Marshak *et al.*, 1997). Os domos correspondem a regiões em torno de 800 metros de altitude, que são constituídas por morros, com relevo “meia-laranja”, formados por rochas granitóides dos complexos metamórficos. Já as quilhas são sinclinais cujas bordas erodidas deram origem às cristas de serra, denominado de relevo “apalachiano”, num nível altimétrico acima de 1000 metros. As cristas são formadas essencialmente por quartzitos e itabiritos da base do Supergrupo Minas. Por sua vez, os xistos e filitos correspondem ao nível altimétrico intermediário preenchendo os sinclinais e anticlinais, que são topograficamente invertidos. O trabalho erosivo sobre as rochas aliado ao controle estrutural, perfizeram o arcabouço geomorfológico da região.

Dorr (1969) propôs um modelo de evolução estrutural para o Quadrilátero Ferrífero baseado em três eventos deformacionais: o primeiro pós Rio das Velhas e pré Minas com vetor tectônico decrescendo de intensidade de E para NW; o segundo pós Minas e pré Itacolomi; e o terceiro pós Itacolomi, que afetou todas as rochas pré-cambrianas de vetor transporte para tectônico WNW.

Os trabalhos de Ladeira & Viveiros (1984) e Marshak & Alkmim (1989) são de grande relevância para uma melhor compreensão da complexa estruturação do QF. Contudo, modelos propostos mais recentemente por Chemale Jr. *et al.* (1991, 1994), Chauvet *et al.* (1994a,b) e Endo (1997), têm sido citados com maior frequência nos estudos da região.

Chemale Jr. *et al.* (op.cit.), postulam que as feições tectônicas dentro do QF são o resultado da superposição de dois grandes eventos deformacionais presentes após a sedimentação do SGM: o primeiro de caráter extensional, de idade entre 2.1Ga e 1.7Ga (Transamazônico) e o segundo de natureza compressional com vergência para W e idade Brasileiro.

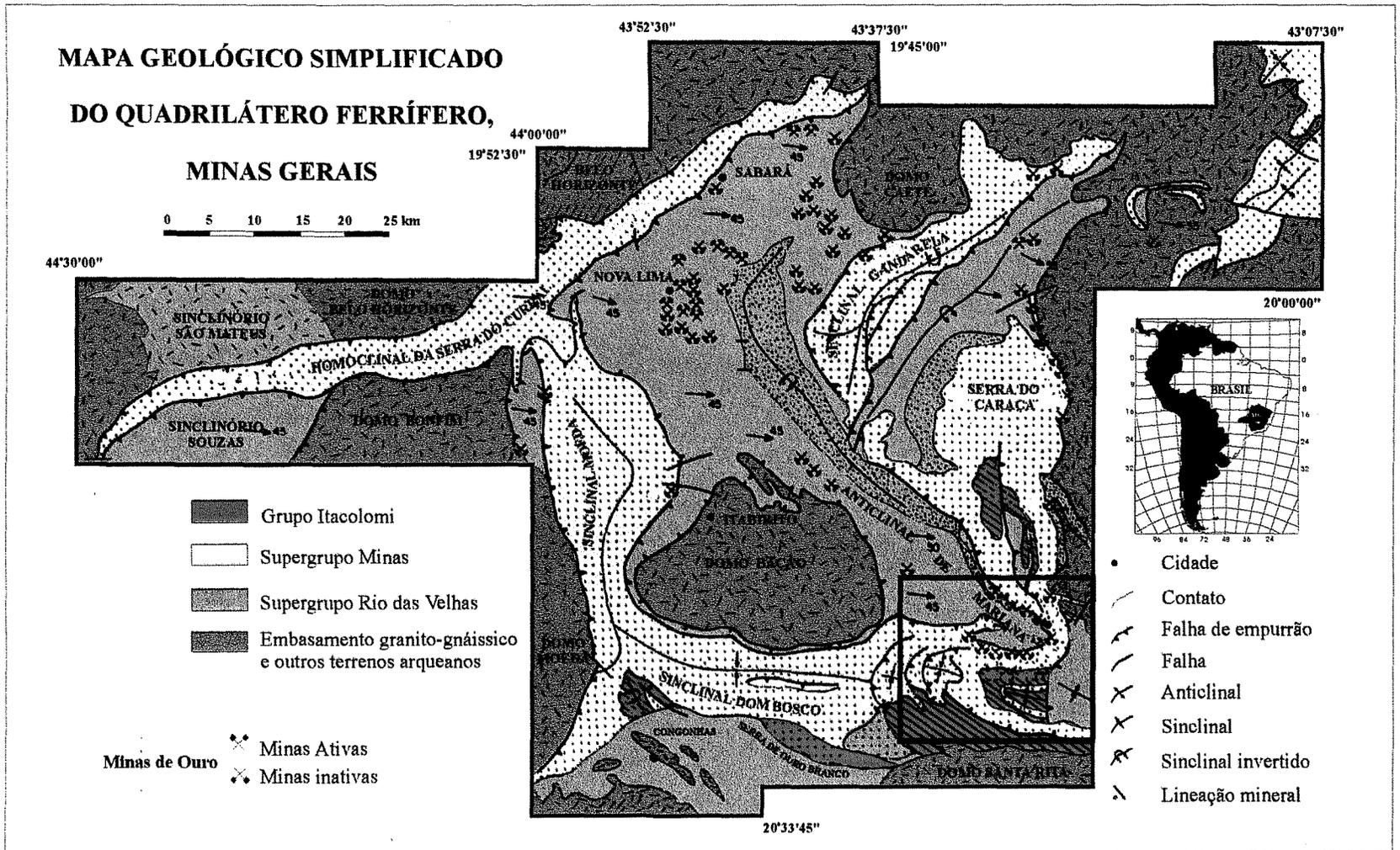
Já Chauvet *et al.* (op.cit.), reconheceram três grandes eventos deformacionais no QF: o primeiro tectono-magmático que ergueu o embasamento, associado à formação dos anticlinais e sinclinais de larga escala, durante o ciclo Transamazônico; o segundo de idade Brasileiro definido como o maior empurrão com vergência para WNW e bem representado nos estiramentos e lineação mineral orientadas E-W e NW-SE e pelos critérios de cisalhamento com vergência para NW. O terceiro evento, movimento da pilha de *nappes* em resposta ao relaxamento crustal das forças compressivas brasileiras, que no modelo do Chemale Jr. *op.cit* seria a última fase do Brasileiro marcada pela ocorrência de dobras de arrasto em escala métrica.

Por sua vez, Endo (op.cit), postula que a evolução do QF e as áreas adjacentes são o resultado da superposição de três ciclos tectono-deformacionais: o Jequié, ocorrido entre 2.780Ma e 2.555Ma, constituído por três eventos com regime transpressional, com plano de fluxo N-S; o ciclo Transamazônico, no intervalo entre 2.250Ma e 1.900Ma, constituído por dois eventos tectônicos compressivos e dois extensionais, alternados, com regimes transpressivos e plano de fluxo N-S; e o ciclo Brasileiro constituído de dois eventos desenvolvidos em regime transpressivos, com plano de fluxo NE-SW.

Idade	Supergrupo	Grupo	Formação	Litologia	Esp.Max.(		
PALEOPROTEROZOICO	Minas	Itacolomi	Indiviso	ortoquartzitos, quartzitos (matriz ferruginosa), filitos quartzosos, filitos e conglomerados com seixos de itabiritos	>1000		
		Sabará	Indiviso	Discordância clorita-xistos, grauvacas, metatufos, conglomerados e quartzitos	>3000		
		Piracicaba	Barreiro	filitos e filitos grafitosos	150		
			Taboões	ortoquartzitos	125		
			Fecho do Funil	filitos, filitos dolomíticos e dolomito silicoso	410		
			Cercadinho	quartzitos ferruginosos, quartzitos, filitos ferruginosos e dolomitos	600		
		Itabira	Gandarela	dolomitos, filitos dolomíticos e calcários	600		
			Cauê	itabiritos, itabiritos dolomíticos e hematíticos	350		
		Caraça	Batatal	filitos e filitos grafitosos	500		
			Moeda	quartzitos sericíticos, conglomerados e filitos	1000		
		ARQUEANO	Rio das Velhas	Maquiné	Indiviso	Discordância erosiva e angular quartzitos, conglomerados, sericita-quartzo-xistos e filitos	>1800
				Nova Lima	Indiviso	filitos cloríticos, filitos grafitosos, metagrauvacas, formações ferríferas, quartzitos, <i>metacherts</i> , dolomitos, rochas máficas e ultramáficas	>4000
				Quebra Ossos	Indiviso	komatiitos, formações ferríferas e <i>metacherts</i>	>600
				Indiviso	Indiviso	Discordância erosiva e angular gnaisses bandados, gnaisses migmatíticos, <i>augen</i> -gnaisses e granitos	
Complexos Metamórficos							

Figura 2.1 - Coluna lito-estratigráfica para a região do Quadrilátero Ferrífero (mod. Pflug, 1965; Ebert, 1968; Dorr, 1969; Schorsch, 1978; Schöll & Fogaça, 1979; Karfunkel & Noce, 1983; Freitas, 1991; Rodrigues *et al.*, 1993) compilada e adaptada de Endo, 1997.

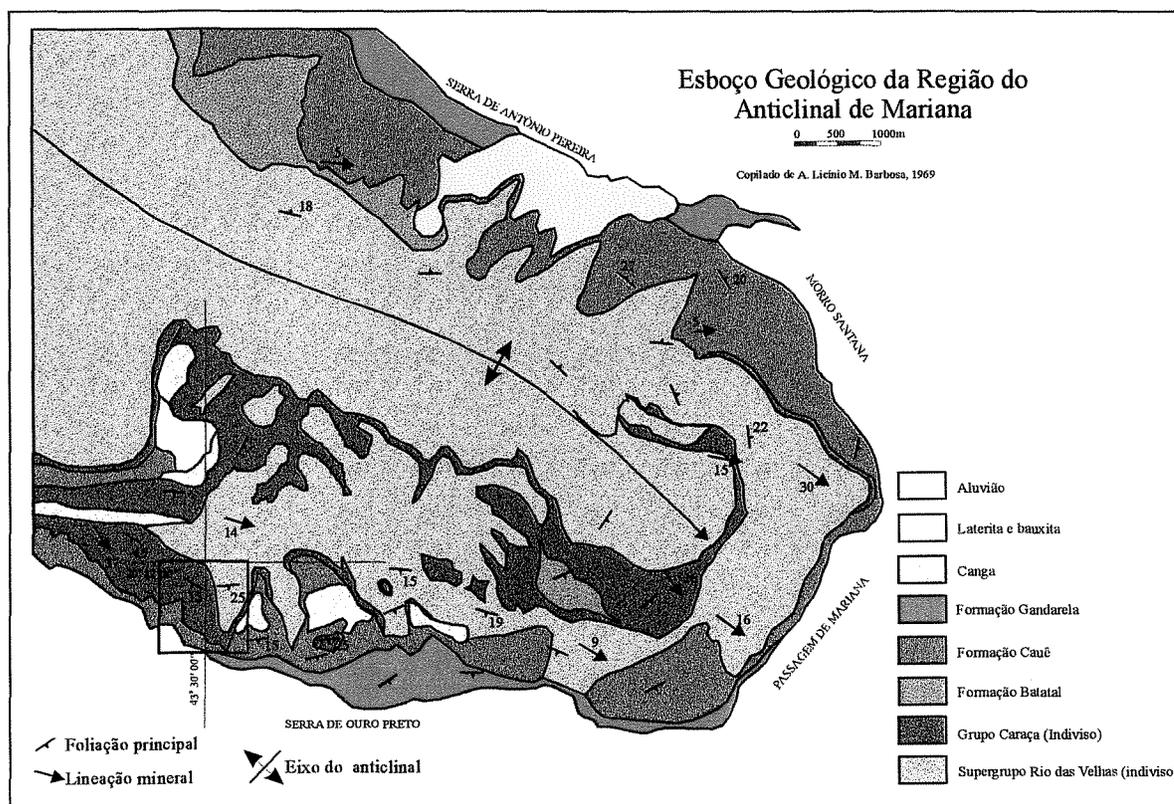
Figura 2.2 - Mapa geológico simplificado do Quadrilátero Ferrífero, com as principais unidades litostratigráficas, feições estruturais, minas de ouro e delimitação da região sudeste (extraído e modificado de Ladeira, 1991).



## 2.2 - Anticlinal de Mariana

### 2.2.1 - Litoestratigrafia

Os dados que serão apresentados neste item referem-se aos três domínios fisiográficos da estrutura antiformal: Serra de Antônio Pereira (SAP), região da Mina da Passagem (MP) e Serra de Ouro Preto (SOP). A estratigrafia do Quadrilátero Ferrífero está bem representada na região, com uma ampla distribuição de duas grandes unidades lito-estratigráficas: o Supergrupo Rio das Velhas e o Supergrupo Minas (Figura 2.1). O Supergrupo Rio das Velhas é representado pelo Grupo Nova Lima, com ampla distribuição areal na região e no Quadrilátero Ferrífero. Já o Supergrupo Minas é representado pela porção basal formada pelos grupos Caraça e Itabira, distribuídos ao longo de toda a estrutura antiformal (Figura 2.3).



**Figura 2.3** - Mapa geológico simplificado do Anticlinal de Mariana, com localização da área de estudo. Fonte: Projeto Quadrilátero Ferrífero, programa de cooperação Brasil-Estados Unidos (compilado de Barbosa, 1969).

## **Supergrupo Rio das Velhas”**

As rochas do Supergrupo Rio das Velhas constituem uma seqüência vulcano-sedimentar , ou *greenstone belt* Arqueano (Ladeira *et al.* 1981 e Schorscher *et al.* 1982).

O Grupo Nova Lima, base do SGRV, apresenta espessura máxima de até 4000 metros. Ladeira (1980), propõe a subdivisão deste grupo em três unidades, da base para o topo: unidade metavulcânica, unidade metassedimentar química e unidade metassedimentar clástica. Já os dados geocronológicos obtidos por Machado *et al.* (1996) apontam idades para as áreas fonte do Grupo Nova Lima entre 3539Ma  $\pm$  34Ma e 2996Ma  $\pm$  38Ma e idades mínimas entre 2900Ma e 3232Ma em zircões de rochas félsicas e meta-vulcânicas.

O Grupo Nova Lima na região do Anticlinal de Mariana, constitui o miolo da estrutura e está em contato tectônico com diferentes litologias. É composto por quartzo-clorita-biotita-sericita xisto, quartzo-sericita xisto, quartzo-biotita xisto, quartzo-clorita xisto, quartzo-carbonato xisto, filitos e xistos granatíferos, assim como camadas delgadas de filito carbonoso. O contato inferior do Grupo Nova Lima é dificilmente encontrado na região do Anticlinal de Mariana. Só a leste de Mariana é observado o contato com rochas do “embasamento”, sendo o mesmo nitidamente tectônico (Ladeira *et al.*, 1981). Em Passagem de Mariana e Ouro Preto, o contato com o Quartzito Moeda é fortemente tectonizado, sendo comum a presença de veios de quartzo e milonitos (Naline, 1993).

## **Supergrupo Minas**

O Supergrupo Minas (SGM), descrito originalmente por Derby (1906) e Harder & Chamberlin (1915) como “Série” Minas, foi sub-dividido por Dorr (1969) em quatro grupos que repousam em discordância erosiva e angular sobre o SGRV: Tamanduá, Caraça, Itabira e Piracicaba. Neste trabalho consideramos os grupos Caraça e Itabira como envoltória do Anticlinal de Mariana, a qual corresponde também à porção mineralizada estudada na Serra de Ouro Preto.

### **Grupo Caraça**

O Grupo Caraça é subdividido nas formações Moeda e Batatal. A Formação Moeda foi definida por Wallace (1959)<sup>1</sup> como constituída de conglomerado basal, quartzitos e filitos e

---

<sup>1</sup> *Apud*, Dorr, 1969.

possuindo espessura máxima de 1000 metros. A Formação Batatal, foi definida por Maxwell (1958)<sup>2</sup>, como constituída por filitos sericíticos e filitos grafitosos, com pouco menos de 200m de espessura, mas chegando a atingir 500 metros (Alkmim *et al.* 1996) ao norte da Serra da Moeda, próximo à junção com o Homoclinal da Serra do Curral. De acordo com os dados geocronológicos Pb-Pb e U-Pb de zircões detríticos dessas rochas derivaram da erosão de rochas com idade máxima por volta de 2.6 Ga em ambiente fluvial evoluindo para marinho transgressivo dentro de uma bacia intracratônica ou numa margem continental passiva [Noce (1995) e Carneiro *et al.* (1995)]. Machado *et al.* (1996) encontraram as seguintes idades mínimas de deposição: 2651Ma  $\pm$ 33Ma e 2606Ma  $\pm$  47Ma, com base em idades Pb/Pb de zircões detríticos.

A Formação Moeda, na região de Anticlinal de Mariana possui excelente exposição formando feições triangulares nas aerofotos e constitui-se predominantemente de quartzitos claros, finos, sericíticos (Ladeira *et al.*,1981). Localmente observam-se cristais de pirita milimétrica, níveis centimétricos de conglomerados oligomíticos com seixos de quartzo estirados e leitos de filito prateado sericítico. As estruturas internas que mais se destacam no quartzito da região são o acamamento, a foliação principal e, posteriormente, a lineação de crenulação. O contato entre o quartzito e os xistos do Grupo Nova Lima não é nítido, na região da Serra de Antônio Pereira, enquanto na região de Passagem de Mariana e da Serra de Ouro Preto o contato é nitidamente tectônico.

A Formação Batatal na região do anticlinal constitui-se essencialmente de filito carbonoso sericítico, de cor cinza-escura, e espessura variando de poucos centímetros a 20 metros. O contato do Filito Batatal com o Itabirito Cauê é de natureza tectônica, ocorrendo veios de quartzo com sulfetos e turmalina mineralizados em ouro (Ladeira *et al.*,1981). Esta zona de contato, intensamente explorada, tem sido designada por Ladeira *et al.* (1981) como nível Passagem – Ouro Preto, que ocorre seguramente, embora de modo descontínuo, desde Ouro Preto até Antônio Pereira.

### **Grupo Itabira**

Foi subdividido em duas formações: Cauê e Gandarela. Na base, a Formação Cauê é constituída por formações ferríferas do tipo Lago Superior. Está em contato gradacional com a Formação Gandarela, que é composta por rochas carbonáticas dolomíticas e filitos. Dados

---

<sup>2</sup> *Apud*, Dorr, 1969.

geocronológicos determinaram que o início da sedimentação das formações ferríferas começou em 2,54Ga (Babinsky *et al.* 1995). As idades para sedimentação do topo da Formação Gandarela são: Pb-Pb de 2420Ma  $\pm$  19Ma, Pb-Pb de 2420Ma  $\pm$  5Ma (Babinsky *op cit*).

O Grupo Itabira, na região do Anticlinal de Mariana ocorre bordejando toda a estrutura antiformal. A Formação Cauê é composta predominantemente por itabirito típico, itabirito dolomítico e, mais raramente, itabirito dolomítico anfíbolítico e, escassamente por leitos delgados de filito sericítico e, ainda, por itabiritos ricos em manganês, localmente constituindo depósitos importantes. A Formação Gandarela ocorre em torno do antiforme, com interrupções e adelgaçamento. É constituída, predominantemente, por dolomitos e mármores dolomíticos, muitas vezes bandados e localmente intercalados com níveis de óxido de ferro (Naline, 1993). Na Serra de Antônio Pereira, em grande parte de sua exposição está totalmente imtemperizada assemelhando-se à “borra de café”. Por vezes, tais dolomitos podem ser levemente silicosos e sericíticos. Na Mina da Passagem ocorrem duas camadas: uma localiza-se entre o filito negro e o *metachert* carbonático sulfetado bandado e a outra, superior, sobre rocha quartzo-carbonática e faz contato superior com biotita-moscovita xisto. O contato dessa unidade com as unidades superiores (Grupo Piracicaba) não é observável com clareza.

### **2.2.2 - Análise Estrutural**

As principais estruturas descritas na região do Anticlinal de Mariana são: acamamento, foliação metamórfica principal, clivagem e lineação de crenulação, lineação mineral, dobras, veios e falhas. Estas estruturas são comuns em toda a região do Quadrilátero Ferrífero.

O acamamento (So) encontra-se quase sempre obliterado devido aos esforços tectônicos metamórficos. É observado principalmente nas unidades do Supergrupo Minas. Nos xistos do Grupo Nova Lima é de difícil caracterização, foi observado localmente por Ladeira *et al.* (1981) na SAP, marcado pela intercalação de camadas delgadas de quartzito impuro e *metachert*, em escala de afloramento. No Quartzito Moeda, tal estrutura é caracterizada em toda a região pela ocorrência de níveis conglomeráticos. No Itabirito Cauê, o acamamento é claramente observado em toda a região, demarcado pela intercalação de camadas de sílica e hematita. Mendes e Passos (1996) observaram no Mármore Gandarela o bandamento composicional formado por dolomita, quartzo e magnetita caracterizado microscopicamente

como de origem primária. O que ocorre constantemente é que o acamamento ( $S_0$ ) está paralelo a foliação geral ( $S_1$ ).

A foliação metamórfica principal ( $S_1$ ) é observada amplamente, tem caráter tectônico e posiciona-se notavelmente paralela à foliação  $S_0$ . É definida pela orientação planar de minerais como: sericita, grafita, hematita, carbonatos e anfibólio. Ocorre em todas as escalas e constitui a envoltória do Anticlinal de Mariana. Sobre seu plano desenvolveram-se outras estruturas como as lineações minerais e de crenulação e foliação milonítica.

A foliação milonítica aparece em estreitas zonas de cisalhamento. Próximo aos contatos litológicos ocorre passagem gradual da superfície da foliação  $S_1$ , onde a magnitude de deformação foi menor, para superfície milonítica  $S_m$ , mais deformada. É materializada pela disposição plano-paralela, localmente anastomosada, de minerais micáceos. Possui orientação praticamente paralela a  $S_1$  e foi descrita na região de PM e SOP.

A clivagem de crenulação ( $S_2$ ) resultou do microdobramento da foliação  $S_1$ . Em alguns locais pode ser caracterizada como uma clivagem espaçada. Naline (1993) destaca que a clivagem de crenulação pode ser caracterizada como zonal ou discreta. A primeira definida como zonas laminares constituídas por microdobras, nas quais a foliação pré-existente é reorientada. Na segunda ocorre redistribuição de minerais pelo mecanismo de dissolução por pressão (*pressure solution*) e precipitação, ocorrendo transferência de íons dos flancos para a charneira. Foram descritas duas clivagens de crenulação na região, uma constantemente observada nos níveis micáceos das rochas do Supergrupo Minas. Na Região da SAP as duas lineações de crenulação possuem tramas praticamente perpendiculares: 13/05 (EW/sub-vertical) e 87/10 (NS/sub-vertical). Em Passagem de Mariana, ocorrem com orientações em torno de 250/20-30 (SE/sub-vertical). Na região da SOP ocorrem com orientação NS e caimento para W com mergulhos acima de 70°.

A lineação mineral ( $L_m$ ) é uma estrutura muito pouco estudada na região, sendo observada, principalmente, no Quartzito Moeda. Caracteriza-se pelo alinhamento de minerais micáceos, anfibólios, cianita e *ribbons* de quartzo. Na região da SAP, esta lineação é raramente descrita e apresenta dois valores mais frequentes: 100\10-30 e SE/NW. Na região da MP, apresenta concentração máxima de 151/21 (Oliveira, 1998), enquanto na SOP ocorre com máximo em 117/09. Chauvet *et al.* (1994) descrevem uma lineação de estiramento mineral com direção “constante”, que ocorre em toda a região do anticlinal, orientada N90-

140 e que se manifesta nas rochas do Supergrupo Minas pela orientação de agregados micáceos.

A lineação de crenulação (Lcre) caracteriza-se pela orientação preferencial das charneiras das microdobras desenvolvidas sobre a foliação  $S_1$ . Desenvolve-se tipicamente em porções e litologias filossilicáticas. A clivagem de crenulação está relacionada à Lcre. Na região da SAP, a Lcre tem orientação com máximo em 10/16 (Siqueira e Fontes, 1996). Em PM, apresenta o valor máximo em 169/20 (Oliveira, 1998). Na região da SOP ocorre com o valor máximo de 195/15 (Naline, 1993).

Foram caracterizadas pelo menos três gerações de dobras na região. A primeira geração ( $F_1$ ) é representada pelo Anticlinal de Mariana com amplitude de dezenas de quilômetros, descrita como uma dobra aberta normal com eixo na direção N40W e caimento para sudeste de 10-20 graus (Naline, 1993). O flanco sul é representado pela SOP e flanco nordeste pela SAP. A segunda geração de dobras ( $F_2$ ) isoclinais, intrafoliais, podendo ser recumbentes, com eixo paralelo a  $S_1$ , possuem comprimentos de onda que vão de dezenas a centenas de metros, enquadram-se na classe 2 de Ramsay (1987), com adelgaçamento dos flancos e espessamento na charneira (Naline, op cit.). Estas dobras foram descritas em toda a região. A terceira geração ( $F_3$ ) possui eixos de direção NS, com escala microscópica, mesoscópica e megascópica e comprimentos de onda que variam de milímetros a dezenas de metros.

Já os veios que ocorrem na região estão associados a planos de cisalhamento, fraturas, *foliation boudinage* e dobras generalizadas (Naline, 1993). Nos estudos realizados, os autores tentaram agrupar estes veios em famílias de acordo com a composição, forma e orientação. Na região da SAP, foram descritos por Mendes e Passos (1996) veios concordantes com a foliação  $S_1$ , compostos por quartzo, dolomita e sulfetos, granada e turmalina; assim como veios verticais orientados na direção NE, encaixados nos mármores da Formação Gandarela. Já, Siqueira e Fontes (1996) descrevem veios preenchendo fraturas trativas de direções preferenciais NE, EW e NS, discordantes da foliação  $S_1$ . Na MP, os veios são verticais a subverticais constituídos praticamente por quartzo e tem orientação 340/65; veios boudinados compostos por quartzo, carbonato, turmalina, sulfeto e ouro, com atitude média 125/35; e veios constituindo corpos irregulares, que podem atingir até 30 metros de comprimento e espessura até 7 metros, exibem feições de fraturamento hidráulico, incorporando fragmentos

das encaixantes que guardam paralelismo com a posição ocupada originalmente. Na região da SOP, há uma série de famílias de veios: veios paralelos à foliação principal, verticais NS, geralmente relacionados à *boudinage* e perpendiculares à lineação mineral, compostos por quartzo, mica, cianita e turmalina, além de veios sub-verticais EW.

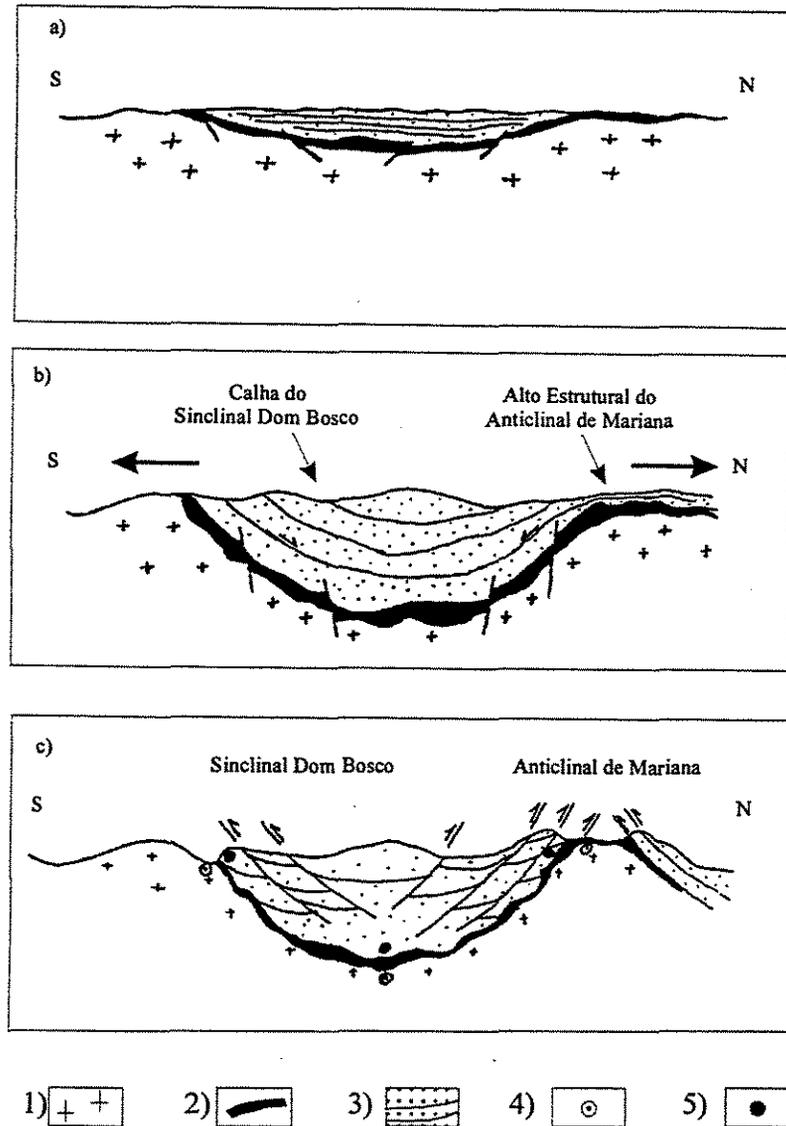
### ***Evolução Estrutural***

Dorr (1969) sugere que o anticlinal formou-se pela extensão sudeste das rochas graníticas pré-Minas do complexo Bação, que por constituir alto estrutural, condicionaram a geometria da estrutura em domo.

Fleisher & Routhier (1973) apresentam um modelo com duas fases de dobramento. O primeiro de SW para NE e o segundo de SE para NW. Já Chemale Jr. *et al.* (1994), também consideraram a sobreposição de dois eventos. O primeiro responsável pela nucleação de mega sinclinais entre blocos do embasamento durante tectônica extensional e posteriormente, o desenvolvimento de um cinturão de dobramentos e cavalgamento como resultado de uma tectônica compressiva.

A evolução estrutural do Anticlinal de Mariana está claramente relacionada a uma deformação polifásica envolvendo componentes tanto extensionais quanto compressionais. O modelo apresentado por Naline (1993) baseia-se em dois grandes eventos tectônicos: um de natureza extensional e outro compressional, considerando as condições de contorno decorrentes da presença de um embasamento já compartimentado na região (Figura 2.4). Segundo este modelo, o evento extensional ocorreu a partir do arqueamento das seqüências metassedimentares moldadas pelo soergimento do embasamento da região devido a um evento extensional fortemente vinculado a uma tectônica do tipo “*metamorphic core complex*” (Chemale *et al.*, 1994). É caracterizado pela foliação principal ( $S_1$ ) paralela ao acamamento primário ( $S_0$ ) que teria sua gênese relacionada ao evento extensional e dobras  $F_1$ , parasíticas da estrutura antiformal com eixos NW-SE e geneticamente decorrentes do evento distensivo, através do deslizamento e por falhamento normal. Este evento extensional é cronologicamente correlacionado ao ciclo Tranzamazônico. Já o evento de natureza compressiva associa-se a um vetor transporte tectônico na direção E-W e foi dividido em três fases. A primeira, de natureza compressiva, com esforços de alta magnitude, inicialmente dúctil e progressivamente rúptil - dúctil, foi responsável pela geração da foliação principal ( $S_1$ ), lineação de estiramento e dobras  $F_1$ . A segunda fase, com deformação de magnitude menor, de natureza dúctil rúptil, deu

a dobras  $F_2$ , lineação de interseção ou crenulação  $L_2$ , clivagem espaçada  $S_2$  e falhas direcionais e de alto ângulo. Uma terceira fase dúctil-rúptil gerou dobras e microdobras  $F_3$  com eixos NS, clivagem plano axial ou de crenulação e falhas direcionais conjugadas.



**Figura 2.4** - Esquema da evolução da região do Anticlinal de Mariana e Sinclinal Dom Bosco a partir de uma compartimentação prévia do embasamento local. a) estágio inicial, no qual o Supergrupo Minas não havia sofrido atuação de eventos deformacionais significativos; b) atuação do evento extensional na região sudeste do QF, com consequente arqueamento das supracrustais; c) atuação do evento compressional com falhamentos de empurrão pelo interior da calha Dom Bosco e contra o obstáculo do Anticlinal de Mariana. 1) complexos metamórficos, 2) Supergrupo Rio das Velhas, 3) Supergrupo Minas, 4) movimento relativo de oeste para leste, 5) movimento relativo de leste para oeste (compilado de Naline, 1993).

## Capítulo 3

### Geologia Local

#### 3.1 - Seqüência Estratigráfica

A seção estratigráfica local foi estabelecida a partir do mapeamento geológico da área (Figuras 3.3 e 3.4) e das minas Chico Rei (MCR), Duas Bocas (MDB) e Scliar (MSC). É formada pelas seguintes unidades, da base para o topo: metapelítica sericítica; quartzítica; metapelítica carbonosa, ferrífera bandada e carbonática dolomítica (Figuras 3.1 e 3.2). Estas unidades foram relacionadas à estratigrafia formal do Quadrilátero Ferrífero, proposta por Dorr (1969) e correspondem, respectivamente, ao Grupo Nova Lima, Formação Moeda, Formação Batatal, Formação Cauê e Formação Gandarela.

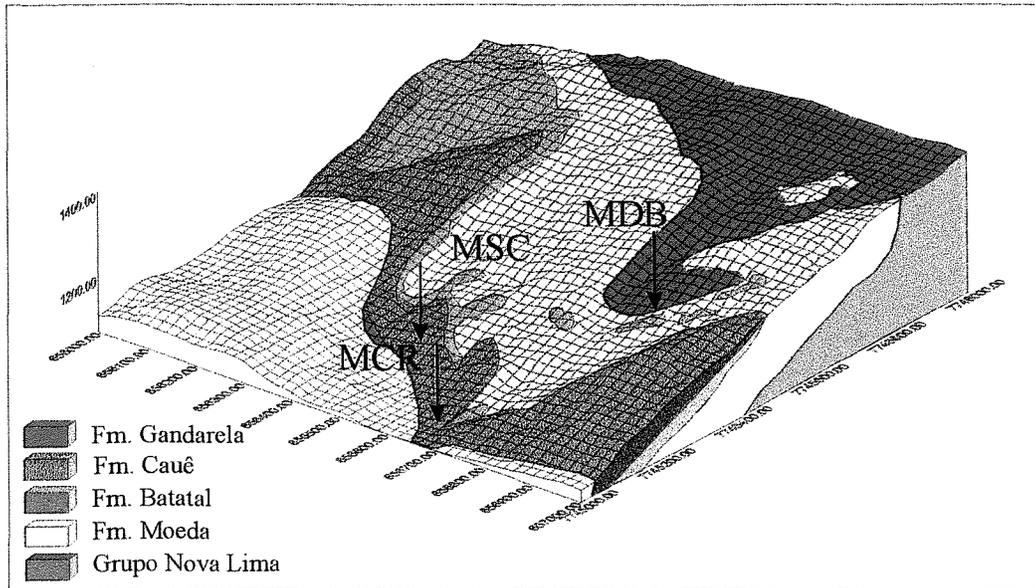
Estas unidades estão distribuídas na forma de camadas contínuas com variações verticais e laterais, inclusive desaparecendo em alguns pontos. Esta variação pode ser relacionada à paleogeografia da bacia (variações faciológicas) ou à estruturação regional, devida aos movimentos tectônicos.

