

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
Instituto de Geociências

GEOLOGIA DO DEPÓSITO LODE Au-As-Sb LARANJEIRAS,
EM METATURBITOS DO GRUPO NOVA LIMA,
QUADRILÁTERO FERRÍFERO, MINAS GERAIS, BRASIL

Luiz Claudio Lima

Belo Horizonte

2012

Luiz Claudio Lima

GEOLOGIA DO DEPÓSITO LODE Au-As-Sb LARANJEIRAS,
EM METATURBITOS DO GRUPO NOVA LIMA,
QUADRILÁTERO FERRÍFERO, MINAS GERAIS, BRASIL

Dissertação de Mestrado apresentada junto ao Colegiado de Pós-graduação em Geologia do Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de mestre.

Área de Concentração: Geologia Econômica e Aplicada.

Orientadora: Prof^a. Dra. Lydia Maria Lobato
Coorientadora: Prof^a. Dra. Rosaline Cristina Figueiredo e Silva

Belo Horizonte

2012

L732g Lima, Luiz Cláudio.
2012 Geologia do Depósito LODE Au-As-Sb Laranjeiras em metaturbiditos do Grupo Nova Lima, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brasil [manuscrito] / Luiz Cláudio Lima. – 2012.
298 p.: il. (algumas color.)

Dissertação (Mestrado em Geologia) – Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Geociências, 2012.

Área de concentração: Geologia Econômica e Aplicada.

Orientadora: Lydia Maria Lobato.

Coorientadora: Rosaline Cristina Figueiredo e Silva.

Bibliografia: p. 283-298.

Inclui apêndice.

1. Geologia econômica – Quadrilátero Ferrífero (MG) – Teses. 2. Ouro – Quadrilátero Ferrífero (MG) – Teses. I. Lobato, Lydia Maria. II. Silva, Rosaline Cristina Figueiredo e. III. Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Geociências. IV. Título.

CDU: 553.1(815.1)



Universidade Federal de Minas Gerais

Instituto de Geociências

Programa de Pós-graduação em Geologia

Dissertação de mestrado intitulada “*Geologia do Depósito Lode Au-As-Sb Laranjeiras, em Metaturbitos do Grupo Nova Lima, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brasil*”, de autoria do mestrando Luiz Cláudio Lima, aprovada pela banca examinadora constituída pelos seguintes professores:

Profa. Dra. Lydia Maria Lobato – Orientadora

Profa. Dra. Rosaline Cristina Figueiredo e Silva – Coorientadora

Dr. Armando José Massucatto

Dr. Prof. Raul Minas Kuyumjian

Belo Horizonte, 01 de Setembro de 2012.

AGRADECIMENTOS

À Profa. Lydia Maria Lobato pela orientação, idéias e correções que ao longo do estudo, “traduziram” para uma linguagem coerente e organizada o grande volume de informações que o autor adquiriu antes e durante a execução da dissertação.

À Profa. Dra. Rosaline Cristina. Figueiredo e Silva pelo suporte na descrição das lâminas delgadas e análises por Microsonda Eletrônica de Varredura no ICEX/UFMG, e ainda o incentivo e as discussões sobre a geoquímica.

À ANGLOGOLD ASHANTI CÓRREGO DO SÍTIO MINERAÇÃO LTDA, pelo apoio financeiro e apoio irrestrito aos trabalhos, principalmente aos Srs. Pablo Luis Noriega, Paulo de Tarso Ferreira, Marcos Geraldo Simoni e José Roberto Vago, que tornaram possível a realização desta dissertação.

Aos amigos pelo companheirismo e discussões do dia a dia: Pablo Luiz Noriega, José Wilson Soares, Luis Camilo Pinto, Élio Horikawa, Ulisses Penha, Larissa Andrade, Marcos da Mata, Fred Ribeiro, Eric Ferreira, Marcos Pereira, Apolo Bhering, Douglas Martins, Carlos Paranhos, Rafael Chaves, Rodrigo Salles, Eduardo Zenha, Juliano Maciel, Alessandro da Silva, Hebert de Oliveira, Márcio Salles.

A toda equipe da Gerência de Recursos Minerais na Mina Córrego do Sítio, pelos préstimos na confecção de mapas, perfis, figuras, tabelas, relatórios de despesas, disposição de caixas de testemunhos, amostragens, envio de amostras aos laboratórios, etc: Evanildo Lima, Breno Versiani, Édipo Pessoa, Gedeon Miquéias Dias, Rodson Lemos, Cida Rosa, José Maria, Sebastião da Paz, Ednei, Jose Geraldo, Erbem, Vanderley, Anderson, Jose Célio, Moisés, Lúcia, Lulú, Gilcimar, Walington. Grato pelo esforço e amizade.

A equipe do escritório do CTOP de Nova Lima: Edvaldo Lopes, Simone Tossatti, Olívia Santos, Nádia Vaz, André Jardim, Lívia Bloom, Vinicius e Dayse, pela confecção de mapas e auxílios de toda ordem.

À geóloga Cecília Germano Porto e ao Armando José Massucatto Jr pela amizade, pelo incentivo e pelas primeiras orientações para a realização deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Aba I C Persiano que possibilitou a execução das sessões de Microsonda Eletrônica de Varredura no do Departamento de Física-UFMG.

Ao Dr. Luis R A Garcia, ICEX-UFMG, que com sua paciência e experiência tornou possível a aquisição das análises e imagens dos minerais selecionados para microsonda.

Aos professores da UFMG que com seus ensinamentos transformaram a fase inicial da dissertação em uma experiência enriquecedora: Lydia Maria Lobato, Carlos Alberto Rosière, Antônio Carlos Pedrosa Soares, Alexandre Uhlein e Carlos Maurício Noce (*in memoriam*).

Ao geólogo Franciscus Baars pela idéias, correções de textos e incentivo

Ao Dr. Francisco Javier Rios (CDTN, Pesquisador) e a sua equipe constituída por: James Vieira Alves (CDTN, Pesquisador), Tatiana Aparecida Fernandes de Lima (CDTN, Bolsista), Lucilia Aparecida Ramos de Oliveira (CDTN, Bolsista), Lucas Eustáquio Dias Amorim (CDTN, Bolsista), pelas discussões e estudos de inclusões fluídas e discussões.

Ao Fernando da laminação, pela presteza e qualidade do trabalho realizado.

A todos os geólogos amigos que contribuíram com exemplos, idéias, discussões e incentivos: Marco Aurélio da Costa, Jaimir Matsui, Luis Carlos Ferreira da Silva e Jaime Duchini.

Aos meus amigos Fred Sobreira, Aderval de Matos, Sérgio Barros, José Maria Carneiro e Adalberto Pedrosa, e respectivas famílias pela camaradagem e que nossos encontros sejam mais frequentes.

Aos meus irmãos Wilson, Lucymara e Marco Aurélio pelo amor e admiração.

Aos meus filhos Clayton e Leandro pelo apoio nas horas mais difíceis.

À minha esposa Maria do Socorro que durante estes últimos 03 anos, em que me dediquei a este trabalho, tanto sentiu a minha ausência, mas cuja reação sempre foi de compreensão e incentivo incondicional, digno de um amor verdadeiro.

Aos meus pais Jorge da Costa Lima (*in memorian*) e Zilda Guedes de Lima por sempre acreditarem em mim.

Agradeço a todos que contribuíram para que este trabalho chegasse ao final, e que transformaram esta dura e dolorosa caminhada em algo prazeroso e enriquecedor.

RESUMO

O Depósito Aurífero Laranjeiras (~1 Moz @6,32 g/t Au) localiza-se na borda leste do QF e integra o Lineamento Córrego do Sítio. Hospeda-se em intercalações de rochas metassedimentares clásticas e vulcanoclásticas fortemente foliadas, neoarqueanas, da porção superior do Grupo Nova Lima, Supergrupo Rio das Velhas. Descrições de testemunhos de sondagem diamantada (>150.000 m) e mapeamento geológico nos *openpits* permitiram o estabelecimento da estratigrafia do depósito. O Grupo Nova Lima é representado na área pela Unidade Córrego do Sítio, subdividida informalmente em Superior, Intermediária e Inferior. A porção intermediária corresponde a “corredor” de mineralização, onde predominam xistos carbonosos. Os mesmos contêm zonas heterogêneas de cisalhamento, de espessuras submétricas a decamétricas, e que hospedam obliquamente faixas mineralizadas expressas como grandes zonas de veios quartzo-carbonáticos, tipo *tension gashes* de escala regional, e que encerram o grosso da mineralização aurífera. As rochas das porções Superior e Inferior caracterizam-se por composição essencialmente psamítica, com predomínio de metagrauvas e subordinadas lentes de metapelitos sericíticos e/ou carbonosos, além de formações ferríferas heterogêneas. Os tipos de alteração hidrotermal nas rochas que envolvem os veios de quartzo incluem intensa lixiviação da matéria carbonosa, carbonatação, sericitização e sulfetação nas encaixantes. Laranjeiras apresenta corpos de minério em forma lenticular oblata, dispostos como estreitos veios quartzo-carbonáticos *en echelon*, com largura de 1-4, altura de 60-400 e comprimento de 60-1200 metros, respectivamente. A direção de mergulho é ~S76°E a S49°E, mergulhando 45°-75° para SE, com caimento do *plunge* de 30°-46° na direção entre N39°E e N51°E, em contraposição à outras mineralizações auríferas do Grupo Nova Lima, QF, que em geral apresentam *plunge* no sentido leste a sudeste. A geometria dos corpos de minério resulta de evolução estrutural polifásica, 04 fases de deformação. Uma foliação milonítica desenvolve-se em zonas de cisalhamento subparalelas à foliação regional (S_n) das rochas encaixantes da mineralização. Apresenta um máximo de N29°E/68°SE. Uma clivagem de crenulação extensional e espaçada, S_{n+1}, é desenvolvida no evento D_{n+1}, com máximos em N16E°/30°NW; é marcada pela remobilização de matéria carbonosa nos planos de clivagem, o que permite sua

pronta identificação. Durante a fase D_{n+2} , desenvolvem-se dobras que invertem a atitude e mergulho das superfícies S_n e S_{n+1} , sem alterar o ângulo entre estas. Tal evento de deformação não registrou clivagem ou lineação mineral e, portanto, não é possível a medição de superfícies S_{n+2} relacionadas a esta fase. A superfície S_{n+3} é o plano axial de uma clivagem de crenulação espaçada com atitudes $N35^\circ W/79^\circ NE$, acompanhada por clivagem de fratura e *kink folds* decimétricas. Exames de diques metabásicos, em diferentes estágios de alteração metassomática, cruzam obliquamente todas as unidades arqueanas. Estudos petrográficos e de microscopia eletrônica de varredura (MEV) permitiram a identificação dos seguintes minerais-minério e de ganga associados aos veios e às suas encaixantes, em ordem decrescente de abundância: pirita (FeS_2), arsenopirita ($FeAsS$), pirrotita (FeS), berthierita ($FeSb_2S_4$), calcopirita ($CuFeS_2$), esfalerita ($ZnFeS$), ullmanita ($NiSbS$), gersdorffita ($NiAsS$), cubanita ($CuFe_2S_3$), tetraedrita ($(Cu,Fe)_{12}Sb_4S_{13}$), pentlandita ($(Fe,Ni)_9S_8$), hematita (Fe_2O_3), rutilo (TiO_2), minerais do grupo da boulangerita ($Pb_5Sb_4S_{11}$), galena (PbS), estibnita (Sb_2S_3), cobaltita ($CoAsS$), cinábrio (HgS), eletrum ($Ag-Au$) e ouro (Au), que representam, no todo, quantidades inferiores a 1%. Análises geoquímicas multielementares permitem estabelecer uma correlação positiva do Au , em veios e rochas encaixantes metassedimentares clásticas, metavulcanoclásticas, com os seguintes elementos, segundo uma ordem decrescente: $Sb > As > Ag > Cd > Se > Hg > P > Te > W > F > Bi > In > Sr > Sc > Cl > Rb > Sn > Tl > Cu > Pb > Zn > B > Ge > Mn > Mo > Re$. O Au tem correlação positiva nas rochas metabásicas com os seguintes elementos, segundo uma ordem decrescente: $As > Sb > Ag > Cr > Cs > Tl > W > Zn > Ba > Hg > Li > Ni > Rb > Cd > F$. Os elevados teores de Cr e Ni e a alta razão La/Y indicam que os sedimentos originais, que geraram o pacote de rochas metassedimentares do Lineamento Córrego do Sitio, devem ser derivados da erosão de rochas máficas e ultramáficas. Com base nas características geológicas, como rochas encaixantes fortemente deformadas, abundantes venulações de quartzo-carbonato-sulfeto, alteração hidrotermal a carbonato, sericita e sulfeto, além da associação espacial com estruturas compressionais de grande escala, o Depósito Aurífero Laranjeiras é classificado como orogênico.

palavras chave: Geologia Econômica - Quadrilátero Ferrífero - Ouro.

ABSTRACT

The Laranjeiras Gold Deposit (~1 Moz @6.32 g/t Au) is located at the eastern border of the Iron Quadrangle-QF, and is part of the Córrego do Sítio Lineament. It is hosted in intercalated Neo Archean, strongly foliated metasedimentary rocks, encompassing clastic and volcanoclastic units, which belong to the upper portion of the Nova Lima Group, Rio das Velhas Supergroup. Diamond drill core logs (>150,000 m) and geologic mapping in the open pit mines led to the definition of the deposit's stratigraphy. The Nova Lima Group is represented in the area by the Córrego do Sítio Unit, informally subdivided into Upper, Intermediate and Lower. The rocks of the Upper and Lower portions are characterized by their essentially psammitic composition, with greywacke predominating and subordinated lenses of sericitic and/or carbonaceous metapelites, besides horizons of heterogeneous iron formations containing magnetite, carbonates and quartz. The Intermediate portion corresponds to the "conduit" of gold mineralization, where carbonaceous schists predominate. They contain heterogeneous shear zones, with thicknesses ranging from less than one meter to tens of meters. These obliquely host mineralized bands that form quartz-carbonate veins in regional-scale, tension gash zones and that marked the end of the gold mineralization. Hydrothermal alteration of rocks hosting quartz veins include intense leaching of the carbonaceous material, with carbonate, sericite and sulfides formation in the surrounding rocks. Laranjeiras shows lenticular oblate orebodies, arranged in narrow, *en echelon* quartz-carbonate veins, with 1-4-m thickness, 60-400 height and length of 60-1200 meters, respectively. The dip direction is ~S76°E to S49°E, dipping at 45°-75° to the SE and plunging at 30°-46° towards N39°E and N51°E, in opposition to other gold mineralized zones of the Nova Lima Group, QF, which in general display plunges to the east and southeast. The geometry of the orebodies is a result of polyphase structural evolution, with four phases of deformation. A mylonitic foliation developed in shear zones that are subparallel to the regional foliation (S_n) of the rocks hosting the mineralization. It displays a maximum of N29°E/68°SE. A cleavage of extensional, wide spaced crenulations, S_{n+1} , is developed during the event D_{n+1} , with a maximum at N16E°/30°NW. It is marked by carbonaceous matter accumulated on the cleavage planes, which allow for their easy identification. During the D_{n+2} phase, folds developed and inverted the attitude and dip of both S_n and S_{n+1} surfaces without changing the angle between the two. This phase did not imprint any cleavage or mineral lineation and, therefore, S_{n+2} surfaces could not be measured. The S_{n+3} surface is an axial plane of a wide-spaced crenulation cleavage at an attitude of N35°W/79°NE, accompanied by fracture cleavage and kink folds on a decimetric scale.