##### 3.1.1 – Grupo Nova Lima (Unidade Córrego Paina)

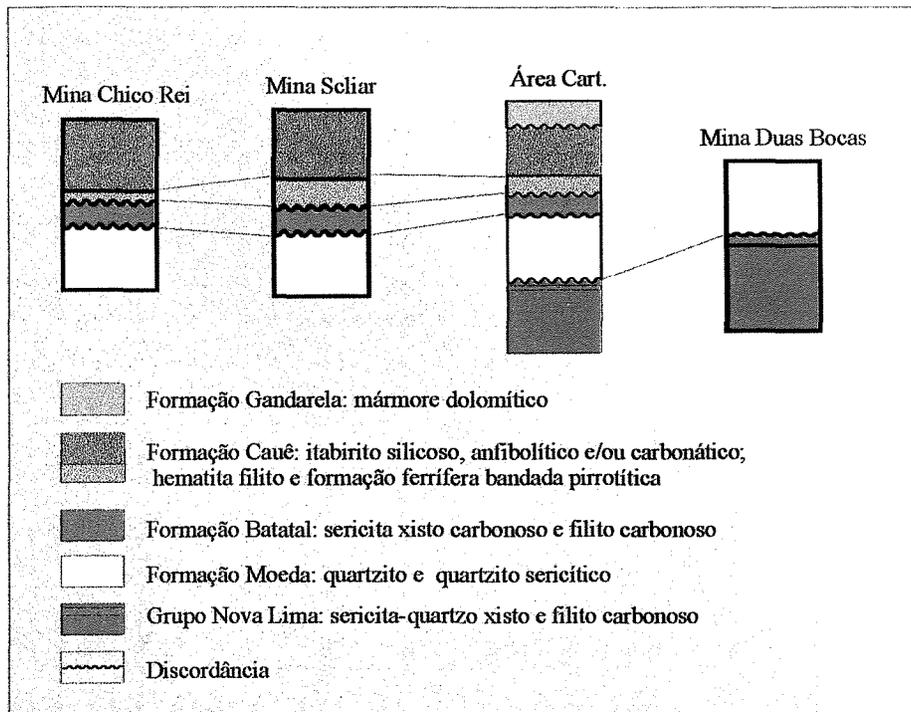
Esta unidade ocorre na porção norte da área, nas partes mais altas da serra e na drenagem das Lages, ocupando 20% da área superficial. Os litotipos dessa unidade encontram-se totalmente intemperizados (Foto 3.1a).

É composta, basicamente, por sericita-quartzo xistos alterados de cor rosa a roxo, formados localmente pela intercalação de camadas milimétricas de sericita e quartzo. Foram encontrados próximo ao topo, um nível de filito carbonoso, de cor cinza escuro a negro, com espessura que atinge 1,2 metros.

O contato inferior não é observável na área. Já o contato superior com o quartzito é altamente tectonizado (Foto 3.1b), inclusive contendo veios de quartzo intensamente deformados (*boudinage*, dobras e fraturas) e foliação com aspecto milonítico. Os veios são de quartzo-turmalina com caulim próximo às porções turmalinizadas.



**Figura 3.1** - Modelo digital de terreno com sobreposição das unidades geológicas, baseado em mapa topográfico de curvas de nível com intervalos de 50 metros. Base da CEMIG: carta topográfica de Ouro Preto, escala 1:2.000. MCR - Mina Chico Rei, MSC – Mina Seliar e MDB – Mina Duas Bocas.



**Figura 3.2** - Correlação lito-estratigráfica entre os empilhamentos levantados na área e nas minas cartografadas.

O sericita-quartzo xisto é composto atualmente por argilas, sericita e localmente quartzo. As argilas são resultantes da alteração supergênica dos minerais constituintes da rocha.

Devido à má qualidade de exposição e do alto grau de alteração intempérica não foi possível confeccionar lâminas de amostras desta unidade. Esta unidade foi descrita na carta geológica de Ouro Preto, por Barbosa (1969), como pertencente ao Grupo Nova Lima, Supergrupo Rio das Velhas e por Zucchetti *et al.* (1996) como Unidade Córrego do Paina, Grupo Nova Lima.

Na Mina Duas Bocas esta unidade constitui a lapa de turmalinitos. Os litotipos estão muito alterados, com porções turmalinizadas próximas a veios de quartzo. O contato superior foi descrito em vários pontos da mina, e apresenta as seguintes variações: contato sericita-quartzo xisto com quartzito; contato sericita-quartzo xisto com turmalinito, filito carbonoso e quartzito.

Ainda na Mina Duas Bocas ocorre uma camada de filito carbonoso próximo ao topo do sericita-quartzo xisto, o qual comporta-se como uma descontinuidade reológica e físico-química. Serviu como pista para acomodação da deformação e injeção de fluidos. Foram observados fragmentos deste filito negro nos veios de quartzo encaixados no quartzito logo acima do filito carbonoso. Estes blocos encontram-se foliados, dobrados e crenulados, mas com a trama discordante das encaixantes.

### **3.1.2 – Grupo Caraça**

#### **Formação Moeda**

Aparece como uma escarpa contínua na forma de homoclinal na porção central da área. Possui espessura de aproximadamente 40m e ocupa 25% da área superficial.

É composta basicamente de quartzitos sericíticos, de granulometria fina a média, com conjuntos deposicionais centimétricos a decimétricos separados por níveis metapelíticos cloríticos a sericíticos (Foto 3.1c). Observou-se também níveis conglomeráticos com seixos de quartzo e quartzito, pouco espessos (centimétricos), com matriz grosseira bimodal. A primeira com seixos de 3-5 cm, bem arredondados e a segunda com seixos de 0.5-1 cm sub-arredondados.

Próximo ao contato inferior a foliação adquire aspecto milonítico (Foto 3.1d) e em alguns locais ocorrem veios de quartzo com turmalinitos associados. Há locais em que o contato entre as duas unidades é discordante, marcado pelas orientações distintas da foliação principal. O contato superior com o filito carbonoso é plano-paralelo e localmente ocorrem veios de quartzo suavemente mais inclinados do que a foliação principal.

Microscopicamente, os quartzitos são compostos por quartzo (90%), mica branca, biotita, turmalina, cianita e pirita (Prancha 3.2). Os quartzitos apresentam textura granoblástica poligonal inequegranular, contendo quartzo com extinção ondulante. Na porção milonítica é comum encontrar textura mortar denotando recristalização dinâmica do quartzo e formação de subgrãos. A biotita, localmente, é o mineral que melhor define a foliação principal, enquanto as micas brancas definem a foliação milonítica. A turmalina ocorre, principalmente na forma de inclusões a partir dos limites dos grãos (Fotos 3.2b,c). A pirita é granoblástica, euédrica a subédrica e ocorre em um nível do quartzito (Foto 3.1e) nos contatos entre os grãos de quartzo.

Esta unidade foi correlacionada à Formação Moeda do Grupo Caraça, descrita por Barbosa (1969) na região do antiforme como sendo composta essencialmente por quartzitos e níveis conglomeráticos subordinados.

Na Mina Duas Bocas os quartzitos sericíticos constituem a capa dos turmalinitos mineralizados, é friável e apresenta níveis pelíticos milimétricos, crenulados, clivados e com *boudinage*. Nas minas Scliar e Chico Rei os quartzitos constituem a lapa da mineralização. O contato inferior não é visto, as galerias terminam próximas ao contato superior, o qual se dá com filito carbonoso sericítico, ocorrendo também lentes de turmalinitos associados a veios de quartzo. Na Mina Chico Rei, ocorre sulfetação com arsenopirita nos quartzitos próximo a veios a quartzo-arsenopirita.

### **Formação Batatal**

Apesar de ser uma camada contínua está quase sempre encoberta pelo itabirito. Ocorre em superfície, principalmente, na porção noroeste da área com espessura máxima de 20m. Na porção leste aparece como ilhas sobre o quartzito com espessura máxima de 10m. Muitas das galerias cadastradas na área foram escavadas nesta unidade. Devido às suas características reológicas e composicionais, essa unidade assume uma grande importância nos processos deformacionais e mineralizantes.

É composta por filitos carbonosos sericíticos de coloração negro a cinza (Foto 3.3a), sendo que em direção ao topo diminui a quantidade de quartzo, tornando-se o filito essencialmente sericítico. Em outros locais aparecem com níveis argilosos brancos oriundos da alteração intempérica, mas que podem representar o acamamento primário. Próximo aos contatos, inferior e superior, e aos veios de quartzo, estão intensamente turmalinizados.

O contato basal com os quartzitos é plano paralelo e preenchido localmente por veios formando camadas, que por vezes truncam a foliação principal (Foto 3.3b). Já o contato superior com os itabiritos também é plano paralelo e, localmente, ocorrem veios de quartzo com blocos de turmalinitos e, ainda uma lente camada de uma formação pirrotítica bandada, alterada supergenicamente a goetita-limonita.

O filito negro aparece, microscopicamente, com grandes quantidades de material carbonoso amorfo, formando estratos entre os quais ocorrem turmalina, quartzo e mica branca (Fotos 3.4a e 3.4b). As micas brancas ocorrem orientadas formando os planos da foliação principal ( $S_n$ ). As turmalinas são granoblásticas anédricas, localmente apresentam zoneamento de cor e ocorrem como camadas entre os estratos carbonosos. Observa-se, em luz refletida, a presença de pequenos grãos de rutilo e mais raramente pirita disseminados na matriz da rocha.

Esta unidade é correlacionada à Formação Batatal do Grupo Caraça, descrita na região do antifome por Barbosa (1969) como composta por filitos carbonosos, e corresponde a um dos níveis estratigráficos mineralizados da área.

Na Mina Scliar, as porções turmalinizadas situam-se próximo aos contatos e estão sempre relacionadas aos veios de quartzo. Sua espessura pode atingir até 5 metros. Na Mina Chico Rei, os filitos carbonosos estão foliados, dobrados, crenulados e rompidos nas porções mineralizadas, de tal forma que não se tem mais o controle da trama da foliação principal. É onde ocorre com mais intensidade a turmalinização dessa unidade.

### **3.1.3 – Grupo Itabira**

#### **Formação Cauê**

Esta unidade ocorre numa faixa SE-NW e forma escarpas verticais com grandes blocos em forma de “ponta de lança” voltada para montante, como no Antônio Dias. Possui espessura de 20m e ocupa 20% da área superficial. As minas Chico Rei e Scliar foram escavadas nesta

unidade. Na borda oeste o Morro da Queimada está coberta por canga de onde explorou-se principalmente o ouro laterítico.

Dentro desta unidade foram distinguidos diversos litotipos: itabiritos silicosos típicos, formados por bandas de sílica intercaladas com bandas de hematita (Foto 3.3c); itabiritos ocre compostos por bandas de material argiloso ocre (de alteração intempérica) intercaladas com bandas ferruginosas limoníticas (Foto 3.3d) e formações ferríferas carbonáticas alteradas. Localmente ocorrem níveis de anfibólio com poucos centímetros de espessura, que junto a veios de quartzo imprimem lineações minerais. Foi descrita ainda uma lente camada de xistos marrons, totalmente intemperizados, com espessura de 1,35 metros.

Observa-se ao microscópio que os itabiritos são compostos por quartzo, hematita, magnetita, mica branca, turmalina e granada na forma de inclusões no quartzo (Fotos 3.4c e 3.4d). Os minerais essenciais formam camadas com predominância de quartzo, hematita e quartzo, e camadas de hematita, quartzo e mica branca. A hematita ocorre na forma de palhetas orientadas segundo o plano da foliação principal e formou-se a partir da magnetita pelo processo de substituição, conhecido como martitização (Foto 3.4d). O quartzo é poligonal, apresenta extinção ondulante e contém inclusões de rutilo e granada. A mica branca está orientada, acompanhando a foliação principal. Como acessórios ocorrem rutilo, turmalina e granada.

Esta unidade é correlacionada à Formação Cauê do Grupo Itabira, sendo descrita por Barbosa (1969) na região do antiforame como composta por itabirito, itabirito filítico e dolomíticos.

Na Mina Scliar esta unidade é composta pelos seguintes litotipos, da base para o topo:

- xistos alterados de cor marrom, com bandamento composicional paralelo à foliação principal, e espessura máxima de 1 metro. Após compararmos com as unidades descritas para a região do Anticlinal de Mariana, chegamos ao consenso que essa unidade deve ter sido carbonática, agora alterada, restando apenas um material que comumente recebe a denominação de “borra de café”;

- formação pirrotítica bandada, composta por camadas de quartzo sacaróide intercaladas a níveis ferruginosos oxidados apresentando *boudinage*. Nestes níveis foram encontrados relíctos de sulfetos, em meio à massa oxidada. Os sulfetos são principalmente

pirrotita e secundariamente arsenopirita e pirita. Próximo à base dessa seqüência ocorrem corpos de turmalinitos brechados associados a veios;

- itabiritos silicosos intercalados com porções argilosas intensamente deformadas. O contato é quase imperceptível devido ao elevado grau de alteração intempérica da rocha, mas nota-se com facilidade a mudança de litologia, devido à mudança de cor e textura.

### **Formação Gandarela**

Ocorre em apenas um local na área, na drenagem do Córrego Sobreiro, próximo ao Bairro Antônio Dias com espessura de, aproximadamente, 10 m.

Esta unidade é composta por mármore dolomíticos de cor bege-clara, com bandamento metamórfico escuro, intensamente deformado, apresentando geometria de *boudins* (Fotos 3.3e e 3.3f).

O contato basal com itabiritos é plano paralelo e localmente ocorrem veios de quartzo que estão dobrados e com *boudinage*. Já o contato superior está encoberto.

Ao microscópio, os mármore são compostos essencialmente por dolomita com foliação metamórfica dada por mica branca e pirita (Foto 3.4e).

Esta unidade não foi descrita em nenhuma das minas. É correlacionada à Formação Gandarela do Grupo Itabira, que segundo Barbosa (1969) seria composta por dolomitos, calcários manganésíferos e itabiritos dolomíticos com filitos e quartzitos.

#### **3.1.4 - Canga**

Ocorre principalmente sobre o itabiritos, mas também sobre o quartzitos. Formada por uma crosta ferruginosa estruturada sobre os itabiritos e com textura fragmentária sobre o quartzitos.

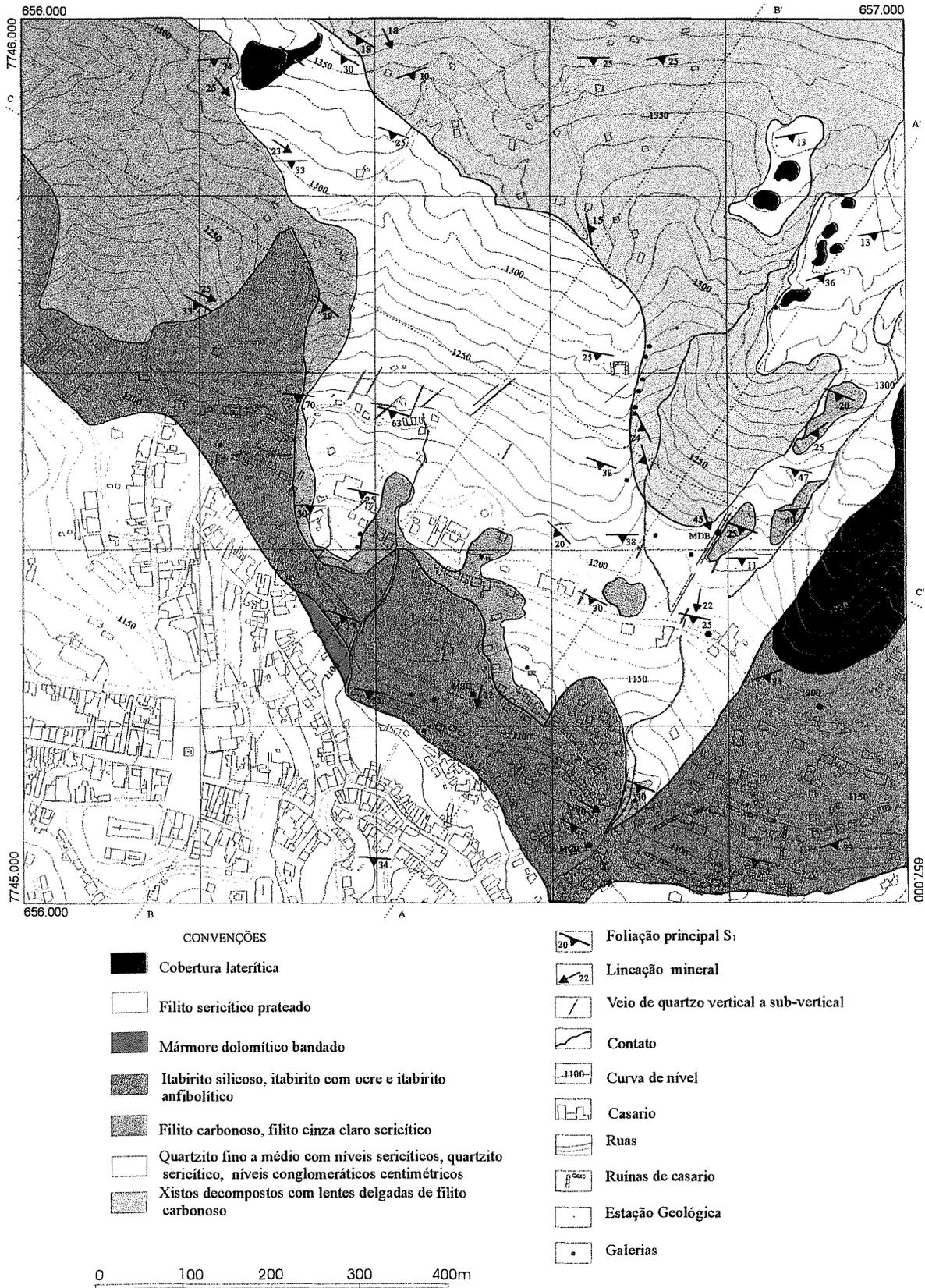


Figura 3.3 - Mapa geológico da região de Lages-Antônio Dias, com localização da área urbana. Levantamento realizado por J.A.D. Cavalcanti. Base topográfica, escala 1:2.000. CEMIG.

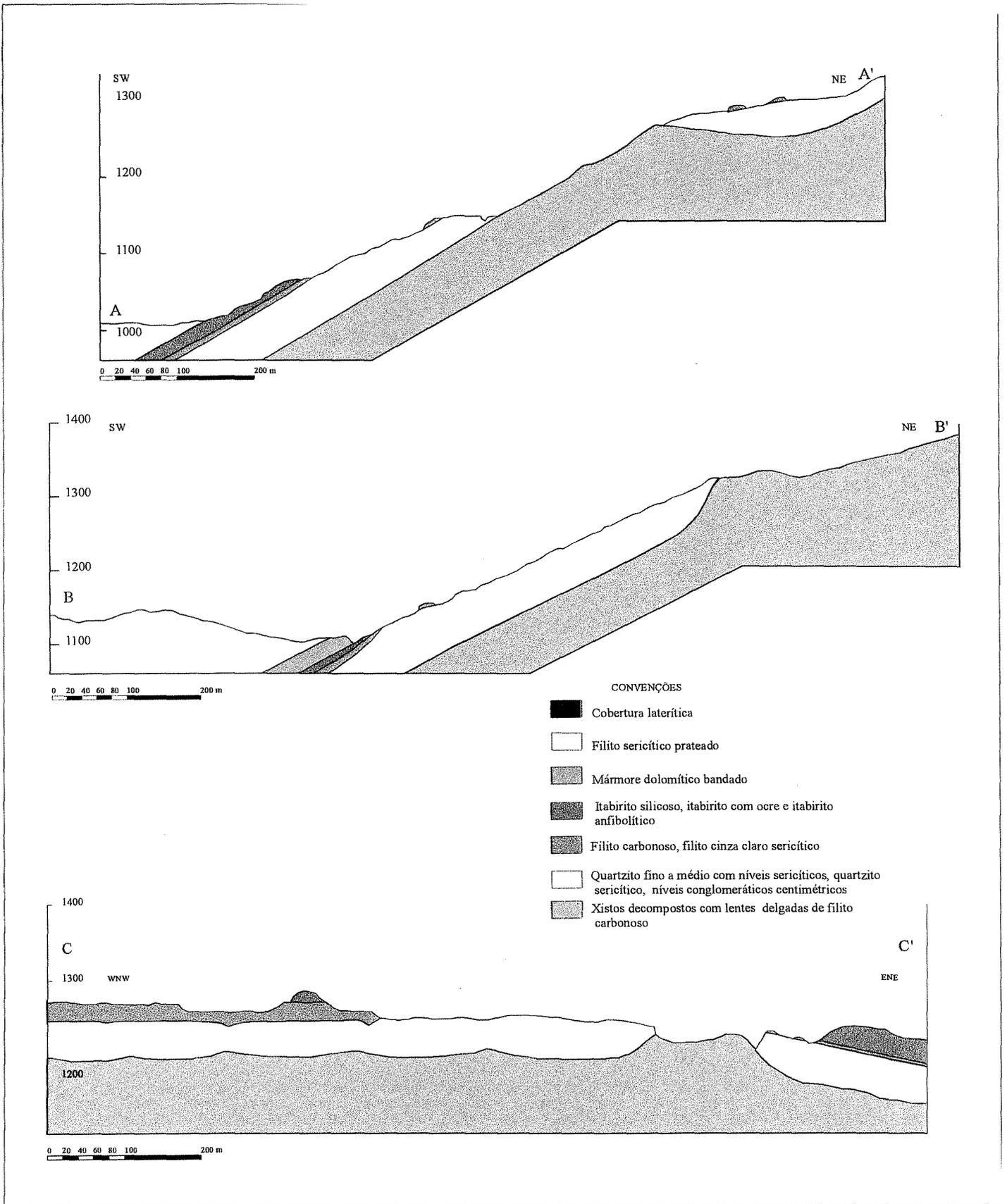


Figura 3.4 - Perfis geológicos da região de Lages-Antônio Dias.

## **3.2 - Análise Estrutural**

### **3.2.1 – Descrição das Estruturas**

#### **Acamamento (So)**

O acamamento localmente pode ser observado no Quartzito Moeda e no Itabirito Cauê, a despeito da transposição de estruturas causada pela deformação, que é heterogênea. Nos quartzitos, a superfície So está preservada em leitos metapelíticos que separam conjuntos deposicionais, em níveis conglomeráticos centimétricos (Foto 3.5a) e em blocos de quartzito imersos em massas de quartzo de veios. Nos blocos de rocha imersos nos veios de quartzo ocorre turmalinização nos planos de estratificações cruzadas. Já nos itabiritos a superfície So é demarcada pela alternância de camadas ricas em quartzo e hematita. Em geral, o acamamento é praticamente paralelo à foliação principal ( $S_n$ ), a exceção de blocos de rochas imersos em veios de quartzo que estão rotacionados.

#### **Foliação Principal ( $S_n$ )**

É a estrutura de maior penetratividade nas unidades estudadas e está quase sempre dobrada, crenulada, clivada, cisalhada e falhada. É a estrutura que determina a geometria do flanco sul da Serra de Ouro Preto, com caimento geral para sul, assumindo posições tanto para SSE quanto para SSW (Figura 3.5a).

Nas rochas do Grupo Nova Lima a  $S_n$  varia muito, podendo ocupar posições desde 185/34 até posições inversas (80/15) e verticais de 195/90 (Figura 3.5b). A foliação está crenulada em duas direções praticamente perpendiculares entre si, uma paralela à direção da camada e outra paralela ao mergulho.

No Quartzito Moeda nota-se que  $S_n$  é uma superfície curva em forma de leque, com trama variando desde 165/40, passando por 180/31, até alcançar 230/50 (Figura 3.5c). Na base do quartzito, próximo ao contato com os xistos do Grupo Nova Lima, a foliação evolui para uma foliação milonítica, composta por minerais filossilicáticos (Foto 3.2f).

No Filito Batatal a foliação está dobrada, crenulada e rompida e, por isso, possui uma trama variada, mas ainda sim a atitude geral da  $S_n$  permanece em torno de 180/31 (Figura 3.5d).

No Itabirito Cauê, a foliação  $S_n$  é bem marcada e paralela ao bandamento composicional. Apresenta uma ampla variação devido aos dobramentos (Foto 3.5c) e falhamentos, mas também possui trama geral que coincide com o restante das litologias presentes na Serra de Ouro Preto (Figura 3.5e).

No Mármore Gandarela, a foliação  $S_n$  é paralela ao bandamento composicional embora encontre-se com *boudinage*, acompanha a trama geral da área (Fotos 3.3e,f).

Próximo aos contatos litológicos a foliação assume caráter milonítico. Nos xistos do Grupo Nova Lima é mais marcante devido à segregação de quartzo entre os leitos metapelíticos. Já nos quartzitos é visualizada nos leitos sinuosos de mica branca que contornam agregados de quartzo (Fotos 3.2d,e).

Na Mina Duas Bocas, a foliação  $S_n$  é materializada pela orientação de filossilicatos nos sericita-quartzo xistos do Grupo Nova Lima e no Quartzito Moeda. Aparece bastante distorcida devido à deformação posterior que afetou estas duas unidades.

Na Mina Scliar, a foliação  $S_n$  possui direção geral 190/30. Na formação pirrotítica bandada é paralela ao bandamento e está constantemente com *boudinage* e veios associados.

Na Mina Chico Rei, a foliação  $S_n$  tem um comportamento pouco homogêneo, possui a maior concentração em 242/40 e uma segunda em 178/30. No Quartzito Moeda muitas vezes está rompida devido a falhamentos normais. Nas porções não mineralizadas do Filito Batatal é constante e concentra-se em torno de 178/55.

### **Lineação Mineral ( $L_m$ )**

É materializada por cristais de quartzo, mica branca, clorita e anfibólio (Figura 3.5i). Foi observada nos sericita-quartzo xistos do Grupo Nova Lima, no Quartzito Moeda e no Itabirito Cauê. Nos sericita-quartzo xistos a  $L_m$  é vista nos níveis silicosos, marcada pelo alinhamento de cristais de quartzo com trama 154/18. Nos quartzitos foi medida na sericita e no quartzo com trama 140/30, 150/subhorizontal (Foto 3.1b) e 180/30. Na formação pirrotítica bandada a  $L_m$  aparece sobre o plano da foliação C (“zona de cisalhamento”) e é perpendicular aos eixos geométricos “b” de dobras similares (Ramsay & Huber, 1987) com orientação 180/30.

Na Mina Duas Bocas a  $L_m$  é observada somente nos quartzitos, sob a forma de grãos de quartzo e filossilicatos alinhados. Neste local, possui direção constante 160/25 e desenvolveu-se sobre o plano da foliação principal ( $S_n$ ), sendo oblíqua à mesma. É observada raramente.

Na Mina Scliar a lineação mineral é observada nos *rods* de veios de quartzo e anfibólio com orientação 116/32 e em zonas de cisalhamento no interior da formação ferrífera pirrotítica com trama 180\25-30.

### **Lineação de Crenulação ( $L_{cre}$ )**

Dentre as estruturas lineares, a lineação de crenulação é a mais proeminente da área. Possui orientação praticamente constante e desenvolve-se em litologias e níveis com predominância de minerais filossilicáticos em quase todas as litologias (Figura 3.5f). A  $L_{cre}$  aparece nos xistos do Grupo Nova Lima e no Filito Batatal com duas orientações: uma praticamente paralela à direção da camada e outra paralela à direção do mergulho (Figura 3.5h). Nos níveis metapelíticos do Quartzito Moeda favorece o desenvolvimento de uma clivagem de crenulação plano axial sub-vertical, materializada nos níveis milimétricos a centimétricos de clorita e sericita.

Na Mina Duas Bocas, a  $L_{cre}$  desenvolve-se, sobre os planos da foliação principal ( $S_n$ ), nos leitos filossilicáticos do sericita-quartzo xisto, dos quartzitos e dos filitos carbonosos. Nestas litologias a  $L_{cre}$  aparece com trama praticamente paralela ao caimento da foliação  $S_1$  (ver estereogramas). Como a foliação  $S_n$  encontra-se geralmente arqueada, a  $L_{cre}$  pode aparecer oblíqua em relação à essa foliação. A clivagem de crenulação é observada, principalmente nos leitos filossilicáticos milimétricos que ocorrem nos quartzitos, coincidente com a charneira das microdobras, só que o plano resultante da clivagem é vertical a sub-vertical.

Na Mina Scliar a lineação de crenulação possui orientação na direção do mergulho da foliação  $S_1$  e foi descrita essencialmente nos filitos carbonosos, onde também ocorre, de forma discreta, uma segunda lineação de crenulação praticamente paralela à direção da foliação  $S_1$ .

### ***Boudinage***

A *boudinage* é outra estrutura marcante na área estudada. No Quartzito Moeda ocorre *boudinage* incipiente da foliação principal. O Filito Batatal também apresenta *boudinage* da

foliação principal. No Itabirito Cauê, a *boudinage* foi observada nos níveis silicosos e argilosos. No Mármore Gandarela também é marcante o efeito da *boudinage*, com veios irregulares encaixados no *neck* dos *boudins*.

Nos contatos entre camadas é muito comum a *boudinage* assimétrica, neste caso, principalmente relacionada aos veios, com alongamento nas direções N-S e SE-NW.

Na Mina Duas Bocas a foliação principal se rompe, devido à *boudinage*, dando origem a veios e falhas normais de alto ângulo. Na Mina Scliar, a *boudinage* afeta os veios e os níveis ferruginosos, encaixados na formação pirrotítica bandada.

### **Dobras**

A área mapeada constitui uma porção do flanco sul do Anticlinal de Mariana e, ao mesmo tempo, flanco norte do Sinclinal Dom Bosco. Constitui a dobra de maior expressão na região, descrita por Naline (1993) como uma dobra aberta normal com eixo caindo suavemente para sudeste. Fisiograficamente, a aba sul do anticlinal é representada pela Serra de Ouro Preto.

As dobras mesoscópicas estão associadas principalmente à Formação Cauê e possuem diversos estilos: dobras similares com eixo numa direção constante, paralela à lineação mineral; dobras intrafoliais, onde a superfície dobrada é o acamamento, dobras de arrasto (*drag folds*) e dobras em bainha (*shear folds*).

No Quartzito Moeda as dobras são descritas como *scar folds* e são resultantes da *boudinage* da foliação  $S_n$ . Possuem forma complexa mas assumem geometria, aproximadamente, cônica. São de difícil análise, pois o mecanismo que gerou a *boudinage* pode não ser co-axial.

### **Falhas normais**

Foram descritas localmente e estão relacionadas ao rompimento de camadas quartzíticas. Os planos de deslizamento são sinuosos, na forma de rampas e patamares, respectivamente de baixo e alto ângulo e possuem direções principais  $90^\circ$  e  $230^\circ$  (Foto 3.5e). Na maioria das vezes que aparecem estão relacionadas a uma zona de cisalhamento normal.

## **Veios**

Os veios descritos na área são formados quase que exclusivamente por quartzo, seguido de turmalina e arsenopirita. Quanto ao posicionamento estratigráfico, estão distribuídos em todas as unidades lito-estratigráficas estudadas, posicionados concordante, sub-concordante ou discordantemente. Há veios deformados (fraturados, foliados, dobrados, cisalhados e com *boudinage*) e não deformados.

Os **veios concordantes** associam-se, principalmente, aos contatos entre as unidades litoestratigráficas. No contato entre os sericita-quartzo xistos do Grupo Nova Lima com o Quartzito Moeda sofreram intensa *boudinage* em pelo menos duas direções (N-S e NW-SE) e possuem “apófises” verticais encaixadas no quartzito contendo turmalinito associado. Já no contato entre o Quartzito Moeda e o Filito Batatal formam uma camada de espessura quase constante e apresentam feições de brechas angulares, com blocos de turmalinito e filito carbonoso no seu interior. Já no contato entre o Filito Batatal e o Itabirito Cauê os veios apresentam-se brechados com padrão fitado, formados por quartzo e fragmentos de turmalinito.

Os **veios discordantes** são principalmente verticais a sub-verticais e ocorrem em todas as litologias, podendo inclusive atravessar mais de uma das litologias. Podem ser individualizados em pelo menos três famílias, com respectivos azimutes: 190°, 220° e 240° (Figura 3.6a). Muitos desses veios estão intensamente fraturados (Figura 3.6b) e nitidamente relacionados a fraturas de tensão, principalmente, os que ocorrem no Quartzito Moeda (Fotos 3.5c,d,e).

Na Mina Scliar, os veios ocorrem de forma diferente em cada litologia. No interior do pacote de filito carbonoso ocorrem veios concordantes e veios secantes com orientação em torno de 240/vertical, contendo turmalina e arsenopirita. Na formação pirrotítica bandada, os veios são sub-concordantes e encontram-se geralmente com *boudinage*, enquanto na sua base ocorrem níveis turmaliníticos brechados. No itabirito os veios são de espessura centimétrica em geral concordantes e mostram evidências de *boudinage*.

Na Mina Chico Rei, os veios adquirem proporções de dezenas de metros de extensão, com orientação 240/vertical. No horizonte do Filito Batatal, próximo ao contato com o Quartzito Moeda, ocorrem veios com brechas de turmalinito em meio a uma massa de quartzo de veio. Neste horizonte observa-se ainda grandes veios secantes ricos em arsenopirita, que

cortam os quartzitos e os filitos carbonosos. Há outros veios que interceptam o Itabirito Cauê, com a mesma direção, e que encontram-se envelopados por pirita e calcopirita maciças.

#### **Veios de quartzo-turmalinito associados ao contato entre o SGRV e SGM**

Estes veios são formados principalmente por quartzo e turmalina. O turmalinito ocorre associado ao contato veio/rocha e como buchos de turmalinitos no interior das massas de quartzo. Já o quartzo apresenta extinção ondulante e está constantemente fraturado segundo pelo menos dois planos. Como acessórios ocorrem rutilo, pirita e ouro. O grão de ouro observado possui diâmetro de 0,05 mm e está livre em meio à massa de turmalina.

Estes veios apesar de estarem encaixados no contato, possuem apófises verticais que invadem os quartzitos. Sua espessura chega a atingir 1 metro, no contato. Em geral tais veios estão intensamente clivados.

#### **Veios de quartzo-turmalinito secantes, encaixados no Quartzito Moeda**

A Mina Duas Bocas foi escavada acompanhando um veio por mais de 50 metros de comprimento e larguras variando de 2 a 6 metros. O veio tem direção 220°/vertical a sub-vertical, com caimento (*plunge*) para SSW e está intensamente fraturado em pelo menos quatro planos distintos.

O veio é formado predominantemente por uma massa de quartzo, com turmalinito na forma de buchos ou envelopando o veio. Os turmalinitos que envelopam o veio apresentam granulometria mais fina (<0.2mm). Nos casos onde os turmalinitos ocorrem envolvidos pela massa de quartzo (“bucho”), a granulometria da turmalina é significativamente superior (1,7mm). O envelope de turmalinitos possui dimensões milimétricas a métricas e os buchos dimensões centimétricas a métricas.