Swarms of metabasic dikes, with differing stages of metasomatic alteration, obliquely cut across and are locally parallel to all Archean units. Petrographic and scanning electron microscopic (SEM) studies identified the following ore and gangue minerals associated with veins and their host rocks in decreasing order of abundance: pyrite (FeS_2), arsenopyrite (FeAsS), pyrrhotite (FeS), berthierite (FeSb_2S_4), chalcopyrite (CuFeS_2), sphalerite (ZnFeS), ullmanite (NiSbS), gersdorffite (NiAsS), cubanite (CuFe_2S_3), tetrahedrite ($(\text{Cu,Fe})_{12}\text{Sb}_4\text{S}_{13}$), pentlandite ($(\text{Fe,Ni})_9\text{S}_8$), hematite (Fe_2O_3), rutile (TiO_2), minerals of the boulangerite group ($\text{Pb}_5\text{Sb}_4\text{S}_{11}$), galena (PbS), stibnite (Sb_2S_3), cobaltite (CoAsS), cinnabar (HgS), electrum (Ag-Au) and gold (Au). These overall represent less than 1%. Multi-element geochemical analyses resulted in the establishment of a positive correlation between Au in veins and surrounding clastic metasedimentary and metavolcanic rocks, with the following elements, in descending order: $\text{Sb} > \text{As} > \text{Ag} > \text{Cd} > \text{Se} > \text{Hg} > \text{P} > \text{Te} > \text{W} > \text{F} > \text{Bi} > \text{In} > \text{Sr} > \text{Sc} > \text{Cl} > \text{Rb} > \text{Sn} > \text{Tl} > \text{Cu} > \text{Pb} > \text{Zn} > \text{B} > \text{Ge} > \text{Mn} > \text{Mo} > \text{Re}$. In metabasic dike rocks, Au has a positive correlation with the following elements, in descending order: $\text{As} > \text{Sb} > \text{Ag} > \text{Cr} > \text{Cs} > \text{Tl} > \text{W} > \text{Zn} > \text{Ba} > \text{Hg} > \text{Li} > \text{Ni} > \text{Rb} > \text{Cd} > \text{F}$. The relatively high grades of Cr and Ni and the high La/Y ratios indicate that the original sediments at the Córrego do Sítio Lineament originated also from the erosion of mafic and ultramafic rocks. On the basis on the overall geological characteristics, such as highly deformed host rocks, abundant quartz-carbonate-sulfide veinlets, carbonate, sericite and sulfide hydrothermal alteration, plus the spatial association with large-scale compressional structures, the Laranjeiras Gold Deposit is classified as orogenic.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1.1 – Mapa de acesso à área de estudo.....	3
FIGURA 2.1 – A localização do Quadrilátero Ferrífero no Cráton São Francisco	10
FIGURA 2.2 – Mapa geológico simplificado da região do Quadrilátero Ferrífero.....	11
FIGURA 2.3 – Mapa geológico da Porção Nordeste do Quadrilátero Ferrífero	16
FIGURA 2.4 – Gnaisse Alberto Flores com evidências de migmatização, cortado por um dique de Granito Brumadinho – Domo de Bonfim – porção Oeste do QF.	19
FIGURA 2.5 – Afloramento do Granito Alto Maranhão em contato com apófises e diques de rochas básicas.	20
FIGURA 2.6 – Complexo Santa Bárbara.....	23
FIGURA 2.7 – Rocha.....	27
FIGURA 2.8 – Mapa esquemático de compartimentação litoestrutural do Supergrupo Rio das Velhas na região do Quadrilátero Ferrífero.	30
FIGURA 2.9 – Mapa geológico simplificado do Supergrupo Rio das Velhas na região do QF (BALTAZAR & ZUCCHETTI, 2007, modificado após ZUCCHETTI ET AL, 2000a), mostrando o contexto de associações de litofácies do Supergrupo Rio das Velhas (SGRV).	31
FIGURA 2.10 – Coluna estratigráfica do Supergrupo Rio das Velhas subdividido em blocos ou domínios lito-estruturais.....	33
FIGURA 3.1 – Ambientes tectônicos em que se desenvolvem depósitos minerais epigenéticos.....	54
FIGURA 3.2 – Seção esquemática mostrando o modelo <i>continuum</i> crustal dos depósitos arqueanos e a terminologia proposta para descrever as várias condições de P e T.	56
FIGURA 3.3 – Tipos de depósitos auríferos epigenéticos em terrenos metamórficos.	58
FIGURA 3.4 – Mapa mostrando a distribuição dos terrenos do Arqueano, Proterozóico, Paleozóico, Mesozóico e Cenozóico.....	61
FIGURA 3.5 – Distribuição temporal dos depósitos auríferos orogênicos usando a melhor aproximação da produção de ouro e idade para províncias auríferas individuais.	64
FIGURA 4.1 – Localização da cavas das minas Carvoaria Velha, Crista-Laranjeira, Cachorro Bravo, Lajeado-Mutuca, Rosalino e Grota Funda.....	74
FIGURA 4.2 – Croquis do posicionamento do Lineamento Córrego do Sítio com depósitos e ocorrências auríferas alinhadas NE-SW.	75
FIGURA 4.3 – Mapa geológico da porção central do Lineamento aurífero Córrego do Sítio	81

FIGURA 4.3 – Legenda ao mapa geológico da FIG. 4.3	82
FIGURA 4.4 – Seção-tipo da Geologia do Depósito Aurífero Laranjeiras. (Seção 4000).	83
FIGURA 4.5 –	87
FIGURA 4.6 –	89
FIGURA. 4.7 – Mapa de localização da Mina São Bento em relação à área da Mina Córrego do Sítio.....	92
FIGURA 4.8 –	93
FIGURA 4.9 –	94
FIGURA 4.10 – Fotomicrografia.....	97
FIGURA 4.12 – Fotomicrografia.....	99
FIGURA 4.13 – Feições miloníticas em filitos carbonosos intercalados com venulações de quartzo e carbonato e que desenvolvem dois conjuntos de planos, sendo um paralelo e outro oblíquo à foliação principal.	103
FIGURA 4.14 – Fotografia de afloramentos com aspectos cinemáticos na cava Bocaina.	104
FIGURA 4.15 – Filitos carbonosos com dobras apertadas a isoclinais transpostas paralelamente à foliação regional, com intercalações de venulações de quartzo e carbonato suparalelas- FCS926 - intervalo 177,10 – 182,00 m	105
FIGURA 4.16 – Fotomicrografias	109
FIGURA 4.17 – Fotomicrografias	110
FIGURA 4.18 – Fotomicrografias	111
FIGURA 4.19	114
FIGURA 4.20	115
FIGURA 4.21 – Fotomicrografia.....	117
FIGURA 4.22	120
FIGURA 4.23 – Fotografia de metabásica com alteração carbonática no furo FCS931.	121
FIGURA 4.24 – Fotomicrografia.....	124
FIGURA 4.25 – Metabásica clorítica FCS928 – (170,00 – 185,50 m). Escala = largura =5cm	126
FIGURA 4.26 – Metabásica clorítica FCS926 – intervalo entre 154,40 m – 166,00 metros. Ilustração de zoneamento do centro para as bordas da metabásicas com crescente alteração clorítica e carbonática.....	126

FIGURA 4.27 – Fotomicrografia da lâmina FCS926 - 155,65 m. Metabásica com alteração clorítica, com relictos de hornblenda e magnetita, além de traços de titanita e pirita euédrica.	129
FIGURA 4.28	131
FIGURA 4.29 – A Amostra FCS-931-154,15	133
FIGURA 4.30	135
FIGURA 4.31	136
FIGURA 4.32	139
FIGURA 4.33: Mapa geológico simplificado da porção oriental da região do QF, com localização das falhas empurrão da Água Quente, Cambotas e Fundão, minas mais importantes e localização aproximada do perfil esquemático da FIG. 4.34.	142
FIGURA 4.34 – Perfil esquemático NW-SE, representando a inversão estratigráfica, devido ao empurrão do Complexo Santa Bárbara sobre o Grupo Quebra Ossos (verde) e deste por sobre as unidades Santa Quitéria (laranja). Córrego do Sítio (amarelo) e Supergrupo Minas (azul).	143
FIGURA 4.35	156
FIGURA 4.36	157
FIGURA 4.37 – Distribuição dos pólos do acamamento (S_0) dos 86 dados coletadas nas Cavas Laranjeiras, Carvoaria, Bocaina, com máximo de N34E/74SE (contornos de 2%, 4%, 8%, 16% e 23,26%).Eixo Beta calculado N46° E/44°NE.	158
FIGURA 4.38 – Quartzo-sericita-xisto carbonoso aflorante no talude EW da Mina Crista com exposição de dobras assimétricas da fase D_n desenvolvidas sobre o acamamento. Unidade Córrego do Sítio Inferior.....	160
FIGURA 4.39: Testemunho de sondagem em quartzo-sericita xisto carbonoso, com microdobras assimétricas F_n , desenvolvidas sobre o acamamento (S_0), FCS1107, 368,20m.....	160
FIGURA 4.40: Talude SE-NW da Cava Bocaina com dobra fechada em metagrauvas da Unidade Córrego do Sítio Superior. Foliação S_n plano axial da dobra desenvolvida sobre o acamamento (S_0).	161
FIGURA 4.41 – Afloramentos em metagrauvas intercalada com lâminas de xisto carbonoso em diferentes cavas,	162
FIGURA 4.42: Distribuição dos pólos da foliação (S_n) dos 148 dados coletadas nas Cavas Crista, Laranjeiras, Carvoaria e Bocaina, com máximo de N29°E/68° SE (contornos de 1%,2%, 4%, 8%, 16%,32%, e 42,57%).	163
FIGURA 4.42: A e B - Distribuição dos pólos do eixo de dobras F_n em 58 dados coletados nas Cavas Crista, Laranjeiras, Carvoaria e Bocaina, com máximo de N45°E /43NE (contornos de 2%, 4%, 8%, 16%, 32%, e máximo de 53.45%).	163
FIGURA 4.43	166

FIGURA 4.44 – Fotografia de afloramentos metagrauva e xisto carbonoso com aspectos cinemáticos na cava Bocaina.....	167
FIGURA 4.45	168
FIGURA 4.46	169
FIGURA 4.47: Poiquiloblasto de pirita de formato oblato desenvolvido no plano S_n com eixo maior segundo lineação mineral paralelo ao eixo das dobras F_n	170
FIGURA 4.48 – Fotografias de afloramentos.....	171
FIGURA 4.49 – Fotografias de frentes de lavra em subsolo do Depósito Cachorro Bravo, no nível 628, com veios de quartzo-carbonato-sulfeto encaixados em xistos carbonosos em zonas de cisalhamento.....	172
FIGURA 4.50	174
FIGURA 4.51: Distribuição dos pólos da clivagem de crenulação espaçada extensional S_{n+1} em 100 dados coletados nas Cavas Crista, Laranjeiras, Carvoaria e Bocaina, com máximo de 286/30 (contornos de 1%,2%, 4%, 8%, 16%,32%, e máximo de 43,00 %).	175
FIGURA 4.52	175
FIGURA 4.53 – Topo do Depósito Cachorro Bravo com dobra aberta F_{n+3} promovendo a inversão localizada da atitude de S_n e S_{n+1} e formando um plano axial subhorizontal com caimento ora para sudoeste ora para nordeste.	177
FIGURA 4.54 – Seção geológica 4550, representando o plano axial da dobra F_{n+2} , que arqueiam as rochas no topo dos perfis do Lineamento Córrego do Sítio.	178
FIGURA 4.55 – Inversão da atitude do minério no Depósito Cachorro Bravo, perspectiva em 3D, com visada para norte,.....	179
FIGURA 4.56 – Distribuição dos pólos da foliação S_n e S_{n+1} no Depósito Crista com inversões produzidas pela dobra F_{n+2}	179
FIGURA 4.57: Distribuição dos pólos da foliação (S_{n+3}) dos 34 dados coletadas nas Cavas Crista, Laranjeiras, Carvoaria e Bocaina, com máximo de 55/84 (contornos de 3%, 6%, 12%,24, 32%, e máximo de 35,29%).....	180
FIGURA 4.58	181
FIGURA 4.59: Perfil esquemático da krigagem do produto Au <i>versus</i> espessura do minério. Traços em verde correspondem ao desenvolvimento em subsolo, setas em preto são paralelas ao <i>plunge</i> e setas de cor cinza equivalem a direções ortogonais que também indicam um segundo <i>plunge</i>	184
FIGURA 4.60: Mapa esquemático simplificado do Lineamento Córrego do Sítio, ilustrando as relações entre as zonas mineralizadas (vermelho) e os diques de rochas metabásicas (verde).....	187
FIGURA 4.61: Mapa esquemático simplificado do Lineamento Córrego do Sítio, ilustrando o formato em arco das zonas mineralizadas (vermelho).....	188

FIGURA 5.1: Mapa com a distribuição das lentes de minério, conforme as séries 300, 200 e 100, no Lineamento Córrego do Sítio.	190
FIGURA 5.2: Seção geológica 4000 representando as três séries de minérios, (300, 200 e 100), no Depósito aurífero Laranjeiras, Lineamento Córrego do Sítio.....	193
FIGURA. 5.3: Veio de quartzo fumê e leitoso com massas de berthierita (FeSb_2S_4) e arsenopirita (FeAsS) encaixado em xisto carbonoso com microvenulações lenticulares de quartzo e carbonato com berthierita. Galeria Mina Cachorro Bravo, nível 688, corpo 300. Traços inclinados, em vermelho, indicam tamanho das amostras entre 40 a 50 cm.....	195
FIGURA 5.4: Prancha com amostras de testemunhos de sondagem exibindo veio de quartzo-carbonato-sulfeto com Au-As-Sb.O veio de quartzo fumê tem massas de bertierita hospedado em xisto carbonoso dobrado e transposto. Há sericitização, silicificação e sulfetação na hospedeira. Furo de sondagem FCS1234, intervalo 302,90–310,40 m.Seção 5100 (vide FIG 4.1)	197
FIGURA 5.5: Testemunhos de sondagem com veio de quartzo-carbonato fumê, com massas de bertierita, encaixado em filitos carbonosos dobrados, transpostos e cisalhados. Há microvenulações com disseminações de bertierita encaixadas em xisto carbonoso dobrado e transposto. Furo de sondagem FCS926 – intervalo 193,55 – 196,90 m.Seção 4000 -Depósito Laranjeiras.	198
FIGURA 5.6: Veio de quartzo fumê boudinado encaixado em quartzo-sericita xisto carbonoso com disseminações de arsenopirita (FeAsS). Galeria Mina Cachorro Bravo, nível 673 corpo 211 norte....	199
FIGURA 5.7: Amostras de testemunhos de sondagem de minérios da Série 200.	200
FIGURA 5.8: Veio de quartzo fumê boudinado encaixado em metagrauvaca (plagioclásio-sericita-quartzo xisto carbonoso) com disseminações de arsenopirita (FeAsS); Galeria Mina Cachorro Bravo, nível 738 corpo 101 sul.	201
FIGURA 5.9 A: Minério da Série 100:veio de quartzo e carbonato em metagrauvaca.	202
FIGURA 5.10:	206
FIGURA 5.11: Resultado de análise qualitativa por EDS de testemunhos do FCS978A com cristal de bertierita contendo inclusões de cinábrio e ouro.	207
FIGURA 5.12:	208
FIGURA 5.13:	209
FIGURA 5.14: Cristal de pirita porosa no centro de aglomerado de minerais metálicos (berthierita, ullmanita, boulangerita, arsenopirita e esfalerita).	210
FIGURA 5.15: Imagem MEV / EDS com Pirita porosa (I) envolvida por boulangerita e pirrotita, na lâmina FCS926 – 196.40.	211
FIGURA 5.16: Amostra FCS1019.....	213
FIGURA 5.17:	215

FIGURA 5.18: Imagem 4 MEV/ EDS – Arsenopirita I (Apy) envolvendo pirrotita (Po) e siderita no núcleo do agregado.....	216
FIGURA 5.19: Amostra FCS926 – 239.80 Cristal de arsenopirita (I e II) com núcleo contendo inclusões e imperfeições e nas bordas cristal limpo e zonado Análises dos pontos 11 (centro) e 12 (borda) com imagem EDS.....	217
FIGURA 5.20:	219
FIGURA 5.22: Fotomicrografia.....	222
FIGURA 5.23:	223
FIGURA 5.24:	224
FIGURA 5.25:	225
FIGURA 5.26: Fios de ouro (Au) associado com cinábrio (HgS) hospedados em berthierita (Bert - FeSb ₂ S ₄) Imagem em EDS/WDS.	226
FIGURA 5.27: Fotografia de amostra de mão coletada em veios de quartzo da Mina Cachorro Bravo, nível 628, galeria 200S.	228
FIGURA 5.28: Ullmanita identificada por MEV / EDS no ponto 10	229
FIGURA 5.29: Amostra FCS928 – 239.80 Pirita porosa no centro com inclusões de tetraedrita, calcopirita, arsenopirita envolvida em aglomerado de Bertierita com esfalerita e arsenopirita euédrica, ullmanita e boulangerita na borda de Berthierita. Cristais euédricos de arsenopirita sobre berthierita e pirrotita. Imagem retro espalhada em MEV.....	230
FIGURA 6.1: Exemplos de diagrama de distribuição de ETR normalizados ao condrito (NAKAMURA, 1977) em rochas do Lineamento Córrego do Sítio, com a utilização de diferentes símbolos e cores para identificação dos diferentes tipos de rochas. O estudo geoquímico das amostras será apresentado por litologia para permitir a caracterização e comparação entre as rochas metabásicas e metavulcanoclásticas.	236
FIGURA. 6.2: Diagrama de distribuição de ETR, A e B normalizado ao condrito (NAKAMURA, 1974) e em A' e B' normalizados ao NASC (GROMET <i>et al.</i> , 1984). Metagrauvas com símbolos em losango azul escuro e xistos carbonosos em círculos marrons.....	238
FIGURA. 6.3: Diagrama comparativo da distribuição de ETR, entre metagrauva e xisto carbonoso normalizados ao condrito (NAKAMURA, 1974) (FIG. 6.3C) e normalizados ao NASC (GROMET <i>et al.</i> , 1984) (FIG. 6.3C'). Metagrauvas com símbolos em losango azul escuro e xistos carbonosos em círculos marrons.....	238
FIGURA. 6.4: Diagrama comparativos da distribuição de ETR normalizados segundo Nakamura (1974), entre os tipos de metabásicas. MBcb em círculos vermelhos, MBcl em triângulos verdes e MBpx em cruces púrpura	253
FIGURA 6.5: Diagrama Hildreth (RICHARD, 1988), de normalização das amostras de xisto carbonosos <i>versus</i> NASC (GROMET <i>et al.</i> , 1984).	263

FIGURA 7.1: Quadro de Ramsay & Huber (1987) sintetizando os padrões de dobras de interferência gerados pela superimposição de sucessivas fases de deformação em um mesmo terreno, em mapa ou em perfil. O tipo 1B com ângulos entre 0 e 90° entre as fases seria a mais próxima das condições características do Lineamento Córrego do Sítio.	268
FIGURA 7.2: Mapa simplificado com o traçado dos corpos de minério do Lineamento Córrego do Sítio mostrando posicionamento oblíquo do minério em relação aos contatos litológicos da Unidade Córrego do Sítio Intemediária.	269
FIGURA 7.3:	273
FIGURA 7.4: Seção 4900 com representação do posicionamento oblíquo dos diques com relação aos corpos de minério e contatos litológicos.....	275
FIGURA 7.5: Seção 4900 com representação do posicionamento oblíquo dos diques com relação aos corpos de minério e contatos litológicos.....	276

LISTA DE TABELAS

TABELA. 3.1 Produtividade de vários terrenos <i>greenstone</i> em termos de kg Au por km ²	61
TABELA. 3.2 Tabela com 23 distritos e depósitos de ouro orogênico gigantes distribuídos segundo as épocas	62
TABELA 4.1 Totalização do minério (alimentado na planta metalúrgica) e ouro produzido no período de 1990 e 1998 e de 2002 a 2009.	76
TABELA 4.3 Porcentagens minerais em lâminas petrográficas em rochas metassedimentares da Unidade Córrego do Sítio Intermediária.	108
TABELA 4.4 Porcentagens dos minerais em lâminas de metabásicas com alteração carbonática avançada.	123
TABELA 4.5 Distribuição dos minerais nas amostras de lâminas de metabásicas com alteração clorítica com subordinada alteração carbonática (tr= traço <<1 %; (--) ausência do mineral).....	127
TABELA 4.6 Distribuição dos minerais nas amostras de lâminas do FCS1231 em metabásicas com piroxênio.	138
TABELA 5.1 Recursos em minério sulfetado do Lineamento Córrego do Sítio	189
TABELA 5.2 Sequência paragenética dos minerais metálicos, da mineralização aurífera do Lineamento Córrego do Sítio	204
TABELA 5.3: Resultado de análise por WDS no Ponto 7 da lâmina FCS926 – 196.40- Pirita porosa .Amostra 196.40 (7) ; (*) Análises (1) Elba, Itália; (2) <i>Mill Close Mine</i> , Derbyshire, Inglaterra.(3) Gladhammar, Suécia;. (4) Amostra padrão ideal (FeS ₂).	211
TABELA 5.4: Tabela com resultado de análise por WDS da amostra 196.40- (8) na imagem VII e VIII ; e outros resultados de análise de pirrotita de outras minas (*) (1) Homestake mine, Lead, Lawrence Co., South Dakota, USA; corresponde a Fe _{0.87} S _{1.00} .(2) Kongsberg, Noruega. Média de duas análises corresponde a Fe _{0.87} S _{1.00} . (3) Setregruben, Østfold, Noruega corresponde a Fe _{0.92} S _{1.00} . 214	214
TABELA 5.5 Resultados de análise por WDS das amostras FCS928- 239.80 nos cristais (1) nos pontos (11), (12), e no cristal (2) nos pontos (13) e (14); Análises de referência da literatura (*) (1) O'Brien mine, Cobalt, Canada. (2) Franklin, New Jersey, USA. (3) Amostra padrão de Arsenopirita (FeAsS).	218
TABELA 5.6 Resultados de análise por WDS da amostra FCS 926 / 167.20 m leituras WDS (2), (3) e (4) , (*) Análises da literatura em berthierita (1) Herja, Romênia; corresponde a (Fe _{1.05} Sb _{2.01} S _{4.00}); Análise (2) padrão FeSb ₂ S ₄	221
TABELA 5.7 Resultados de análise por WDS em Cobaltita da amostra FCS926-270.90 nos pontos 270,90(1) e (2) ; Análises de Cobaltita da literatura. (1) <i>Cobalt, Canadá; corresponde a (Co_{0.80}Fe_{0.12}Ni_{0.09})_{1.01}As_{0.99}S_{1.00}</i> ; (2) <i>Tunaberg, Sweden; corresponde a (Co_{0.88}Fe_{0.08}Ni_{0.02})_{0.98}As_{0.90}S_{1.00}</i> . (3) Amostra padrão CoAsS.	224

TABELA 5.8 Resultado de análise por WDS da amostra FCS928-239.80 (1) no ponto (1) com Tetraedrita (1) na borda de Calcopirita (2), inclusos em Pirita porosa (pontos 5 e 7). Análise de referência da literatura (1) Bourg d’Oisans, França (2) Val del Frigido, Toscana Italia; (3) Amostra padrão de Tetraedrita (Cu ₁₂ Sb ₄ S ₁₃).....	227
TABELA 5.9 Minerais do grupo da boulangerita	228
TABELA 5.10: Tabela com resultados de análise por WDS da amostra FCS926:239.80- (10). Parâmetros de Ullmanita da literatura (1) Gosenbach, Alemanha (2) Petersbach mine, Alemanha; por EDS (3) Broken Hill, Austrália, por EDS (4) NiSbS. Obs : análises 1,2,3 e NiSbS extraídas de www.handbookofmineralogy.org/ c 2001-2005 Mineral Data Publishing, versão 1s.	229
TABELA 5.11 Teores de As, S, Fe e razões As/S e As/Fe de arsenopirita em pontos na borda e no centro do grão.....	231
TABELA. 6.1 Lista dos elementos terras raras (ETR), separados por grupos de elementos terras raras leves (ETRL), médios (ETRM) e pesados (ETRP), Shanon (1976) em Ângstroms (10 ⁻¹⁰ m).....	235
TABELA 6.2 Tabela comparativa entre dados geoquímicos de ETR de metagrauvaca e xisto carbonoso do Depósito Aurífero Laranjeiras.	237
TABELA 6.3 Conteúdos dos ETR (ppm) em metagrauvaca (MG).....	241
TABELA 6.4 Conteúdos dos ETR (ppm) em xisto carbonoso (RP).....	242
TABELA 6.5 Sinopse dos dados de ETR (ppm) das rochas metabásicas.	252
TABELA 6.6 Conteúdos dos ETR (ppm) em metabásica com alteração carbonática (MBcb).....	254
TABELA 6.6 Conteúdos dos ETR (ppm) em metabásica com alteração carbonática (MBcb).....	255
TABELA 6.7 Conteúdo de ETR (ppm) em metabásica com alteração clorítica.(MBcl)	256
TABELA 6.8 Conteúdo em ETR (ppm) em metabásicas com piroxênio (MBpx)	257
TABELA 6.9 Análise química dos elementos maiores (%) e traços (ppm) de metagrauvas do Lineamento Córrego do Sítio.	259
TABELA 6.10 Variação das médias dos elementos maiores e traços (ppm) em relação ao teor de Au nas amostras de xistos carbonosos da zona mineralizada.....	261
TABELA 6.11 Matriz de Pearson, com o resultado dos cálculos de correlação para os elementos traços em rochas metassedimentares.	263
TABELA 6.12 Matriz de Pearson, com o resultado dos cálculos de correlação para os elementos traços em rochas metabásicas	264
TABELA 6.13 Matriz de Pearson, com o resultado dos cálculos de correlação para os elementos traços em rochas metabásicas com alteração carbonática.	264
TABELA 6.14 Quadro sinóptico da Matriz de Pearson, com o resultado dos cálculos de correlação para os elementos traços em rochas metabásicas com alteração clorítica.....	265

TABELA 7.1 Teores médios de Au e Ag e razão Au/Ag em 122 amostras de rochas metassedimentares da Unidade Córrego do Sítio Intermediária	280
TABELA 7.2 Teores de Cr e Ni (ppm), razão Cr/Ni da média, máximo e mínimo de 122 amostras de xistos carbonosos da Unidade Córrego do Sítio Intermediária. Comparativo com teores do padrão NASC (<i>North American Sediment Composite</i> , em média de 60 amostras)	281
TABELA 7.3 Teores médios de La e Yb (ppm), razão La/Yb para 81 amostras analisadas da Unidade Córrego do Sítio Intermediária. Comparativo com teores do padrão NASC (<i>North American Sediment Composite</i> , média de 60 amostras.	281

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	APRESENTAÇÃO E OBJETIVOS	1
1.2	LOCALIZAÇÃO	2
1.3	OBJETIVOS	2
1.4	MÉTODOS DE TRABALHO	4
1.4.1	Método para o mapeamento geológico	5
1.4.2	Amostragem para Petrografia	6
1.4.3	Amostragem para análise geoquímica	7
1.5	CONSIDERAÇÕES A RESPEITO DA NOMENCLATURA E CÓDIGOS DE ROCHAS	8
2	GEOLOGIA REGIONAL	10
2.1	HISTÓRICO E TRABALHOS ANTERIORES	10
2.2	TERRENOS GRANITO-GNAISSE-MIGMATÍTICO DO TIPO TONALITO-TRONDJHEMITO- GRANODIORITO (TTG)	17
2.3	SUPERGRUPO RIO DAS VELHAS	24
2.3.1	Grupo Quebra Ossos	26
2.3.2	Grupo Nova Lima	27
2.3.3	Grupo Maquiné	34
2.4	SUPERGRUPO MINAS E OUTRAS UNIDADES PALEOPROTEROZÓICAS SUPRACRUSTAIS DA REGIÃO DO QF.	35
2.5	METABÁSICAS METAMORFIZADAS E METASSOMATIZADAS	39
2.6	ROCHAS DO FANEROZÓICO	40
2.7	ESTRUTURAÇÃO REGIONAL	41
2.8	METAMORFISMO	47
2.9	HISTÓRICO DOS ESTUDOS DAS MINERALIZAÇÕES AURÍFERAS NA REGIÃO DO QF	48
3	MINERALIZAÇÕES AURÍFERAS EM TERRENOS METAMÓRFICOS	53
3.1	INTRODUÇÃO	53
3.2	EVOLUÇÃO DAS CLASSIFICAÇÕES GENÉTICAS DOS DEPÓSITOS AURÍFEROS	54
3.3	DISTRIBUIÇÃO E IDADE DOS DEPÓSITOS AURÍFEROS	60
3.4	ROCHAS HOSPEDEIRAS E TEORES DAS MINERALIZAÇÕES AURÍFERAS	65
3.5	ESTILOS ESTRUTURAIIS	66

3.6	ALTERAÇÃO DAS ROCHAS ENCAIXANTES E MINERALIZAÇÃO	68
3.7	NATUREZA DOS FLUIDOS MINERALIZANTES	70
4	GEOLOGIA E PETROGRAFIA DO LINEAMENTO AURÍFERO CÓRREGO DO SÍTIO, ÊNFASE NO DEPÓSITO LARANJEIRAS.....	71
4.1.	INTRODUÇÃO	71
4.2.	HISTÓRICO DOS MAPEAMENTOS GEOLÓGICOS ANTERIORES	76
4.3	LITOESTRATIGRAFIA	78
4.3.1	Unidade Santa Quitéria	86
4.3.2	Unidade Córrego do Sítio Inferior	90
4.3.3	Unidade Córrego do Sítio – Intermediária	101
4.3.4	Unidade Córrego do Sítio – Superior	112
4.3.5	Descrição das rochas metabásicas	118
4.4	GEOLOGIA ESTRUTURAL	140
4.4.1	Trabalhos anteriores sobre a estruturação da porção oriental do QF.	140
4.4.2.	Geologia Estrutural do Lineamento Córrego do Sítio, com ênfase nos Depósitos Crista, Laranjeiras, Carvoaria e Bocaina	152
4.4.3	Avaliação de <i>plunge</i> em minérios da Série 300	182
4.4.4	Considerações Finais e discussões	185
5	MINERALIZAÇÃO AURÍFERA.....	189
5.1	AS MINERALIZAÇÕES AURÍFERAS DO LINEAMENTO CÓRREGO DO SÍTIO	189
5.2	MINERALIZAÇÕES DO DEPÓSITO AURÍFERO LARANJEIRAS	191
5.3	CORPOS DA SÉRIE 300: VEIOS DE QUARTZO-CARBONATO-SULFETO AURÍFEROS	194
5.3.1	Descrição microscópica do minério	195
5.4	CORPOS DA SÉRIE 200: MICROVEIOS DE QUARTZO E SUBSTITUIÇÃO EM FILITOS CARBONOSOS.	199
5.5	CORPOS DA SÉRIE 100: VEIOS QUARTZO-CARBONATO-SULFETO E SUBSTITUIÇÃO EM METAGRAUVACAS	201
5.6	MINERALOGIA DO MINÉRIO	203
5.6.1	Ouro nativo e eletrum	205
5.6.2	Pirita (FeS ₂)	208
5.6.3	Pirrotita	212
5.6.4	Arsenopirita	214
5.6.5	Berthierita	218

5.6.6 Calcopirita	221
5.6.7 Esfalerita	222
5.6.8 Cobaltita (CoAsS)	224
5.6.9 Cinábrio	225
5.6.10 Tetraedrita [(Cu,Fe) ₁₂ Sb ₄ S ₁₃]	226
5.6.11 Minerais do grupo da boulangerita	227
5.6.12 Estibnita	228
5.6.13 Ullmanita	229
5.7 CONSIDERAÇÕES FINAIS	231
6 GEOQUÍMICA.....	233
6.1 INTRODUÇÃO	233
6.2 ESTUDOS GEOQUÍMICOS DE ELEMENTOS TERRAS RARAS (ETR)	234
6.2.1 Fundamentos	234
6.2.2 Tratamento dos dados e interpretações	235
6.2.3. Rochas metassedimentares	236
6.3. CONSIDERAÇÕES PRELIMINARES	238
6.2.4 Rochas metabásicas	251
6.3 ESTUDO DE ELEMENTOS MAIORES E TRAÇOS	257
6.3.1 Fundamentos	257
6.3.2 Tratamento dos dados	258
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	267
7.1 DOS CONTROLES LITOESTRATIGRÁFICOS E ESTRUTURAIS DA MINERALIZAÇÃO.	267
7.2 DAS ROCHAS METABÁSICAS	270
7.3 DOS ASPECTOS PETROGRÁFICOS	277
7.4 DA NATUREZA DA MINERALIZAÇÃO E ALTERAÇÕES NAS ENCAIXANTES	278
7.5 DOS ASPECTOS GEOQUÍMICOS	279
8 REFERÊNCIAS.....	283

1 INTRODUÇÃO

1.1 APRESENTAÇÃO E OBJETIVOS

As principais minas de ouro em atividade no Brasil estão hospedadas no *greenstone belt* Rio das Velhas (LOBATO ET AL., 2001), Quadrilátero Ferrífero (QF), região esta que tem sido objeto de estudo de diversos pesquisadores desde o início do século passado (HARDER & CHAMBERLAIN, 1915; GUIMARÃES, 1970).

A porção oriental do QF é reconhecida como um distrito que contém um grande número de ocorrências e depósitos auríferos de pequeno a médio porte (< 3 milhões de onças de Au), hospedados em distintos contextos litoestratigráficos-estruturais e geocronológicos, tais como Córrego do Sítio, São Bento, Pilar, Pari, Santa Quitéria, Barra Feliz, Quebra Ossos, Cata Preta, Tesoureiro, Antônio Pereira, Gongo Sôco, Santana, São Jorge, Brumadinho, Ápis, dentre outros menores. Tais depósitos são tratados isoladamente e não há registro de estudos que os reuna, como integrantes de um mesmo *trend*, com feições geológicas similares. Mundialmente se reconhece que as mineralizações auríferas hospedadas em zonas orogênicas não ocorrem isoladas, mas sim segundo corredores alinhados, dentro de grandes zonas de cisalhamento transcrotônicas, com diferentes estilos estruturais de mineralização, resultante das variações na orientação do campo de tensão regional e da resistência (competência) da rocha hospedeira (ou o contraste de competência entre rochas hospedeiras adjacentes), independentemente do tipo litológico (GROVES ET AL. 2003)

Neste trabalho o autor propõe a denominação informal de Lineamento Aurífero Córrego do Sítio para uma estrutura linear, com 16 km de comprimento, segundo o *strike*, que é materializada em campo pelo alinhamento NE-SW de um conjunto de 14 escavações mineiras e 02 anomalias geoquímicas (FIG. 4.2). As mineralizações deste trend caracterizam-se pelo estilo veio de quartzo-carbonato-sulfeto (*Lode gold*), hospedados em uma sequência metavulcanossedimentar Arqueana, pertencente a porção média/superior do Supergrupo Rio das Velhas.