Apesar do veio estar encaixado nos quartzitos, pode interceptar localmente a camada de filitos sobrejacentes. O corpo principal do veio pode ser considerado como *ore shoot* da mina e possui apófises que penetram nos níveis metapelíticos dos quartzitos, gerando ramificações que podem chegar a englobar blocos dos quartzitos. Os blocos de quartzitos imersos na massa de quartzo, guardam estruturas primárias (por exemplo: estratificação cruzada), porém rotacionadas.

### **Veios de quartzo concordantes ao contato entre o Quartzito Moeda e o Filito Batatal**

São veios-camada brechados, formados por uma massa de quartzo que engloba blocos de turmalinitos e filitos carbonosos. Sua espessura chega a atingir 1,5 metros. Uma grande quantidade de turmalinitos ocorre associado ao topo destes veios.

### **Veios a quartzo-turmalinito secantes, encaixados no Filito Batatal**

São veios praticamente verticais, com direção  $220^{\circ}$ , intensamente clivados, com turmalinização nas bordas e pequenos buchos de turmalinito no seu interior. São formados quase que exclusivamente por quartzo, tendo como acessórios rutilo e pirita.

### **Veios a quartzo-sulfeto-turmalinito secantes, encaixados no Filito Batatal**

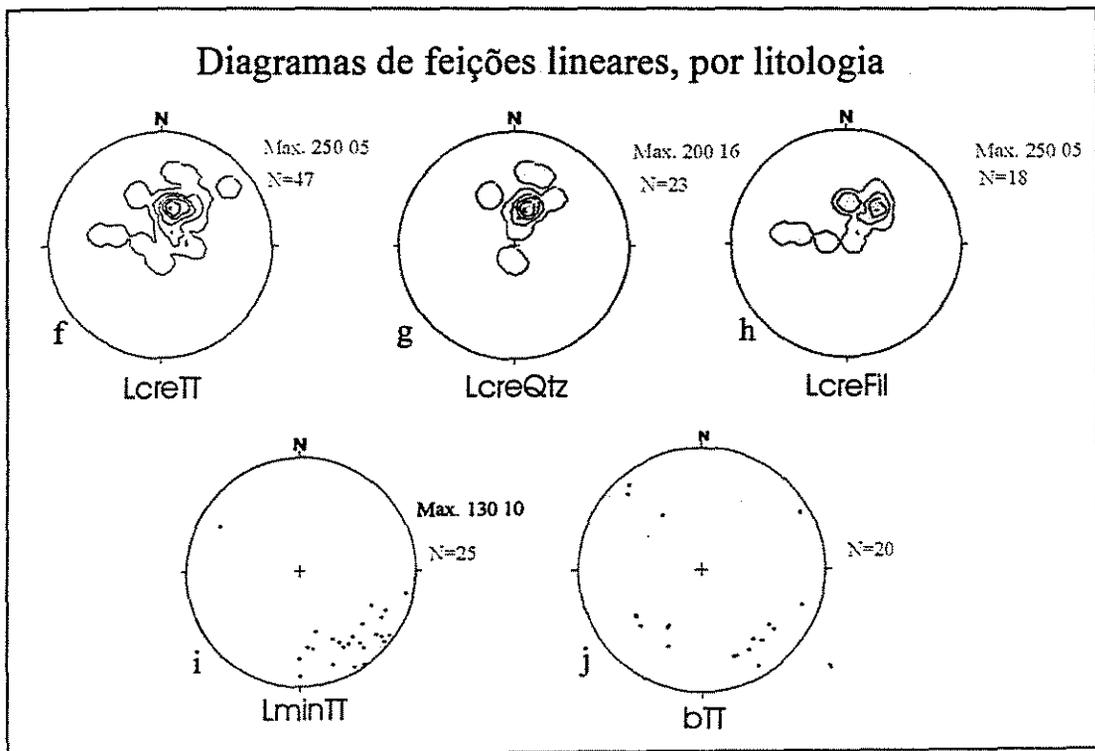
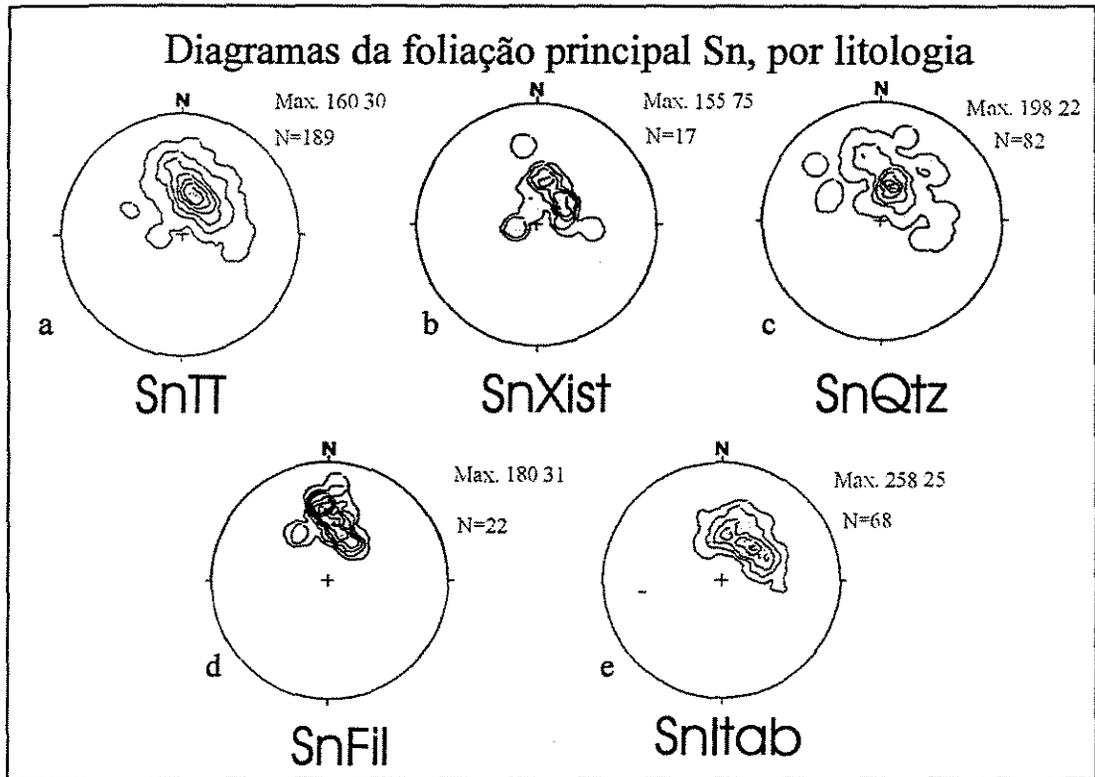
Estes veios são semelhantes aos descritos anteriormente, só que por possuir arsenopirita estão mineralizados em Au. Possuem direção  $220^{\circ}$ , são verticais e interceptam a camada de filito carbonoso. Possuem espessura de poucos metros, mas atingem comprimentos de dezenas de metros. Apresentam caimento para sul e são marcados por uma foliação incipiente. Nestes veios a arsenopirita ocorre como buchos maciços de sulfetos, contendo subordinadamente turmalina, quartzo e rutilo. As porções de quartzo possuem aparência leitosa e encontram-se intensamente clivadas.

### **Veios de quartzo, encaixados na formação pirrotítica bandada da Formação Cauê**

São veios de tensão associados a uma zona de cisalhamento. Sua inclinação está entre a das foliações S e C, mas evidenciam o movimento normal da zona de cisalhamento para SE. São formados por quartzo e algum sulfeto (atualmente oxidado). À estes veios é comum associar-se níveis de turmalinitos formando bandas, o que resulta em um padrão fitado.

### **Veios a quartzo-sulfetos encaixados no Itabirito Cauê**

São veios de quartzo verticais, intensamente clivados, com uma auréola de sulfetos (hoje oxidados) contendo muita pirita com inclusões de calcopirita e turmalina. Devido ao alto grau de oxidação na zona de contato do veio com a rocha tornou-se difícil identificar feições características. Em um ponto foi possível observar uma camada filossilicática agora foliada na borda do veio. Estes veios encontram-se rotacionados em relação à posição original.



**Figura 3.5** - Estereogramas das principais estruturas deformacionais descritas na área. Sn (foliação principal), Lcre (lineação de crenulação), Lmin (lineação mineral), b (eixo de dobra), TT (medidas totais da área), Qtz (quartzito), Xist (sericita-quartzo xisto), Fil (filito carbonoso) e Itab (itabirito).

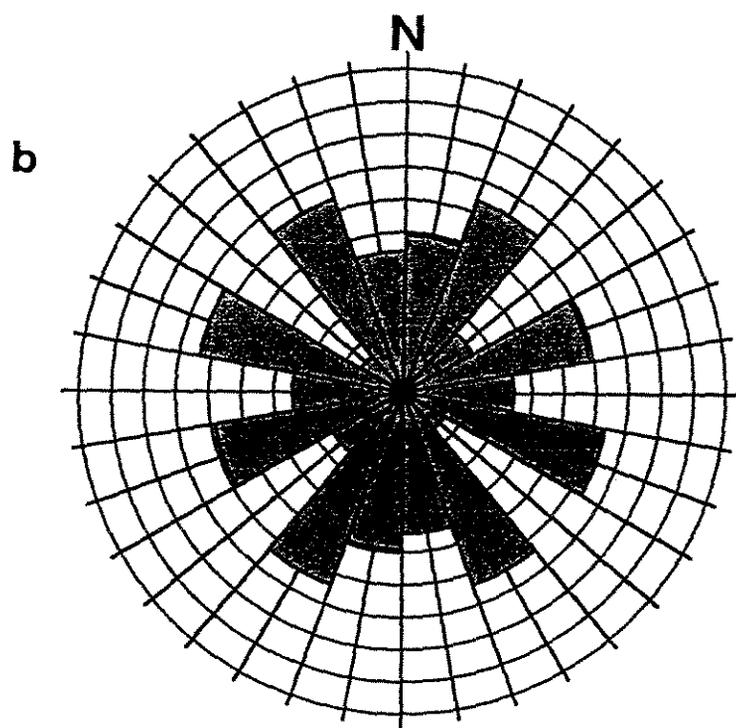
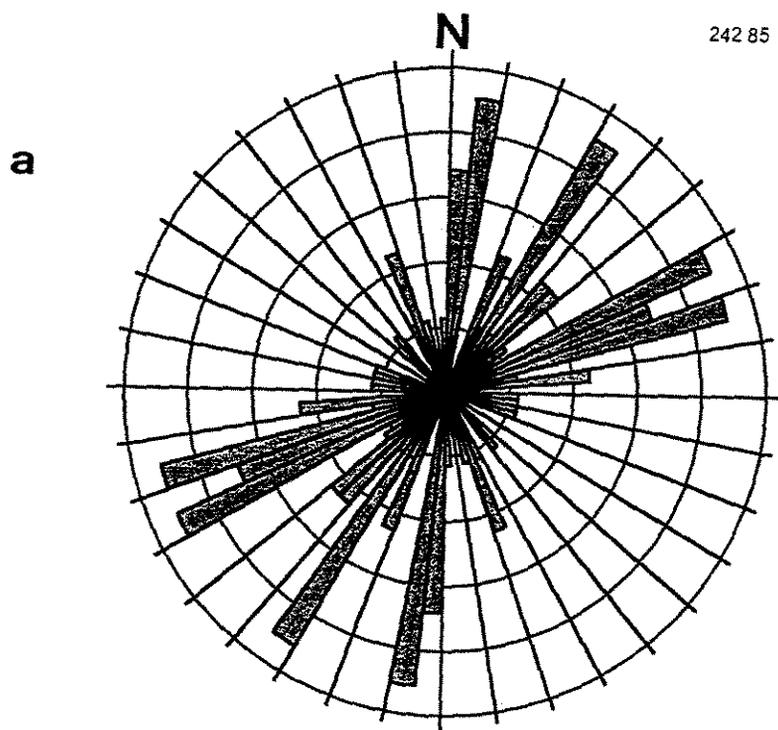


Figura 3.6 - Rosetas bi-polares: em a) direções dos veios e b) direção dos planos de fraturas destes veios.

### **3.2.2 - Evolução Estrutural**

Em trabalhos anteriores, a Serra de Ouro Preto foi descrita como rampa lateral com movimento sinistral por Naline (1993). Entretanto, nos estudos de detalhe percebe-se que trata-se de uma simplificação, o que ocorre é um complexo conjunto de estruturas mais antigas as quais em parte foram sobrepostas pelo conjunto descrito por Naline (op. cit).

Através de análise descritiva e cinemática foram individualizados grupos de estruturas geradas em quatro fases distintas. As fases são marcadas por famílias de estruturas que podem ter sido geradas em função de um campo de tensão aplicado sobre as rochas em um intervalo de tempo e correlacionadas com base em critérios de homogeneidade geométrica e cinemática das estruturas. Estas fases têm caráter local, mas também podem conter um significado regional, baseado no conceito de penetratividade de estruturas.

#### **Estruturas relacionadas à 1ª fase**

As estruturas atribuídas à primeira geração são de natureza rúptil e são representadas por fraturas hidráulicas verticais extensionais e fraturas hidráulicas conjugadas relacionadas ao cisalhamento. Estas estruturas são relacionadas ao processo de afundamento da bacia que pode ser o resultado de uma tectônica extensional ou de movimentos epirogenéticos.

O fraturamento hidráulico vertical resultou na formação de um sistema de veios verticais com direção média  $230^\circ$ , em forma de “pinheiro”, compostos por quartzo, sulfetos e turmalinitos, aos quais associam-se grande quantidade de brechas das encaixantes e de turmalinito. Este tipo de fraturamento vertical deve ter ocorrido em porções da crosta pouco profundas, dada sua natureza rúptil.

O fraturamento hidráulico conjugado gerou veios bandados que são o resultado de deformação incremental. Estes veios são compostos por bandas intercaladas de sílica e arsenopirita e possuem direção média  $230^\circ$ . Associam-se às rampas de falhamentos normais resultantes de cisalhamento que possuem uma geometria em rede anastomosada. O fraturamento conjugado ocorre em porções pouco mais profundas da crosta, onde o cisalhamento é dúctil-rúptil.

### **Estruturas relacionadas à 2ª fase**

As estruturas de segunda geração são de natureza extensional e são representadas por zonas de cisalhamento normais, falhas normais, *boudinage* e lineação mineral (145/subhorizontal).

As zonas de cisalhamento são discretas e foram identificadas em quartzitos da Formação Moeda. A estas zonas associam-se a lineação mineral de atitude média 140/02 e as foliações S e C indicando movimento normal para sudeste.

As falhas normais são conjugadas e associam-se ao rompimento de camadas quartzíticas, com caimentos respectivos para SE e para NW. Estas falhas também estão associadas a cisalhamento e geram feições semelhantes à *boudinage* assimétrica com dezenas de metros de extensão.

A *boudinage* é assimétrica e ocorre preferencialmente no pacote de quartzito com direção NW-SE.

### **Estruturas relacionadas à 3ª fase**

As estruturas descritas como de terceira geração são zonas de cisalhamento normais, dobras similares vergentes para sul, lineação mineral (180/25), lineação de crenulação, *boudinage* e veios de tensão. Estas estruturas possuem indicação cinemática de transporte tectônico para sul e podem estar relacionadas ao evento que resultou no soerguimento do Anticlinal de Mariana.

A zonas de cisalhamento foram identificadas no Quartzito Moeda e na formação pirrotítica da Formação Cauê, à qual associa-se uma lineação mineral com atitude média 180/25. A zona de cisalhamento nos quartzitos é discreta, enquanto na formação pirrotítica é marcante gerando inclusive gerando sigmóides de foliação nos níveis quartzosos, dobras em bainha em grande escala (métrica), dobras similares com eixos aproximadamente perpendiculares à lineação mineral (b=116/30) e veios de tensão posicionados entre as foliações S e C.

A lineação de crenulação ocorre nos sericita-quartzo xistos do Grupo Nova Lima e nos filitos carbonosos da Formação Batatal. Elas são discretas e possuem atitude 80/15.

A *boudinage* ocorre principalmente nos níveis pirrotíticos da formação pirrotítica bandada associada à base da Formação Cauê, com eixo de estiramento na direção N-S.

Já os veios de tensão estão associados a uma zona de cisalhamento e indicam movimento normal para sul.

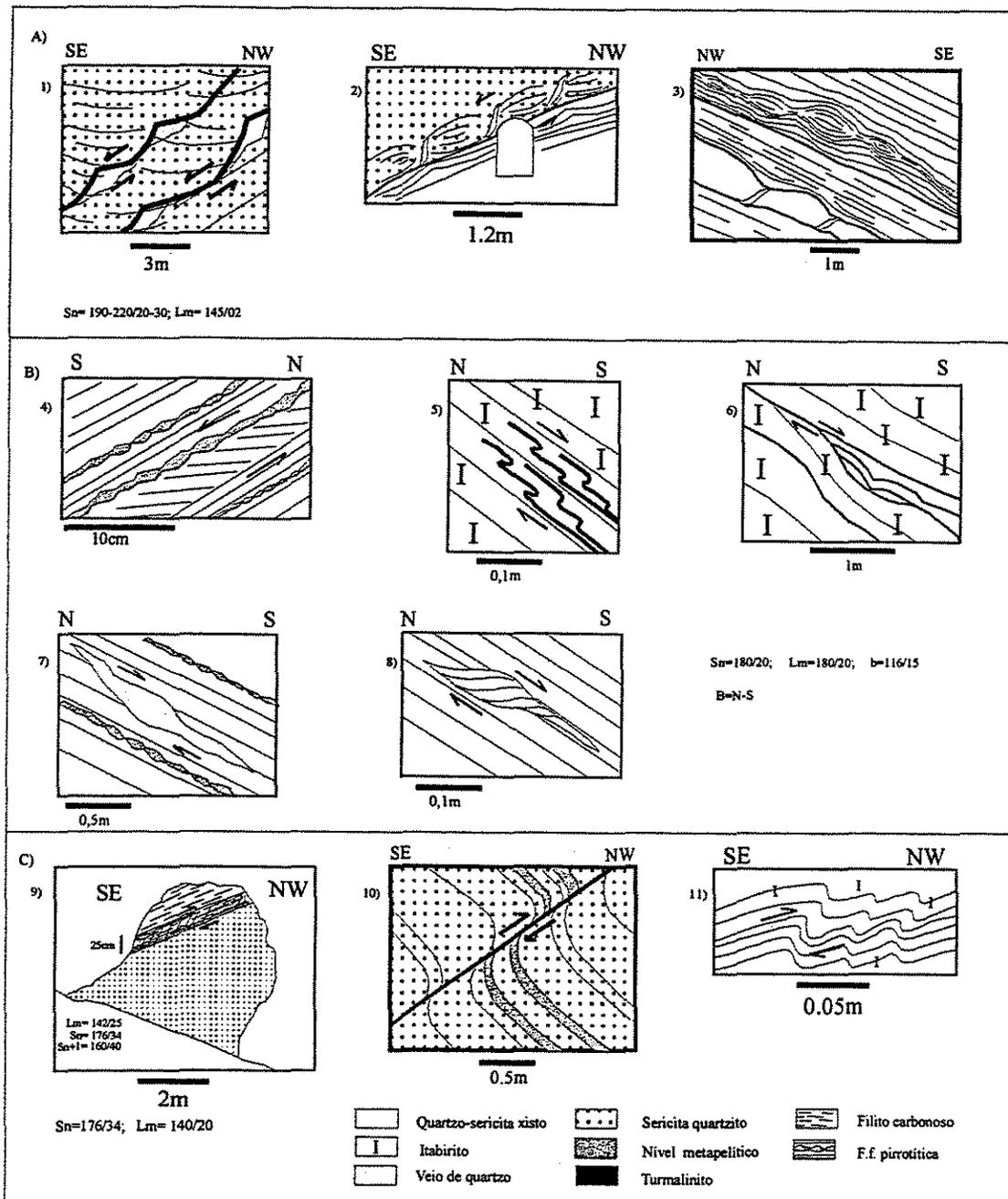
#### **Estruturas relacionadas à 4ª fase**

As estruturas atribuídas à quarta geração são de natureza compressiva e são posteriores à nucleação do Anticlinal de Mariana. Estas estruturas traduzem o movimento reverso sinistral da rampa lateral descrita por Naline (1993) e são representadas por falhas reversas, zonas de cisalhamento reversas, sigmóides de foliação, lineação de crenulação e lineação mineral.

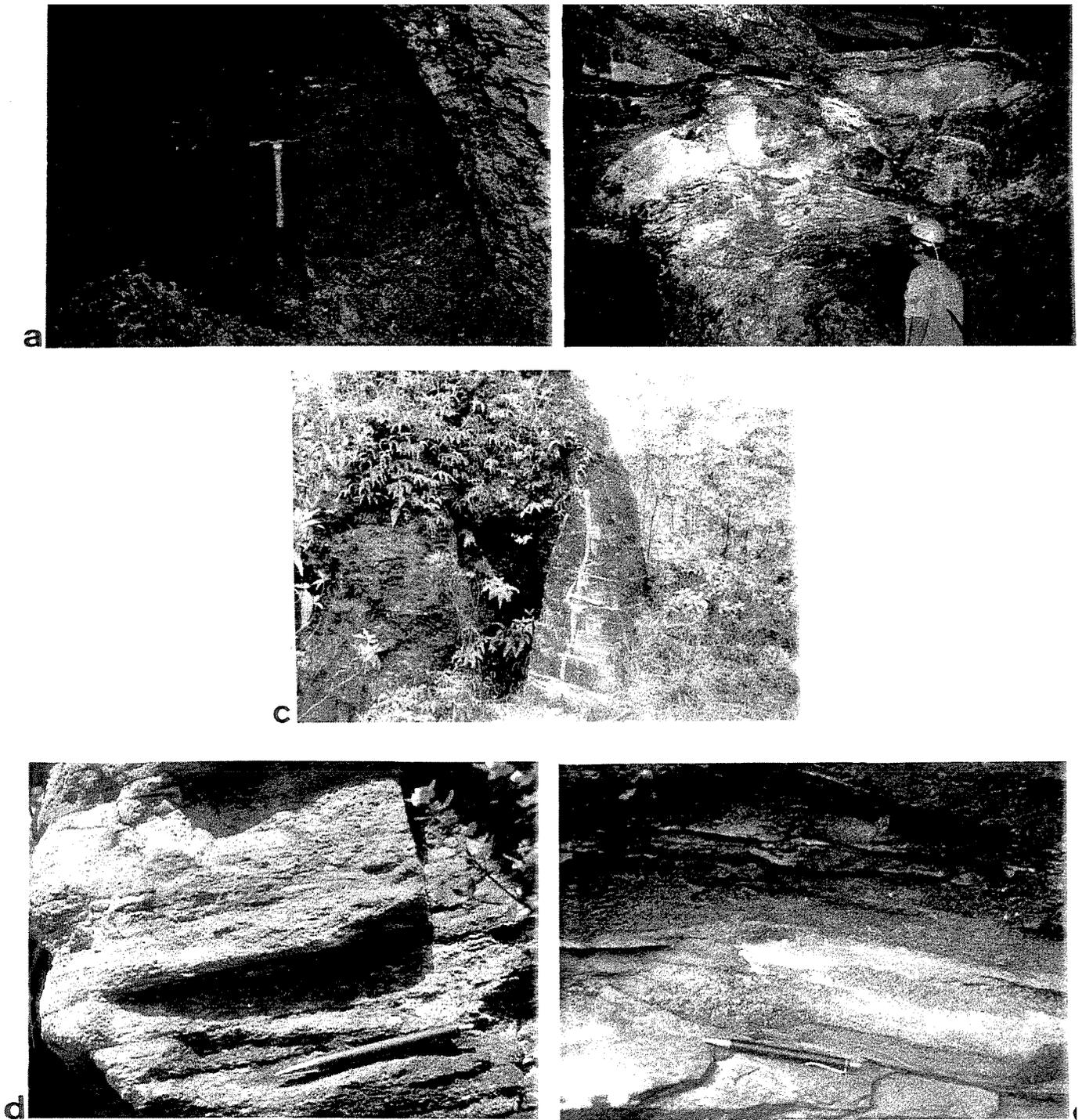
As falhas reversas estão associadas principalmente ao contato entre o Quartzito Moeda e o Filito Batatal. Ocorrem internamente ao Itabirito Cauê, tem alto ângulo, e são marcadas pelo rompimento das camadas itabiríticas com rejeito em proporção métrica.

As zonas de cisalhamento reversas também ocorrem no contato entre o quartzito Moeda e o Filito Batatal, com pequenas espessuras, na ordem de centímetros. A essas zonas de cisalhamento associa-se uma lineação mineral com atitude 142/25.

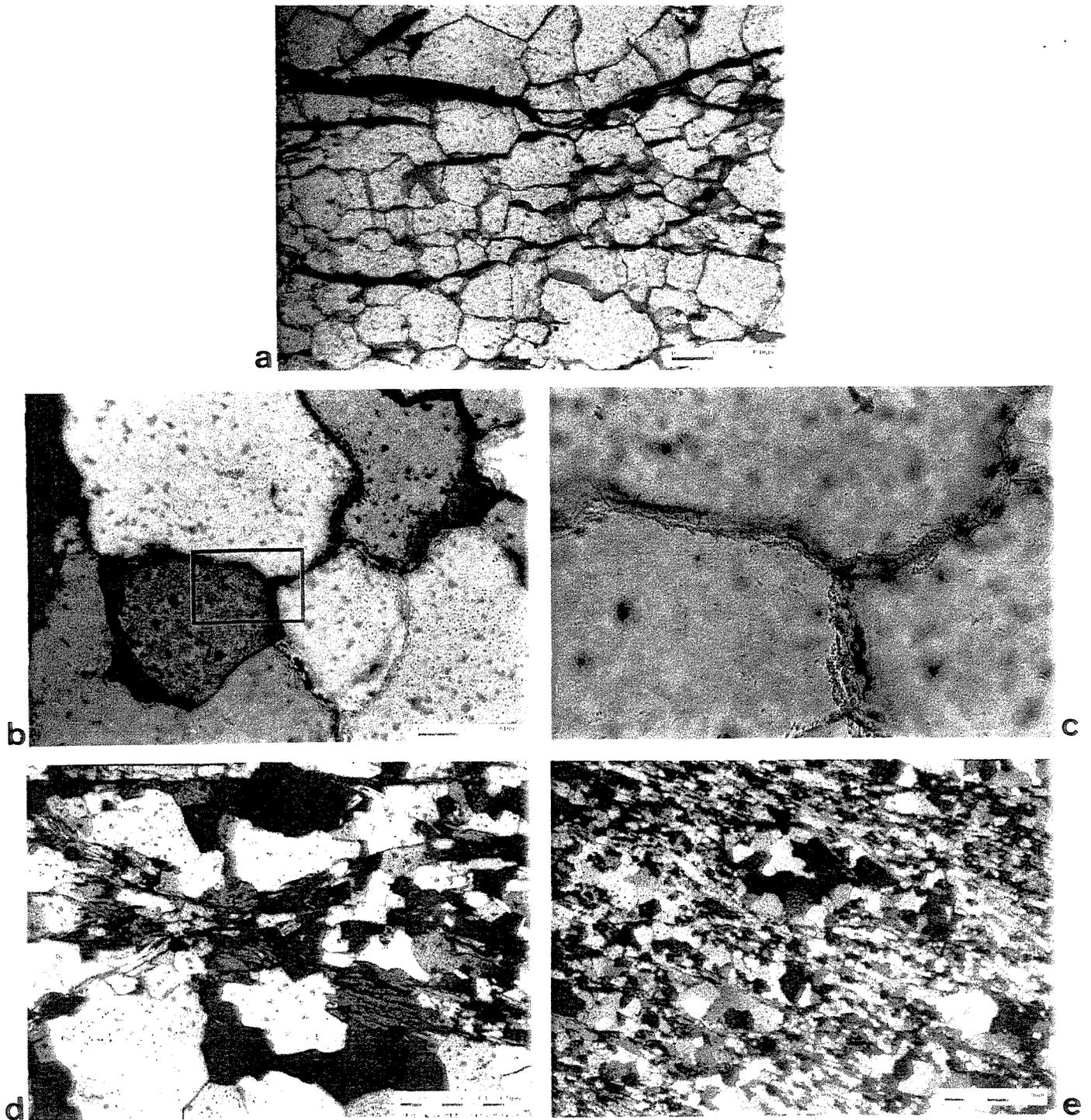
Na base do Quartzito Moeda observam-se sigmóides indicando movimento reverso de SE para NW, com dimensão métrica, interferindo numa estrutura extensional de *boudinage* assimétrica.



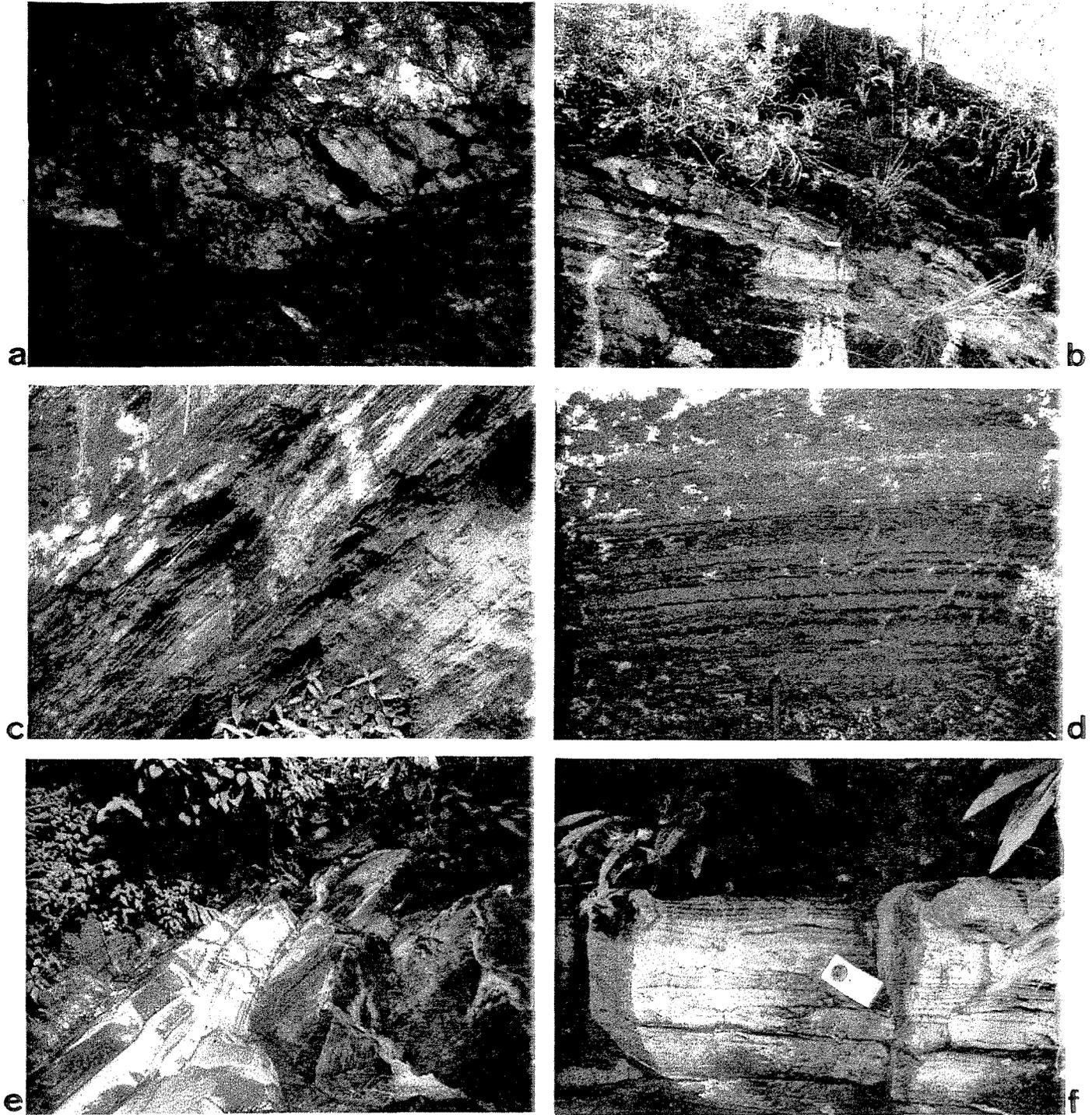
**Figura 3.7-** Principais indicadores cinemáticos descritos na área. a) Segunda fase: 1- falhamentos normais com geometria de rampas e patamares apresentando deslocamento para sudeste, associado ao Quartzito Moeda; 2- *boudinage* assimétrica com veios associados, próximo ao contato entre os xistos do Grupo Nova Lima e o Quartzito Moeda; 3- *boudinage* associada ao Filito Batatal. b) Terceira fase: 4- estrutura SC de uma zona de cisalhamento normal instalada na formação pirrotítica bandada da Mina Scliar e *boudinage* com eixo de maior deformação N-S; 5- dobras similares com eixos perpendiculares à lineação mineral, vergentes para sul, no Itabirito Cauê da Mina Scliar; 6- falha normal com deslocamento para sul associada ao Itabirito Cauê, da Mina Scliar; 7- Veio de tensão no interior da zona de cisalhamento, com indicação de movimento normal para sul, na formação pirrotítica da Mina Scliar; 8- sigmoides de foliação interior à zona de cisalhamento normal da formação pirrotítica da Mina Scliar. c) Quarta fase: 9- zona de cisalhamento reversa instalada no contato entre o Quartzito Moeda e o Filito Batatal; 10- falha reversa de alto ângulo interior ao Itabirito Cauê; 11- veio dobrados com vergência para NW, encaixados no Itabirito Cauê na Mina Chico Rei.