O autor disserta sobre a caracterização dos controles litoestratigráficos, estruturais e geoquímicos da mineralização e das rochas encaixantes do Depósito Laranjeiras, situado na porção central do Lineamento Aurífero Córrego do Sítio (FIG. 4.2), com o objetivo de contribuir com a definição de parâmetros que possam ser aplicados em novas descobertas minerais na região. A AngloGold Ashanti Brasil Mineração Ltda (AGABM) é a detentora dos direitos minerais da área de estudo, em que o autor atua como geólogo sênior, de 2005 até a presente data.

1.2 LOCALIZAÇÃO

O Depósito Aurífero Laranjeiras localiza-se no Município de Santa Bárbara, Minas Gerais, a cerca de 120 km ao leste de Belo Horizonte. O acesso à área se faz por via terrestre seguindo-se 70 km pela BR- 381 no sentido Vitória até o trevo Santa Bárbara/Barão de Cocais (FIG. 1.1); daí segue-se por mais 30 km pela MG:436 até o trevo de Brumal de onde se vira à direita e continua por mais 20 km até a portaria da AngloGold Ashanti Brasil Mineração Ltda.

1.3 OBJETIVOS

Os principais objetivos deste trabalho são:

- Descrever os tipos de minérios, hospedeiras, encaixantes e diques, baseado nas respectivas características mineralógicas, petrográficas e geoquímicas, contextualizando-as em relação à geologia local e às mineralizações em outros depósitos nos arredores.
- Descrição da geometria das estruturas geradas pela deformação polifásica e compreender como agem sobre os corpos mineralizados.
- Identificar possíveis controles litoestratigráficos-estruturais das mineralizações e suas encaixantes, bem como situá-las em termos cronológicos relativos.
- Apresentar mapa e perfis geológicos em que estejam representadas as unidades litológicas e seus contatos, obedecendo fielmente às suas relações de campo.
- Análise e interpretação dos dados coletados.

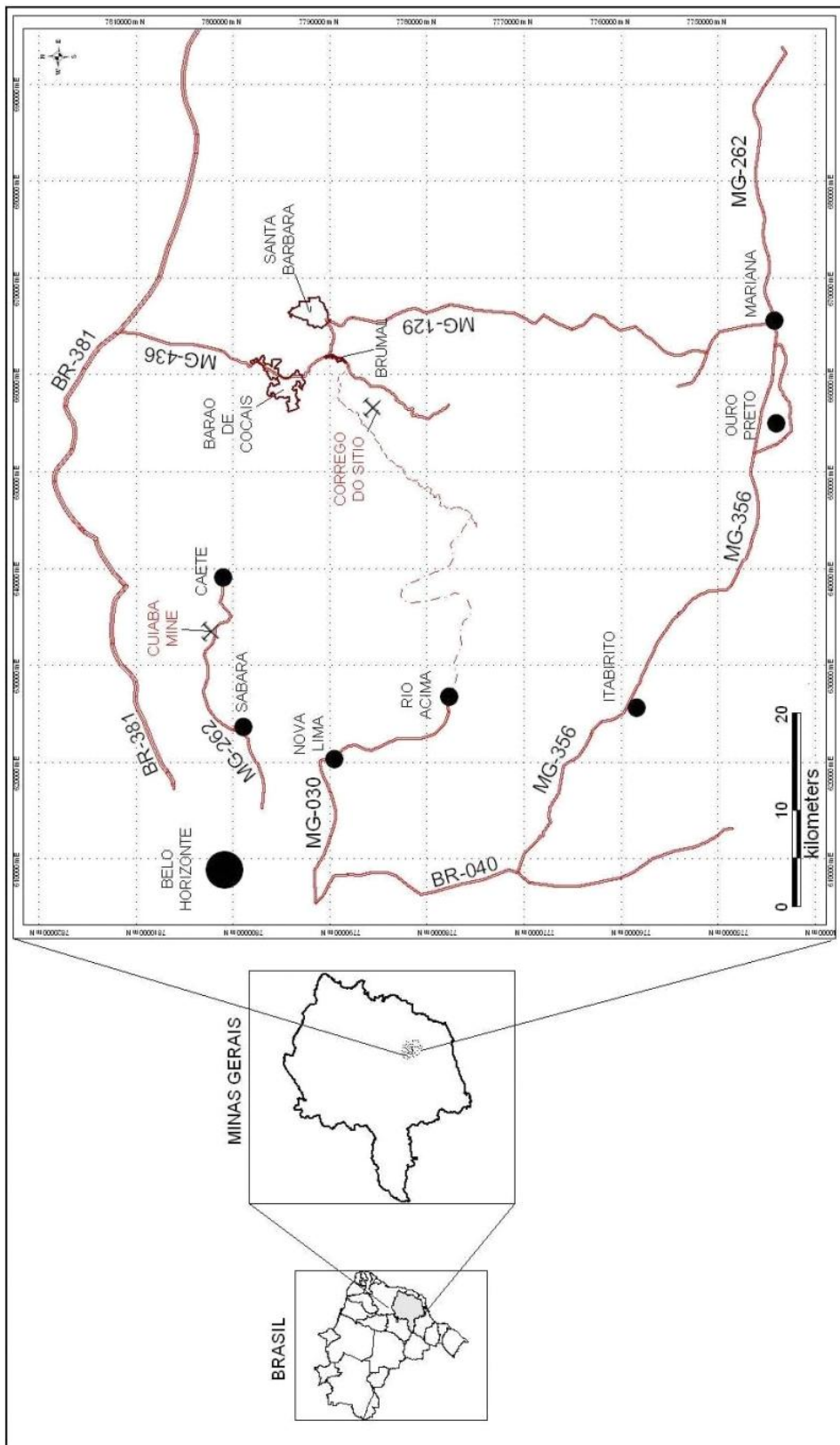


FIGURA 1.1 – Mapa de acesso à área de estudo

1.4 MÉTODOS DE TRABALHO

Trabalhos de escritório preliminares

- Revisão dos relatórios internos, consultorias externas além de teses e artigos publicados na literatura geológica;
- Revisão do acervo de mapas e perfis geológicos pré-existentes.

Trabalhos de campo

- Mapeamento geológico na escala 1:10.000 nos acessos e cavas das minas exauridas e em operação;
- Visitas a frentes de lavra subterrânea nas minas Cachorro Bravo e Laranjeiras;
- Descrição de testemunhos de sondagem, produzidos no período de 2005 a 2010;
- Amostragem de testemunhos de sondagem para confecção de 60 lâminas petrográficas;
- Coleta de amostras em testemunhos de sondagem para análise geoquímica de elementos maiores e traços;
- Registro fotográfico de afloramentos e testemunhos de sondagem com câmera *Sony Modelo H5*.

Tratamento e interpretação dos dados

- Confecção de perfis geológicos 1:1.000 em papel milimetrado no formato A4 e A3;
- Confecção de mapa geológico com lançamento pontos de afloramentos em coordenadas geográficas e interpretação dos contatos e agrupamentos litológicos;
- Organização dos dados em planilhas Excel e posterior transformação em tabelas do *software ©Mapinfo*, para a geração de mapas e perfis geológicos;

- Organização dos dados no sistema de banco de dados Century e transformação via script Java para o formato do *software Studio 2* (©Datamine), para a geração de perfis e mapas;
- Confecção e interpretação de diagramas estereográficos dos dados estruturais, utilizando o *software Georient 9.4.3* (cópia livre para a AngloGold Ashanti), fornecida pelo autor Holcombe (2009);
- Confecção e interpretação de gráficos de análise geoquímica no *software Minpet 2.1* (RICHARD, copyright de 1988 a 1995);
- Elaboração da dissertação de mestrado.

1.4.1 Método para o mapeamento geológico

Para esta dissertação, o autor consolidou o mapa geológico da FIG. 4.3 e Anexo 1 . Os afloramentos rochosos foram registrados segundo suas coordenadas geográficas, discriminados a partir das diferentes litologias, e atribuídos os respectivos símbolos estruturais.

O avançado estágio de alteração meteórica das rochas em superfície, e mesmo em baixas profundidades, dificulta o reconhecimento das diferentes litologias. Assim o presente autor utiliza dados extraídos da descrição dos testemunhos de sondagem diamantada e ainda observações de mapeamentos, nas escavações em subsolo, para a correta classificação das rochas e identificação das unidades estratigráficas por tipo litológico.

O autor coletou dados estruturais que foram sistematicamente organizados em planilhas *Excel* contendo colunas referentes a tipo litológico, alteração hidrotermal, venulações, estruturas de pequena escala, etc., que são preenchidas com as observações de cada afloramento. Os dados são regularmente convertidos para tabelas em *Mapinfo*, que permitem a representação em mapas, com os respectivos símbolos estruturais, através dos *softwares Mapinfo e Discover*.

1.4.2 Amostragem para Petrografia

O autor interpretou 48 seções geológicas espaçadas de 50 X 50 metros, na direção N50W – S50E, com furos de sondagem distribuídos entre as seções 3200 até 5600 (ANEXO 1). Dentre estas se escolheu a seção 4000 (FIG. 4.4) para representar o Depósito Laranjeiras, já que esse apresenta os principais tipos litológicos da área. As descrições dos furos de sondagem foram utilizadas como guia para a amostragem petrográfica.

O estudo petrográfico é realizado utilizando microscópio em luz refletida e transmitida, da marca LEICA, pelas objetivas de 2,5X, 5X, 10X, 20X e 50X. As descrições registram a mineralogia, porcentagem relativa dos minerais, principais aspectos texturais e incluem fotografias digitais dos aspectos mais notáveis.

A amostragem dos furos FCS926, 928 e 931 da seção geológica 4000 foram realizadas com os seguintes propósitos:

1. Obter amostras de metagrauvaca e xistos carbonosos distantes das zonas de alteração hidrotermal e dos diques de metabásicas;
2. Amostrar metagrauvas e xistos carbonosos próximos aos halos de alteração metassomática dos diques de metabásicas, tanto no *hangwall* quanto no *footwall*;
3. Amostrar metagrauvas e xistos carbonosos próximos às zonas de alteração hidrotermal sericitica não mineralizadas;
4. Amostrar metagrauvas e xistos carbonosos próximos às zonas mineralizadas, na borda dos veios de quartzo-carbonato-sulfeto;
5. Amostrar veio de quartzo-carbonato-sulfeto com disseminações de ouro, sulfetos e sulfossais;
6. Amostrar metabásicas no centro e nas bordas das intrusões.

Adicionalmente se amostrou o dique de metabásica a piroxênio (MBpx) e rochas da Unidade Santa Quitéria, que ocorrem no extremo nordeste da área, completando assim os tipos litológicos presentes na área (ANEXO 2.1 e 2.2).

Quando não for possível a identificação mineral por petrografia convencional por luz refletida e transmitida as amostras serão analisadas no Laboratório de Microsonda Eletrônica de Varredura no Instituto de Ciências Exatas – Instituto de Física – UFMG.

1.4.3 Amostragem para análise geoquímica

Um total de 249 amostras foi enviado para análise geoquímica, dentre testemunhos de sondagem e polpas de amostras britadas (ANEXO):

- 47 amostras de testemunhos de sondagem foram analisadas por geoquímica multielementar para óxidos maiores, elementos traço menores e elementos terras raras (ANEXO). Estas amostras também foram laminadas para descrição petrográfica sob luz refletida e transmitida;
- 10 amostras de polpas de testemunhos de sondagem britadas para análise geoquímica multielementar de elementos maiores (método ME-ICP06), traços (método ME-MS61m) e terras raras (método ME-MS82) (ANEXO);
- 44 polpas de amostras de canal de subsolo da frente de lavra do depósito Laranjeiras , no nível 711 , foram enviadas para análises multielementares de óxidos maiores e elementos traço menores pelos métodos ME-ICP06 e ME-MS61m, vide TABELA 2.3;
- 148 polpas de amostras de canal de subsolo coletadas em frentes de pesquisa da galeria LJ711N (FIG.2.4) para análise geoquímica dos elementos Au, S, As, Sb, Pb (método AA62) (ANEXO).

As análises químicas foram realizadas pelo laboratório ALS Chemex que possui uma unidade de preparação em Vespasiano (MG) que envia as alíquotas pulverizadas aos laboratórios analíticos de Vancouver (Canadá) e em Lima (Peru).

Os resultados de análises geoquímicas estão organizados em planilhas Excel para tratamento gráfico e estatístico nos *softwares Minpet 2.0* e *Geosoft8*.

1.5 CONSIDERAÇÕES A RESPEITO DA NOMENCLATURA E CÓDIGOS DE ROCHAS

O autor utiliza, ao longo do texto, acrônimos e nomenclaturas diferentes daqueles utilizados nos documentos da AGABM.principalmente para as rochas metabásicas. Neste sentido apresenta-se, abaixo, breves considerações sobre a conversão dos termos.(QUADRO 1.1)

Nos documentos internos da AGABM as notações das rochas metabásicas utilizam o acrônimo MB seguido por um número, que apesar de não implicar em qualquer ordem geocronológica induzem o leitor, desavisado, a assim considerá-las (QUADRO 1.1).Neste trabalho o autor substitui a notação anterior, por uma baseada em aspectos mineralógicos, de modo a evitar possíveis vínculos com a questão geocronológica, uma vez que não se conhece ainda suas idades absolutas ou relativas. As rochas metabásicas apresentam uma série de características distintivas, que são discutidas e detalhadas no capítulo 4 (geologia local)

QUADRO 1.1

Sinópse comparativa entre os acrônimos utilizados em documentos internos da AGABM e os do autor, para referência dos principais litotipos da área de estudo. Listagem simplificada e sem caráter estratigráfico.

UNIDADE	ACRÔNIMOS DAS LITOLOGIAS		
	AGABM	AUTOR	ASPECTO DISTINTIVO
META BÁSICAS	DB1	MBcl	Rocha metabásica com alteração clorítica-carbonática,
	DB2	MBcb	Rocha metabásica com alteração carbonática
	DB3	MBcb	Rocha Metabásica com alteração carbonática
	DB4	MBpx	Rocha metabásica com Piroxênio
VEIOS	VCB		
	VQZ	VQZ	Veio quartzo-carbonato +- sulfeto
	VQZS		
CÓRREGO DO SÍTIO	BIF	FFB	Formação ferrífera bandada
	MCH	MCH	Metachert
	MG		Metagrauvaca
	MGHF	MG	Metagrauvaca com alteração fílica
	RP		Filito e xisto carbonoso
	RPP	RP	Xisto carbonoso intercalado com metagrauvaca
RPPHF		Xisto carbonoso intercalado com metagrauvaca e alteração fílica	
SANTA QUITÉRIA	SQA	SQA	quartzo clorita-sericita xisto/ subordinadas lentes de formação ferrífera bandada

2 GEOLOGIA REGIONAL

2.1 HISTÓRICO E TRABALHOS ANTERIORES

O Quadrilátero Ferrífero (QF) localiza-se no extremo sudeste do Cráton São Francisco (FIG. 2.1) e compreende três grandes domínios tectono-estratigráficos (FIG. 2.2): Terrenos granito-gnaiss-migmatíticos (TTG), uma seqüência do tipo *greenstone belt* (Supergrupo Rio das Velhas) e seqüências supracrustais de rochas metassedimentares clásticas e químicas (Supergrupo Minas, Grupo Sabará, Grupo Itacolomi e Supergrupo Espinhaço) (FIG. 2.2).

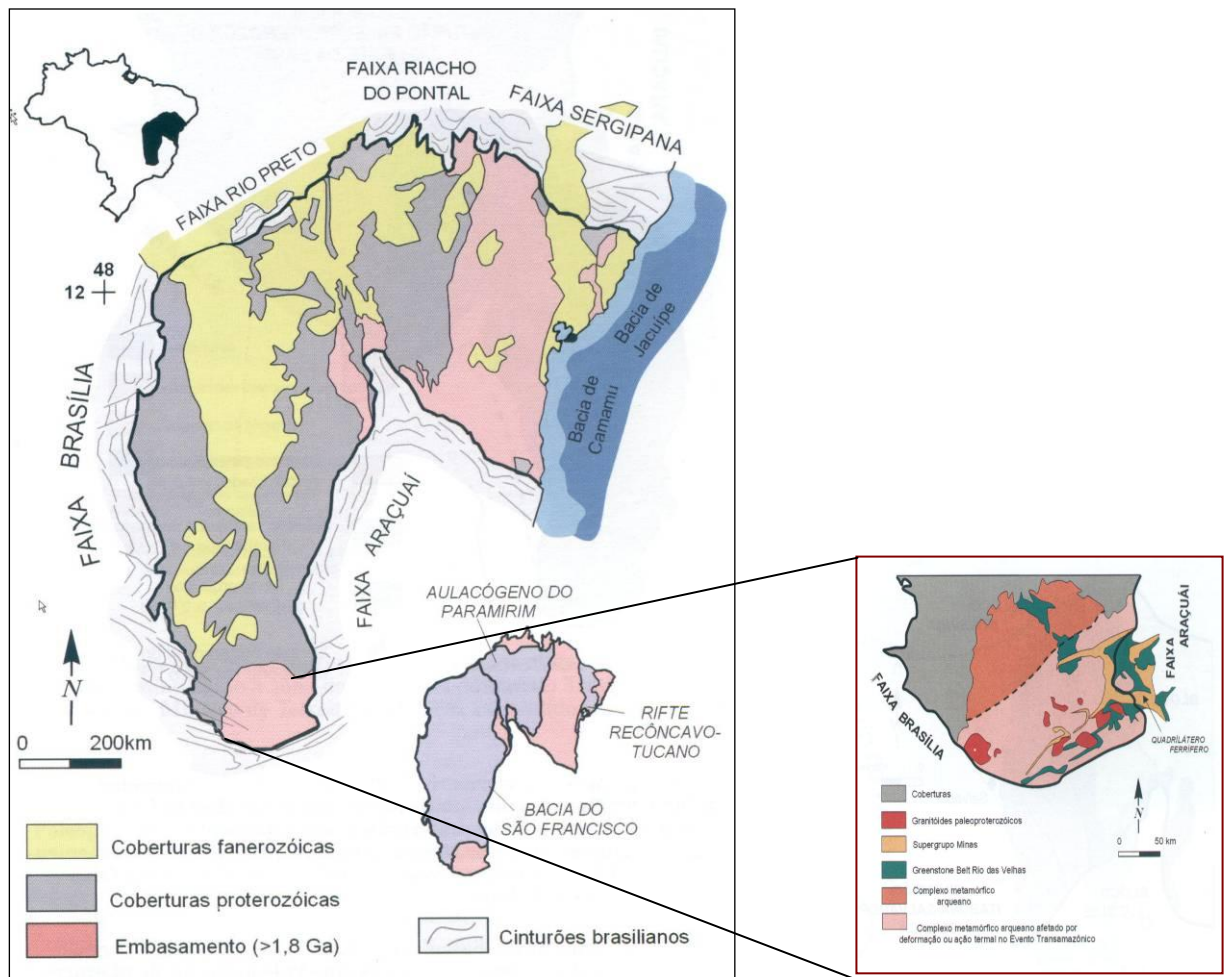


FIGURA 2.1 – A localização do Quadrilátero Ferrífero no Cráton São Francisco
Fonte: Alkmin & Marshak (1998).

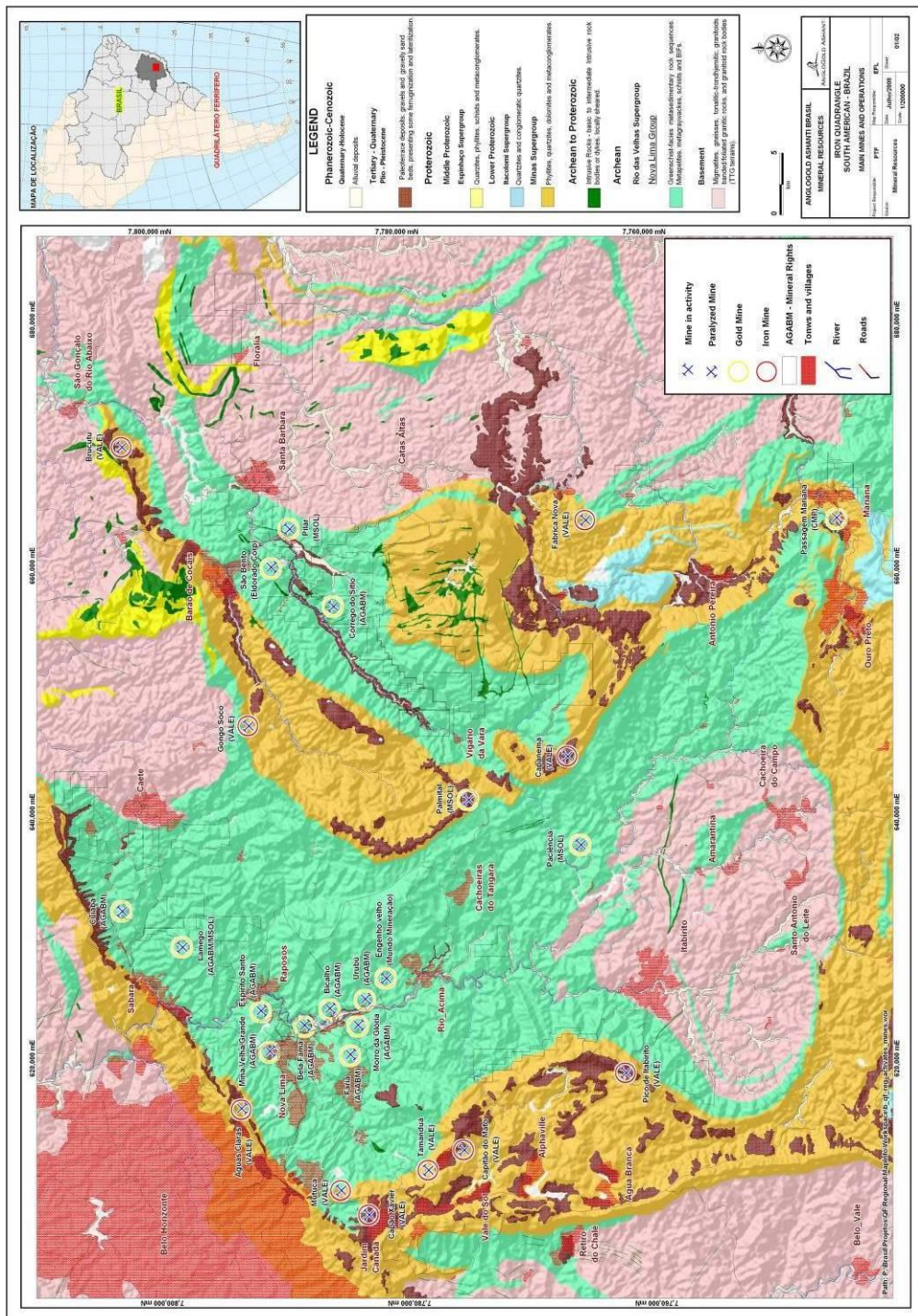


FIGURA 2.2 – Mapa geológico simplificado da região do Quadrilátero Ferrífero
 Fonte: (LOPES, 2010)

Atribui-se a Almeida (1967, 1976, 1977) o conceito geotectônico de Cráton São Francisco e das suas diversas faixas de dobramentos circundantes, além do destaque da importância do Ciclo Brasileiro.

As primeiras e mais importantes referências sobre aspectos geológicos da porção central de Minas Gerais são creditadas aos pioneiros trabalhos de Eschwege (1822), que estabeleceu uma proposta de divisão estratigráfica em quatro andares (formações) para a então denominada Serra do Espinhaço, que em sua concepção significa o grande divisor de águas que separa os rios que correm diretamente para o Atlântico e os que desembocam nos rios Uruguai, Paraná e São Francisco.

As conhecidas ocorrências de ouro e diamante da região entre Ouro Preto e Diamantina foram abordadas ainda em relatos de viagens de inúmeros estudiosos do período colonial brasileiro, dentre outros podem ser citados: Spix & Martius (1823), Helmreichen (1846), Pissis (1857), Hartt (1870), Henwood (1871), Gorceix (1881) e Hussak (1898). (APUD Machado, 2009)

Derby (1906) acata as proposições de Eschwege (1822) e reconhece adicionalmente as sequências quartzíticas Lavras e Paraguaçu na Chapada Diamantina, Bahia. Credita-se ainda a Derby (1906) a criação do termo Série Minas para a sequência de rochas pouco metamorfizadas da região do Quadrilátero Ferrífero, tais como quartzitos, xistos, itabiritos e calcários.

Harder & Chamberlain (1915) consideraram os quartzitos da região de Diamantina como parte da Série Minas (DERBY, 1906) e equivalentes ao Quartzito Caraça do Quadrilátero Ferrífero. Guimarães (1931) considera tais quartzitos como mais jovens e o denomina como Série Itacolomi.

Dentre outros estudos geológicos importantes para a compreensão da geologia da região do QF, podem ser listados aqueles creditados a Rimann (1921), Freyberg (1932), Barbosa (1954), Oliveira (1956).

Sob a coordenação do Prof. Pflug, foi realizado um programa de pós-graduação, patrocinado por diversas entidades do Brasil e da Alemanha, e que resultou na

publicação de dezenas de trabalhos enfocando aspectos geológicos da Serra do Espinhaço. Pflug (1965a,1965b, 1968), Pflug & Renger (1973), Schöll & Fogaça (1979).

A região do QF foi mapeada por Dorr e colaboradores na escala 1:25.000 e compilada em escala 1:150.000 (DORR, 1969), no âmbito do convênio DNPM / USGS, realizado entre 1946 e 1961.

O Convênio UFOP / Universidade Clausthal produziu um conjunto de informações a respeito de geologia estrutural e do metamorfismo de unidades litoestratigráficas da região do QF (GUERRA, 1979; HACKSPACKER, 1980;HOEFS *et al.*, 1982; JORDT EVANGELISTA, 1984; 1985; ALCKMIN, 1985).

Trabalhos regionais posteriores foram realizados no âmbito do Programa de Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil (CPRM / DNPM), na escala de 1:25.000, e sintetizados em mapa na escala 1:100.000 (BALTAZAR & ZUCCHETTI, 1998). Um mapa de compilação integrando o Supergrupo Minas e o Supergrupo Rio das Velhas foi desenvolvido por Lobato *et al* (2005).

QUADRO 2.4

Coluna estratigráfica simplificada e modificada de Machado *et al.* (1996) e Ladeira (1980) das rochas aflorantes na região do QF incluindo dados geocronológicos.

Idade	Supergrupo	Grupo	Formação	Litologias
Espinhaço				Rochas sedimentares clásticas marinhas.
2.059 Ga.		Itacolomi		Orto e protoquartzitos, conglomerados, grit. Fácies Santo Antônio: filitos, quartzito, conglomerado.
Discordância erosiva e angular profunda				
< 2.124 Ga.		Sabará	Indiviso	Grauvacas, xistos cloríticos, filitos, rochas metavulcânicas, conglomerados, quartzitos e subordinadas lentes de formação ferrífera.
Discordância erosiva local				
			Barreiro	Filitos e filitos grafitosos.
			Taboões	Ortoquartzitos.
			Fecho do Funil	Filito dolomítico e quartzoso, dolomitos silicosos.
		Piracicaba	Cercadinho	Quartzito ferruginoso, quartzito, filitos, filito ferruginoso, subordinadas lentes de conglomerados e dolomitos.
2.42 Ga.	Minas	Itabira	Gandarela	Dolomito e subordinadas lentes de calcários, itabirito dolomítico, filito dolomítico.
2.5 Ga.			Cauê	Itabirito (formação ferrífera fácies óxido), itabirito dolomítico e subordinadas lentes de filitos e dolomitos.
<2.66 Ga.		Caraça	Batatal	Filitos, filito grafitoso, subordinadas lentes de metachert, e formação ferrífera fácies óxido.
			Moeda	Ortoquartzitos, grit, conglomerados, filitos, quartzitos sericíticos, filitos, protoquartzitos.
Discordância erosiva e angular				
	Rio das Velhas	Maquiné	Casa Forte	Protoquartzitos, grit, conglomerado, subordinadas lentes de filitos e subgrauvacas.
			Palmital	Filitos, filito quartzoso, protoquartzito, grauvaca, subordinadas lentes de conglomerado na base.
2.772 Ga.		Nova Lima	Unidade Superior	Grauvacas e xistos carbonáticos, quartzitos imaturos, quartzo xistos e subordinadas lentes de conglomerados.
			Unidade intermediária	Xistos grafitosos, cloríticos e tufáceos com inúmeras lentes de formação ferrífera bandada (BIF).
2.78 Ga.			Unidade inferior	Xistos verdes, metabasaltos espilitizados, xistos tufáceos, metaultramáficas.
		Quebra osso	Indiviso	Lavas komatiíticas e tholeíticas, sedimentos clásticos, químicos, vulcânicos e vulcanoclásticos
< 3.2 Ga.	Complexo TTG – domos granito-gnaiss-migmatítico.			

A área de pesquisa insere-se no contexto regional da borda leste do QF (FIG. 2.2), encerrando mineralizações auríferas em veios de quartzo hospedados em seqüências metavulcanossedimentares do Supergrupo Rio das Velhas, que é referido como Cinturão de Rochas Verdes por Almeida (1976) e como um *greenstone belt* arqueano, do tipo Barberton, por Schorscher (1978 e 1992).

O Supergrupo Rio das Velhas representa a principal seqüência metavulcanossedimentar e que hospeda as principais jazidas de ouro de Minas Gerais (FIG. 2.2). Suas rochas circundam diversos complexos granito-gnaiss-migmatíticos, incluindo os Complexos Belo Horizonte, Bonfim, Caeté, Baçõ e Santa Bárbara (BALTAZAR & ZUCCHETTI, 1998).

No perfil geológico A-A' (FIG. 2.3), de sudeste para noroeste, retrata-se a situação em que as rochas arqueanas do Complexo granito-gnaiss-migmatítico Santa Bárbara se sobrepõem, por falha de empurrão, ao Supergrupo Rio das Velhas e que este se estende para oeste até o Sinclinal Gandarela e faz contato, por discordância angular, com o Supergrupo Minas (QUADRO 2.4). Enxames de diques máficos de diferentes idades intrudem as unidades arqueanas e proterozóicas (SIMMONS, 1968b).

Em Almeida (1976) há o registro da importância do sistema de falhas de empurrão de idade brasileira que atinge as porções sudeste e leste do Quadrilátero Ferrífero.

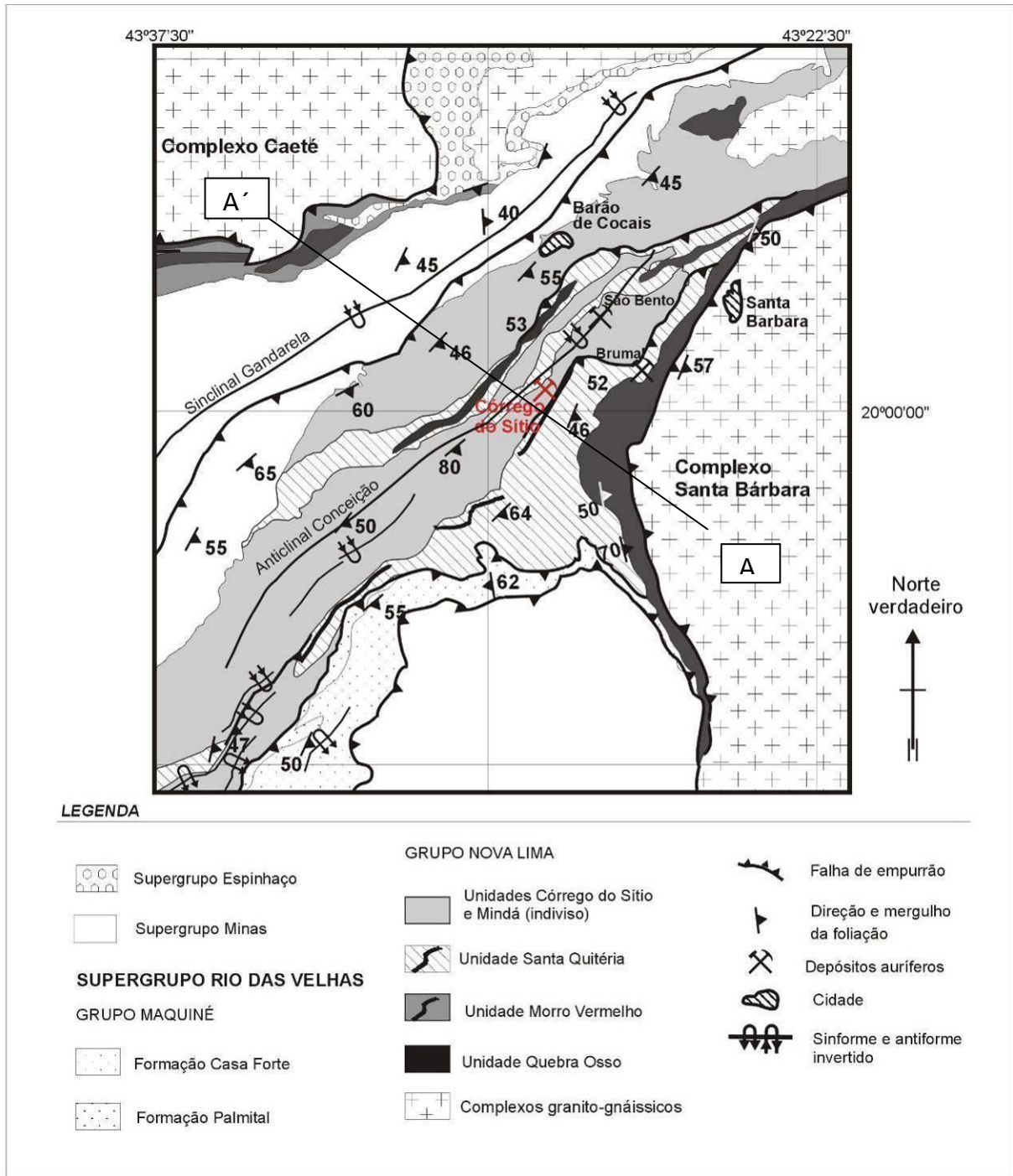


FIGURA 2.3 – Mapa geológico da Porção Nordeste do Quadrilátero Ferrífero
 Fonte: modificado de Lobato et al. (2011b).