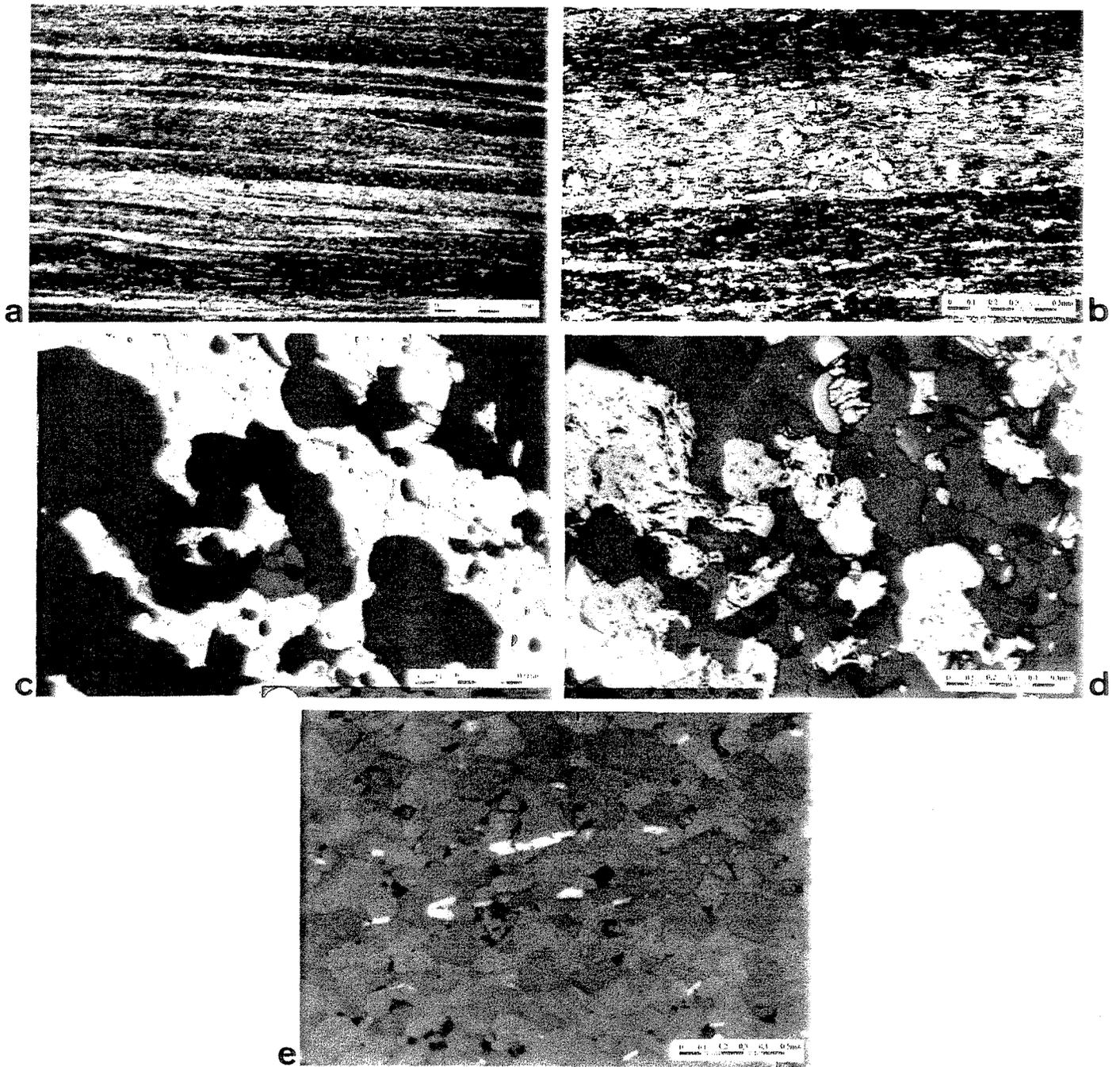
Prancha 3.1 - a) Mina duas Bocas, nível 01. Sericita-quartzito do Grupo Nova Lima totalmente imtemporizado. b) Mina duas Bocas, nível 01. Contato tectônico entre os xistos do Grupo Nova Lima e o quartzito da Formação Moeda. O quartzito (topo) mostra feições de cisalhamento e dobras e o xisto (base) encontra-se com feições de deformação, mas totalmente imtemporizado. c) Afloramento próximo à Mina Duas Bocas do Quartzito Moeda. O quartzito é de granulometria fina e possui níveis micelapéticos marcando o acamamento primário. d) Afloramento próximo à base do Quartzito Moeda. O quartzito encontra-se recrystalizado com aspecto milonítico. e) Afloramento do Quartzito Moeda próximo à drenagem de Lages. Fotografia mostrando detalhe de um nível com pirita concordante com acamamento.



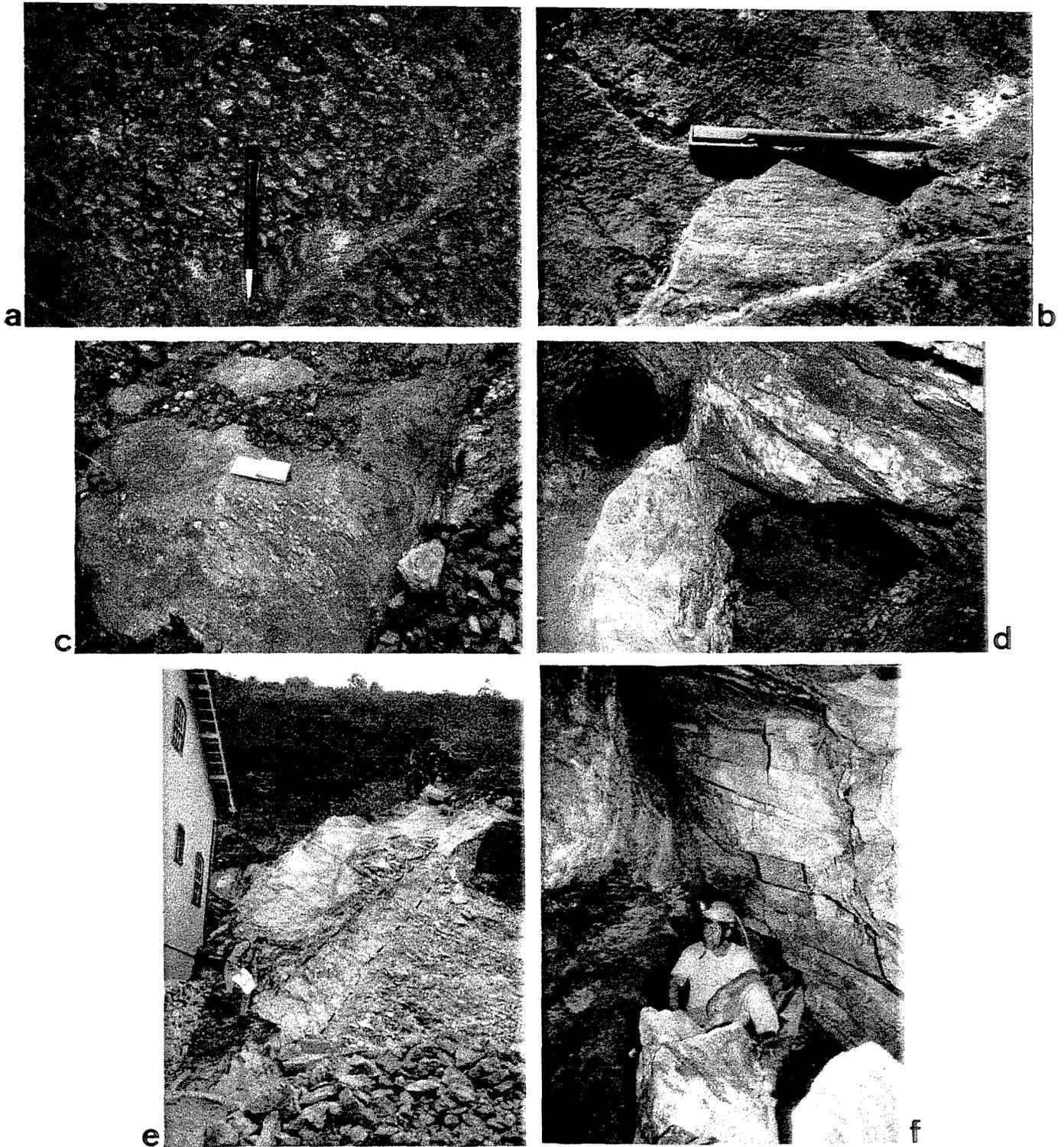
Prancha 3.2 - Microfotografias de amostras do quartzito da Formação Mocda. a) Detalhe de uma porção do quartzito recrystalizado com foliação principal demarcada por lamelas de biotita. b) e c) Detalhes dos contatos entre os grãos de quartzo mostrando a presença de cristais de turmalina intragranulares interpretados como resultantes da deposição desse mineral a partir de fluidos que permeiam os cristais. d) Aspecto da foliação milonítica com destaque para a presença de cristais de cianita. e) Lâmina da porção basal do quartzito mostrando o aspecto milonítico da rocha com textura de recrystalização dinâmica e formação de sub-grãos.



Prancha 3.3 - a) Mina Scliar: Filito Batatal, cortado por veio de quartzo sub-horizontal. b) Contato tectônico entre o Quartzito Moeda e o Filito Batatal ao qual associa-se um veio de quartzo com *boudinage*, subconcordante. c) Típico afloramento da Formação Cauê mostrando itabirito silicoso com alternância de lâminas a hematita e quartzo. d) Itabirito Cauê muito alterado pelo intemperismo, apresentando laminação de hematita e material argiloso ocre. e) e f) Duas vistas de um único afloramento de mármore dolomítico da Formação Gandarela, encontrado no Córrego Sobreiro durante a cartografia (não descrito anteriormente na literatura). Em e) observa-se a foliação principal, plano-paralela com leitos carbonáticos que se alternam com níveis margosos. Em f) vista N-S em que se observa *boudinage* dos leitos carbonáticos.



Prancha 3.4 - Fotomicrografias. a) e b) filito carbonoso na Mina Scliar, onde observa-se zonas preservadas de filito carbonoso sendo destruídas pela progressiva substituição por sericita e turmalina. Em b) observa-se claramente os porfiroblastos de turmalina em meio a matriz de sericita e restos de porções de matéria carbonácea entre a sericita e porfiroblastos de turmalina. O mecanismo concebido para explicar essa substituição é o consumo de matéria carbonácea por reação com o fluido hidrotermal e criação de uma porosidade secundária que permite o avanço do fluido responsável pela formação da turmalina e sericita. A rocha formada foi em seguida deformada com o desenvolvimento de foliação milonítica, alongamento, quebra e rotação de cristais de turmalina. Na foto b) ainda, é clara a distinção entre os contatos da zona carbonosa superior gradual com o turmalina-sericita xisto que o envolve, enquanto o contato com a zona carbonosa inferior é abrupto, demarcado por um plano de foliação retilíneo. c) Itabirito sob luz transmitida contendo opacos, quartzo, turmalina e granada. d) Itabirito em luz refletida, a mesma seção, permite observar o processo de substituição de magnetita por hematita. e) Vista em luz refletida, mármore dolomítico composto por dolomita e quartzo recrystalizados após processo de recrystalização dinâmica em regime de cisalhamento com alongamento dos grãos de pirita.



Prancha 3.5 - a) Nível conglomerático de espessura centimétrica intercalado em quartzito da base da Formação Moeda, formado por seixos de quartzo e quartzito. Fotografia tomada paralelamente ao acamamento mostrando o alongamento dos elementos por deformação. b) Quartzito da Fm. Moeda. Fotografia paralela à foliação  $S_n$ , mostrando a forte lineação de alongamento materializada por *ribbons* de quartzo. c) Detalhe do contato entre o Quartzito Moeda com nível conglomerático e um veio de quartzo. A foliação ( $S_n$ ) do quartzito torna-se secante ao veio próximo ao contato. d) Veio de quartzo sub-vertical, na Mina duas Bocas, com direção  $230^\circ$  e foliação/clivagem paralela à foliação  $S_n$  do Quartzito Moeda. E) Veio intensamente fraturado, composto de quartzo, arsenopirita e turmalina, mineralizado, encaixado no Quartzito Moeda, com direção  $230^\circ$ /sub-vertical. f) Falha normal com plano  $230^\circ$ /sub-vertical, associada ao contato entre o sericita-quartzito xisto do Grupo Nova Lima (lado direito) e o quartzito da Formação Moeda (lado esquerdo), na Mina Duas Bocas.

## Capítulo 4

### Mineralização Aurífera

#### 4.1 - Introdução

As minas de ouro da Serra de Ouro Preto foram alvo de extensa exploração nos séculos XVIII e XIX. Já, os estudos de metalogênese da região ocorreram no século XIX e início deste século. Os primeiros estudos foram realizados por Eschwege (1833), Gorceix (1876a,b), Ferrand (1887,1892), Derby (1899) e Lacourt (1937a,b).

Os estudos metalogenéticos mais recentes ocorreram no âmbito do Anticlinal de Mariana, particularmente nas minas da Passagem, Mata Cavalo, Santana e região de Antônio Pereira, pelos seguintes autores: Fleischer & Routhier (1973), Heineck *et al.* (1986), Vial (1987), Chauvet *et al.* (1994), Schrank e Machado (1996a,b), Oliveira (1998) e Kwitko (1998).

Lacourt (1937a,b), descreve os principais níveis mineralizados hospedados na zona de contato do SGM com o SGRV e nas rochas do SGM (ver Tabela 02), ao longo de toda a Serra de Ouro Preto, por mais de 7km de extensão em mais de 350 galerias.

Todos os autores supracitados, apesar de não terem realizado estudos detalhados em toda a região do Anticlinal de Mariana, propõem que as ocorrências e jazidas auríferas em todo o domínio fisiográfico do anticlinal são correlatas.

As rochas da zona mineralizada pertencem ao Supergrupo Minas. Em alguns locais, camadas de filitos carbonosos e itabiritos foram inteiramente retiradas nos trabalhos antigos. Segundo Lacourt (op cit.) o primeiro nível mineralizado é o contato inferior do Quartzito Moeda com xistos do Grupo Nova Lima, onde as soluções se espalharam segundo a estratificação das rochas, silicificando e mineralizando os quartzitos no contato e dando origem a camadas de xistos e quartzitos silicificados e sulfetados com arsenopirita abundante, podendo atingir espessura de poucos centímetros a 5 metros. O segundo nível mineralizado é representado por veios secantes e concordantes encaixados nos quartzitos compostos por quartzo, arsenopirita e ouro, com potência variando de 2 a 5 metros e altura de 10 a 30 metros.

**Tabela 01** - Síntese das características encontradas na mineralização aurífera da região do Anticlinal de Mariana, por autores precedentes.

Rochas Encaixantes	Minérios	Tipo de Depósito	Área de ocorrência	Autor
Encaixado entre o Itacolomito (Quartzito Moeda) e xistos argilosos (xistos do grupo Nova Lima).	Tanto em camadas quanto em veios ou stockworks, disseminado no quartzo e associado à arsenopirita, pirita, manganês e turmalina compacta.		Serra de Ouro Preto, Passagem de Mariana e Serra de Antônio Pereira.	Eschwege (1833)
O horizonte mineralizado está encaixado em rochas variadas, formadas pela associação de dolomitos, itabiritos, micaxistos e anfibólio-dolomitos.	Veio camada constituído de quartzo com sulfetos diversos, onde predomina arsenopirita.		Serra de Ouro Preto, Passagem de Mariana e Serra de Antônio Pereira.	Lacourt (1937)
Capa de itabiritos dolomíticos e lapa de mica-xistos dolomíticos.	Zonas turmalínicas com pirrotita, arsenopirita e massas de quartzo claras pobres em ouro.	Epigenético com uma fase pegmatítica, outra de metassomatose pneumatolítica e por último metassomatismo hidrotermal.	Passagem de Mariana e Serra de Ouro Preto.	Guimarães (1965)
O horizonte mineralizado é o Filito Batatal, encaixado entre os itabiritos Cauê (capa) e os quartzitos sericiticos (lapa)	Consiste essencialmente de turmalinito com arsenopirita e ouro, envolvidos por grande quantidade de quartzo leitoso e/ou dolomito grosseiro	Singênético consanguíneo, relacionado a fatores paleogeográficos	Ocorre numa zona ao longo da Serra de Ouro Preto, Passagem de Mariana e Serra de Antônio Pereira	Fleisher & Routhier (1973)
O horizonte mineralizado está confinado numa zona tabular tendo como teto os itabiritos Cauê em contato com diversas unidades associadas a um sistema de falhas de empurrão.	Dois tipos de minérios: veios de quartzo sulfetados turmalínicos e anfibólio-xisto pirrotítico.	Epigenético associado a veios de quartzo.	Serra de Ouro Preto, Passagem de Mariana e Serra de Antônio Pereira.	Vial (1988)
O horizonte mineralizado está encaixado entre o topo do SGRV e a base do SGM.	Veios de quartzo e níveis turmalínicos intercalados nos quartzo-xistos da base do SGM.	Epigenético associado a veios de quartzo.	Serra de Ouro Preto, Passagem de Mariana e Serra de Antônio Pereira.	Chauvet et al. (1994)

**Tabela 02** - Síntese das características encontradas na mineralização aurífera da Serra de Ouro Preto, por Eschwege (1833), Lacourt (1935) e Dorr (1969).

Rochas Encaixantes	Minérios	Espessuras
Itabirito Cauê	Veios irregulares ou lentes de quartzo aurífero, camadas de filitos intercaladas em itabirito com veios de quartzo mineralizados por quartzo pouco piritoso (Lacourt, 1937). Camadas de quartzo paralelas e carvoeiras (Eschwege, 1833).	Centímetros a decímetros.
Zona de contato entre Itabirito Cauê e Filito Batatal	Camada quartzosa com pirita alterada e ouro livre; e buchos de quartzo aurífero (Lacourt, 1937).	Centímetros a decímetros.
Zona de contato entre o filito Batatal e Quartzito Moeda	Leito de quartzo aurífero em zona de cisalhamento. Formam bolções de quartzo com óxido de Fe e ouro livre (Lacourt, 1937).	Espessura muito variável de centímetros a decímetros, raramente de 1 a 3 metros.
Quartzito Moeda	Veios sub-verticais formados por soluções quartzo-arsenicais-Au (Lacourt, 1937). Veios auríferos com turmalina (Dorr, 1959).	Potência de 2 a 5 metros e altura de 10 a 30 metros.
Zona de contato entre o Quartzito Moeda e xisto Nova Lima.	Lentes camadas de quartzo piritoso e camadas de xisto e quartzito silicificadas com arsenopirita abundante (Lacourt, 1937).	De poucos centímetros a 5 metros.

O terceiro jazimento ocorre no contato do Quartzito Moeda e Filito Batatal, onde a mineralização é um leito de quartzo aurífero com espessura variável de centímetros a decímetros e mais raramente de 1 a 3 metros. Na transição do Filito Batatal para o Itabirito Cauê, é quase constante uma camada de quartzo com pirita alterada e ouro livre, tendo espessuras de decímetros a centímetros, e muitas vezes formando buchos auríferos. Por último, veios irregulares e lentes de quartzo encaixados no Itabirito Cauê.

Por sua vez, Eschwege (1833) descreveu as minas do Veloso e Lages onde, segundo ele, a mineralização está hospedada em camadas de quartzo aurífero e carvoeiras que tem como substrato um xisto argiloso desprovido de ouro.

## **4.2 – Análise Química dos Minérios**

Os resultados das análises químicas são apresentados no item posterior em conjunto com as descrições das minas. Foram realizadas análises químicas em 45 amostras dos vários materiais encontrados nas minas, onde se presumiu ser aquele o minério explotado no passado, a fim de se verificar a presença e teores de Au. Os resultados são apresentados na forma de teores de Au (g/ton) e foram obtidos pelos métodos de refluxo de plasma e via seca, com abertura por água régia. Tais análises foram efetuadas pela DOCEGEO.

Os minérios que apresentaram os teores os mais elevados foram os veios a quartzo-sulfeto com arsenopirita e pirita. Os turmalinitos apresentaram teores bem inferiores aos dos corpos sulfetados.

Quanto à afirmação acima podemos considerar:

- os veios a quartzo-sulfeto representam o principal minério na área;
- a amostragem pode ser insatisfatória devido ao pequeno número de amostras analisadas;
- devido quantidades diferentes de amostras tomadas em cada horizonte mineralizado, uns podem ter sido melhor caracterizados do que outros com menor número de amostras.

## **4.3- Descrição das Minas Estudadas**

### **4.3.1 - Mina Duas Bocas**

A mina localiza-se próximo à drenagem das Lages, na vertente leste, possui desenvolvimento distribuído em três níveis (Figura 4.1) e tem o seguinte posicionamento geográfico: coordenadas UTM 656.780 E - 7.745.420 N e altitude de 1225 metros. É uma mina que apresenta boa estabilidade, apesar de possuir pequenos desabamentos em alguns locais.

Estratigraficamente, a mina tem seu desenvolvimento relacionado à zona de contato entre unidades dos supergrupos Rio das Velhas e Minas e também acompanhando um grande veio de quartzo vertical encaixado no Quartzito Moeda. O veio possui direção 220° com caimento de 30° SW e ocorre a partir do contato das unidades litoestratigráficas mapeadas. No mapeamento de detalhe da mina individualizou-se 3 unidades litológicas, da base para o topo: sericita xistos, filitos carbonosos e quartzitos (Figuras 4.1a, b, c).

Os elementos estruturais observados nesta mina caracterizam uma deformação heterogênea com sobreposição de estruturas compressionais e extensionais, dúcteis e rúpteis, influenciada pela reologia dos materiais envolvidos na deformação. Na zona do contato ocorre cisalhamento e falhamento normal. O veio principal está associado a fraturamento hidráulico e foi colocado anteriormente à deformação principal que gerou a foliação  $S_n$ . Este fraturamento hidráulico é diagnosticado pela grande quantidade de blocos de quartzito e filito carbonoso imersos na massa de quartzo. As principais evidências da colocação destes veios são: a foliação desenvolvida no veio; a foliação  $S_n$  no quartzito quando aproxima-se do veio tende a tangenciá-lo; e por último, foram observadas estruturas primárias como estratificações cruzadas nos blocos de quartzito no interior do veio.

### **Mineralização Aurífera**

A mineralização aurífera está associada a turmalinitos, que por sua vez estão associados aos veios localizados no contato litológico e a veios secantes. A zona do contato constitui uma camada de turmalinitos mineralizados e um veio de quartzo bandado com

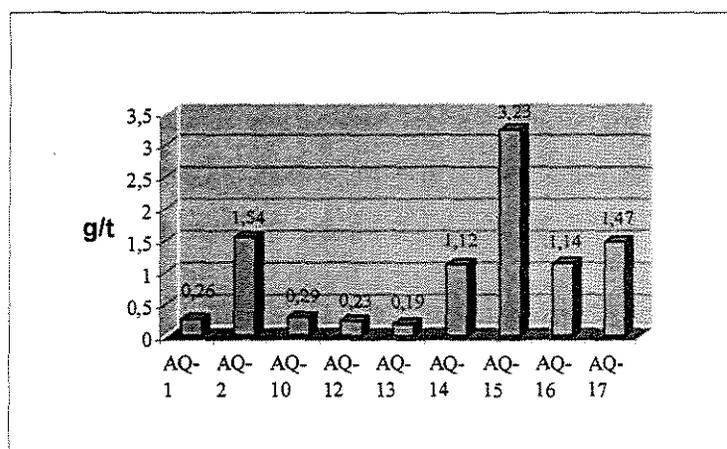
turmalina. Já, os turmalinitos associados aos veios secantes ocorrem como envelope e na forma de “buchos”.

### Turmalinitos associados ao contato

O primeiro nível da mina foi escavado quase que totalmente acompanhando a camada de turmalinitos, que chega a atingir a espessura máxima de 1,20 metros (Foto 4.1a). Tem como lapa os xistos alterados e como capa os filitos carbonosos e veios de quartzo. Microscopicamente, os turmalinitos são compostos por 99% de turmalina (Foto 4.2a) e têm como acessórios mica branca, rutilo, pirita e ouro. A turmalina é pleocróica e possui zoneamento interno de cores. A mica branca é rara. O rutilo é euédrico e aparece disseminado. O ouro é anédrico, disseminado na matriz de turmalina.

Associado ao nível de turmalinitos ocorre um veio bandado com quartzo e turmalina associado ao contato dos sericita-quartzo xistos do Grupo Nova Lima com os quartzitos da Formação Moeda (Foto 4.1b).

A amostragem foi realizada, principalmente nos níveis 1 e 2. As amostras de canais foram tomadas verticalmente de forma a caracterizar o horizonte mineralizado. Os teores encontrados demonstram que os turmalinitos efetivamente são mineralizados (Figura 4.2).



**Figura 4.2** - Teores em Au (g/t) de 9 amostras de turmalinito associado ao contato entre o Grupo Nova Lima e a Formação Moeda. O teor máximo encontrado foi de 3,23g/t e o mínimo 0,19g/t.

### Turmalinitos associado aos veios de quartzo secantes

Os turmalinitos aparecem de duas formas: como salbandas no contato rocha-veio e como buchos no interior dos veios. Ao longo do contato do veio de quartzo com o Quartzito Moeda ocorre uma salbanda de poucos centímetros, podendo atingir um metro de espessura, envelopando o veio (Fotos 4.1c,d) e também envolvendo blocos de quartzito imersos no veio. O segundo nível da mina foi escavado acompanhando esta zona. Uma feição característica comumente observada é a turmalinização dos níveis filossilicáticos ressaltando as estruturas primárias dos quartzitos próximo à região do contato, assim como nos blocos de quartzito imersos no veio de quartzo (Fotos 4.1 e,f).

Já os buchos são restritos ao interior do veio de quartzo e atingem dimensões métricas. Aqui o turmalinito não apresenta foliação e é onde possui granulometria mais grosseira (areia média a grossa) estando repleto de veios de quartzo de dimensões centimétricas, distribuídos aleatoriamente. Estes corpos são formados quase que exclusivamente por turmalina com zoneamento interno (Foto 4.2c), quartzo com extinção ondulante e ainda ouro granular disseminado na massa de turmalina, com diâmetro em torno de 0,05 mm (Foto 4.2d).

A amostragem de canal dos turmalinitos associados ao contato veio-rocha foram seguindo o contato. Já nos buchos, por serem maciços tomamos porções aleatórias. As amostras foram coletadas no nível 3 e apresentaram teores ainda inferiores àqueles dos turmalinitos anteriormente descritos, mas há sempre ouro presente (Figura 4.3).

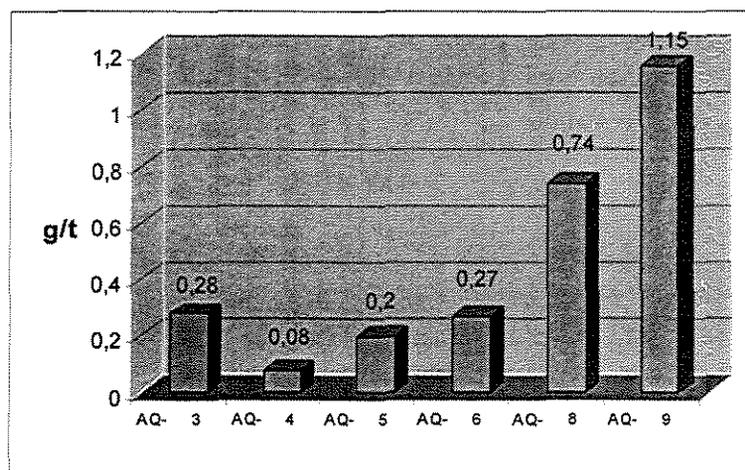
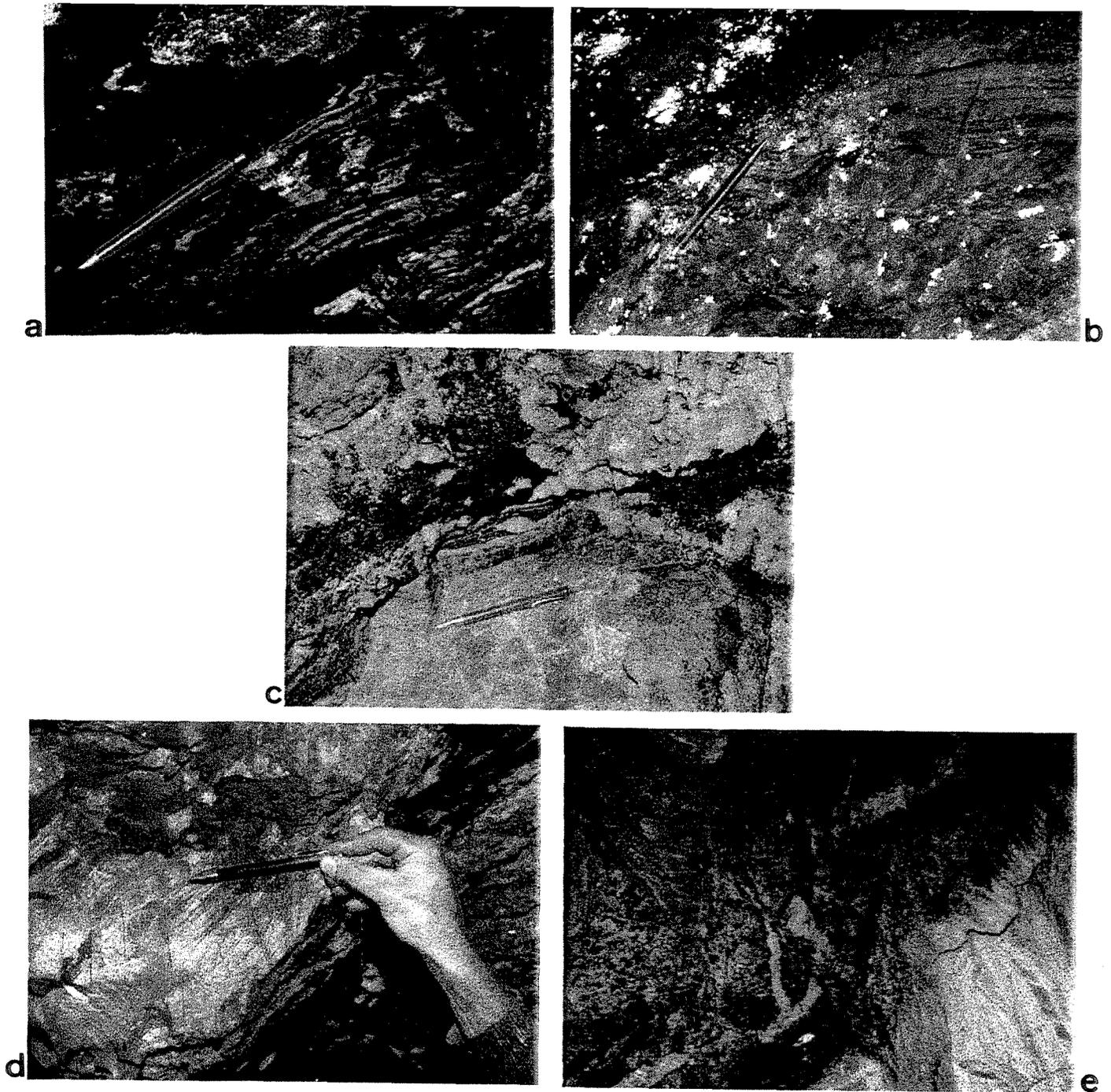
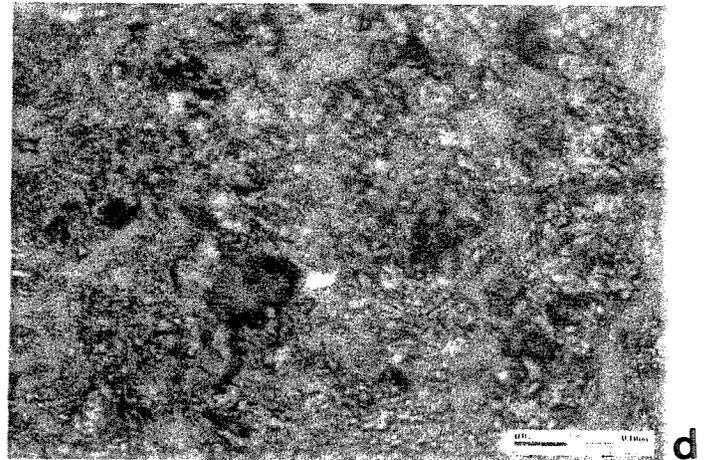
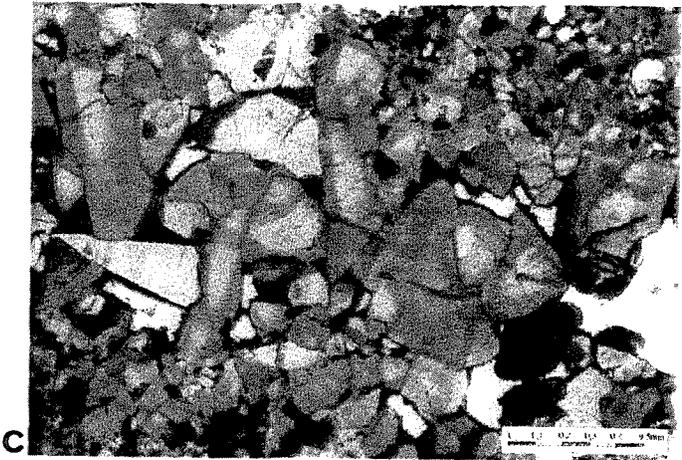
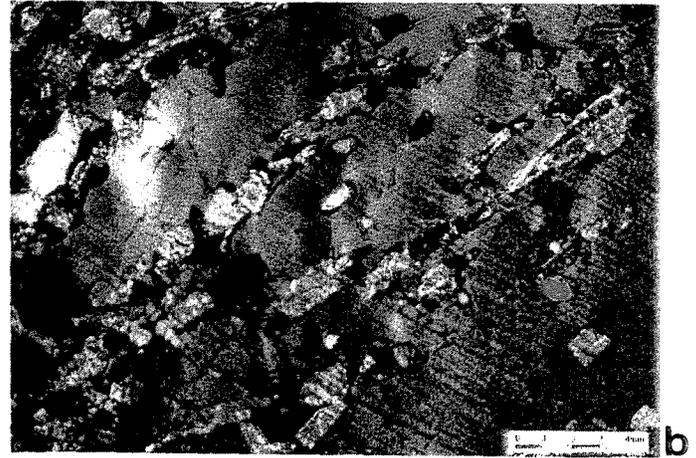
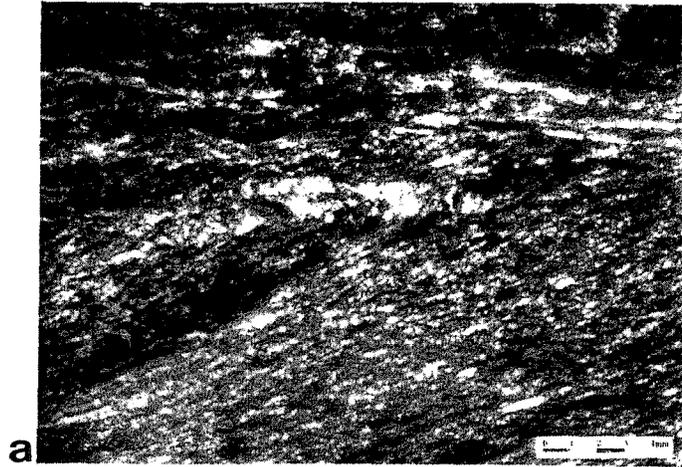


Figura 4.3 - Teores em Au (g/t) de 6 amostras do turmalinito associado a veios de quartzo encaixados no Quartzito Moeda. O teor máximo incide em 1,15g/t, e o mínimo de 0,08g/t.