A seguir são sumarizadas as principais características litoestratigráficas e estruturais da região e que são consideradas significativas para a presente pesquisa, compreendendo:

- (i) Complexos granito-gnaiss-migmatíticos;
- (ii) Supergrupo Rio das Velhas;
- (iii) Supergrupo Minas;
- (iv) Outras unidades (Grupo Sabará, Grupo Itacolomi, Supergrupo Espinhaço, Sequência Serra da Boa Vista, rochas metabásicas intrusivas e unidades Fanerozóicas).

2.2 TERRENOS GRANITO-GNAISSE-MIGMATÍTICO DO TIPO TONALITO-TRONDJHEMITO-GRANODIORITO (TTG)

Rochas agrupadas sobre o termo genérico “graníticas” estão amplamente distribuídas em toda a região do QF e, como não poderia deixar de ser, foram enfocadas em descrições mais ou menos detalhadas desde o período colonial brasileiro (por exemplo ESCHWEGE, 1822; DERBY, 1906; HARDER & CHAMBERLAIN, 1915; FREYBERG, 1932; GUIMARÃES, 1931; DORR & BARBOSA, 1963; DORR, 1969; HERZ, 1970; SCHORSCHER, 1976; LUCHESI, 1991; dentre outros trabalhos).

Ao estudarem a região central de Minas Gerais, Harder & Chamberlain (1915) sugerem mapeamentos e estudos petrográficos adicionais nos complexos e domos constituídos basicamente por granitos, além de gnaisses e anfibolitos intercalados com xistos micáceos e quartzosos, pois estes provavelmente representariam o embasamento arqueano da região (FIG. 2.1 e FIG. 2.2).

Schorscher (1992) considera este conjunto de rochas como o mais antigo em relação às sequências supracrustais do tipo *greenstone belt*, apesar dos soerguimentos de portes desconhecidos, ao longo dos contatos tectônicos com as sequências supracrustais e a erosão do complexo TTG, tenham obliterado a estratigrafia e estruturas originais.

Nestes terrenos são reportados raros restos de núcleos granulíticos, ultramáficos e ácidos, além de anfibolitos básicos e ultramafitos polimetamorfisados.

Dorr & Barbosa (1963) descrevem afloramentos do Granito Borrachudos na porção noroeste da folha Santa Bárbara e a nordeste da folha Florália. Herz (1970) descreve tais rochas não deformadas como granito da “Fase Peti” e caracterizados como não tendo sido afetados pela deformação penetrativa regional. O granito da “Fase Peti” se caracteriza pela cor cinza clara, granulação grossa, sem estruturas planares, mas com uma lineação de estiramento de *po*ds de biotita e quartzo, agregados de feldspato, além de grandes cristais de muscovita e clorita. Fluorita é mineral acessório.

Schorscher (1992) considera como Granito Borrachudos (DORR & BARBOSA, 1963) rochas arqueanas tardias a finais da evolução regional “granito-*greenstone belt*”. O embasamento cristalino constituído por gnaisses bandados e rochas graníticas *sensu-strictu*, do tipo tonalito-trondjhemito-granito (TTG), foi afetado por um evento de migmatização, cuja determinação geocronológicas U-Pb indica idade da ordem de 2860 ± 14 Ma (NOCE, 1995).

Como exemplo desta evolução complexa reporta-se um afloramento do Gnaisse Alberto Flores, datado em 2772 ± 6 Ma (CARNEIRO, 1992), que foi modificado por um evento de migmatização, com sobre crescimento de zircão, e que é posteriormente cortado discordantemente por diques do granito Brumadinho, cuja idade de cristalização é de $2703 \pm 24/20$ Ma (MACHADO & CARNEIRO, 1992). Estas relações confirmam a evolução polifásica que caracteriza estes complexos e domos granito-gnaisse-migmatíticos (FIG 2.4).

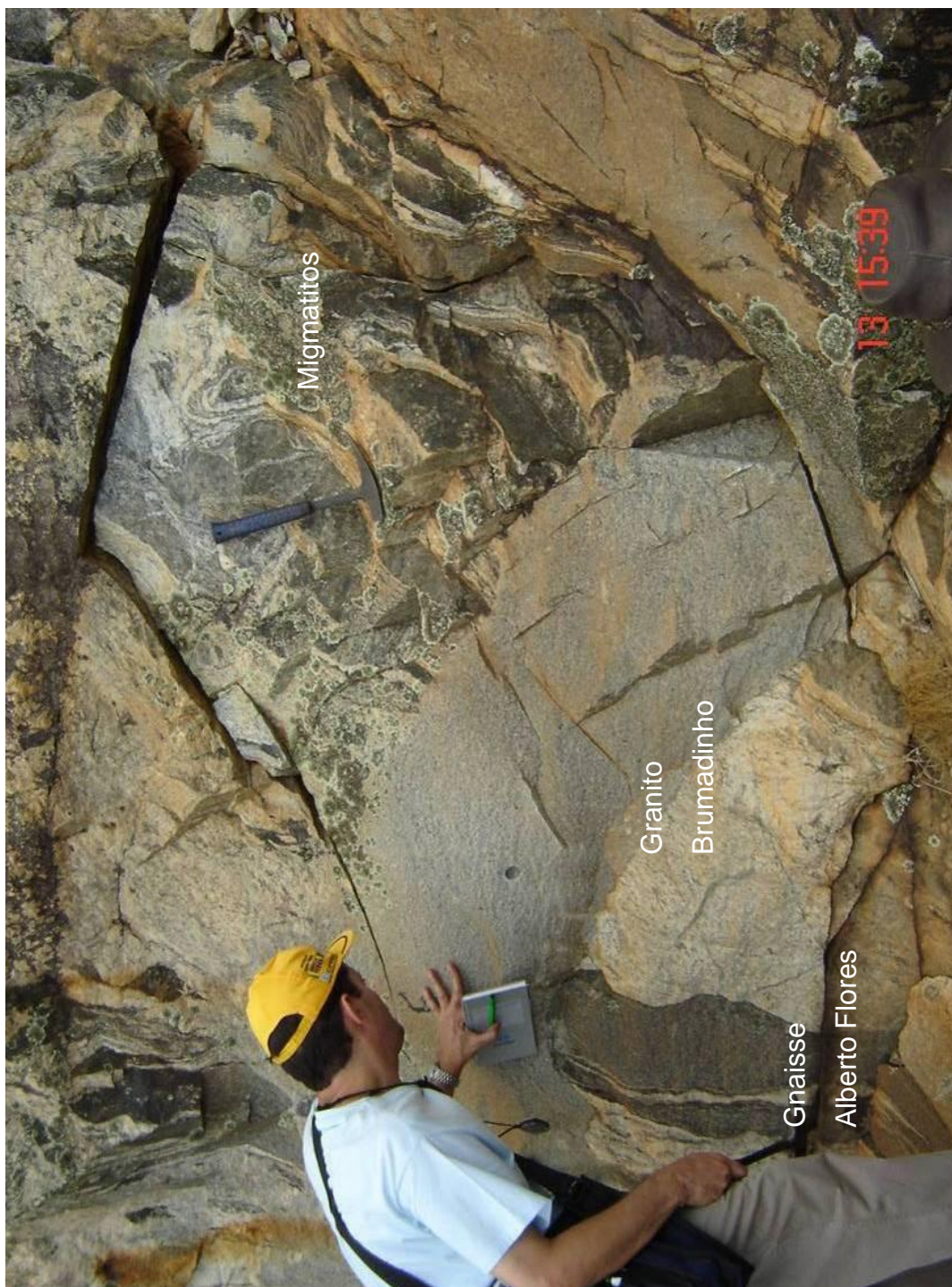


FIGURA 2.4 – Gnaiss Alberto Flores com evidências de migmatização, cortado por um dique de Granito Brumadinho – Domo de Bonfim – porção Oeste do QF.
Fonte: (LIMA, 2008).

Análises geocronológicas por diversos métodos, disponíveis na literatura para os complexos metamórficos do embasamento, registram uma evolução policíclica. Uma crosta siálica, formada no intervalo de 3,38 a 2,9 Ga., registra eventos de retrabalhamento e migmatização datados no intervalo entre 2860 e 2772 Ma; vários períodos subsequentes de atividade magmática entre 2,78 e 2,61 Ga, por último, um ciclo orogenético relacionado ao evento Transamazônico com idade de cerca de 2,0 Ga.

Nestes terrenos ocorreram intrusões de tonalitos (tipo Granito Maranhão) no intervalo de 2,2 a 1,9 Ga. e episódios tectono-termiais posteriores entre 1,8 e 0,5 Ga. (NOCE, 1995; NOCE, 2000; TEIXEIRA *et al.*, 1996), (FIG 2.5).



FIGURA 2.5 – Afloramento do Granito Alto Maranhão em contato com apófises e diques de rochas básicas.

Geoquímica e petrograficamente classifica-se como um tonalito, constituindo parte de um arco plutônico paleoproterozóico posicionado na borda sul do Cráton São Francisco. Apresenta idades de 2124 ± 1 Ma (NOCE *et al.*, 1998).

Na borda oriental do QF, a NE-E da área de estudo aflora um conjunto heterogêneo de rochas gnáissicas, graníticas e migmatíticas referidas na literatura como Complexo Santa Bárbara (BALTAZAR & ZUCCHETTI, 1998), (FIG 2.6 A e B).

Em termos históricos reporta-se que Simmons (1968b), em seu mapeamento da porção sudeste da folha Santa Bárbara, adotou o termo informal Gnaisse de Santa Bárbara para os granodiorito-gnaisses separados do Grupo Nova Lima por uma banda de clorita-talco-antigorita xistos.

Maxwell (1972) estendeu para sul, nas folhas Santa Rita Durão e Catas Altas, a distribuição destas rochas que exibem uma composição mista onde gnaisses granodioríticos antigos, bem bandados, são cortados por diques de granitos mais jovens, fracamente foliados.

Herz (1970) interpretou as feições de campo do Gnaisse de Santa Bárbara como representantes de uma evolução complexa onde o gnaisse granodiorítico bem bandado, mais antigo, é cortado por gerações mais jovens de granitos fracamente foliados. Em zonas com predomínio de migmatitos ocorrem gradações do gnaisse para quartzitos e xistos metassedimentares, sugerindo que estes podem ter se desenvolvido a partir da granitização ou ultrametamorfismo das rochas da Série Rio das Velhas. Herz (1970) conclui que estes terrenos granito-gnaisses compreendem diversos complexos e ou domos envolvidos por rochas da Série Rio das Velhas.

Schorscher (1992) infere que as rochas de filiação granítica, de idade arqueana deste conjunto, sejam provavelmente anteriores às sequências supracrustais, tendo em vista a ausência de intrusões de rochas graníticas nas supracrustais, aos contatos tectônicos cisalhados entre estas rochas e o metamorfismo de baixo grau, às vezes metassomatizados e hidrotermalizados, que atingem as supracrustais.

Schorscher (1982) divide as rochas do Complexo granito-gnáissico migmatítico da porção leste do QF segundo seus constituintes primários, formados essencialmente de rochas de composição leucotonalíticas – trondhjemíticas e granodioríticas, e por seus constituintes secundários representados por granitóides metamorfisados, além

de rochas metassedimentares e metassomáticas, predominando porém os tipos graníticos, do tipo Granito Borrachudos.

Os granitos Borrachudos (DORR & BARBOSA, 1963) foram interpretados por Schorsch (1992) como metassomatitos arqueanos derivados de gnaisses e xistos do Complexo granito-gnaiss-migmatítico (TTG).

Doussin *et al.* (1992) obtiveram idades U-Pb de 1,7 Ga., em zircão pelo método de evaporação, para rochas do Granito Borrachudos e concluem que tais rochas estão diretamente relacionadas a abertura do rift Espinhaço. Doussin (1994) atribue a esta unidade uma origem anorogênica.

Fernandes *et al.* (1999) mostram que o padrão de distribuição dos ETR, marcado por acentuada anomalia negativa em Eu e ausência de fracionamento em ETRP relativamente aos condritos, conduzem a uma classificação inequívoca como granitos do tipo A, isto é, alcalinos e anorogênicos.

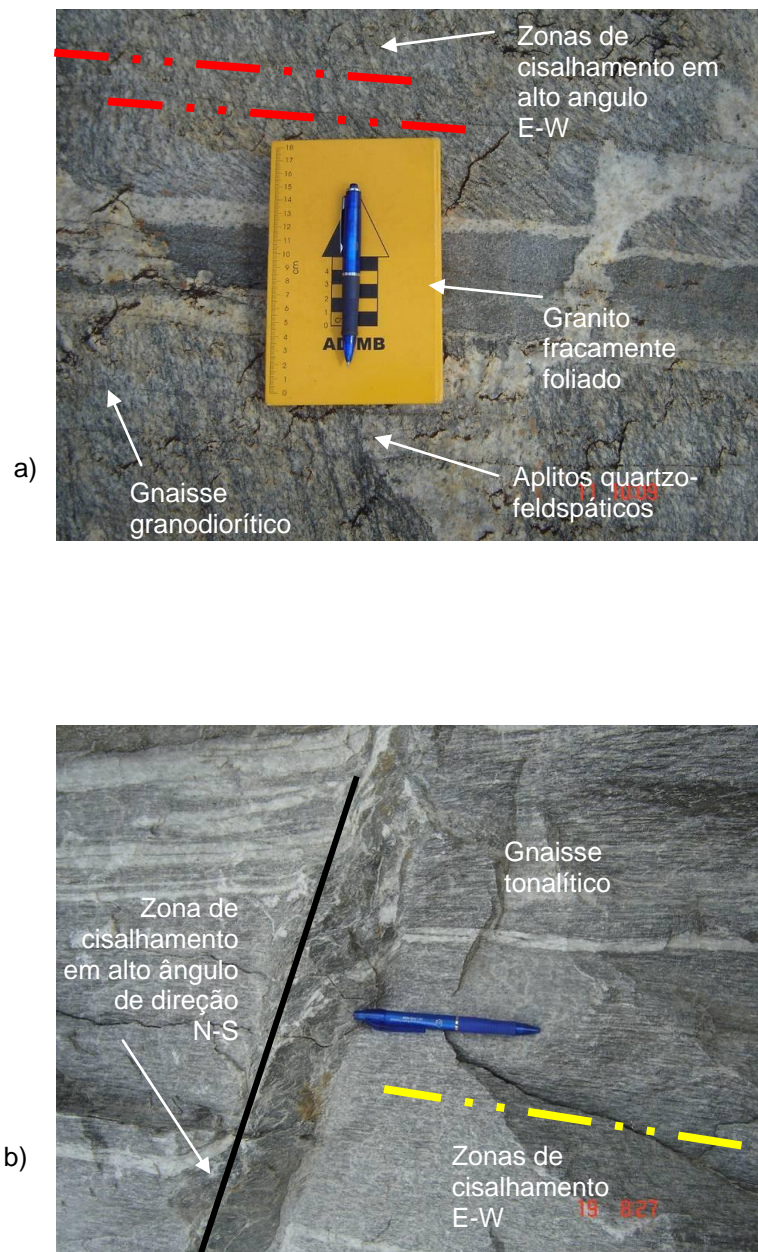


FIGURA 2.6 – Complexo Santa Bárbara

- a) Localidade conhecida como “Corredeira do Bileto”. Gnaíse granodiorítico cortado por granito e aplitos quartzo-feldspáticos. Duas zonas de cisalhamento, de direções E-W e N-S, são reportadas no local.
- b) Pedreira Ponta da Pedra Distrito de Cubas – Santa Bárbara. Gnaíse foliado de composição tonalítica, bandado e cisalhado.

Fonte: (LIMA, 2007).

2.3 SUPERGRUPO RIO DAS VELHAS

Inúmeros trabalhos do século passado versaram sobre a geologia da região central de Minas Gerais, certamente motivados pelas descobertas de enormes recursos em minérios de ferro, ouro e diamante.

Rynearson *et al.* (1954) e Oliveira (1956) subdividiram a Série Minas (DERBY, 1906) em dois conjuntos distintos de rochas, denominando-as de Série Pré-Minas e Série Minas.

A Série Pré-Minas foi redenominada como Série Rio das Velhas por Dorr *et al.* (1957) e definida como sendo constituída por rochas metassedimentares e metavulcânicas xistosas, mais antigas do que as da Série Minas, e desta separada por discordância angular.

A Série Rio das Velhas (DORR *et al.*, 1957) foi subdividido nos grupos: Nova Lima e Maquiné. O Grupo Nova Lima, inferior, constitui-se basicamente por rochas metavulcânicas com intercalações metassedimentares químicas e clásticas; e o Grupo Maquiné, superior, é constituído essencialmente por rochas metassedimentares clásticas.

O termo Série, utilizado por Dorr (1957, 1969), foi abandonado e substituído pelo termo Supegrupo de acordo com a Nomenclatura Estratigráfica Norteamericana de 1962 e incorporado à literatura por Pflug & Renger (1973) e Lockzy & Ladeira (1976).

Schorscher (1978) define o Grupo Quebra Ossos como um conjunto de rochas metaultramáficas efusivas com intercalações de FFB, e o insere na porção basal da Supergrupo Rio das Velhas que equivale à Série Rio das Velhas (DORR *et al.* 1957). Uma coluna estratigráfica completa do Supergrupo Rio das Velhas é apresentada por Schorscher (1992) QUADRO 2.8.

QUADRO 2.8

Coluna estratigráfica simplificada e litotipos principais do Supergrupo Rio das Velhas

Supergrupo	Grupo	Formação	Tipo Litológico	Ambiente deposicional	Espessura aprox. (m)	
Rio das Velhas (Greenstone belt)	Maquiné	Casa Forte	Quartzitos maciços e xistosos, sericíticos e cloríticos com níveis intercalados de sericita e clorita, xistos e filitos. Quartzitos em parte cloríticos e sericíticos com lentes de conglomerados intraformacionais mono e polimíticos (seixos de metachert, BIF, quartzo de veio, quartzo xistos, filitos, metamáficas e metaultramáficas). Com piratas detríticas e estratificação cruzada acanalada unidirecional, de porte decimétrico.	Depósitos tipo molassa: leques aluviais e quartzitos parálcos, flúvio deltáicos.	>600	
		Palmital	Sericita- quartzo xistos e filitos com micas verdes (cromíferas) às vezes grafitosos e subordinadamente com pirita e magnetita. Lentes de quartzo e grauvacas.		~ 600 a ausente ~ 1400 máx	
	Discordância angular e erosiva					
		Nova Lima	Indiviso	Filitos em grande parte cloríticos, clorita xistos, sericita xistos, metapelitos em geral, metagrauvacas máficas, metamáficas de origem vulcânica e subvulcânica, metaultramáficas, intercalações de formações ferríferas (BIF do tipo Algoma) de fácies carbonática, sulfetada, oxidica com magnetita e silicática, formações manganesíferas, metachert ferruginoso, xistos grafitosos, dolomitos, quartzitos, raros conglomerados bimodais com seixos e blocos de formação ferrífera em matriz metapelítica, estruturas de deformação gravitacional (<i>slumping e sliding</i>).	Predominam condições de águas profundas, depósitos tipo flysch, sedimentos químicos e atividades vulcânica e pós-vulcânica (hidrotermal – exalativa subaquática).	>4000
		Quebra Osso	Indiviso	Metaultramáficas (komatiitos, peridotitos) efusivas, maciças e piroclásticas, metamórficas (fácies xisto verde médio e anfíbolito inferior), com raras intercalações de formações ferríferas (BIF tipo Algoma), metachert e tufos. Ocorrem derrames maciços com disjunção poliedral, guirlandas de spinifex e brechação nas partes basal e de topo; lavas brechadas, lavas almofadadas, <i>spinifex</i> e rochas ultramáficas piroclásticas e afaníticas (ex-hialinas) e hialoclastitos.	Vulcanismo ultramáfico subaquático de komatiitos peridotíticos.	>600 máx.
Contatos tectônicos por zonas de cisalhamento de alto ângulo, com migmatitos, gnaisses e metagranitóides TTG (tonalito-trondhjemito-granodioríticos) arqueanos, em domos.						

Fonte: Schorscher (1992) *apud* Rossi (2010).

2.3.1 Grupo Quebra Ossos

O Supergrupo Rio das Velhas (SCHORSCHER, 1978) tem em sua porção inferior o Grupo Quebra Ossos, que é composto por rochas ultramáficas do tipo lavas brechadas, piroclásticas e afaníticas, derrames maciços, com disjunção poliedral, tipos almofadados, textura *spinifex* (FIG. 2.7), além de turmalinitos e FFB, do tipo Algoma, e *metachert* não magnético. Outras evidências do caráter do seu derrame vulcânico submarino foram posteriormente publicadas por Ladeira (1981 a e b), Ladeira et al., 1983, Ladeira, 1985).

Harder & Chamberlain (1915) descreveram estas rochas do Grupo Quebra Osso, que ocorrem no flanco sudeste da Serra do Caraça, como “*a sheet of serpentized eruptive rock is found to rest upon the Batatal schist in a number of points*”.

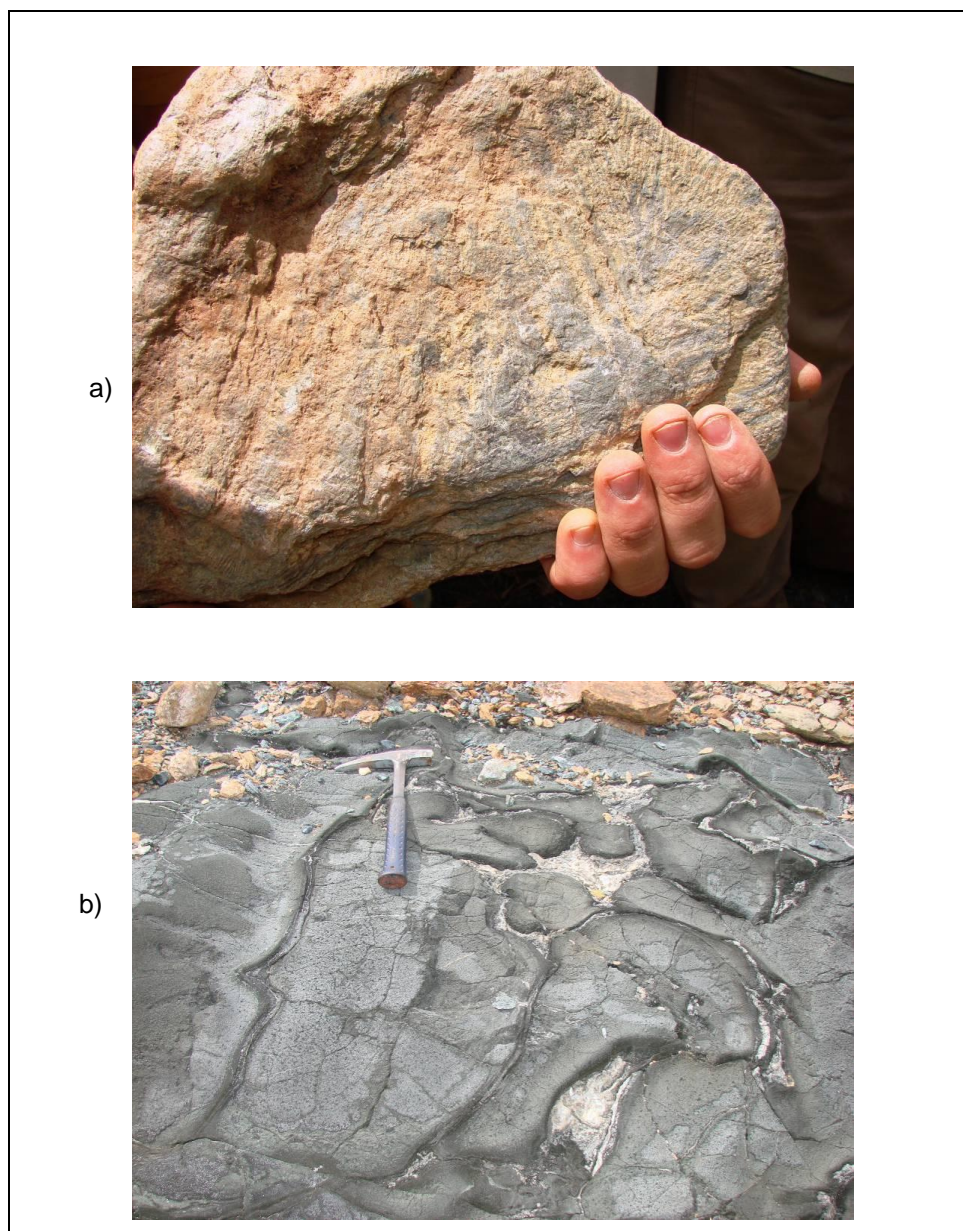


FIGURA 2.7 – Rocha

- a) Bloco de rocha ultramáfica serpentizada com textura spinifex coletada no leito do Ribeirão Quebra Ossos.
- b) Afloramento de rocha metabásica em estrutura de pillow lava na Mina Francisco III, Distrito de Cubas – Município de Santa Bárbara.

Fonte: Lima (2010).

2.3.2 Grupo Nova Lima

O Grupo Nova Lima foi originalmente definido por Dorr *et al.* (1957) como a porção basal da Série Rio das Velhas. Segundo este autor não houve sucesso na subdivisão em formações, devido ao profundo intemperismo gerador de solos e coberturas saprolíticas espessas que impediram o reconhecimento e a separação

dos litotipos no âmbito do projeto devido à escassez de tempo. Em termos litológicos foi caracterizada como uma sucessão espessa de xistos e filitos metassedimentares e metavulcânicos, com subordinadas camadas e lentes de formação ferrífera bandada, grauvacas, rochas quartzo dolomíticas e ankeríticas, quartzito sericítico, metaarcóseos e conglomerados xistosos.

Dorr (1969) considerou que os talco xistos e filitos da porção leste do QF eram produtos metamórficos de rochas intrusivas ultramáficas cisalhadas, intimamente associadas com serpentinitos e, portanto, de idade mais jovem do que o Grupo Nova Lima.

Para o distrito de Nova Lima, Ladeira (1980) subdivide o Grupo Nova Lima em três subunidades, sendo a inferior de caráter metavulcânico com intercalações de formação ferrífera bandada (FFB), a intermediária Metassedimentar Química, com filitos carbonosos ou carbonáticos, metachert e FFB e a superior Metassedimentar Clástica.

Oliveira *et al.* (1983) detalharam as subdivisões propostas por Ladeira (1980), e que incluem:

- Unidade basal: rochas metavulcânicas básicas a intermediárias, rochas metassedimentares vulcanoclásticas e FFB;
- Unidade intermediária : acrescida de rochas metavulcânicas ácidas e rochas metassedimentares clásticas;
- Unidade superior predominam rochas metapelíticas , metavulcânicas, metavulcanoclásticas e metassedimentares químicas.

Baseados em estudos nas minas de Farias, Raposos, Morro Velho, Bela Fama, Cuiabá e São Bento, Vieira & Oliveira (1988) ampliam o espectro de rochas em cada uma das unidades:

- Na unidade inferior ocorrem metabasaltos komatiíticos, metakomatiitos, metatufos, metandesitos basálticos além de filito grafitoso;
- Na unidade intermediária registram a presença de metatufos riolíticos, riodacitos, metandesito basáltico e metapelitos grafitosos e FFB;

- Na unidade superior predominam metaconglomerados, Lapa seca , metapelitos, metatufos félsicos, e quartzito.

Vieira (1991) propõem novas modificações na estratigrafia conforme consta na QUADRO. 2.9 a seguir:

QUADRO 2.10
Quadro sinóptico das subdivisões do Grupo Nova Lima.

	LADEIRA (1980)	OLIVEIRA <i>et al.</i> (1983)	VIEIRA & OLIVEIRA (1988)	VIEIRA (1991)
GRUPO NOVA LIMA	Unidade Clástica	Grauvaca, quartzito, quartzo xisto	Metapelito, metavulcânica e vulcanoclástica. Rocha metassedimentar química Lapa seca ¹	Metapelito com tufito félsico, quartzito, metaconglomerado.
	Unidade Metassedimentar Química	Sedimento carbonático, filito. FFB ² . xisto tufáceo, xisto grafitoso	Metandesito, FFB, metavulcânica félsica, vulcanoclástica, filito grafitoso	Brecha andesítica e lapilli tufo. Tufito félsico e metapelito.
	Unidade Metavulcânica	Metabasalto, metaultramáfica, xisto tufáceo	Metandesito, metabasalto, filito grafitoso e vulcânica félsica, FFB (*2).	Basalto e andesito com FFB. Rochas ultramáficas

Fonte: Corrêa Neto (2001).

No âmbito do Projeto Rio das Velhas da CPRM, Baltazar *et al.* (1994) subdividem o Grupo Nova Lima da base para o topo em quatro unidades informais:

- I. Unidade basal: predomínio de rochas metavulcânicas básicas e ultrabásicas com intercalações de metavulcânicas ácidas, metapiroclásticas e

¹ “Lapa seca” consiste de uma rocha que varia de grossa a finamente foliada ou bandada, de cor branca, cinza ou bege e constituída por quartzo, albita, carbonatos (ferro-dolomita, ankerita, siderita, dolomita e rara calcita) e subordinada muscovita (LOBATO, 2001).

² FFB é o acrônimo de “formação ferrífera bandada”. Corresponde a rochas bandadas ou laminadas com alternância milimétrica a decimétrica de lentes e bandas de óxidos de cor escura (magnetita, hematita) e bandas de cor clara (chert, carbonato, silicatos).

metaepiclásticas. O Complexo Córrego dos Boiadeiros é considerado intrusivo nesta unidade em acordo com Costa (1992);

- II. Unidade Média: Associação de rochas metavulcânicas básicas e intermediárias com metavulcânicas ácidas e intercalações de metatufitos, formação ferrífera bandada, metachert e xisto grafitoso;
- III. Unidade Superior: Formada por rochas metapiroclásticas e metatufitos com intercalações subordinadas de metapelitos;
- IV. Unidade Superior: Formada por rochas metassedimentares clásticas (metagrauvas turbidíticas e metapelitos).

Na fase II do Projeto Rio das Velhas (FIG 2.8 e 2.9), a região do QF foi compartimentada em 03 blocos separados por grandes lineamentos estruturais (FIG 2.8) e que são denominados: Nova Lima-Caeté, Santa Bárbara e São Bartolomeu. O bloco Nova-Lima-Caeté é separado do Bloco São Bartolomeu pela falha de empurrão Bem-Te-Vi e pela zona de cisalhamento São Vicente Raposos. O Bloco Santa Bárbara é separado do Bloco Nova Lima-Caeté pela Falha de empurrão Fundão.