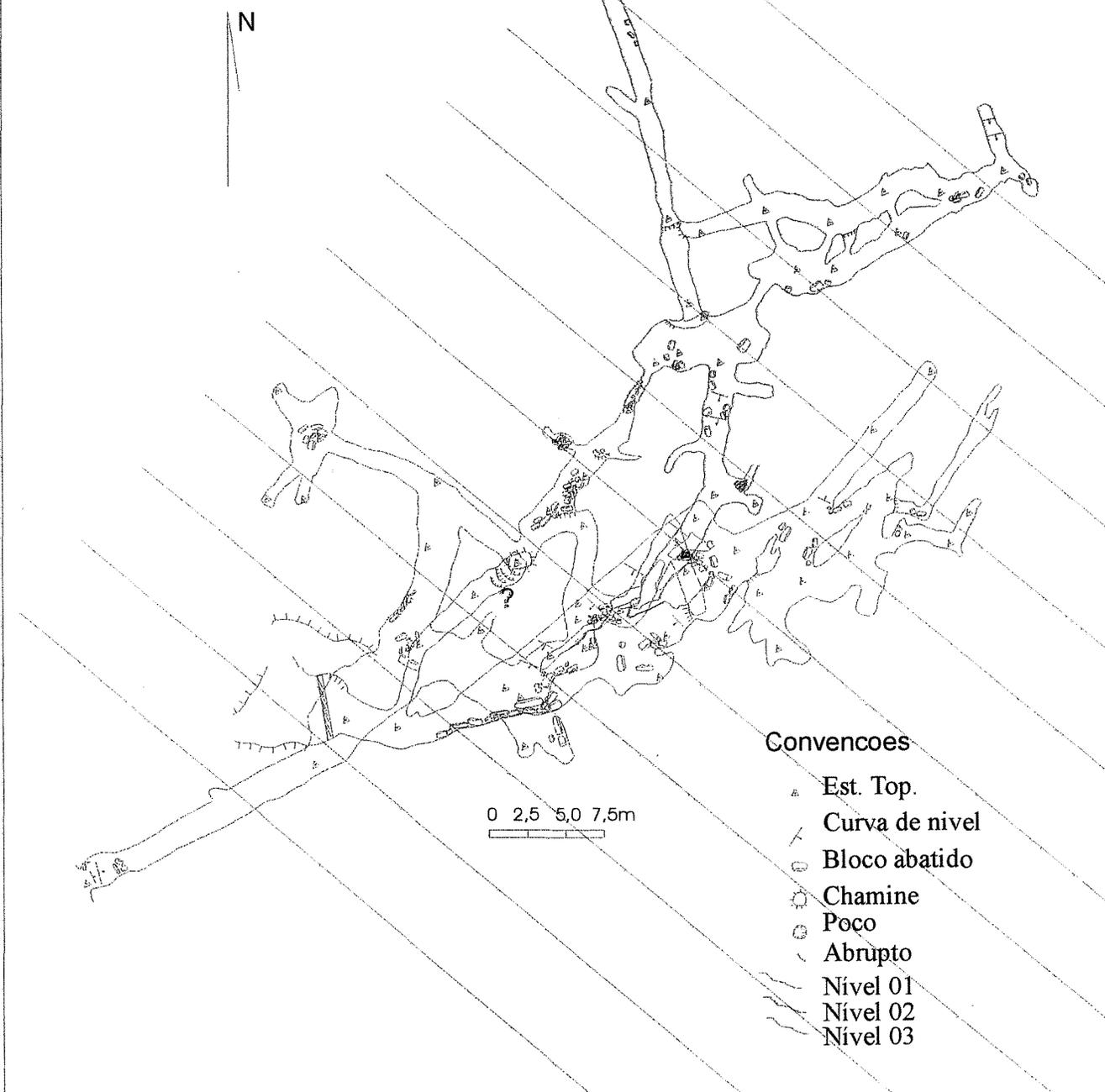


Prancha 4.1 - a) Turmalinito negro com bandas de caolim apresentando foliação e dobras, demonstrando ser anterior a deformação principal, situado no topo do sericita-quartzo xisto do Grupo Nova Lima. b) Veio com bandas de quartzo e turmalina, associado ao contato entre as rochas do Grupo Nova Lima e a Formação Moeda. c) Contato entre veio de quartzo e o Quartzito Moeda. A turmalinização (negro) se dá apenas no contato. Na foto percebe-se a turmalinização dos níveis pelíticos do quartzito. d) Acima da lapiseira percebe-se o turmalinito constituindo veios centimétricos que isolam fragmentos angulares de quartzito, que representa brechas monolíticas resultante do fraturamento hidráulico. Abaixo da lapiseira, há uma feição peculiar formada por um conjunto de veios estreitos, sub-paralelos (em pente) que podem ser resultado de “*rock failure*” incompetência da rocha por efeito de pressão de fluido. e) O efeito da turmalinização é amplamente predominante neste caso. O veio de quartzo preenche uma rede de fraturas estreitas. A feição “em pente” é bem visível no canto superior direito, com a frente de turmalinização invadindo a rocha encaixante.



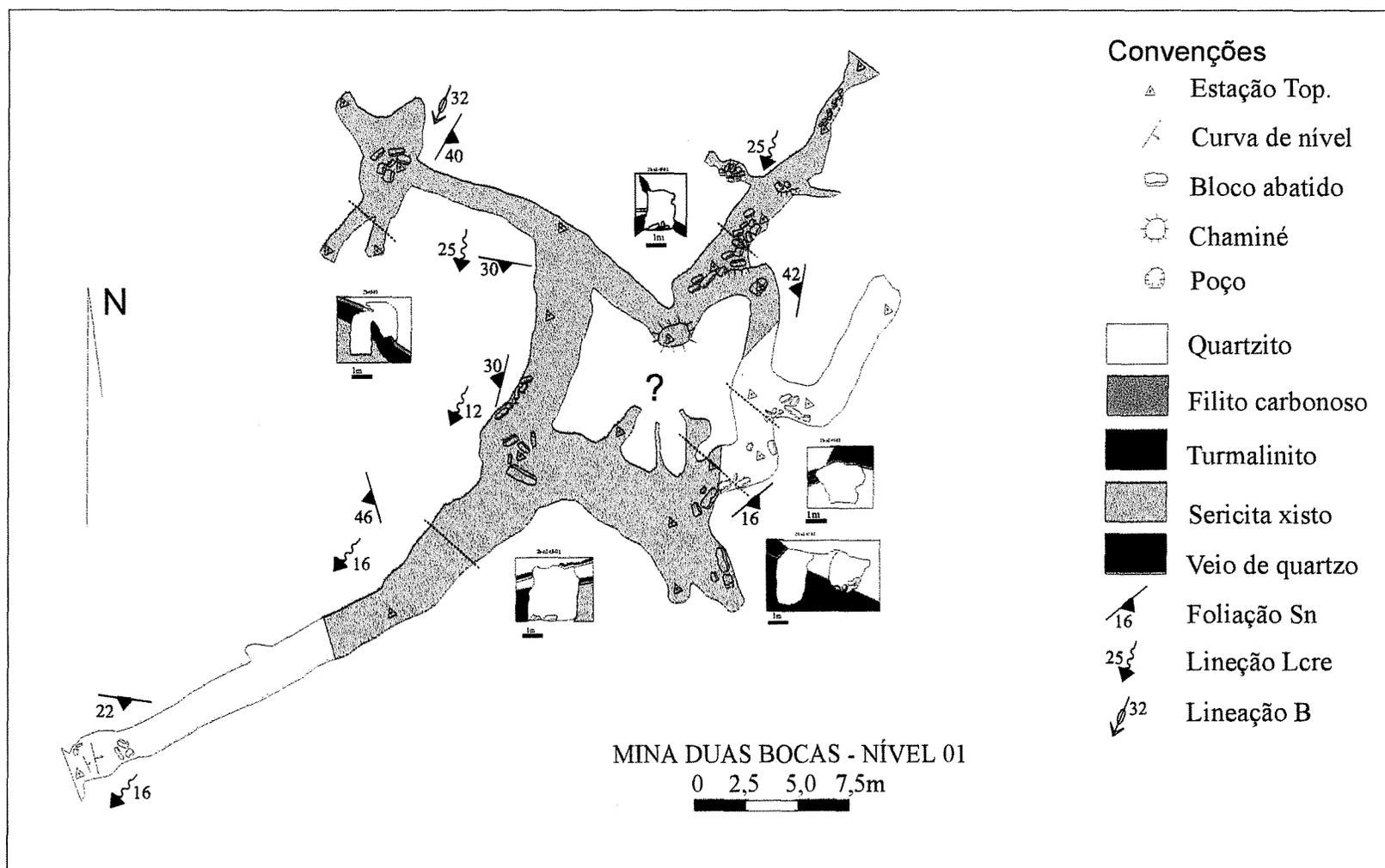
Francha 4.2 – Fotomicrografias. a) Turmalinito foliado e dobrado encaixado no contato entre o topo do sericita-quartzo xisto do Grupo Nova Lima e à base do quartzito da Formação Moeda. b) Estrutura laminada com quartzo-turmalina associada ao veio no contato entre as rochas do Grupo Nova Lima e Formação Moeda. c) Porção de um “bucho” de turmalinito no interior do veio de quartzo. As turmalinas não apresentam orientação e possuem e zoneamento interno de cor. d) Destaque para grão de ouro encontrado na amostra anterior.

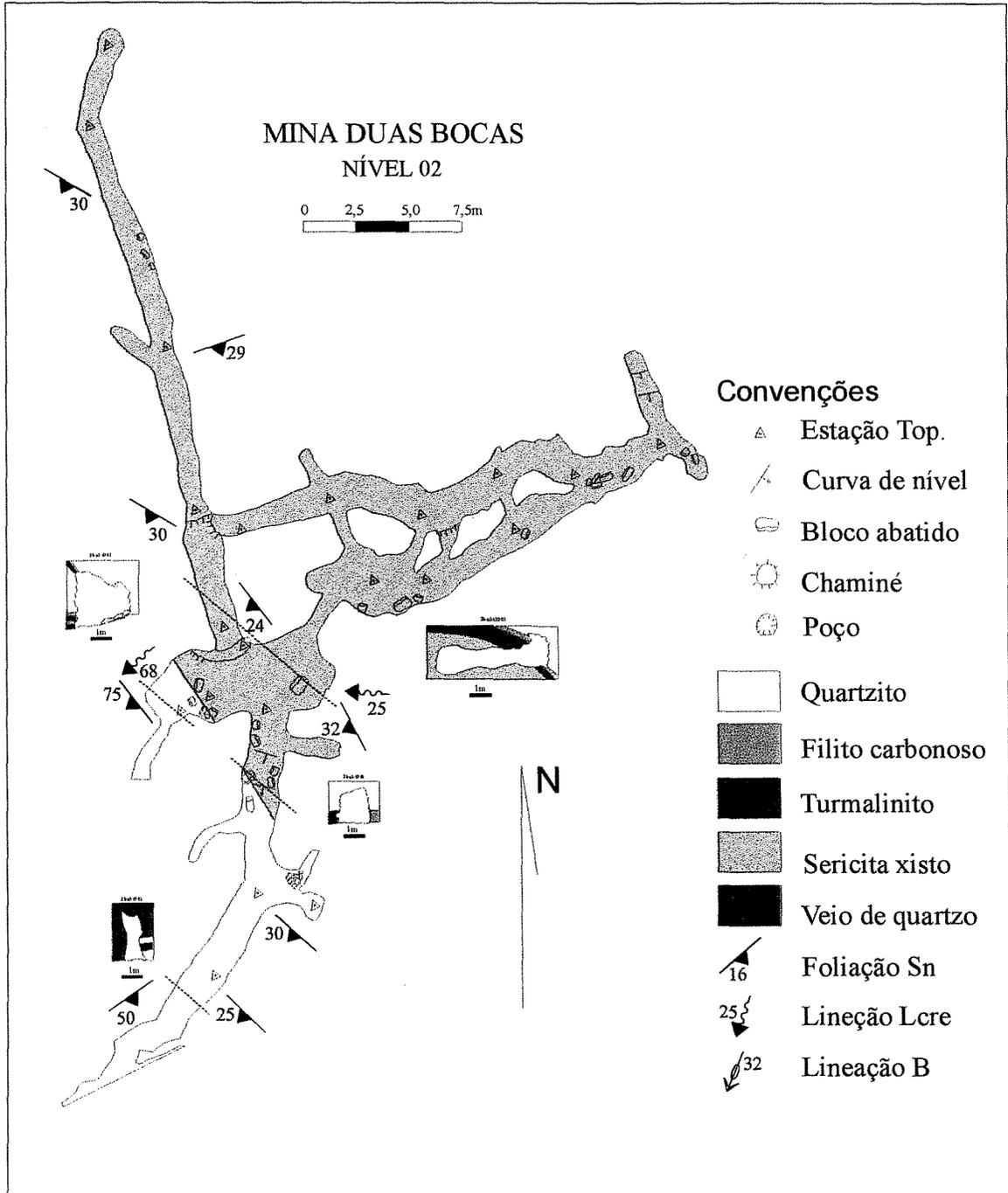
# MINA DUAS BOCAS



**Figura 4.1** - Mapa topográfico da Mina Duas Bocas, com malha onde foram construídas as seções transversais, na escala 1:50.

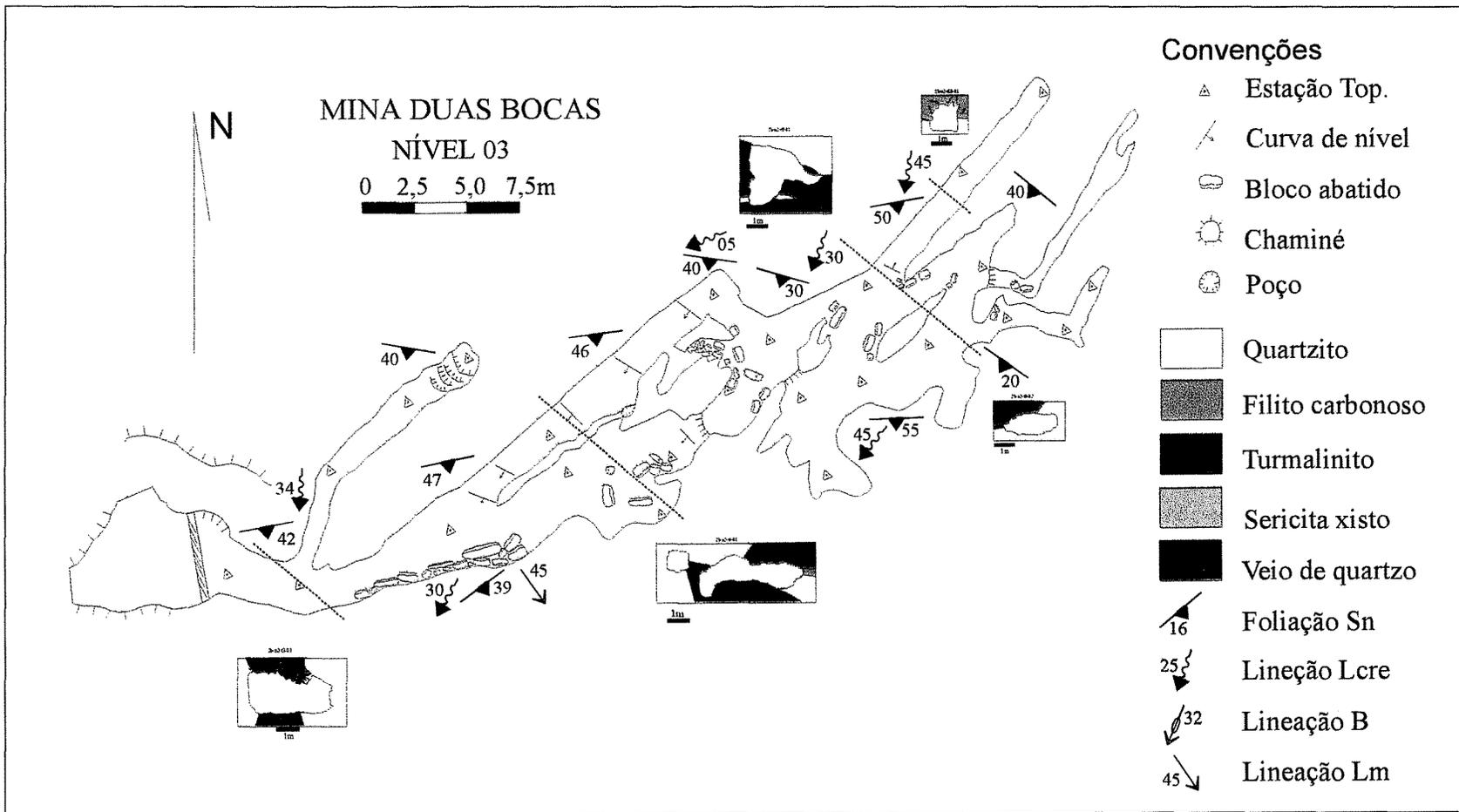
Figura 4.1a - Mapa geológico do nível 01 da Mina Duas Bocas.





**Figura 4.1b** - Mapa geológico do nível 02 da Mina Duas Bocas.

Figura 4.1c - Mapa geológico do nível 03 da Mina Duas Bocas.



### **4.3.2 - Mina Scliar**

A Mina Scliar recebeu esta denominação por situar-se na propriedade do Sr. Carlos Scliar, à Rua Conselheiro Quintiliano - Lages, Ouro Preto. Tem coordenadas UTM 656.452 W, 7.745.238 N e altitude 1.117 metros. Possui desenvolvimento horizontal de 510 metros, distribuídos em quatro níveis, de padrão linear, composto por galerias horizontais e inclinadas, travessas e salões (Figura 4.4). Definiram-se várias áreas de risco caracterizadas por desabamentos, áreas com infiltração de água formando gotejamentos, escorrimentos e alagamentos. Observou-se ainda algumas técnicas de mineração utilizadas na lavra como a construção de calhas para transporte de água, muros de contenção, travessas, saídas para ventilação, abandono de pilares de sustentação e escadarias construídas para dar acesso a outros níveis.

Algumas galerias possuem alinhamentos que podem ser relacionados a direções de veios de quartzo e outras à busca de estabilidade. Já o salão principal da mina, tem o seu desenvolvimento relacionado a um nível mineralizado, numa zona de cisalhamento, que praticamente é paralela à foliação principal das rochas encaixantes. O salão foi construído por abandono de pilares com pequenos segmentos de galerias e está posicionado no segundo nível da mina.

A mina desenvolve-se em andar estratigráfico superior ao da Mina Duas Bocas. Foram individualizadas cinco unidades litológicas, da base para o topo: quartzitos, filitos carbonosos, unidade decomposta (argilosa), formação ferrífera bandada pirrotítica e itabiritos (Figuras 4.4a,b,c). A maioria das rochas descritas nas unidades estão muito alteradas devido ao intemperismo, o que torna muito difícil caracterizar mineralogicamente cada litologia.

### **Mineralização**

A mineralização aurífera está associada a veios a quartzo-sulfetos, turmalinitos e formação bandada pirrotítica. Os veios a quartzo-sulfeto possuem orientação  $230^{\circ}$  e caimento de  $30^{\circ}$  para SW. Os turmalinitos ocorrem associados aos contatos entre as formações Moeda, Batatal e Cauê e, também, como envelope dos veios de quartzo. A formação ferrífera pirrotítica ocorre na base do itabirito, delimitada por uma zona de cisalhamento.

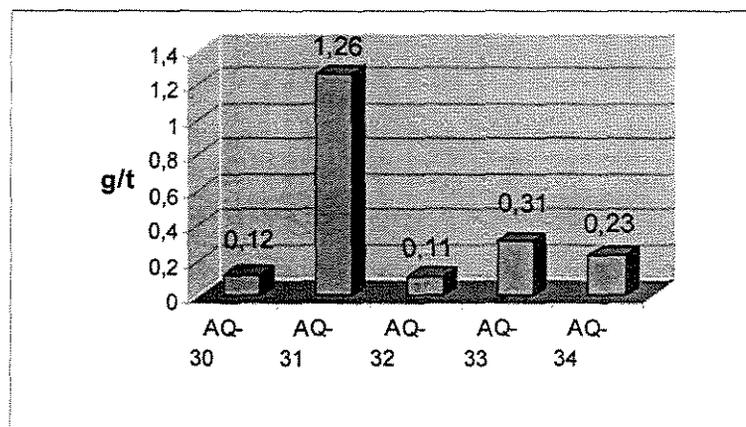
### Formação bandada pirrotítica

Tem como capa o Itabirito Cauê e como lapa o Filito Batatal. Está envolvida por uma camada de filitos sericíticos escuros alterados, dando a impressão de uma zona de alteração hidrotermal com zoneamento de sericitização e sulfetação (Foto 4.3d). Representa um nível contínuo na mina com espessura máxima de 10 metros.

Esta formação é composta por lâminas centimétricas de sílica sacaróide alternadas com lâminas pirrotíticas, atualmente muito oxidadas, portando goetita, quartzo e ouro livre. As bandas ferruginosas e os veios de quartzo estão quase sempre com *boudinage* em duas direções (N-S e SE-NW).

Ao microscópio, o nível pirrotítico apresenta-se composto por goetita (90%), quartzo (9%), restos de pirrotita, pirita, arsenopirita, além de monazita, rutilo e ouro (prancha 4.5). A goetita ocorre, muitas vezes com hábito botrioidal, característico. Já os sulfetos ocorrem raramente, como relíquias não oxidadas na massa de goetita. Os minerais acessórios foram determinados em análises no microscópio eletrônico de varredura (MEV).

As amostras coletadas para análises químicas são compostas por níveis quartzosos e pirrotíticos tomadas num canal vertical. O pacote é espesso e a amostragem pode não ter sido significativa. Os teores encontrados são baixos, mas próximos aos dos turmalinitos mais pobres (Figura 4.4).



**Figura 4.5** - Teores em Au (g/t) de 5 amostras da formação pirrotítica bandada. O teor máximo incidiu em 1,26g/t, e o mínimo em 0,11g/t.

### **Turmalinitos bandados com quartzo**

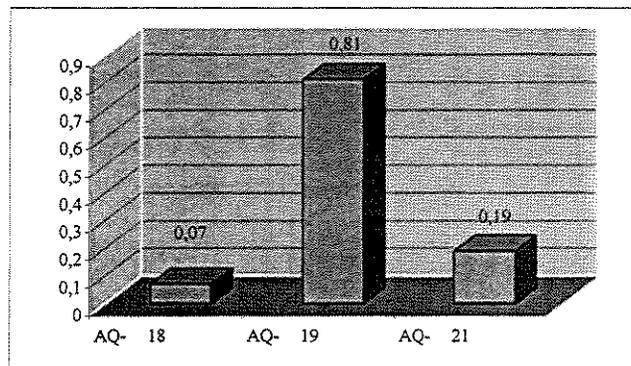
Ocorre na zona de contato entre Quartzito Moeda e Filito Batatal, geralmente com veios de quartzo associado. Os turmalinitos são formados pela intercalação de camadas de quartzo e turmalina. Os veios de quartzo são concordantes no contato e atravessam o filito carbonoso, resultando numa forma de viga em “T” invertido. Os turmalinitos são formados por bandas de turmalina (40%) com material amorfo carbonoso (30%) e bandas de quartzo (30%) com inclusões de turmalina (Foto 4.4a, b) e tendo como acessórios pirita, rutilo e ouro.

### **Turmalinitos associados a veios de quartzo encaixado nos filitos carbonosos**

Ocorrem como envelope do veio de quartzo e estão constantemente muito cisalhados. Possuem direção 240°/sub-vertical com caimento para SW (Foto 4.3a). Vista no plano da foliação a turmalina apresenta textura decussada e no corte na direção da foliação  $S_n$  a turmalina cristalizou entre os leitos de matéria negra carbonácea amorfa.

O turmalinito apresenta dobras fechadas e crenulação. Microscopicamente, a turmalina acompanha a foliação principal  $S_n$  e possui inclusões de material carbonoso no seu interior, um pouco rotacionada em relação a foliação  $S_n$ .

As amostras para análise química foram coletadas nas bordas dos veios abrangendo toda a extensão dos turmalinitos. Os teores encontrados são baixos (Figura 4.6).

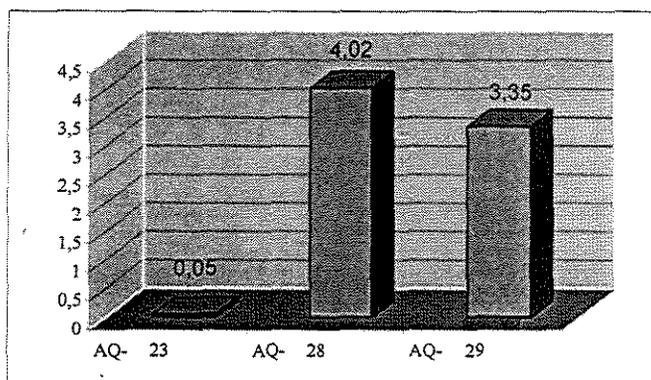


**Figura 4.6** - Teores em Au (g/t) de 3 amostras do turmalinito associado a veios de quartzo encaixados no Filito Batatal. O teor máximo encontrado foi 0,81g/t, e o mínimo 0,07g/t.

### Turmalinitos bandados com veios de quartzo

Os turmalinitos bandados ocorrem na base da formação pirrotítica bandada, intercalados com veios de quartzo gerando um bandamento de dimensões centimétricas a decimétricas (Foto 4.3c). Os turmalinitos apresentam-se finamente foliados, além de dobrados e crenulados (Foto 4.4c,d). Já os veios de quartzo formam grandes porções entre os turmalinitos e possuem muito material alterado supergenicamente, com formas características de arsenopirita.

As amostras para análise química foram compostas por turmalinitos e veios de quartzo, tomadas verticalmente abrangendo toda a espessura. Estes turmalinitos apresentam teores mais altos do que todos os anteriormente descritos, o que pode ser relacionado à presença de veios com sulfetos oxidados associados ao mesmo (Figura 4.7).

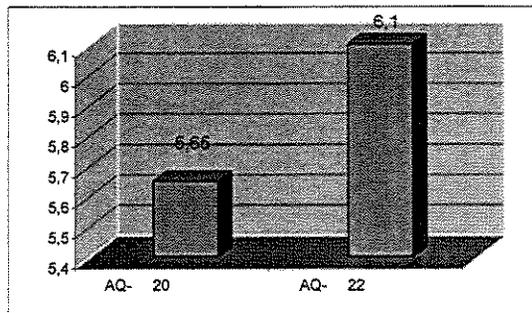


**Figura 4.7** - Teores em Au (g/t) de 3 amostras do turmalinito associado à base da formação pirrotítica bandada. O teor máximo incide em 4,02g/t, e o mínimo é inferior a 0,05g/t.

### Veios de quartzo com sulfetos

Encaixados nos filitos carbonosos, possuem dimensões métricas, posicionam-se secantes à foliação  $S_n$  e têm caimento para SW. São compostos por quartzo, arsenopirita e turmalina. O quartzo é dominante e muitas vezes tem aspecto leitoso. A arsenopirita ocorre como pequenos “buchos” e, também em pequena quantidade (Foto 4.3b). A turmalina ocorre como envelope do veio formando turmalinitos de espessura centimétrica.

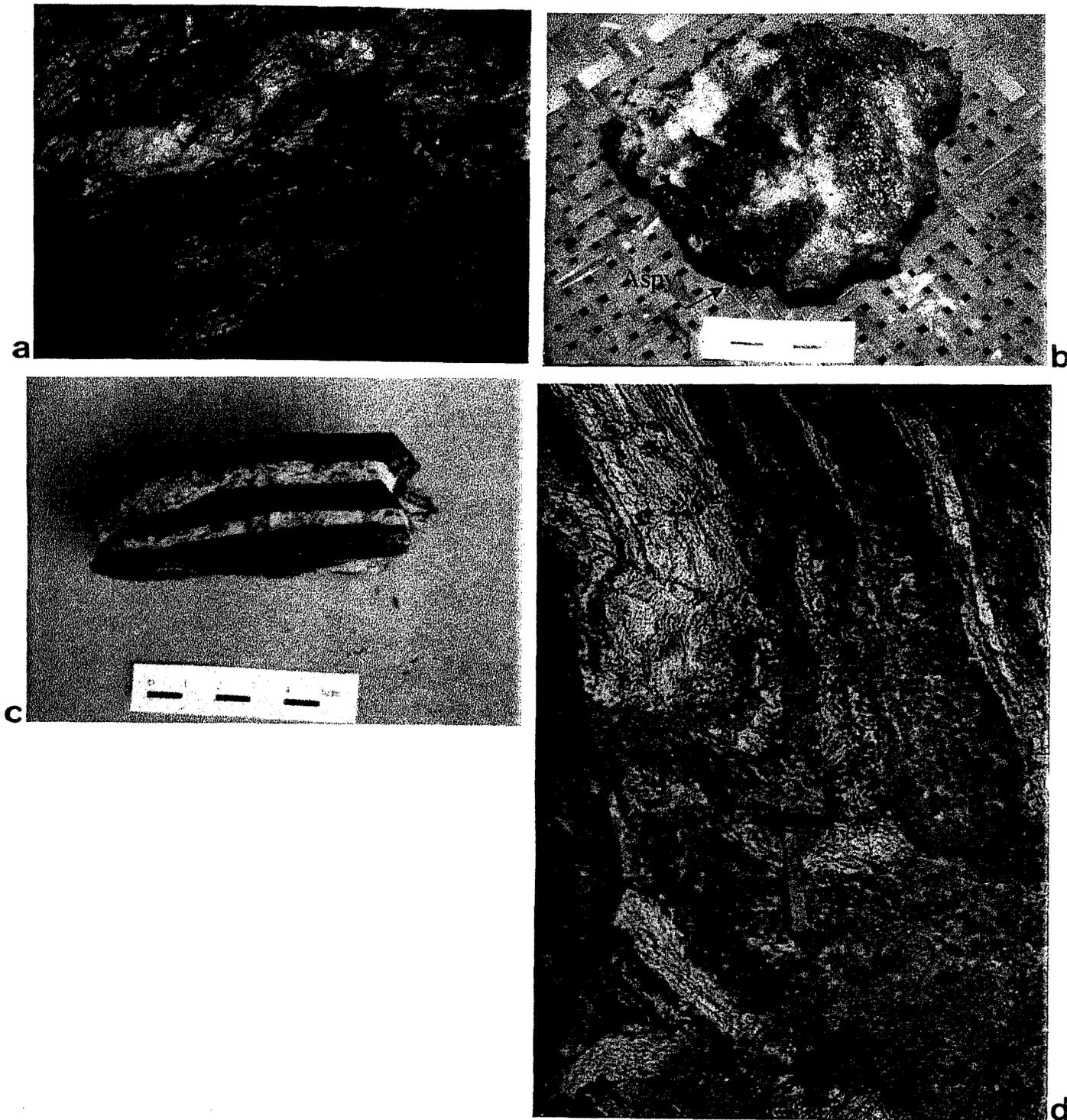
O veio da Mina Scliar possui pouca quantidade de sulfetos e apresentou teores de Au mais baixos, enquanto o veio amostrado na Mina Chico Rei possui maior quantidade de sulfetos a ponto de sua quantidade àquela de quartzo em muitos locais (Figura 4.8).



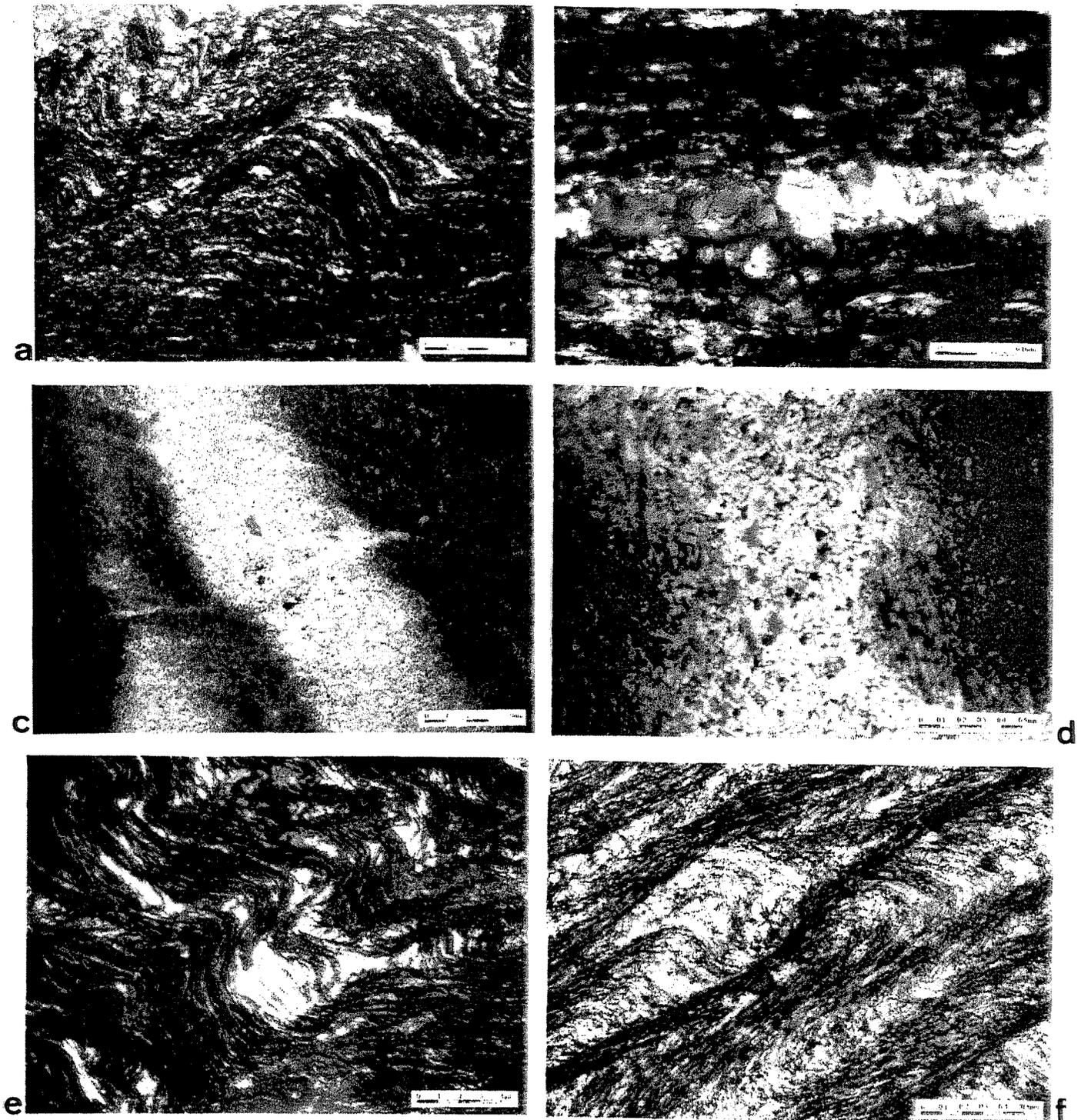
**Figura 4.8:** teores em Au (g/t) de 2 amostras dos veios a quartzo- arsenopirita. O teor o máximo incide em 6,1g/t, e o mínimo em 5,65g/t.

### **Veios de quartzo sub-paralelos, com *boudinage***

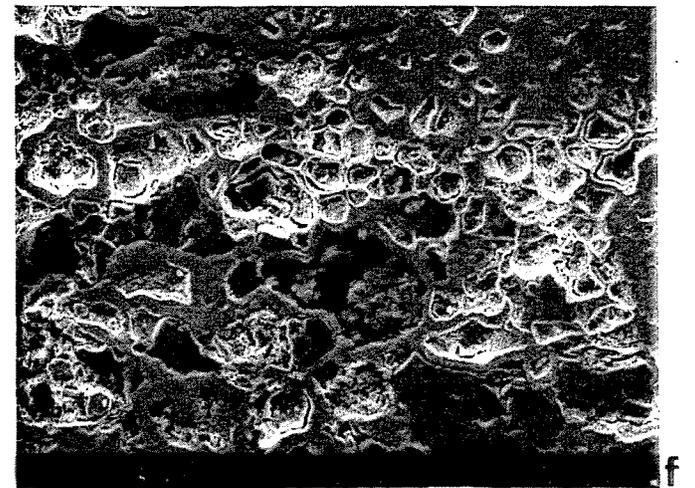
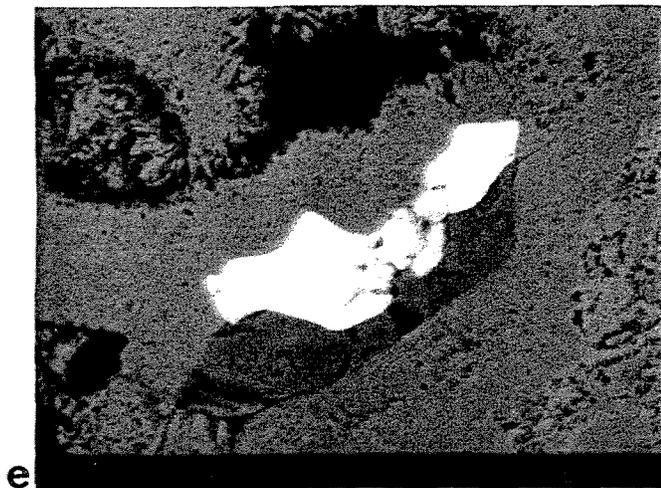
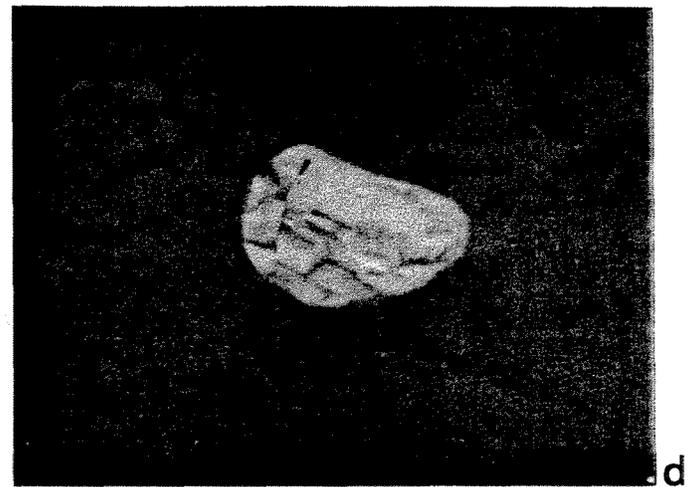
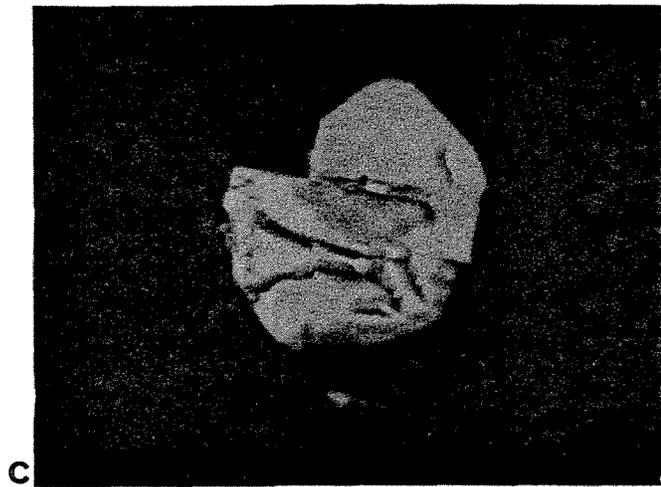
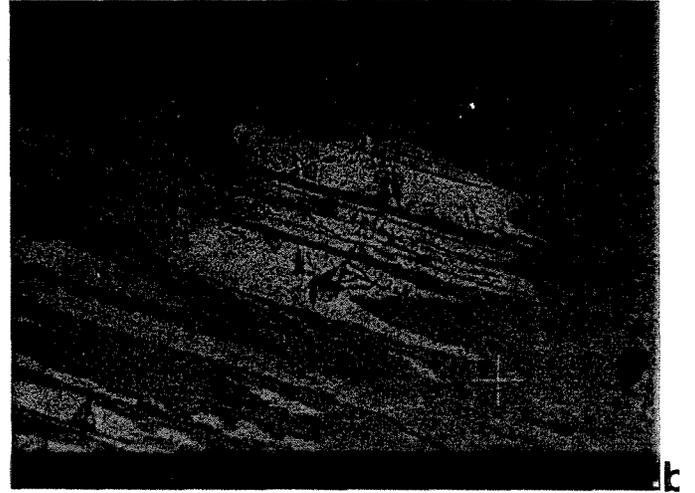
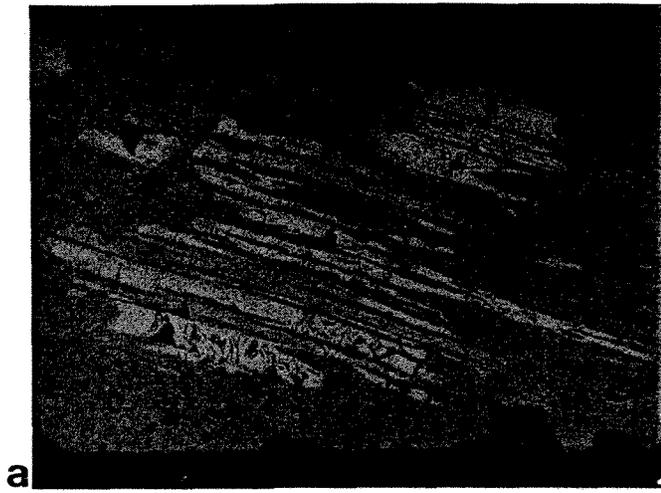
Ocorrem sub-paralelos à foliação C e estão encaixados na formação pirrotítica bandada. Estes veios formam pequenos buchos com material oxidado marrom resultado da oxidação de sulfetos. São veios de tensão associados a uma zona de cisalhamento e indicam movimento normal para sul.



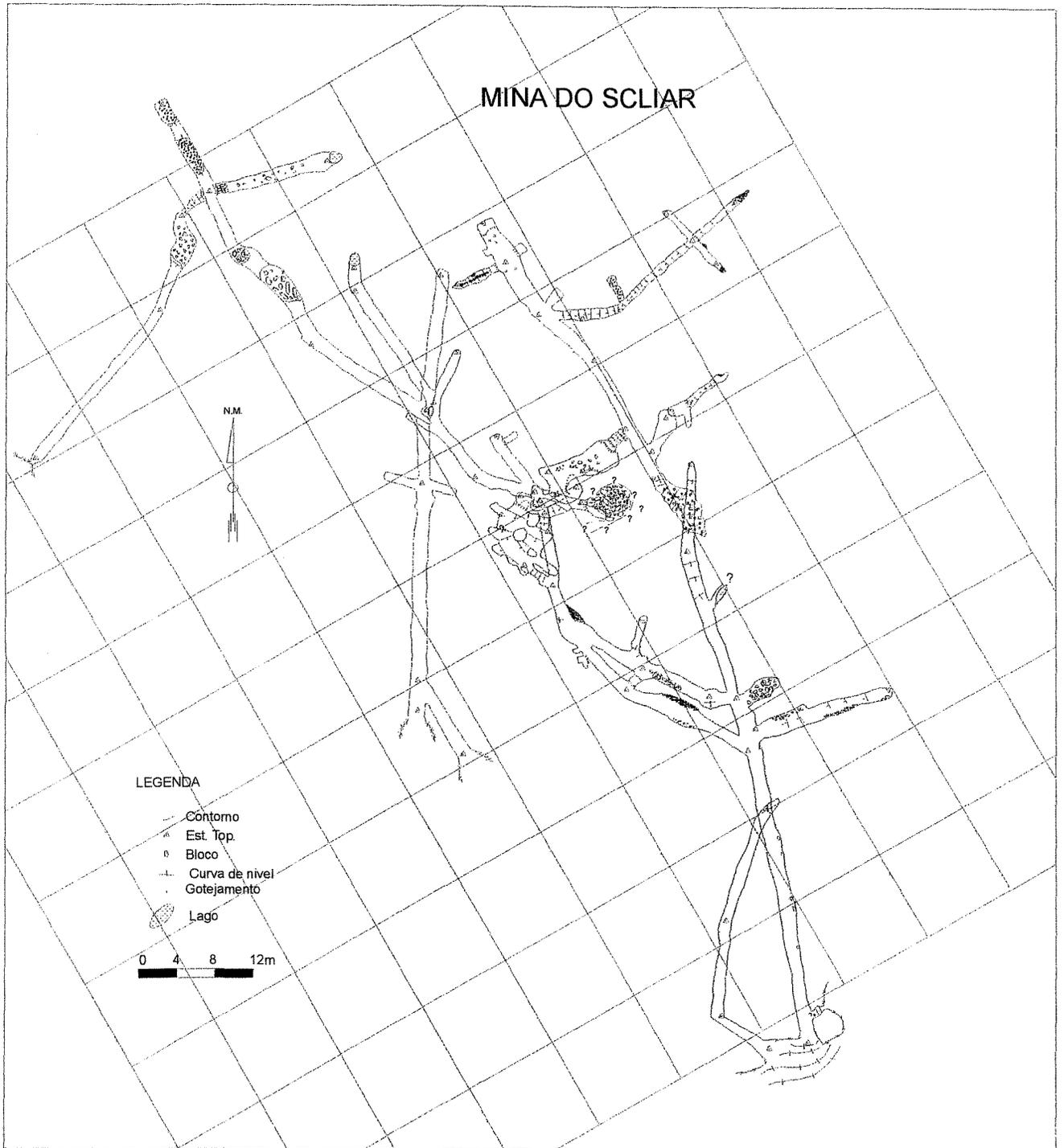
**Prancha 4.3** - a) Veio de quartzo com envelope de turmalinito, encaixado no filito carbonoso decrito no segmento 02 do nível 02 da mina. b) Amostra de mão retirada de um veio de quartzo com arsenopirita, no nível 03 da mina. Atualmente a maioria dos sulfetos deste veio encontram-se oxidados. c) Amostra de mão do turmalinito bandado com veio de quartzo encaixado no contato entre a base da formação pirrotítica bandada e o topo do filito carbonoso da Formação Batatal. Amostra retirada na entrada do nível 3 da mina. d) Formação pirrotítica bandada formada pela intercalação de camadas de quartzo sacaróide e material sulfetado (principalmente pirrotita), no segmento 01 do nível 02 da mina.



Prancha 4.4 - a) e b) Turmalinito bandado com quartzo, associado ao contato entre o topo do Quartzito Moeda e à base do Filito Batatal. c) e d) Turmalinização na base da formação pirrotítica bandada. Nas regiões mais claras é onde ocorre a mais intensa turmalinização e também o consumo de matéria orgânica. e) e f) Deformação associada ao nível de turmalinito supracitado. e) Dobras e f) clivagem associada à crenulação.



Prancha 4.5 - Caracterização mineralógica da formação pirrotítica bandada. a) e b) Pirrotita sendo alterada supergênicamente. c) Monazita euédrica. d) Monazita detrítica e) Monazita e rutilo f) Textura resultante da alteração supergênica que deu origem a goetita.



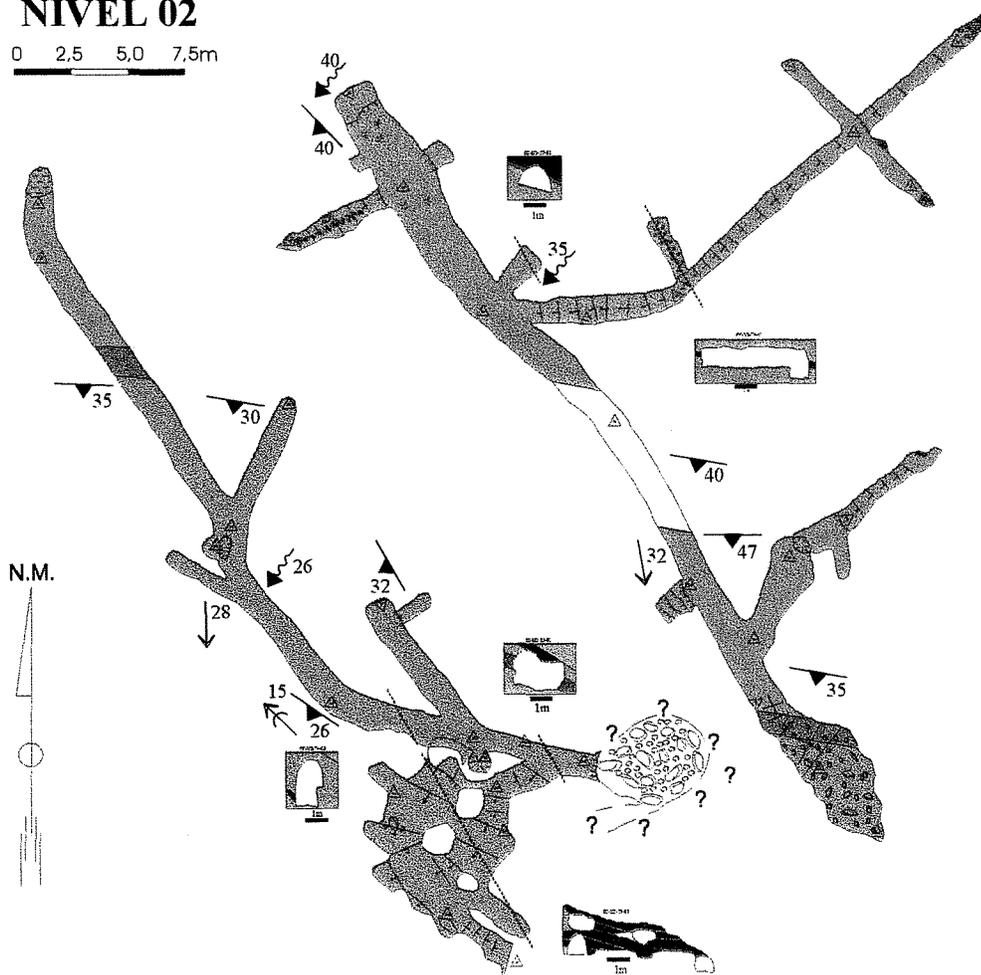
**Figura 4.4 - Mapa topográfico da Mina Scliar.**



**Figura 4.4a** - Mapa geológico do nível 01 da Mina Scliar.

**MINA DO SCLiar**  
**NÍVEL 02**

0 2,5 5,0 7,5m



**Convenções**

- ▲ Estação Top.
- Curva de nível
- ▭ Bloco abatido
- ⊙ Chaminé
- ⊗ Poço
- Veio de quartzo
- Itabirito
- Form. Pirrotítica bandada
- Argila
- Xisto marron bandado
- Turmalinito
- Filito carbonoso
- Quartzito
- 16 Foliação Sn
- 25 Lineação Lcre
- 25 Lineação Lm
- 32 Lineação B

Figura 4.4b - Mapa geológico do nível 02 da Mina Scliar.

# MINA DO SCLAR NÍVEL 03

0 2,5 5,0 7,5m

## Convenções

- △ Estação Top.
- ↗ Curva de nível
- ▭ Bloco abatido
- ☉ Chaminé
- ⊙ Poço
- Veio de quartzo
- ▨ Itabirito
- ▩ Formação pirrotítica bandada
- ▧ Argila
- ▦ Xisto marron bandado
- Turmalinito
- ▨ Filito carbonoso
- Quartzito
- Bucho de quartzo
- ↙<sub>16</sub> Foliação Sn
- ↘<sub>25</sub> Lineação Lcre
- ↘<sub>25</sub> Lineação Lm
- ↘<sub>32</sub> Lineação B

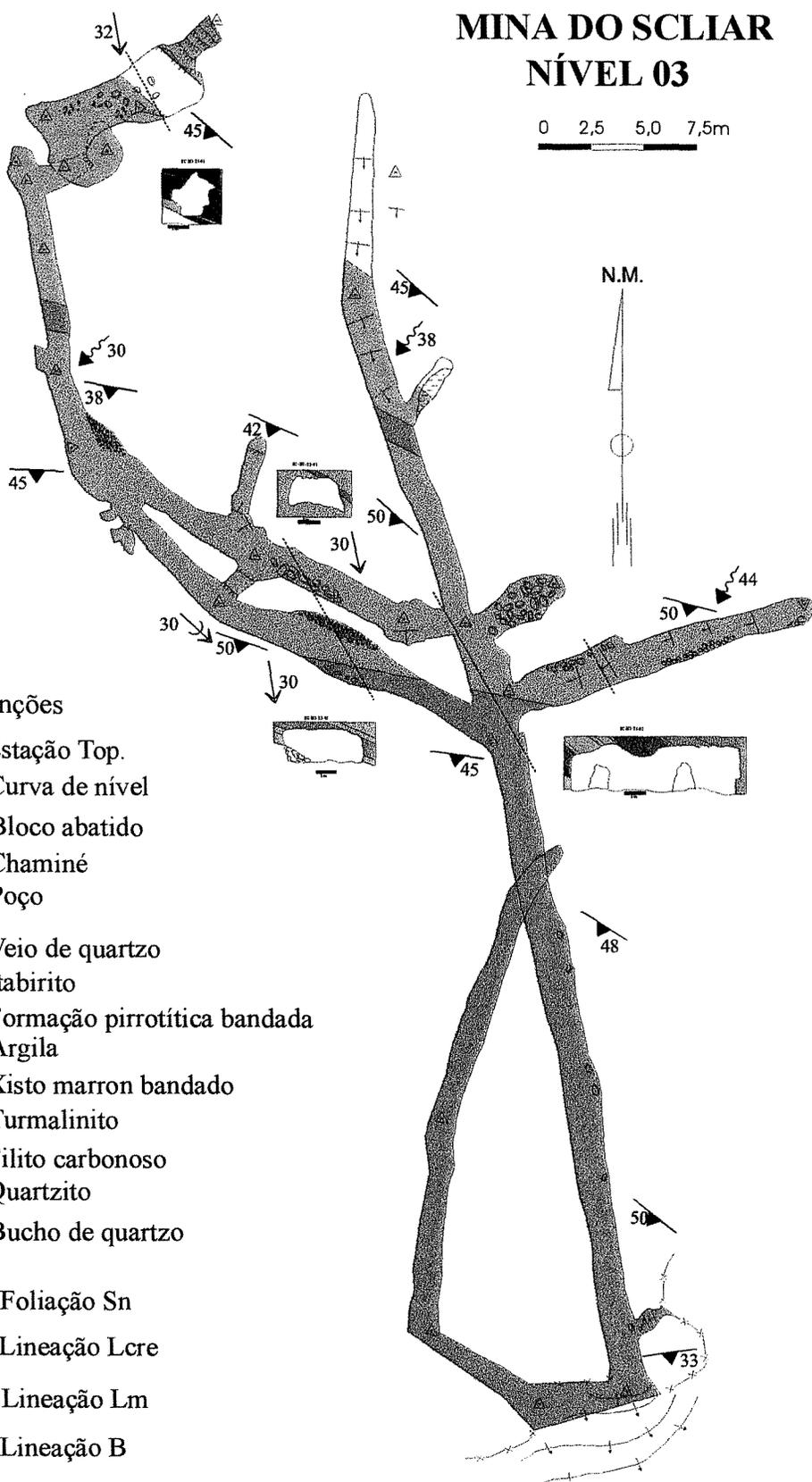


Figura 4.4c - Mapa geológico do nível 03 da Mina Scliar.

### **4.3.3 - Mina Chico Rei**

A Mina Chico Rei exibe grande extensão, com inúmeras galerias entrecruzadas e sobrepostas, grande parte das quais de acesso quase impossível devido a desabamentos e alagamentos. Os setores estudados consistem em 4 galerias principais, de direção 240° com seções predominantemente em forma de ogiva e mais raramente quadrangulares com alturas inferiores a 1,80 metros e larguras inferiores a 1,50 metros (Figura 4.9). O único salão que ocorre na mina, apresenta uma forma circular com aproximadamente 7 metros de diâmetro. A mina está posicionada numa altitude de 1070 metros e coordenadas UTM 656.637 E - 7.745.067 N.

As unidades lito-estratigráficas encontradas na Mina Chico Rei são as mesmas encontradas na Mina Scliar, no entanto, o que difere são as espessuras das unidades. A lapa da mineralização é um quartzito sericítico e a capa é um itabirito. Na zona mineralizada, os filitos carbonosos estão constantemente dobrados e crenulados, de tal forma que não se tem o controle da trama da foliação principal. Os xistos bandados alterados (argila) de cor marrom são semelhantes aos descritos na Mina Scliar e aparecem com espessura máxima de 2 metros. A formação pirrotítica bandada, representa a mesma unidade descrita na Mina Scliar. Os itabiritos silicosos ocorrem intercalados com itabiritos ocre e filitos hematíticos. Apesar de muito alterados reconhecemos um nível de anfíbolitos fibrosos.

### **Mineralização**

A mineralização está associada a turmalinitos e veios a quartzo-sulfetos (arsenopirita, pirita e calcopirita). Nos locais onde aparecem os corpos mineralizados a foliação principal  $S_n$  está quase sempre obliterada. Os turmalinitos aparecem na zona de contato entre o Quartzito Moeda e o filito Batatal com atitudes praticamente horizontais. Os veios possuem direção 230°/subverticais com caimento para SW e representam veios de tensão praticamente perpendiculares à lineação mineral descrita na mina (146°/subhorizontal). O veio bandado a quartzo-arsenopirita está associado ao fraturamento hidráulico conjugado numa zona de cisalhamento com movimento normal para SE.

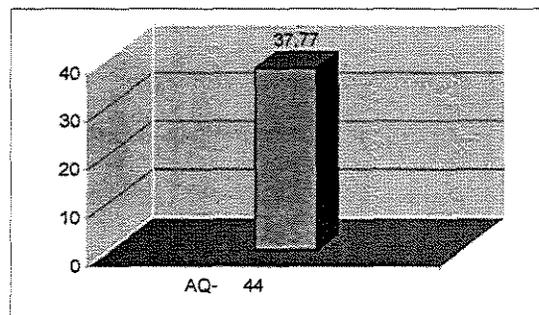
### **Turmalinitos**

Ocorre na zona de contato do Quartzito Moeda com o Filito Batatal. Trata-se de uma zona intensamente brechada. O horizonte de minério escavado é formado por blocos de turmalinitos imersos numa massa de quartzo formando uma lente-camada. Os turmalinitos não são coesos e possuem granulometria de areia média a fina (Foto 4.6a). Uma grande quantidade de veios de quartzo que cortam os turmalinitos não possuem orientações preferenciais.

### **Veio de quartzo-arsenopirita**

Ocorre encaixado nos filitos carbonosos com dezenas de metros de extensão, intensamente fraturados e com direção 240°/sub-vertical. São compostos por quartzo e porções maciças de arsenopirita (Foto 4.6b). Microscopicamente, as porções maciças de arsenopirita (99%) possuem quartzo, turmalina e mica branca como acessórios. A arsenopirita é euédrica a subédrica e não possui orientação preferencial. O quartzo é anédrico e ocorre preenchendo os vazios entre os grãos.

O veio semelhante que ocorre na Mina Scliar possui pouca quantidade de sulfetos e apresentou teores de Au mais baixos, enquanto o veio amostrado na Mina Chico Rei possui muito maior quantidade de sulfetos, tanto que chega a ultrapassar a quantidade de quartzo em muitos locais. A amostra foi tomada numa porção maciça de arsenopirita (Figura 4.10).



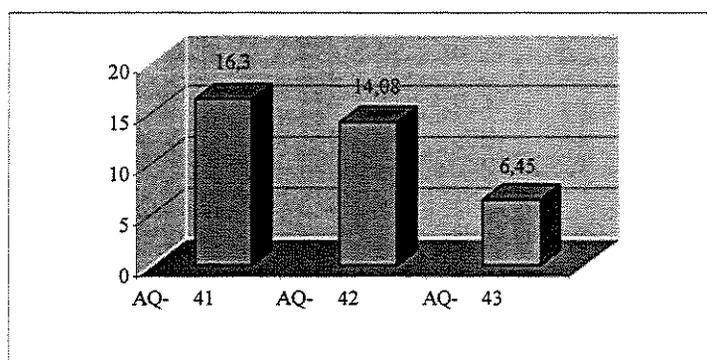
**Figura 4.10** - Teor em Au (g/t) de 1 amostra de veio de quartzo e arsenopirita resultou em 37,77g/t.

### **Veios de quartzo-pirita-calcopirita**

São veios que atingem mais de 50 metros de extensão, 1 a 5 metros de largura, alinhados na direção 240° , com caimento para SW, estão intensamente fraturados em pelo menos 3 planos: 325/63; 182/25; 19/25 (Foto 4.6f). O *plunge* é para SW e a galeria segue o topo do veio. O minério que foi explorado era o material que envolvia o veio. Este material

encontra-se totalmente intemperizado, só em raros pontos amostramos partes dele fresco, sendo composto essencialmente por pirita (Foto 4.6e). Microscopicamente a pirita revelou-se rica em inclusões de calcopirita e com fraturas hoje encontram-se preenchidas por goetita (Foto 4.7a).

O material para análise química foi coletado nas bordas dos veios e é composto por uma massa de material oxidado ferruginoso. Apresentou teores altos em relação aos turmalinitos e, médio em relação aos veios de quartzo-arsenopirita (Figura 4.11).



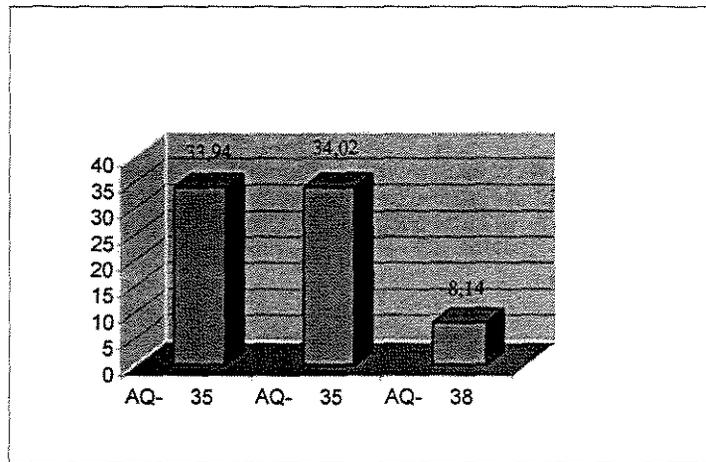
**Figura 4.11** - Teores em Au (g/t) de 3 amostras dos veios de quartzo-pirita-calcopirita. O teor máximo incidiu em 16,3g/t, e o mínimo em 6,45g/t.

### **Veio de quartzo bandado com arsenopirita**

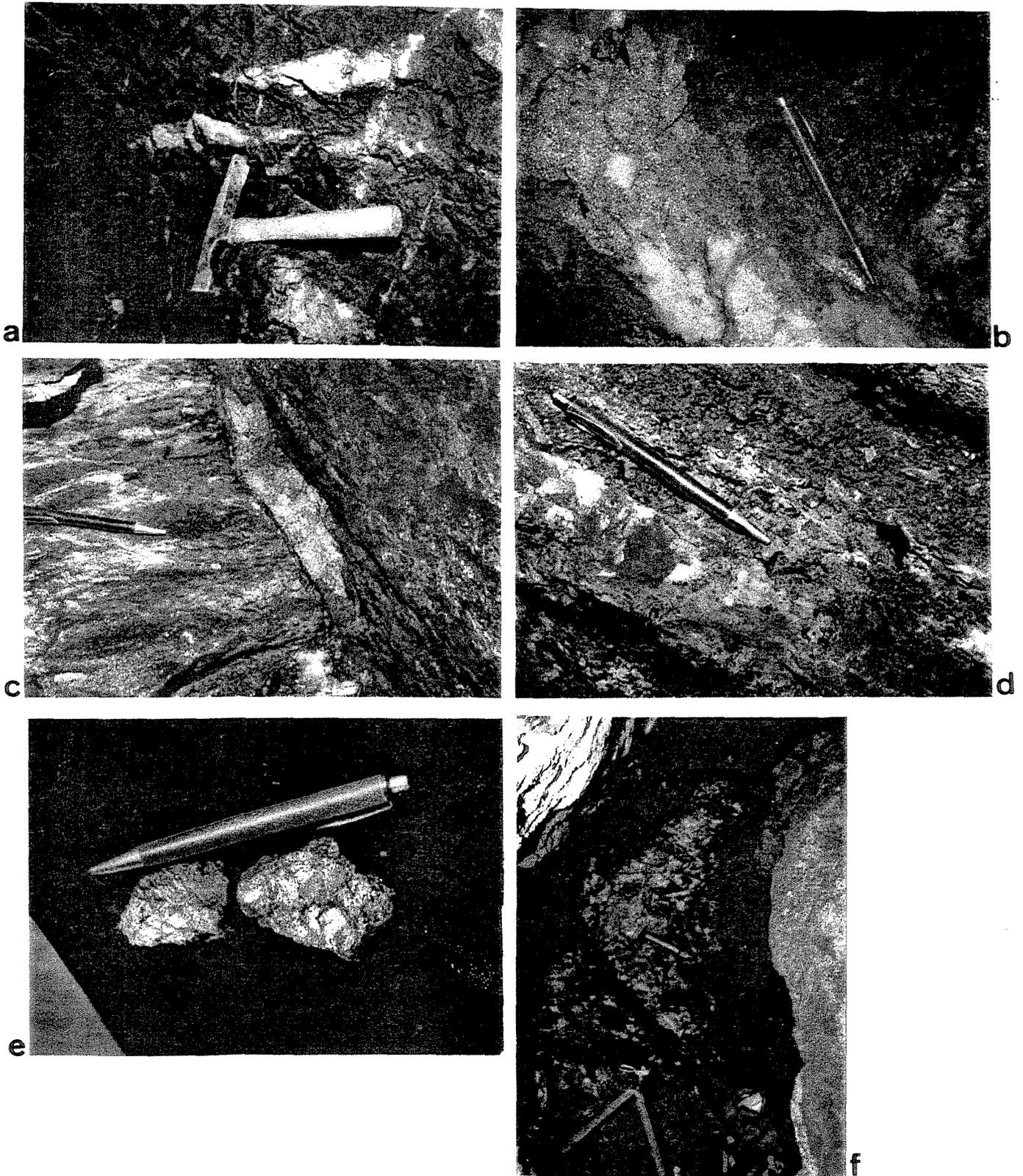
O minério é composto pela intercalação de bandas centimétricas de quartzo e arsenopirita (Foto 4.6c,d). Está encaixado numa zona de cisalhamento, possui contato discordante separado por uma auréola de arsenopirita maciça ao contato, que acaba por provocar sulfetação em níveis pelíticos do Quartzito Moeda, (Foto 4.7b,c). Aflora em dois pontos da mina, de forma que não se tem noção da dimensão deste corpo.

O bandamento do minério é discordante da foliação  $S_1$  do quartzito que é 260/40. O plano da falha tem atitude 138/78. A direção do plano de falha coincide com a direção dos veios mineralizados da mina (240°).

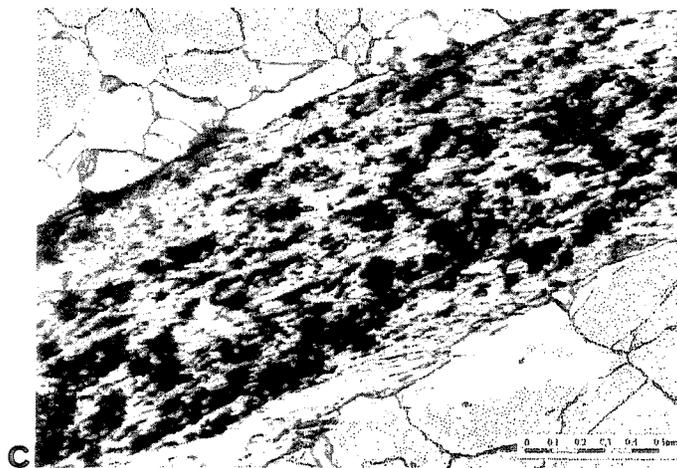
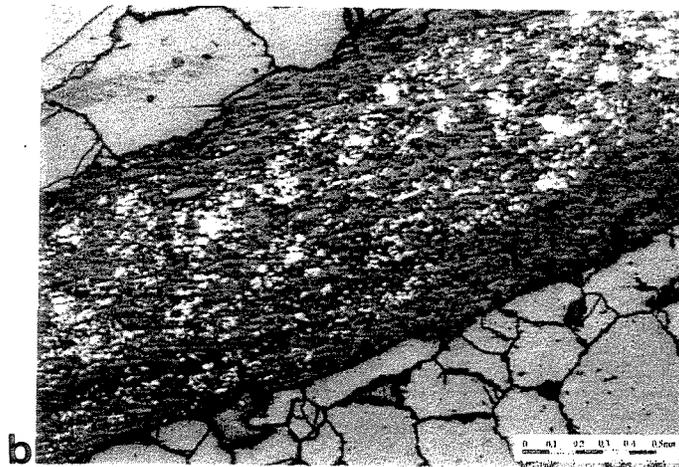
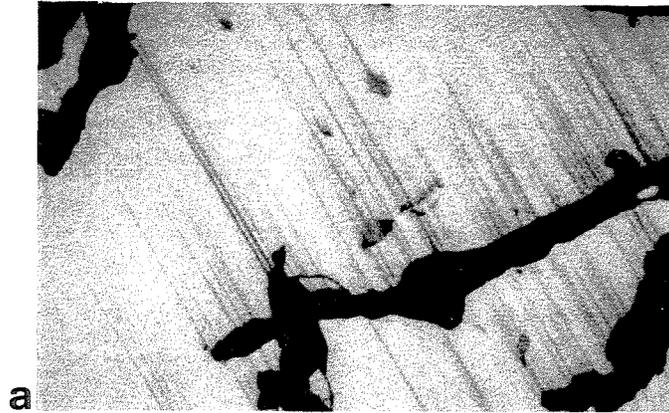
A amostragem para a análise química foi realizada segundo um canal vertical abrangendo a espessura do corpo. Os teores encontrados estão entre os mais altos, principalmente em relação aos turmalinitos (Figura 4.12).



**Figura 4.12** - Teores em Au (g/t) de 3 amostras do veio bandado a quartzo e arsenopirita. O teor máximo incidiu em 34,02g/t, e o mínimo em 8,14g/t.



Prancha 4.6 – Minérios da Mina Chico Rei. a) Turmalinito maciço de granulometria fina, tabular, encaixado entre o Quartzito Moeda e Filito Batatal, encontra-se recortado por veios de quartzo-carbonatos. b) Porção maciça de arsenopirita no interior de um veio quartzo-arsenopirita discordante encaixado no Filito Batatal. c) Contato secante entre o veio bandado a quartzo e arsenopirita com o Quartzito Moeda (ver detalhes no texto). d) Detalhe mostrando o bandamento do veio descrito anteriormente. e) Raro exemplar de pirita preservado, encontrado em meio ao material oxidado envelopando o veio de quartzo. f) Vista do veio a quartzo-pirita-calcopirita citado anteriormente envolvido por um material oxidado sulfetado composto principalmente por pirita e calcopirita.



Prancha 4.7- a) Microfotografia de um raro exemplar de piritá fraturada com inclusões de calcopirita encontrado em meio ao material oxidado que envolve um veio de quartzo. Este material foi intensamente explotado da mina, onde foi escavada uma galeria no topo do veio por mais de 50 metros de extensão. b) e c) Nível pelítico do Quartzito Moeda marcado pela presença de arsenopirita. Esta amostra foi coletada próximo ao veio bandado a quartzo-arsenopirita. Em b) luz refletida e c) luz transmitida.

# MINA CHICO REI

0 2,5 5,0 7,5m

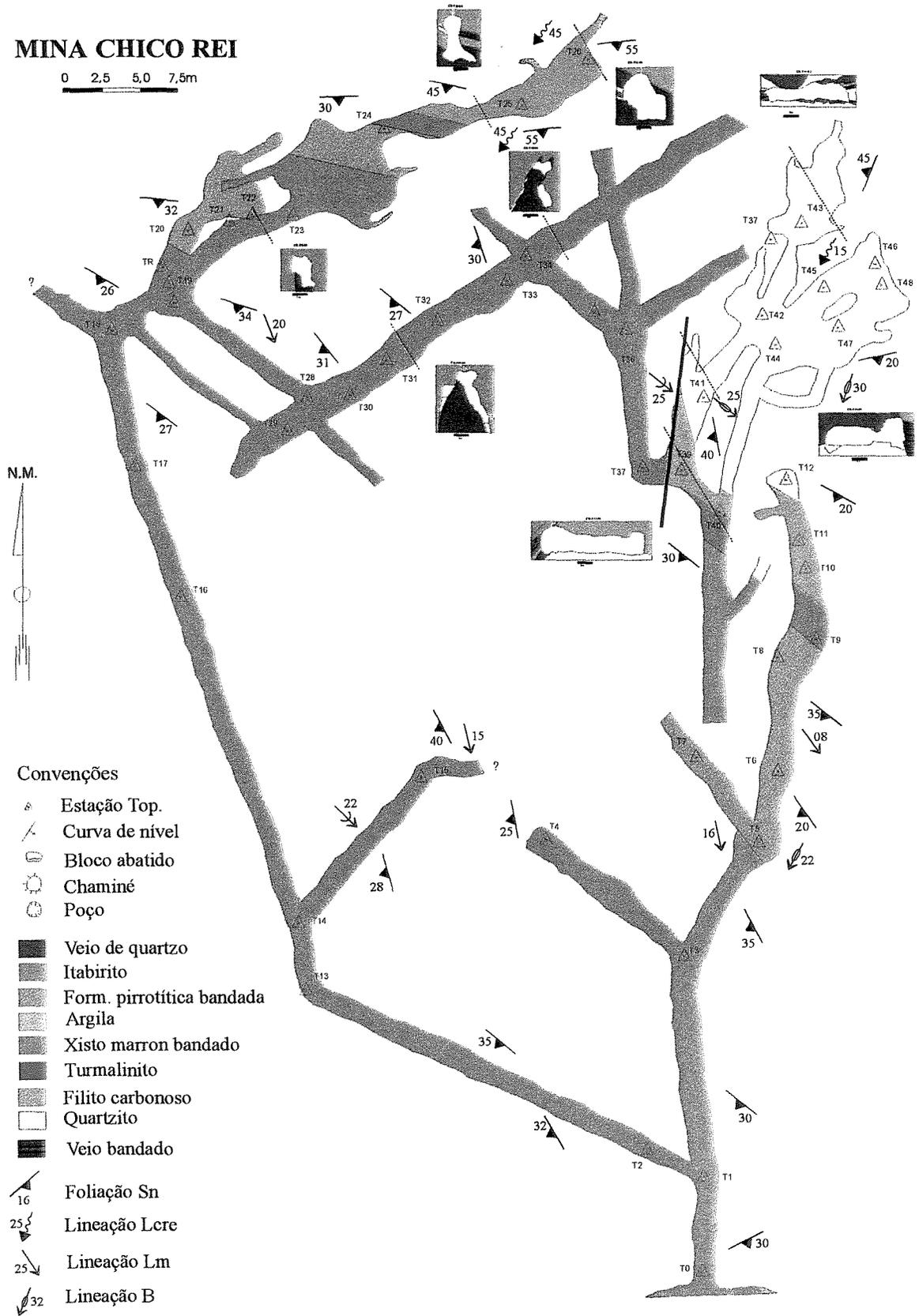


Figura 4.9 - Mapa geológico da Mina Chico Rei.

## **4.4 – Análise Integrada dos Corpos de Minério**

Os corpos de minério ocorrem distribuídos de forma restrita e irregular dentro de cada unidade estudada e estão associados principalmente a fraturamentos, falhamentos, zonas de cisalhamento e entre determinadas litologias. O fraturamento e as falhas normais são relacionados a uma extensão com vetor máximo NW-SE, as zonas de cisalhamento possuem vetor máximo na direção SE e as falhas de empurrão tem transporte tectônico no sentido SE-NW.

### **4.4.1 - Distribuição Espacial e Posicionamento Estratigráfico**

Em termos de distribuição areal os corpos de minérios se concentram no domínio leste da área segundo um lineamento na direção 230° e são distribuídos no intervalo estratigráfico entre a base do Quartzito Moeda e a Formação Cauê (Figura 4.13). Dentro de cada seqüência ocorrem de forma diferente devido às diferenças químicas e reológicas do material envolvido no processo de mineralização. Os horizontes metapelíticos carbonosos são reativos aos fluidos e fica clara a relação entre mineralização e estes níveis.

#### **Corpos de turmalinito**

Os turmalinitos se desenvolvem nos contatos lito-estratigráficos e em veios secantes.

No contato entre o Grupo nova Lima e a formação Moeda os turmalinitos formam uma camada com até 1,2 metros de espessura, tendo como capa um nível delgado de filitos carbonosos. Não foram encontradas feições de substituição, dando idéia de que teria havido alteração da rocha pré-existente, restando apenas uma fina camada de filito carbonoso no topo, que poderia ter servido para impedir a passagem do fluido. Visto que os turmalinitos estão foliados e dobrados, assim como suas encaixantes, houve movimento tectônico importante ao longo do nível que ocupam, apagando eventuais texturas de substituição.

O andar estratigráfico superior, representado pelo pacote de quartzitos sericíticos da Formação Moeda, encontra-se intensamente fraturado e encaixa um grande veio com feições características de fraturamento hidráulico. Neste veio, em meio à massa de quartzo encontram-se grandes blocos de quartzito com traços de estruturas primárias preservadas. Os turmalinitos ocorrem nas zonas de contato do veio com a rocha encaixante e a invadem por alguns

centímetros, justamente ocupando os planos de aleitamento primários, aproveitando os planos micáceos. Esta invasão ocorre nos blocos imersos na massa de quartzo. No interior dos veios há ainda buchos formados essencialmente por turmalinitos.

Os turmalinitos formam-se onde há maior disponibilidade de  $Al_2O_3$ , nos níveis pelíticos dos quartzitos ou nas paredes do veio ou em forma de buchos. A interpretação é de que o fluido rico em boro, além de ter substituído amplamente uma camada de filitos carbonosos, consegue atravessar, de forma secante, o pacote de quartzitos sericítico. Uma vez que o fluido atinge o nível seguinte de filitos carbonosos, representados por uma camada que chega a atingir localmente 10 metros de espessura, essa camada passa a representar um novo obstáculo, talvez ainda mais potente que o anterior, por ser mais espesso.

Neste novo nível lito-estratigráfico forma-se uma camada de turmalinitos, só que agora eles são um pouco diferentes. Possuem bandamento composicional com bandas de matéria carbonosa intercaladas com bandas de sericita xisto, turmalinito e quartzo. Há novamente formação de brechas compostas por blocos de turmalinitos e filitos carbonosos em meio à massa de quartzo.

A seguir o fluido atinge a base da Formação Cauê onde ocorre o último nível turmalinizado explotado das minas estudadas. Aqui os turmalinitos apresentam padrão fitado formando bandas com quartzo de veio. Novamente os turmalinitos encontram-se foliados, dobrados, crenulados, clivados e venulados.

#### **Veio bandado a quartzo-arsenopirita**

Este minério é restrito ao Quartzito Moeda e está associado a fraturas conjugadas que desenvolveram-se numa zona de cisalhamento normal. As bandas de sulfeto atingem até 3 centímetros de espessura intercaladas com camadas de quartzo de mesma dimensão. Entre o quartzito e o corpo de minério ocorre um preenchimento com, aproximadamente, 5 centímetros de espessura de pura arsenopirita. No quartzito ocorre uma sulfetação pouco pervarsiva, sem características de substituição.

#### **Veios de quartzo-arsenopirita-turmalina**

Estes veios possuem ocorrência restrita ao Quartzito Moeda e Filito Batatal. Possuem orientação constante na direção 230-240°, sub-vertical. A turmalina ocorre associada,

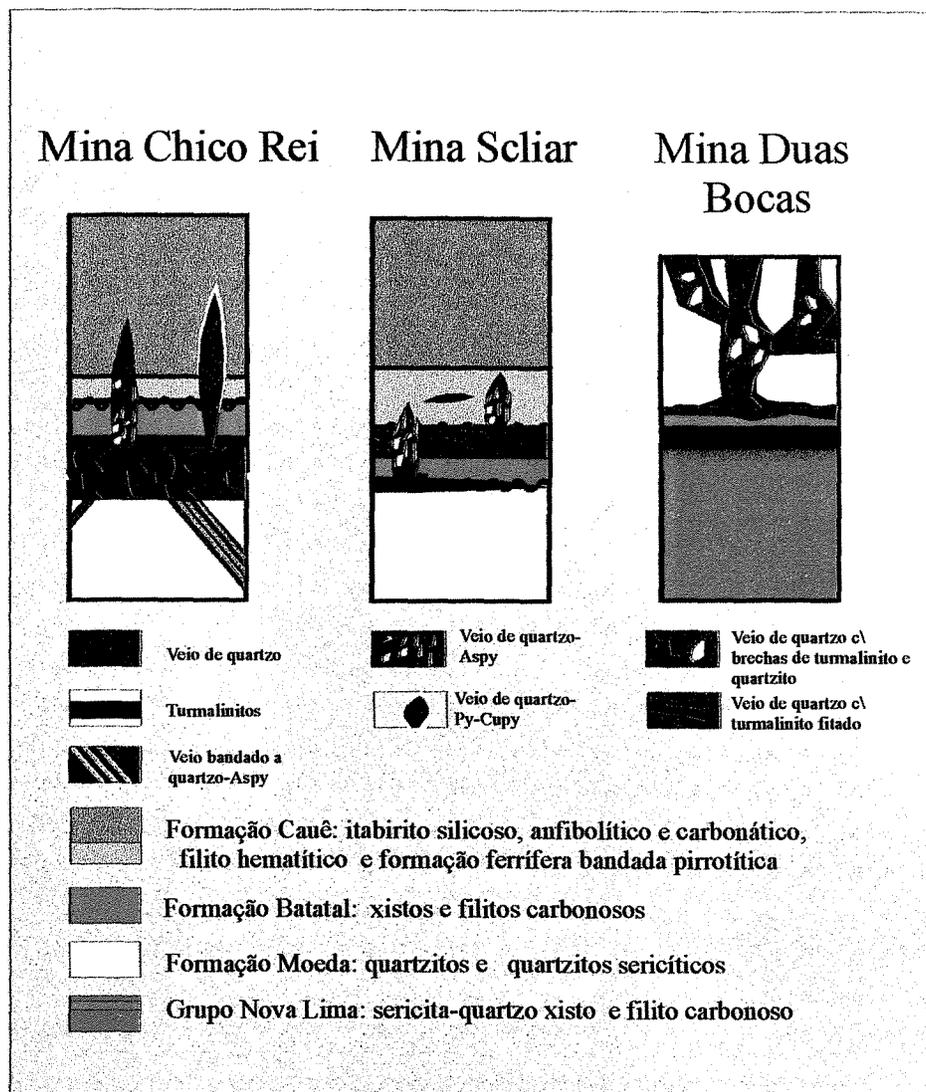
principalmente, às bordas dos veios e a arsenopirita forma buchos em meio à massa de quartzo. O caimento (*plunge*) destes veios é paralelo à lineação de crenulação, que por sua vez mergulha na mesma direção da foliação principal  $S_n$ . Estes veios podem ter-se originado devido ao fraturamento hidráulico relacionado ao afundamento da bacia que pode estar relacionado a uma tectônica extensional.

#### **Veios de quartzo-pirita-calcopirita-turmalina**

Possuem a mesma geometria e orientação dos veios descritos anteriormente (230–240°/verticais), só que estão encaixados nos itabiritos da Formação Cauê. A mineralização está relacionada aos envelopes de pirita, calcopirita e turmalina, contrariamente aos veios ricos em arsenopirita, onde a mineralização ocorre no corpo do veio. A calcopirita ocorre como inclusões na pirita. A solução mineralizante tem pouca reatividade com a encaixante, de forma que o halo é restrito.

#### **Formação pirrotítica bandada**

Ocorre associada à base da Formação Cauê, onde hospedou-se numa zona de cisalhamento normal. Os níveis de sulfetos encontram-se intensamente boudinados e dobrados e nos níveis quartzosos sacaroidais é que se desenvolve a trama SC. Na base dessa formação ocorre grande quantidade de veios e turmalinitos intensamente deformados. Esta zona de alteração hidrotermal possui forma lenticular, adelgaçando em direção às bordas, fato atestado pelas variações de espessura observadas à medida que se afasta da estrutura mestra. Atinge espessura máxima de 10 metros e mínima de poucos centímetros.



**Figura 4.13** – Situação e feições típicas dos corpos de minérios ao longo da coluna estratigráfica da Serra de Ouro Preto (ver discussão no texto).

#### **4.4.2 –Paragêneses Minerais Características**

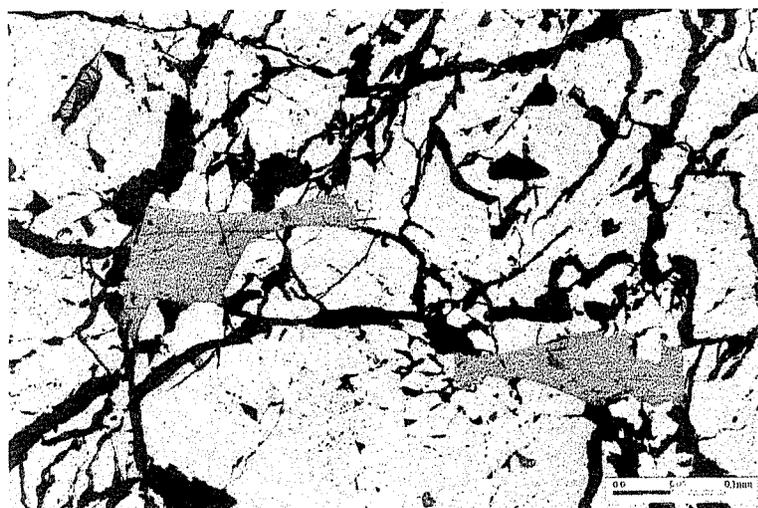
A mineralização aurífera da região estudada se apresenta de três modos: associada a turmalinitos, a veios de quartzo sulfetados e às formações pirrotíticas bandadas. O ouro encontra-se associado indistintamente a sulfetos ou a turmalina . Os turmalinitos são pobres em sulfetos, que aparece disseminado entre os grãos de turmalina. Os veios de quartzo mineralizados são ricos em sulfetos, principalmente arsenopirita e pirita e, secundariamente, em calcopirita e turmalina. A formação pirrotítica bandada, tipicamente, é formada por camadas de quartzo intercaladas com camadas de pirrotita, constituindo veios bandados.

Nos turmalinitos, a turmalina, geralmente exibe zoneamento que se manifesta através da mudança de cor do cristal da borda para o centro. Um aspecto característico da turmalina é a mudança granulométrica que ocorre dependendo do ambiente hospedeiro. É de granulometria mais fina (silte) quando hospeda-se em horizontes de filito carbonoso, de granulometria média (areia fina) quando se desenvolve nas zonas de contato entre litologia-veio e de granulometria grossa (areia média) quando nos buchos interiores aos veios de quartzo.

Nos veios, o ouro associa-se principalmente aos sulfetos. Estes veios são ricos em arsenopirita ou pirita. Os veios com arsenopirita estão encaixados no filito carbonoso e zonas de cisalhamento, enquanto os veios ricos em pirita estão encaixados no itabirito. Foram observados, no primeiro caso, grãos de ouro associados a fraturas na arsenopirita (Foto 4.8).

**Tabela 03:** composição mineralógica dos corpos de minério: turmalinito 1(associado ao contato superior do Grupo Nova Lima com o quartzito da base da Formação Moeda; turmalinito 2 (turmalinito em veios de quartzo encaixados no sericita quartzito da Formação Moeda); turmalinito 3 (bandado com quartzo associado ao contato do sericita quartzito da Formação Moeda com filito carbonoso da Formação Batatal); turmalinito 4 (associado a veios de quartzo encaixados no filito carbonoso da Formação Batatal); turmalinito 5 (associado a zona de contato superior do filito carbonoso da Formação Batatal com formação ferrífera carbonática da base da Formação Cauê).

<b>Corpos</b>	<b>Esp.</b>	<b>Minerais Essenciais (na ordem de abundância)</b>	<b>Minerais Acessórios</b>
<b>Turmalinito 1</b>	1,20 m	turmalina	Pirita, sericita, rutilo, ouro, zircão, cobre, apatita, monazita e xenotima.
<b>Turmalinito 2</b>	1,0 m	turmalina	Ouro, quartzo,
<b>Turmalinito 3</b>		turmalina, matéria carbonácea e quartzo	Arsenopirita, rutilo, ouro, zircão, apatita.
<b>Turmalinito 4</b>	20 cm	matéria carbonácea, turmalina e sericita	Quartzo e ouro
<b>Turmalinito 5</b>	2,0m	turmalina, quartzo e matéria carbonácea	Rutilo, monazita, zircão e titanita.
<b>Veio bandado com Aspy</b>	>2,0m	Arsenopirita e quartzo	
<b>Veio qtz-tur-Aspy</b>	>2,0m	quartzo, arsenopirita, turmalina	Inclusões de pirrotita
<b>Veio qtz-py-Cupy-tur</b>	>2,0m	quartzo, pirita, calcopirita e turmalina	
<b>Fm. pirrotítica bandada</b>	10 m	quartzo, pirrotita	arsenopirita, pirita, monazita e rutilo



Prancha 4.8 – Veio de quartzo-arsenopirita com grãos de ouro associados a fraturas em arsenopirita.

## 4.5 - História da Colocação dos Corpos Mineralizados

Os processos responsáveis pela formação da mineralização aurífera na área estudada estão relacionados à instalação de um sistema hidrodinâmico, devido a movimentos crustais. Estes movimentos foram descritos por Chemale Jr. (1994a,b) como o desenvolvimento de *metamorphic core complex* ou formação de uma província *dome and keel* descrito por Marshak *et al.* (1997). Daí surge a primeira questão: esta mineralização é pré ou sin-deformacional. Se for *pré* deformacional, pode estar associada a processos diagenéticos, ligados ao soterramento e aprofundamento da bacia. Se for sin-deformacional, pode ser correlacionada à intrusão de domos graníticos, que claramente ocorrem em toda a região do Quadrilátero Ferrífero, como descrito por Chemale Jr. (op. cit) e Marshak *et al.* (op.cit).

Considera-se que a mineralização pode ter ocorrido devido à introdução de fluidos originados a partir de processos tectônicos que resultaram na intrusão de domos (complexos do embasamento/granitóides). Os fluidos hidrotermais, de origem profunda, penetraram nas discontinuidades das rochas, rompendo várias barreiras físicas (rochas impermeáveis), causando fraturamento hidráulico e gerando brechas. A mineralização encontra-se associada a turmalinitos e veios sulfetados. Estes minérios estão relacionados a um único sistema mineralizante que pode ter se diferenciado ao longo de sua trajetória, ou pertencer a diferentes pulsos hidrotermais separados temporalmente, aproveitando as discontinuidades pré-existentes.

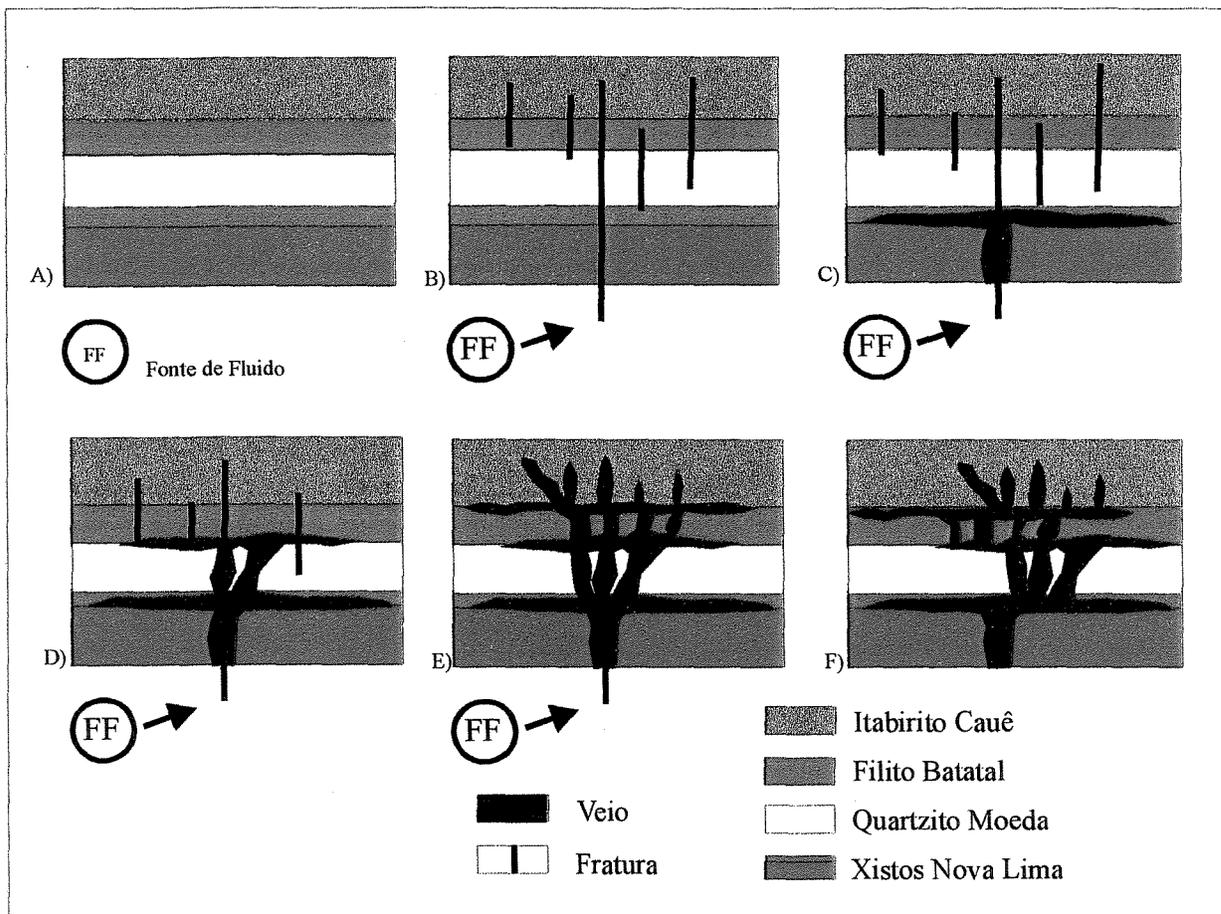
A idéia é que a mineralização ocorreu em pelo menos dois estágios distintos: o primeiro resultou na colocação de corpos de turmalinitos e quartzo-sulfetos e um segundo estágio responsável pela formação de veios sulfetados bandados. Ambos fazem parte de um único sistema hidrotermal, só que o primeiro no domínio totalmente rúptil e o segundo no domínio de deformação dúctil-rúptil.

### **Primeiro Estágio**

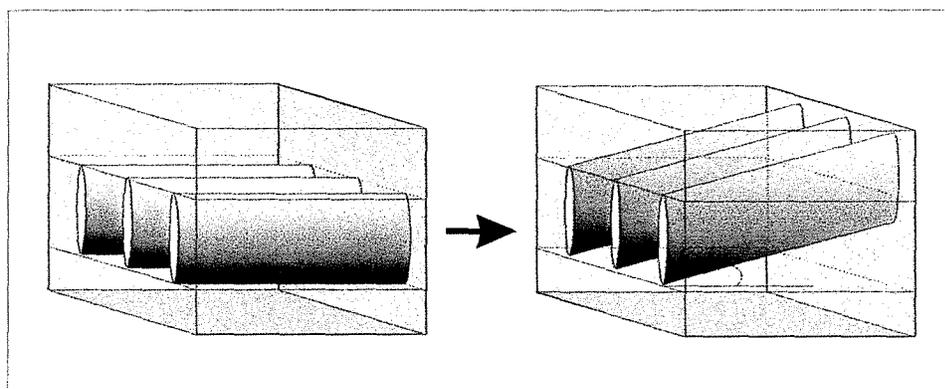
A turmalinização está relacionada à reação dos fluidos ricos em Boro com rochas encaixantes ricas em  $Al_2O_3$ . Este processo resultou na formação de turmalina e localmente a precipitação do ouro metálico (ouro em turmalinitos sem sulfetos). A turmalina formou-se principalmente devido à alteração de camadas de filito e de xisto carbonoso, principais rochas hospedeiras do turmalinito e que possuem uma estreita relação com os veios de quartzo. Os turmalinitos formam lentes camadas e veios paralelos, quando associados aos contatos entre as rochas. Formam envelopes e buchos quando associados aos veios secantes.

Os turmalinitos aparecem em três níveis lito-estratigráficos e podem ter se formado em três pulsos. O primeiro pulso ocorre na interseção da fratura com o contato litológico, entre o topo dos sericita xistos carbonosos do Grupo Nova Lima e à base dos quartzitos da Formação Moeda, onde a rocha além de servir como reservatório de  $Al_2O_3$ , serviu também como uma barreira que ocasionou o fraturamento hidráulico no pacote de quartzitos situado logo acima do contato. Nos quartzitos e nas brechas de quartzitos incorporadas pelos veios ocorreram injeções de fluidos nos níveis pelíticos que também resultaram na turmalinização. No segundo pulso, ocorreu novamente a formação de uma barreira física impedindo o fluido de prosseguir, acumulando-se na zona de contato entre os quartzitos e os filitos carbonosos e gerando uma nova lente-camada de turmalinitos. Esta camada é rompida, gerando brechas compostas por blocos de turmalinitos e filitos carbonosos em meio a massa de quartzo. A próxima barreira aparece relacionada ao contato entre o topo dos filitos carbonosos e à base da formação ferrífera. Nesta posição formou-se mais uma lente camada de turmalinitos e o processo de brechação foi de menor intensidade ocorrendo o padrão fitado formado por placas de turmalinitos intercaladas com veios de quartzo (Figura 4.14).

Neste primeiro estágio, a mineralização aurífera está relacionada a fluidos ricos em Boro dando origem aos turmalinitos em um campo de deformação dútil, que acabou por gerar uma grande quantidade de veios de quartzo-sulfetos. Estes veios mineralizados podem estar relacionados a descontinuidades pré-existentes nas encaixantes, ao final preenchidas por quartzo, arsenopirita, pirita, calcopirita e pirrotita. Atualmente estes veios encontram-se rotacionados devido ao soergimento do Anticlinal de Mariana (Figura 4.15).



**Figura 4.14-** Modelo de evolução do sistema hidrotermal estudado, baseado nas situações encontradas nas minas duas Bocas, Scliar e Chico Rei. a) posicionamento inicial da seqüência lito-estratigráfica. b) fraturamento das unidades. c) primeiro pulso de injeção de fluidos na seqüência basal, no contato do SGRV com o SGM. d) segundo pulso de injeção de fluidos no Quartzito Moeda e no contato com o Filito Batatal. e) terceiro pulso de injeção de fluidos no Filito Batatal e na zona de contato com a Formação Cauê. f) deformação posterior à colocação dos veios.



**Figura 4.15 -** Modelo de rotação de um sistema de veios após sua colocação, para explicar o caimento médio de 30° na direção 230°, do sistema estudado. a) posicionamento inicial dos veios quando as seqüências litológicas encontravam-se horizontalizadas. b) posicionamento dos veios após as seqüências litológicas sofrerem rotação devido ao soergimento do Anticlinal de Mariana.

## Segundo Estágio

Na Segunda fase é que se formaram os veios sulfetados bandados. Estes veios estão associados a fraturamentos hidráulicos conjugados que ocorreram em zonas mais profundas da crosta, com forma de uma rede anastomosada complexa. Este tipo de geometria foi descrito primeiramente por Hill (1977)<sup>1</sup> como *mesh*. Tal estrutura é interligada por fraturas hidráulicas extensionais e implicam que a pressão do fluido, localmente, excedeu o *stress* principal (Sibson *et al.*, 1998). Na área estudada, estas estruturas são vistas a nível megascópico (Figura 4.17), e localmente na Mina Chico Rei onde desenvolveram-se em rochas mais competentes, como é o caso dos quartzitos (Figura 4.16). Os veios são ricos em arsenopirita e possuem os teores mais altos de ouro.

Nestas zonas os veios bandados a quartzo e arsenopirita estão associados às zonas de dilatação que se formaram em decorrência de deformação incremental. Esta deformação gerou fraturas conjugadas associadas ao cisalhamento onde teve início o processo de mineralização (Figura 4.16).

Já na base da formação ferrífera bandada, próximo ao contato com os filitos carbonosos, vê-se que há uma zona de cisalhamento normal, sulfetada com pirrotita e secundariamente, arsenopirita e pirita. O corpo bandado é formado pela intercalação de camadas de sulfetos e sílica sacaróide. Os corpos de minérios descritos acima possuem registros de deformações posteriores à sua colocação e devem ter se formado anteriormente à fase principal de deformação, que localmente é descrita com extensional, com vetor de transporte tectônico na direção SE-NW.

---

<sup>1</sup> *Apud*, Sibson *et al.* (1998).

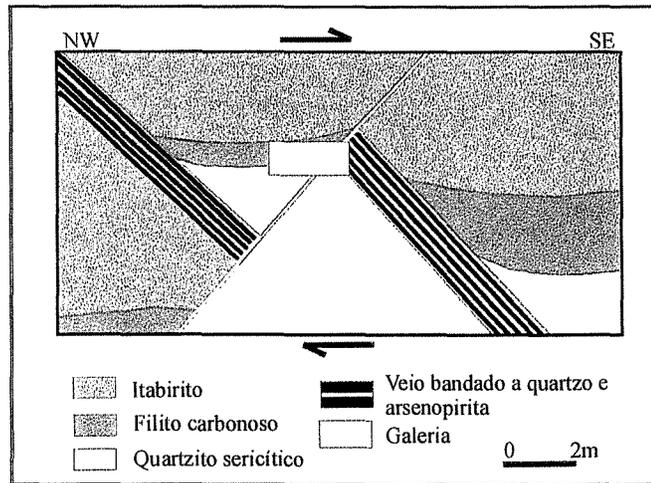


Figura 4.16 - Modelo de geração de veios bandados a quartzo e arsenopirita associado ao fraturamento hidráulico conjugado em regime de cisalhamento do tipo *mesh*.

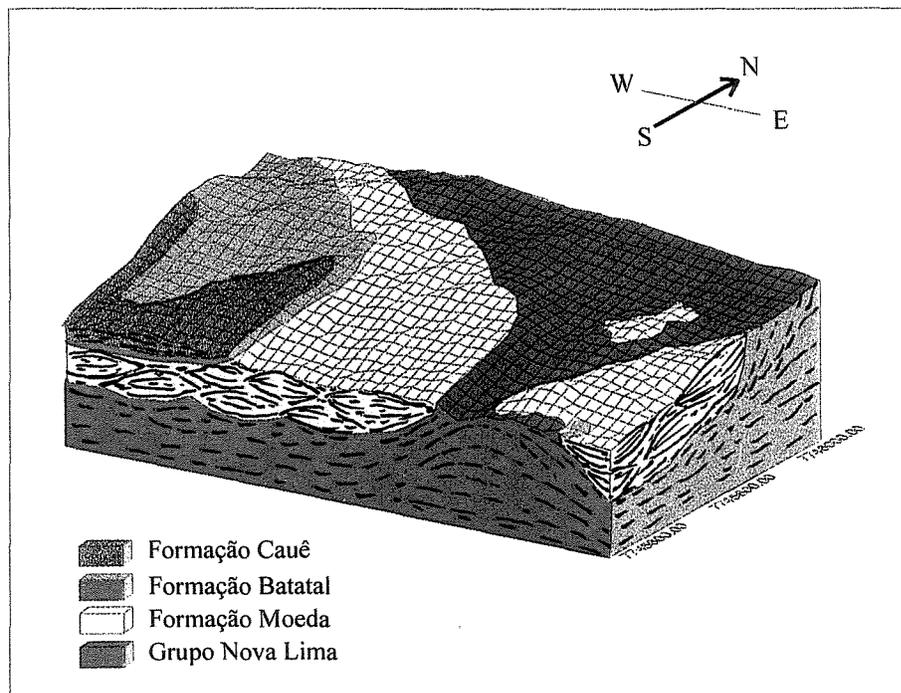


Figura 4.17 - Bloco diagrama com perfis mostrando as feições de cisalhamento do tipo "mesh" com sigmóides de dezenas de metros de extensão e falhamentos associados às zonas de maior deformação.

## 4.6 – Discussão sobre a Gênese dos Turmalinitos

Os turmalinitos ocorrem em rochas de idade desde Arqueano a Permiano, muitas vezes associados com metais básicos e outras mineralizações. Muitos turmalinitos estão presentes em seqüências do Proterozóico, em metassedimentos clásticos, especialmente nos pelitos e ao longo do contato de unidades. São constituídos de grãos finos (<1mm) compostos geralmente por turmalina e quartzo. Alguns podem conter apreciável quantidade de plagioclásio, muscovita, biotita, clorita, granada, apatita, grafita, e/ou pirrotita. Acessórios comuns são zircão, titanita, rutilo, monazita e ilmenita (Slack, 1996).

A nível mundial a turmalina tem sido reconhecida como um importante mineral de ganga em diversos depósitos metálicos e não-metálicos (Bateman, 1950; Routhier, 1963; Smirnov, 1976; Guilbert e Park, 1986; Pirajno, 1992)<sup>2</sup>. Aparece em depósitos minerais do tipo veio como componente do veio ou como resultado da alteração de rochas encaixantes.

O turmalinito de origem hidrotermal pode ser distinguido dos *stratabound*, principalmente na sua base, que em geral é discordante da litologia encaixante, mas podem ser *stratabound* em grande escala (Slack, op.cit).

Ainda de acordo com Slack (1996) o metamorfismo pode resultar no sobrecrescimento da turmalina. Turmalinitos na fácies xisto verde são de grãos finos, dependendo da natureza podem apresentar duas ou três zonas simétricas de crescimento. Na fácies anfíbolito, a turmalina é granular e prismática e as zonas de crescimento são fraca a fortemente desenvolvidas. Já na fácies granulito são fracamente a não zonadas.

A origem dos turmalinitos tem sido objeto de controvérsia nas últimas décadas. Muitas teorias dão ênfase a processos pré-metamórficos, entretanto alguns trabalhos propõem origem sin a pós-metamórfica, geralmente envolvendo magmatismo granítico. Os principais processos que podem dar origem aos turmalinitos são: substituição pré-metamórfica, processos singenéticos exalativos, lixiviação hidrotermal submarina, colóides e gel, processos evaporíticos, metassomatismo de contato e regional (Slack, 1996).

Os mais importantes depósitos de ouro que contêm turmalina são representados por veios de quartzo-Au com baixo sulfeto e ocorrem comumente associados a rochas metavulcânicas e metassedimentares, no grau xisto verde e anfíbolito e alguns em rochas

---

<sup>2</sup> Apud, Slack, 1996

plutônicas, especialmente nos *greenstones belts* Arqueano (e.g. Hutchinson, 1993; Hodgson, 1993).

Em alguns depósitos a turmalina pode não ser parageneticamente relacionada à mineralização aurífera, mas em outros estes minerais claramente se formaram contemporaneamente. Depósitos de ouro com turmalina arqueanos ocorrem na Província Superior do Canadá (Jebrak *et al.*, 1990), na Província de Goldfields Oriental e em terrenos de Norse Aman da Austrália Ocidental (Groves *et al.*, 1989), no Craton Kaapvaal da África do Sul (Foster e Piper, 1993) e no Kolar Goldfields da Índia (Siva Siddaiah e Rajamani, 1992). A maioria destes depósitos estão inseridos na categoria mesotermal e zonas de cisalhamento de minérios auríferos.

Segundo Robert & Brown (1984), um dos principais exemplos de associação Au-turmalina é no cinturão do Abitibi onde se encontra a mina Sigma no distrito de Val d'Or, em Quebec. Nos veios de Sigma a turmalina é a principal ganga mineral em estruturas de cisalhamento e extensional, junto com uma quantidade variável de quartzo, carbonato, sheelita, pirita e ouro. Estes veios com ouro e turmalina formaram-se durante duas fases que podem ser pré a sin-deformacionais: na primeira fase os veios formaram-se a partir do cisalhamento (o mais comum) e na segunda veios extensionais. Ambos são geograficamente restritos e acredita-se que definem um único campo que formou episodicamente veio de quartzo-carbonato-turmalina, durante um evento hidrotermal maior (Robert & Bronw, op. cit).

Na região da Serra de Ouro Preto e conseqüentemente no Anticlinal de Mariana, os turmalinitos estão encaixados em uma seqüência de rochas supracrustais metassedimentares de idade Paleoproterozóico e são reconhecidos como um dos principais guias de prospecção na região. A turmalina é uma importante ganga associada ao minério que é composto, principalmente, por turmalina, quartzo, carbonato, arsenopirita, pirita.

Os turmalinitos aqui descritos estão caracteristicamente associados a estruturas rúpteis e apresentam indícios de uma deformação dúctil posterior à sua colocação. Esta deformação é caracterizada por dobras, crenulações, falhas e veios. Associam-se principalmente a níveis de rochas metapelíticas carbonosas e veios brechados.

Na área estudada o ouro está associado parageneticamente aos turmalinitos apesar destes não representarem o principal minério. Os veios de quartzo-sulfeto, que são o principal minério, também contém turmalina, mas em menor quantidade.

A mineralização aurífera associada a turmalinitos do Quadrilátero Ferrífero é restrita à região do Anticlinal de Mariana e parecem ser pré a sin deformativos. Os veios mineralizados descritos na área são de dois tipos: os veios associados a fraturas (regime puramente rúptil) e a aberturas em zonas de cisalhamento (regime dúctil-rúptil), ambos relacionados ao preenchimento de fissuras.

A mineralogia desses veios é relativamente simples, são compostos por quartzo, arsenopirita, pirita, calcopirita, pirrotita e turmalina. Esta mineralogia é característica da classe de depósitos de ouro do tipo “*mesothermal lode gold deposits*”, como descrito por Groves *et al.* (1998). Estes autores comentam que a mineralogia dos sulfetos reflete a litogeoquímica da rocha hospedeira e que a arsenopirita é o mineral mais comumente encontrado em seqüências metassedimentares. Uma característica diagnóstica dos depósitos auríferos mesotermiais é a taxa Au/Ag, alta, em torno de 10:1 (Hodgson, 1993). Em análises semi-quantitativas realizadas em grãos de ouro associados a fraturas em arsenopirita de veios de quartzo-arsenopirita, através do microscópio eletrônico de varredura (MEV), encontramos a relação Au/Ag de 15:1.

Segundo Slack (1996), os estudos recentes têm demonstrado que muitos turmalinitos considerados associados a depósitos do tipo *stratabound*, na verdade são o produto de sistemas hidrotermais locais. O depósito de Passagem de Mariana é reconhecido internacionalmente como *stratabound* através dos estudos realizados por Fleischer & Routhier (1973), Vial *et al.* (1988) e Fleischer & Vial (1991).

Já os trabalhos de Schrank & Machado (1996) dão ênfase a origem hidrotermal do turmalinitos do depósito de Passagem de Mariana e região, baseado no fato de que as estruturas associadas à mineralização são predominantemente rúpteis e pré-datam a deformação principal que é de natureza essencialmente dúctil.

Os dados dessa pesquisa vêm corroborar com a idéia de que os turmalinitos auríferos da área de Lages-Antônio Dias, são de origem hidrotermal. Isto é demonstrado com base nas seguintes características:

- Os turmalinitos ocorrem associados a três níveis lito-estratigráficos distintos;
- Estes corpos ocorrem comumente associados a veios e em níveis de rochas metapelíticas, principalmente filitos e xistos carbonosos que são ricos em  $Al_2O_3$ .

- Os turmalinitos estão encaixados em estruturas rúpteis e se mostram deformados ductilmente pela fase principal de deformação que atingiu a região.
- Os corpos de turmalinitos são descontínuos lateralmente.
- Também formam-se em níveis pelíticos nos quartzitos, próximos aos veios.

## Capítulo 5

# Estudo Comparativo entre a Ocorrência Aurífera de Lages-Antônio Dias e a Mina da Passagem de Mariana

### 5.1 - Introdução

Os corpos mineralizados que aparecem na região do Anticlinal de Mariana estão restritos, regionalmente, ao contato entre as rochas dos supergrupos Minas e Rio das Velhas e as rochas dos grupos Caraça e Itabira. A partir dessa delimitação, podemos classificar as ocorrências auríferas ao longo do anticlinal como do tipo *stratabound*, apesar de não aparecerem de forma integral ao longo de toda a estrutura. Essa evidência leva a crer que estes depósitos também possuem um controle local que intercepta o controle regional.

Os corpos de minérios que ocorrem na região do anticlinal são compostos principalmente por quartzo, carbonato, turmalina, arsenopirita, pirita, pirrotita, calcopirita e ouro. Estes corpos estão geneticamente relacionados à passagem de fluidos com diferentes histórias de colocação.

Para os autores precedentes as principais estruturas associadas à mineralização seriam falhas de empurrão (Vial, 1988), veios *pós* deformacionais (Chauvet *et al.*, 1994) e, veios *pré* deformacionais, assim como zonas de cisalhamento e falhamentos normais (Cavalcanti *et al.*, 1998).

**Tabela 04** - Associação mineralógica do depósito de Passagem de Mariana.

Autor	Minério	Paragênese
Fleisher & Routhier (1973)	Turmalinito	Turmalina, arsenopirita e ouro
Vial (1988)	Veio Anfibólio xisto pirrotítico	Quartzo, carbonato, turmalina e arsenopirita
Chauvet <i>et al.</i> (1994)	Turmalinito Veios	
Oliveira (1998)	Turmalinito, Veios Rocha quartzo-carbonática	Turmalina e arsenopirita Quartzo, carbonato e arsenopirita Sulfetos disseminados

## 5.2 - Distribuição Lito-estratigráfica

A distribuição estratigráfica dos corpos de minério no depósito de Passagem de Mariana não foi ainda muito bem definida, enquanto na área de Lages-Antônio Dias estes corpos de minério tem distribuição lito-estratigráfica bastante clara.

No depósito de Passagem de Mariana a mineralização está hospedada no horizonte do Filito Batatal (Fleischer & Routhier, 1973) ou relacionada às seguintes litologias: quartzo-carbonato-biotita-sericita xisto, filito sericítico prateado ou grafitoso, quartzito sericítico e itabirito, as quais podem pertencer tanto ao Supergrupo Minas quanto ao Supergrupo Rio das Velhas (Vial, 1988). Chauvet *et al.*(1994a,b) propuseram que a mineralização está encaixada entre o topo do Supergrupo Rio das Velhas e base do Supergrupo Minas.

Na ocorrência de Lages-Antônio Dias, o turmalinito ocorre associado principalmente aos contatos entre as unidades sem haver repetições de camadas e a veios que cortam tais unidades: sericita-quartzo xisto, quartzito sericítico, filito carbonoso e itabirito, que correspondem respectivamente ao Grupo Nova Lima, e às formações Moeda, Batatal e Cauê, os quais pertencem ao Supergrupo Minas. Os veios sulfetados são secantes e cortam as unidades quartzítica, metapelítica carbonosa e ferrífera bandada.

Os turmalinitos ocorrem associados a veios brechados secantes e nas zonas de contato entre as unidades litológicas. Os veios relacionados a fraturamentos extensionais são secantes e geraram brechas das encaixantes (quartzito e filito carbonoso). As brechas que estão associadas aos veios secantes encaixados na unidade quartzítica são formadas por fragmentos de quartzito. Já as brechas formadas na zona de contato entre as unidades quartzítica e metapelítica carbonosa e entre as unidades metapelítica e ferrífera bandada são compostas por fragmentos de turmalinitos e filitos carbonosos em meio a uma massa de quartzo.

Na ocorrência de Lages-Antônio Dias os veios mineralizados são formados por quartzo-arsenopirita encaixados no horizonte dos filitos carbonosos e dos quartzitos e veios de quartzo-pirita-calcopirita encaixados nos itabiritos.

**Tabela 05 - Principais características da mineralização no depósito de Passagem de Mariana.**

<b>Autor</b>	<b>Horizontes Mineralizados</b>	<b>Estruturas</b>
Ferrand (1891)	mica xistos quartzosos e quartzitos xistosos	
Guimarães (1935)	dolomito	
Maia (1950)		
Rolf (1952)	mineralização nos níveis de itabirito filitos e dolomitos da base do Supergrupo Minas	
Barbosa (1968)		falha de empurrão e arqueamento do anticlinal de São Bartolomeu
Fleischer & Routhier (1973)	horizonte do Filito Batatal	singenético
Barbosa <i>et al.</i> (1974)	associado a falhas de empurrão	
Heineck <i>et al.</i> (1986)	Quartzito Moeda e Itabirito Cauê	falhas de empurrão
Vial (1987)	diferentes unidades litológicas em contato com Itabirito Cauê	falhas de empurrão
Chauvet <i>et al.</i> (1994a,b)	entre o topo do Supergrupo Rio das Velhas e a base do Minas	veios de quartzo sulfetados tardios

Vial (1987) descreveu na Mina da Passagem os veios mineralizados como encaixados em rochas carbonáticas, nos filitos carbonosos, no contato dos filitos sericíticos com itabiritos e nos quartzitos.

**Tabela 06 - Tipologia e características dos minérios na área estudada**

<b>Tipologia do minério</b>	<b>Estrutura</b>	<b>Encaixante</b>
Turmalinitos	Fraturamento hidráulico, fraturas extensionais e contatos	Zonas de contatos litológicos e veios secantes
Veios sulfetados	Zona de cisalhamento e falhas	Quartzito, filito carbonoso e itabirito
Veio bandado com arsenopirita	Zona de cisalhamento e falha normal	quartzito
Formação bandada pirrotítica	Zona de cisalhamento normal	formação ferrífera bandada

Em Lages-Antônio Dias ocorre seguramente o horizonte mineralizado descrito como “horizonte Passagem de Mariana” que corresponde a um dos níveis mineralizados na área, associado ao horizonte da Formação Batatal. Devido às complicações estruturais que ocorrem na região de Passagem de Mariana estes outros níveis podem não ter sido distinguidos, embora possam estar presentes.

### **5.3 - Elementos Estruturais**

Os elementos estruturais presentes no depósito de Passagem de Mariana têm dificultado muito a interpretação da sua situação geológica. Contudo, em Lages-Antônio Dias, temos uma visão privilegiada de tal situação, favorecendo a interpretação sistemática e clara com relação à mineralização e sua relação com as estruturas encaixantes e hospedeiras da mineralização aurífera.

Os corpos de minério no depósito de Passagem de Mariana estão associados a um complexo sistema de falhas de empurrão imbricados, que dificulta muito a interpretação lito-estratigráfica (Vial, 1987). Chauvet *et al.* (1994a,b) propõem que a mineralização é tardia em relação aos eventos deformacionais que atingiram a região, enquanto Oliveira (1988) interpreta como resultante de estruturas tanto extensionais como compressionais. A interpretação de Fleischer & Routhier (1973) é bastante interessante sob o ponto de vista de que o minério (turmalinito) foi deformado pelas fases subsequentes à sua formação, dando ao mesmo o carácter pré a sin deformacional, mas atribuem ao mesmo origem singenética.

No caso da Serra de Ouro Preto, as seqüências estratigráficas estão bem definidas com relação aos corpos de minérios. O arcabouço estrutural mostra claramente a relação entre mineralização e estrutura. As estruturas encaixantes da mineralização foram caracterizadas como fraturamentos hidráulicos verticais (turmalinitos e veios sulfetados) e a fraturamentos conjugados associados a um complexo sistema de falhamentos e cisalhamentos normais (veios sulfetados bandados), que foram gerados anteriormente ou durante o início do processo de soergimento do Anticlinal de Mariana.

Tais estruturas permanecem obscuras no depósito de Passagem de Mariana e podem ter sido mascaradas devido à nucleação do Anticlinal de Mariana.

## CONCLUSÃO

Com base nos dados expostos, concluiu-se que a ocorrência aurífera da região Lages-Antônio Dias é correlacionado ao depósito de Passagem de Mariana, apesar de que cada qual possuir seus controles locais. Ambos possuem um controle regional e são o resultado da introdução de sistemas hidrotermais. Várias evidências coadunam para essa afirmativa.

Na mineralização aurífera da área de Lages-Antônio Dias, o principal minério constitui veios de quartzo-sulfeto e secundariamente turmalinitos. Os sulfetos são arsenopirita (o principal), pirita, calcopirita e pirrotita.

A Mina Duas Bocas o minério é um turmalinito e encontra-se associado ao contato entre as rochas do Grupo Nova Lima (quartzo-sericita xistos e filitos carbonosos) e da Formação Moeda (quartzitos sericíticos). Na Mina Scliar os minérios são: veios de quartzo-turmalina-arsenopirita, turmalinitos e formação pirrotítica bandada. Na Mina Chico Rei os minérios constituem: um nível de turmalinitos brechados associados ao topo da Formação Moeda e base da Formação Batatal, veios de quartzo-arsenopirita e veios de quartzo-pirita-calcopirita-turmalina.

Os turmalinitos não são restritos a um horizonte, como afirmaram Fleisher & Routhier (1973), mas a três horizontes, com características químicas e físicas distintas. O horizonte denominado Passagem de Mariana, ao qual é correlacionado os filitos carbonosos da Formação Batatal, também ocorre em Lages-Antônio Dias. Quanto a origem do turmalinito deste horizonte mineralizado, com base em relações estruturais podemos afirmar que o turmalinito antecede o metamorfismo regional.

Os teores máximos e mínimos, respectivamente encontrados são: 4,02g/t e 0,19 g/t (turmalinito); 37,77g/t e 5,65g/t (veio quartzo-arsenopirita); 16,3 g/t e 6,45 g/t (veio quartzo pirita-calcopirita-turmalina); 1,26 g/t e 0,11 g/t (formação ferrífera pirrotítica). O ouro está associado principalmente à arsenopirita e, secundariamente, à pirita, calcopirita, pirrotita e turmalina.

Os minérios descritos nas três minas estão associados a veios preenchendo principalmente fraturas verticais e, secundariamente, fraturas conjugadas associadas ao cisalhamento. Os veios

de quartzo-arsenopirita estão encaixados no horizontes do Quartzito Moeda e Filito Batatal, enquanto os veios de quartzo-pirita-calcopirita-turmalina estão encaixados no Itabirito Cauê.

A mineralização não é contínua ao longo da unidade metapelítica carbonosa, mas ocorre em áreas isoladas com um controle local, levando alguns autores a declarar que “em alguns pontos falta a camada de filito carbonoso e por isso não há mineralização”. Pode até estar ausente, mas há muitos locais em que ocorrem seguramente o filitos carbonosos e não há mineralização.

Quanto aos aspectos genéticos, torna-se difícil aprofundar uma discussão devido à ausência de dados quantitativos. Existe uma vasta literatura sobre importantes depósitos auríferos associados com turmalinitos em várias regiões do planeta. Estes trabalhos dão ênfase principalmente à composição, à temperatura de formação das turmalinas, à fonte do fluido mineralizante e à idade de formação da mineralização.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALKMIM, F.F.; AMORIM, L.Q.A.; SOUZA, K.; CAVALCANTI, J.A.D.; FREITAS, C.A.; LANFRANCHI, R.A.; OLIVEIRA, F.M.; SANTOS, G.J.I. & BARBOSA, V.C., 1996. **A junção entre o Sinclinal da Moeda e o Homoclinal da Serra do Curral, Quadrilátero Ferrífero, MG.** In: *Anais do 39º Congresso Brasileiro de Geologia. CBG. SBE. Núcleo Bahia-Sergipe. Salvador-Ba. v.1. p.337-340.*
- ALMEIDA, F.F.M. & HASUI, Y., 1984. **O Pré-cambriano no Brasil.** Edgard Blucher, São Paulo. 378p.
- BABINSKI, M.; CHEMALE Jr., F. & VAN SCHMUS, W.R., 1995. **A idade das formações ferríferas bandadas do Supergrupo Minas e sua correlação com aquelas da África do Sul e Austrália.** In: *Simpósio sobre o Craton São Francisco, 2, Anais do SCSF. Salvador, SBG. p.152-153.*
- BABINSKI, M.; VAN SCHMUS, W.R. & CHEMALE Jr., F., 1991. **Pb/Pb Geochronology of carbonate rocks of the Minas Supergroup, Qf, Minas Gerais, Brazil.** In: *A.G.U. FALL MEETING. São Francisco, p.531.*
- BARBOSA, A.L.M., 1969. **Geologic map of the Ouro preto, Mariana, Antônio Pereira e São Bartolomeu quadrangles, minas Gerais, Brazil.** U.S. Geol. Surv.. Prof. Paper. 641-A. Plates 7, 8, 9, 10.
- BATEMAN, A.M., 1950. **Economic mineral deposit.** John Wiley and Sons, New York.
- CARNEIRO, M.E.; NOCE, C.M. & TEIXEIRA, W., 1995. **Evolução policíclica do Quadrilátero Ferrífero: uma análise fundamentada no conhecimento atual da geocronologia U-Pb e geoquímica isotópica Sm-Nd.** In: *Revista da Escala de Minas, REM. v.59(4):264-273p.*
- CAVALCANTI, J.A.D., 1996. **Mapeamento espeleológico.** Sociedade Excursionista Espeleológica. Ouro Preto – MG. 28p.

- CAVALCANTI, J.A.D., CRISPI, M. e LIMA, H.M., 1997. **Ocupação urbana em áreas de mineração do período colonial.** In: *Espeleologia*. Sociedade Excursionista Espeleológica. Ouro Preto – MG. Ano VIII. Nº 8: 14-21.
- CAVALCANTI, J.A.D., SCHRANK, A. & SOUZA FILHO, C.R., 1998. **Controles litoestratigráficos e estruturais dos corpos de turmalinitos auríferos na região de Lages-Antônio Dias, Serra de Ouro Preto-MG.** In: *Anais do XL Congresso Brasileiro de Geologia*. Belo Horizonte, Minas Gerais. p.133.
- CHAUVET, E.; DOSSIN, I.I.; FAURE, M. & CHARVET, J., 1994a. **A three-stage structural evolution of the Quadrilátero Ferrífero: consequences for the Neoproterozoic age and the formation of gold concentrations of the Ouro Preto area, Minas Gerais, Brazil.** *Pre-Cambrian Research*, 68. Elsevier Science b.v., Amsterdam. p.139-167.
- CHAUVET, E.; DUSSIN, I.I.; FAURE, M. & CHARVET, J., 1994b. **Mineralização aurífera de idade Proterozóico Superior e evolução estrutural do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brasil.** *Revista Brasileira de Geociências*. v.24 (3): p.150-159.
- CHEMALE Jr., F., ROSIÈRE, C.C. & ENDO, I., 1991. **Evolução tectônica do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. Um Modelo.** *Rev. Pesquisas. UFRGS*. 18: p.104-127.
- CHEMALE Jr., F., ROSIÈRE, C.C. & ENDO, I., 1994. **The tectonic evolution of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil.** *Pre-Cambrian Research*, 65. Elsevier Science b.v., Amsterdam. p.25-54.
- DERBY, O., 1899. **Os Primeiros Descobrimentos do Ouro em Minas Gerais.** *Revista do Instituto Histórico de São Paulo*. vol. V. p.240-278.
- DERBY, O., 1906. **The Serra do Espinhaço, Brazil.** *J.Geolog*. 14(3):p.374-401.
- DORR, J.D.N.; POMERENE, J.B. & RYNEARSON, G.E., 1957. **Revisão da Estratigrafia do Quadrilátero Ferrífero, MG, Brasil.** DNPM. Div. de Fomento, Avulso.. v.81. p.1-81.
- DORR, J.V.N., 1969. **Physiographic, stratigraphic and structural development of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil.** *Geol. Surv. Prof. Paper* 641 -A: A1-A110.

- ENDO, I., 1997. **Regimes tectônicos do Arqueano e Proterozóico no interior da Placa Sanfranciscana: Quadrilátero Ferrífero e áreas adjacentes, Minas Gerais.** *Tese de Doutorado.* Instituto de Geociências – USP. São Paulo – SP. 243p.
- ESCHWEGE, W.L. von - 1833 - **Pluto Brasiliensis.** Ed. Itatiaia / São Paulo. Ed. da Universidade de São Paulo, 2v. Publicado em 1979. Tradução de Domicio de Figueiredo Murta).
- FERRAND, P., 1887-1891. **Ouro Preto e as Minas de Ouro.** *Revista de Engenharia,* Rio de Janeiro.
- FERRAND, P., 1892. **L'Or a Minas Gerais.** Imprensa Oficial do Estado de Minas Gerais. vol. II. p.22-39.
- FLEISCHER, R. & VIAL, D.S., 1991. **Surface and underground geological excursion around and in the Passagem de Mariana gold mine, Minas Gerais, Brazil.** U.S. geol. Bull. 1980-A: A49-A62.
- FLEISCHER, R. & ROUTHIER, P., 1973. The “consanguineous” origin of a tourmaline-bearing gold deposit: Passagem de Mariana (Brazil). *Economic Geology*, v. 68. p.11-22.
- FOSTER, R.P. & PIPER, D.P., 1993. **Archean lode gold deposit in Africa: crustal setting, metallogenesis and cratonization.** *Ore Geol. Rev.* 8:303-347.
- GORCEIX, H. 1876a. **Passado da mineração de ouro na província de Minas Gerais.** In: *Revista da Escola de Minas. REM.* Ouro Preto, MG., v.45(3): p.252-258.
- GORCEIX, H. 1876b. **Presente e futuro da mineração de ouro na Província de Minas Gerais.** In: *Revista da Escola de Minas. REM.* Ouro Preto, MG., v.45(3): p.252-256.
- GROVES, D.I.; BARLEY, M.E.; HO, S.E., 1989. **Nature, genesis and tectonics setting of mesothermal gold mineralization in the Yilgarn block, western Australia.** In: RR Keays, WRH Ransay, DI Groves (eds). *The geology gold deposits: the perspective in 1988. Econ. Geol. monogr.* 6: 71-85.
- GROVES, D.I; R.J. GOLDFARB; GEBRE-MARIAM, M.; HAGEMANN, S.G. & ROBERT, F., 1998. **Orogenic gold deposits: a proposed classification in the context of their**

- crustal distribution and relationship to other gold deposit types.** *Ore Geology Reviews* (13):7-27.
- GUILBERT, J.M. & PARK, C.F.Jr., 1986. **The geology of ore deposits.** W.h. Freeman and Company. New York.
- GUIMARÃES, D., 1961. **Fundamentos de Metalogênese e os depósitos minerais do Brasil.** DNPM. *Boletim*. n.109. Rio de Janeiro. Divisão de Fomento da Produção Mineral. 441p.
- HARDER, E.C, & CHIMBERLIN, R.T., 1915. **The geology of central Minas Gerais, Brazil.** *Journ. Geolog., Part II*, 23(4 e 5 ), p.341-378 e p.385-424.
- HEINECK, C.A.; RIBEIRO, J.H.; FRANCESCATO, J.A. & SILVA, E.S., 1986. **As mineralizações auríferas de mata Cavallo, Minas da Passagem, Mariana, MG.** In: *Anais do 34º congresso Brasileiro de Geologia - CBG*. SBG. Goiânia - GO. v.5: 1932-1937.
- HODGSON, C.J., 1989. **The structure of shear-related, vein-type gold deposits, a review.** *Ore Geology Reviews*. Elsevier. Amsterdam. p-233-273.
- HODGSON, C.J., 1993. **Mesothermal lode-gold deposits.** In: *Mineral Deposit Modeling* . Kirkhan, R.V.; Sinclair, W.D. & Duke, J.M., *Geol. Assoc. of Canada*, UNESCO. Special Paper 40. p.635-678.
- HUTCHINSON, R.W., 1993. **A multi-stage, multi-process genetic hypothesis for greenstone hosted gold lodes.** *Ore Geol. Rev.* 8: 349-382.
- JÉBRAK, M.; MINEAU, R.; BARDOUX, M.; GOULET, N., 1990. **Boron cycle in the Abitibi greenstone belt, and compositional variations in tourmaline associated with gold deposit (abst).** In: F. Robert, PA Sheahan, SB Green (eds). *Greenstone Gold and Crustal Evolution (NUNA Conf. Vol)*. Geol. assoc. Canada. P. 177.
- KWITKO, R.; OLIVEIRA, C.G.; MASOTTI, F.S. & LEAL, E.D., 1998. **Bugre: uma nova tipologia de minério aurífero do distrito de Antônio Pereira, Quadrilátero Ferrífero.** In: *Anais do XL Congresso Brasileiro de Geologia. Belo Horizonte-MG*. XL CBG. p.123.

- LACOURT, F., 1937a. **Jazidas auríferas de Ouro Preto e Mariana (I e II)**. In: *Estado de Minas Gerais*. Mai-Jun. p.3-6.
- LACOURT, F., 1937b. **Jazidas auríferas de Ouro Preto e Mariana (II)**. In: *Estado de Minas Gerais*. Jul-Ago.p.87-95.
- LADEIRA, E.A. & VIVEIROS, J.F.M., 1984. **Hipóteses sobre a estruturação do Quadrilátero Ferrífero com base nos dados disponíveis**. In: *Bol. Soc. Bras. Geol.* - Núcleo de Minas Gerais. 4: 19p.
- LADEIRA, E.A., 1991. **Genesis of gold in Quadrilátero Ferrífero: a remarkable cases of permanency, recycling and inheritense** - A tribute to Djalma Guimarães, Pierre Routhier and Hans Ramberg. In: *Gold'91*. E.E. Balkema, Rotterdam. p. 11-30.
- LADEIRA, E.A.; GOMES, N.S.; LITWINSKI, N.; MARQUEZAN, R.G.; POLLI, G.O. & VARAJÃO, C.A.C., 1981. **Projeto Antônio Pereira: geologia estratigráfica, estrutural e recursos minerais de parte da Serra de Antônio Pereira, Mariana – MG**. 70p.
- LANARI, C., 1977. **A mineração do ouro**. In: Oliveira, T.B. *Ouro nas Minas Gerais*. Símpósio sobre o ouro. XVII Semana de Estudos Geológicos. SISEG. Escola de Minas/UFOP. Ouro Preto – MG. p. 21-52.
- MACHADO, N., 1996. **A geocronologia U-Pb de mineralizações auríferas: progresso e problemas**. In: *Anais do 39º Congresso Brasileiro de Geologia*. SBG, Núcleo Bahia - Sergipe, Salvador, v. 6: p.560-563.
- MACHADO, N.; SCHRANK, A.; NOCE, C.M. & GAUTHIER, 1996. **Ages of the detrital zircon from Archean - Paleoproterozoic sequences: implications of greenstone belt sitting and evolution of the Transamazonian foreland basin in Quadrilátero Ferrífero, southeast Brazil**. *Earth and Planetary Science letters*. 141: p.259-276.
- MARSHAK, S. & ALKMIM, F.F., 1989. **Proterozoic contraction/extension tectonics of the Southen São Francisco region, Minas Gerais, Brazil**. *Tectonics*, 8 (3): p.555-571.
- MARSHAK, S; TINKHAM, D.; ALKMIM, F.F.; BRUECHKNER, H. & BORNHOST, T., 1997. **Dome-and-kell provinces formed during Paleoproterozoic orogenic collapse –**

**core complexes, diapirs, or neither?: examples from the Quadrilátero Ferrífero and the Penokean orogen.** *Geology*.v.25, No 5, p.415-418.

MAXWELL, C.H., 1958. **Mapa geológico da quadrícula de Capanema, Minas Gerais.** USGS/DNPM. *Professional Paper 341-J*. 1:25.000.

MENDES , G.E. & PASSOS, R.V., 1996. **Geologia dos recursos minerais do distrito de Antônio Pereira.** *Trabalho de Graduação*. DEGEO/UFOP. Ouro Preto – MG. 105p.

NALINE Jr., H.A., 1993. **Análise estrutural descritiva e cinemática do flanco sul e terminação piriclinal do Anticlinal de Mariana e adjacências, região sudeste do Quadrilátero Ferrífero, MG, Brasil.** *Dissertação de Mestrado*. IG. UFMG.132p.

NOCE, C.M., 1995. **Geocronologia dos eventos magmáticos, sedimentares e metamórficos na região do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais.** São Paulo. *Tese de Doutorado*. Universidade de São Paulo. 128p.

OLIVEIRA, F.R., 1998. **Contribuição ao estudo da geologia estrutural e da gênese do depósito aurífero de Passagem de Mariana - MG.** *Dissertação de Mestrado*. IG/Unicamp. Campinas-SP.127p.

OLIVEIRA, O.A.B. & VIEIRA, M.G.H., 1987. **Aspéctos da deformação dúctil e progressiva no Quadrilátero Ferrífero.** In: *Simp. Geol. de Minas Gerais, 4*. Belo horizonte. Anais ... SBG/NMG. p.273-253.

OLIVEIRA, T.B., 1977. **Ouro nas Minas Gerais.** *Simpósio sobre o Ouro*. XVII Semana de Estudos Geológicos da SICEG. Escola de Minas. Ouro Preto. p.17-56.

PIRAJMO, F. 1992. **Hydrothermal mineral deposits.** *Springer-Verlag*. Berlin.

PLIMER, I.R., 1986. **Tourmalinites from the Golden Dyke dome, northern Australia.** *Mineralum Deposita*. 21: 282-291.

RAMSAY, J.G. & HUBER, M.I., 1987. **The techniques of modern structural geology. V.2: folds and fractures.** Academic Press. London. 700p.

ROBERT, F. & BROWN, A.C., 1984. **Progressive associated with gold-quartz-tourmaline veins at the Sigma Mine, Abitibi greenstone belt, Quebec.** In: *Econ. Geol.* 79: 393-399.

- ROUTHIER, P., 1963. **Les gisements métallifères**. Massom et C<sup>ie</sup>, Paris.
- SCHOBENHAUS, C. & CAMPOS, D.A., 1984. **A evolução da Plataforma Sul-americana no Brasil e suas principais concentrações minerais**. In: SCHOBENHAUS, C. *et al.*, *Geologia do Brasil*. DNPM. Brasília, DF. p.9-53.
- SCHORSCHER, H.D.; SANTANA, F.C.; POLÔNIA, J.C. & MOREIRA, J.M.P., 1982. **Quadrilátero Ferrífero – Minas Gerais: Rio das Velhas greenstone belt and Proterozoic rocks**. In: *International Symposium on Archean and early Proterozoic evolution and metallogenesis*. Salvador, Brazil. In: *Excursion Annex...* SBG. 43p.
- SCHRANK, A. & MACHADO, N., 1996a. **Idades U-Pb em monazitas e zircões das minas de Passagem de Mariana e Morro Velho, QF, MG**. In: *Anais do 39º Congresso Brasileiro de Geologia*. SBG, Núcleo Bahia - Sergipe, Salvador, v. 6: p.470-472.
- SCHRANK, A. & MACHADO, N., 1996b. **Idades U-Pb em monazitas e zircões do distrito aurífero de Caeté, da Mina de Cuiabá e do Depósito de Carrapato, QF, MG**. In: *Anais do 39º Congresso Brasileiro de Geologia*. SBG, Núcleo Bahia - Sergipe, Salvador, v. 6: p.473-475.
- SIBSON, R.H. & SCOTT, J., 1998. **Stress/fault control on the containment and release of overpressured fluids: examples from gold-quartz vein system in Juneau, Alaska; Victoria, Australia and Otago, New Zealand**. In: *Ore Geology Reviews*. 13, p. 293-306.
- SIQUEIRA, M.A.J. & FONTES, S.B., 1996. **Mapeamento lito-estrutural e geologia econômica da região de Antônio Pereira, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais**. *Trabalho de Graduação*. DEGEO/UFOP. Ouro Preto – MG. 78p.
- SIVA SIDDIAIAH, N. & RAJAMANI, V., 1989. **The geology, mineralogy, geochemistry and genesis of gold deposit of the Archean Kolar Schist belt, India**. In: *Econ. Geol.* 84:2155-2172.
- SLACK, J.F., 1996. **Tourmaline associations with hydrothermal ore deposits**. In: *Boron mineralogy, petrology and geochemistry*. Ed. Grow, E.S. & Anovitz, L.M. Mineralogical society of America. 33: 560-643.
- SMIRNOV, V.I., 1976. **Geology of mineral deposits**. *Mir Publishs*, Moscow.

- VIAL, D.S.; FUSIKAWA, R.; CASTRO, E.P.G. & VIEIRA, M.M.H., 1988. **The sulfide-tourmaline-quartz-vein gold deposit of Passagem de Mariana, Minas Gerais, Brazil.** In: Bicentennial Gold'88. Geol Soc Australia. Abstr Ser (22): 30-35.
- VIAL, D.S., 1987. **Mina de ouro de Passagem de Mariana, Minas Gerais.** In: *Principais Depósitos Minerais do Brasil*. DNPM, CVRD. Ed. Schobbenhaus, C. e Coelho, C.E.S., Brasília, DF. v. 3: p.421-430.
- WALLACE, R.M. & RYNEARSON, G., 1959. **Mapa geológico da quadricula do Bação.** USGS/DNPM. *Professional Paper 341-F*. 1:25.000.
- ZUCCHETTI, M.; BALTAZAR, O.F. & RAPOSO, F.O. 1996. **Estratigrafia.** In: *Projeto Rio das Velhas. Programa de Estudos de Distritos Mineiros. Mapa geológico, escala, 1:100.000, nota explicativa*. Convênio DNPM-CPRM. Ministério das Minas e Energia. Belo Horizonte-MG. p.13-42.