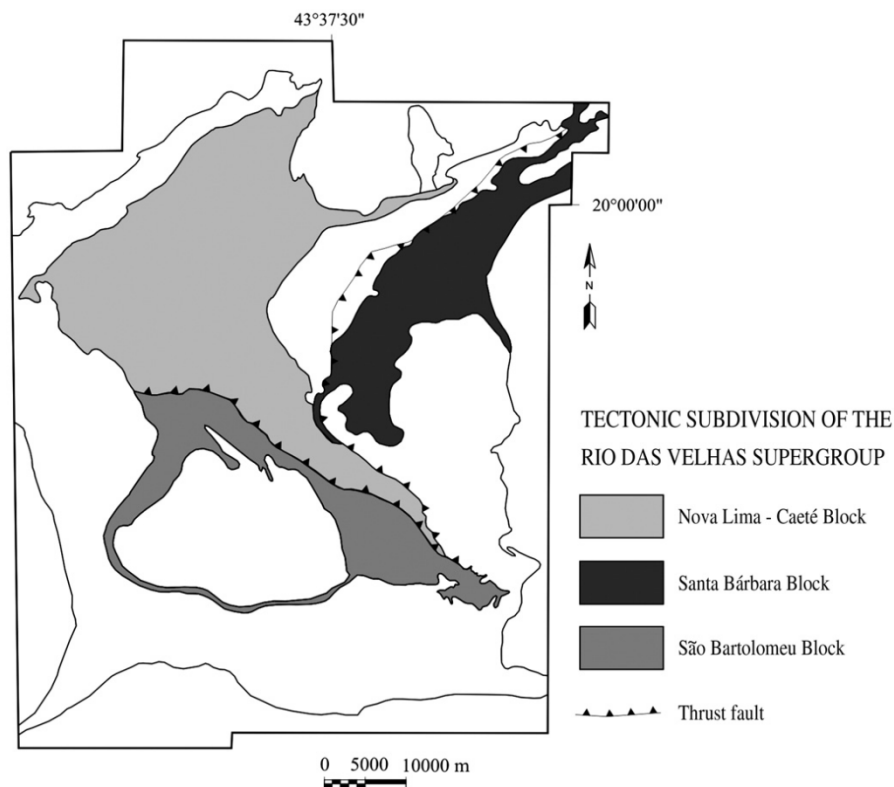


FIGURA 2.8 – Mapa esquemático de compartimentação litoestrutural do Supergrupo Rio das Velhas na região do Quadrilátero Ferrífero.
Fonte: (BALTAZAR & ZUCCHETTI, 1998).

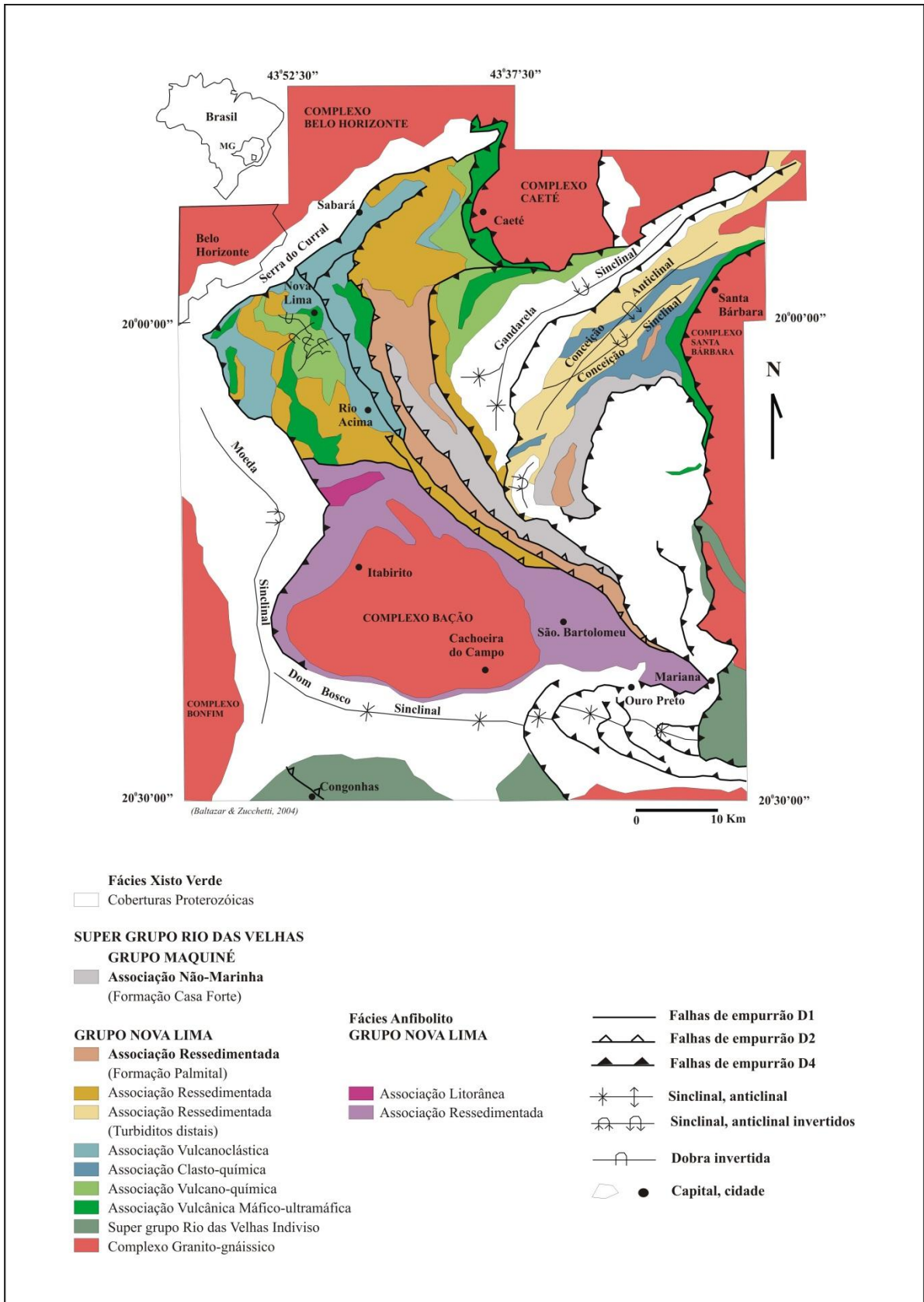


FIGURA 2.9 – Mapa geológico simplificado do Supergrupo Rio das Velhas na região do QF (BALTAZAR & ZUCCHETTI, 2007, modificado após ZUCCHETTI ET AL, 2000a), mostrando o contexto de associações de litofácies do Supergrupo Rio das Velhas (SGRV).

Baltazar & Zucchetti (2007) subdividem as rochas do Supergrupo Rio das Velhas em associações de litofácies da base para o topo:

- 1 Associação de rochas vulcânicas máficas a ultramáficas;
- 2 Associação sedimentar vulcânica e química;
- 3 Associação sedimentar clástica química;
- 4 Associação vulcanoclástica com quatro litofácies (monomítica e polimítica, brechas e conglomerados, grauvacas, grauvacas-arenitos, grauvacas-argilitos);
- 5 Associação ressedimentada incluindo três sequências de grauvacas a argilitos (no norte e este predomina o fácies xisto verde e no sul predomina o fácies metamórfico anfibolito);
- 6 Associação costeira com quatro litofácies (arenitos com estratificação de média a grande escala, arenitos com *ripple-marks*, arenitos com estratificação cruzada *acanalada*, arenitos e siltitos);
- 7 Associação não-marinha com litofácies de conglomerados e arenitos, arenitos de granulação grossa, arenitos de granulação fina a média.

Na área de estudo o autor descreve as Unidades Santa Quitéria e Córrego do Sítio, no sentido de Baltazar & Zucchetti (1998) e que equivalem às associações vulcanoclástica e ressedimentada, respectivamente, de Baltazar & Zucchetti (2007). Estas unidades são detalhadas no capítulo de Geologia Local.

O mapa geológico do autor (ANEXO 3), em escala de 1:10.000, modifica os contatos geológicos anteriormente propostos entre as Unidades Santa Quitéria e Córrego do Sítio, nas folhas São Gonçalo do Rio Acima (MALOUF & CORRÊA NETO, 1996) e Santa Bárbara (SILVA, 1996).

SUPER GRUPO	BLOCO SÃO BARTOLOMEU		BLOCO NOVA LIMA		BLOCO CAETÊ			BLOCO SANTA BARBARA		AMBIÊNCIA
	FORMAÇÃO / UNIDADE	MEMBRO	FORMAÇÃO / UNIDADE	MEMBRO	FORMAÇÃO / UNIDADE	MEMBRO	FORMAÇÃO / UNIDADE	MEMBRO		
RIO DAS VELHAS	MAQUINÉ	ANDAIMÉ	CÓRREGO DO SITO	MORRO VERMELHO	CASA FORTE	CAPANIEMA	CASA FORTE	CÓRREGO DO ENGENHO	SEDIMENTAR MARINHO RASO E LITORÂNEO	
RIO DAS VELHAS	NOVA LIMA	CÓRREGO DO SITO	MORRO VERMELHO	CASA FORTE	CHICA DONA	JAGUARA	PALMITAL	MINDÁ	SEDIMENTAR MARINHO	
RIO DAS VELHAS	NOVA LIMA	MESTRE CAETANO	MORRO VERMELHO	CASA FORTE	CHICA DONA	JAGUARA	PALMITAL	MINDÁ	VULCANOCLÁSTICO EPICLÁSTICO SUBAQUÁTICO	
RIO DAS VELHAS	NOVA LIMA	CÓRREGO DOS BOIADEIROS	MORRO VERMELHO	CASA FORTE	CAPANIEMA	JAGUARA	PALMITAL	MINDÁ	VULCÂNICO sedimentar-quintico marinho	
RIO DAS VELHAS	NOVA LIMA	CÓRREGO DOS BOIADEIROS	MORRO VERMELHO	CASA FORTE	CAPANIEMA	JAGUARA	PALMITAL	MINDÁ	VULCÂNICO / PLUTÔNICO (tefítico - komatiítico)	

FIGURA 2.10 – Coluna estratigráfica do Supergrupo Rio das Velhas subdividido em blocos ou domínios lito-estruturais
 Fonte: Projeto Rio das Velhas/CPRM, 1998.

2.3.3 Grupo Maquiné

O Grupo Maquiné, originalmente definido por Dorr *et al.* (1957), sobrepõe-se ao Grupo Nova Lima em sua localidade tipo, no lado leste do vale do Rio das Velhas. Gair (1962) observou que o contato entre estes grupos mostrava uma leve inconformidade angular.

A base do Grupo Maquiné é constituída pela Formação Palmital (O' ROUKE, 1957) e que é sobreposto pela Formação Casa Forte (GAIR, 1962). Dorr (1969) descreve o contato entre estas duas unidades como gradacional e marcada por camadas conglomeráticas.

A Formação Palmital, definida originalmente por O' Rouke (1957), é constituída por filitos quartzosos que contêm lentes de quartzitos e de conglomerados, e segundo Gair (1962), que a descreveu petrograficamente, apresenta cloritóide e cianita.

A Formação Casa Forte (GAIR, 1962) constitui-se por quartzitos cloríticos, sericíticos xistosos a maciços, conglomerados e menores quantidades de filitos e xistos cloríticos. Cloritóide está presente tanto nos conglomerados quanto nos quartzitos.

Dorr (1969) aponta que nas folhas de Conceição do Rio Acima, Capanema, São Bartolomeu, Catas Altas, Santa Rita Durão, Mariana e Antônio Pereira os espessos quartzitos que recobrem o Grupo Nova Lima não foram subdivididos pelos geólogos que por lá mapearam (Moore, Maxwell e Barbosa). Nestas áreas predominam quartzitos que podem ser cloríticos, piritosos, sericíticos, ou mesmo puros, mas que localmente possuem cloritóide. Todos os tipos podem localmente conter camadas e lentes conglomeráticas.

Rochas do Grupo Maquiné indiviso ocorrem no flanco norte, sudeste e oeste da Serra do Caraça.

Baseados na descrição de discordância angular entre a Formação Casa Forte e a Formação Palmital, Baltazar & Zucchetti (2007) inserem esta última na parte superior do Grupo Nova Lima.

2.4 SUPERGRUPO MINAS E OUTRAS UNIDADES PALEOPROTEROZÓICAS SUPRACRUSTAIS DA REGIÃO DO QF.

A denominação Quadrilátero Ferrífero (QF), adotada a partir dos trabalhos de Dorr *et al.* (1953), refere-se a um proeminente conjunto de serras constituídas por rochas mais resistentes cujo traçado, em mapa, define a forma de um quadrado, tendo as cidades de Belo Horizonte, Congonhas, Mariana e Santa Bárbara como vértices.

Na região do QF ocorre, além das unidades arqueanas anteriormente descritas, um grupo de rochas metassedimentares paleoproterozóicas relacionadas aos Supergrupo Minas, Grupo Sabará, Grupo Itacolomi e Supergrupo Espinhaço.

Estas unidades metassedimentares supracrustais paleoproterozóicas recobrem as rochas arqueanas do Supergrupo Rio das Velhas e os complexos granito-gnaiss-migmatíticos, geralmente em contatos tectônicos, marcados por falhas de empurrão (DORR, 1969).

A coluna estratigráfica proposta por Schorscher (1992), modificada de Dorr (1969), resume o contexto geológico regional do QF (QUADRO 2.4).

O Supergrupo Minas (SGM) divide-se em três grupos: Grupo Caraça, unidade basal clástica; Grupo Itabira, unidade química intermediária composta por espessas formações ferríferas bandadas do tipo Lago Superior e dolomitos; Grupo Piracicaba, unidade clástica superior.

A sedimentação da seqüência basal do SGM está balizada entre 2.650 Ma, idade de cristais de zircão detríticos da Formação Moeda do Grupo Caraça (RENGER *et al.*, 1994), e 2.420 Ma, idade de sedimentação do topo da Formação Gandarela do Grupo Itabira (BABINSKI *et al.*, 1993 *apud* RENGER *et al.*, 1994).

O Grupo Sabará é formado basicamente por grauvacas, subgrauvacas, pelitos e, subordinadamente, conglomerados, filito carbonoso, metachert, metatufos, vulcânicas máficas e ácidas. Distingue-se do Grupo Piracicaba devido a uma nítida discordância erosiva e angular em sua porção basal (COSTA, 1961; BARBOSA,

1968; LADEIRA, 1980; FERRARI, 1980; NOCE, 1995). Neste grupo registra-se o primeiro conglomerado com seixos de granitos e gnaisses, indicando o aumento da erosão provocado pelo soerguimento de novas áreas fontes para os sedimentos acumulados na bacia Minas.

Babinski *et al.* (1991) obtiveram uma idade de $2,125\text{Ga} \pm 4 \text{ Ma}$. (U-Pb) em zircões de metatufos do Grupo Sabará o que o coloca como muito mais jovem do que o Supergrupo Minas, sendo reinterpretado como uma seqüência *flysch* depositada em bacia tipo *foreland* associada à Orogênese Transamazônica (NOCE *et al.*, 2007).

O Grupo Itacolomi (DORR II *et al.*, 1957; DORR II, 1969) faz contato inferior com o Grupo Sabará por uma discordância angular e é composto por metaconglomerados polimíticos e quartzitos grossos. Machado *et al.* (1996) obtiveram idades de $2.059 \pm 58 \text{ Ma}$, em zircões detríticos dessa unidade estratigráfica. A deposição deste grupo pode ter ocorrido em uma bacia molássica intramontana associada à Orogênese Transamazônica (BARBOSA, 1968; DORR, 1968), ou em depósitos relacionados ao colapso gravitacional de um orógeno transamazônico (ALCKMIN & MARSHAK, 1998).

O Supergrupo Espinhaço tornou-se conhecido devido às ricas ocorrências de diamantes nos metaconglomerados polimíticos da Formação Sopa-Brumadinho, da região de Diamantina (MG) e da Série Lavras, na Chapada Diamantina (BA).

A estratigrafia do Supergrupo Espinhaço em Minas Gerais (ALMEIDA-ABREU & RENGER, 2002, 2007) segue as orientações de Pflug e colaboradores (PFLUG, 1965a, 1965b, PFLUG, 1968; PFLUG & RENGER, 1973; SCHÖLL & FOGAÇA, 1979).

O QUADRO 2.5 reproduz uma coluna estratigráfica simplificada dos principais litotipos do Supergrupo Espinhaço nas extremidades meridionais da Serra do Espinhaço, na Serra do Cipó e no Quadrilátero Ferrífero (SCHORSCHER, 1976; ROSSI, 2010 e ALMEIDA-ABREU *et al.* 2002).

QUADRO 2.4
Coluna estratigráfica simplificada e litotipos principais do Supergrupo Minas no QF.

Supergrupo	Grupo	Formação	Litologia	Ambiente deposicional	Espessura aprox. em metros	
	ITACOLOMI	Indiviso	Ortoquartzitos, quartzitos, filitos quartzosos, filitos, quartzitos com seixos e conglomerados	Molássa parálico	>1000 m	
Discordância angular e erosiva						
	SABARÁ	Indiviso	Clorita xistos, filitos cloríticos, metatufos, grauvacas, conglomerados, quartzitos e itabiritos	Flysh eugeossinclinal	>3000 m	
Discordância angular e erosiva local e regional						
MINAS	PIRACICABA	Barreiro	Filitos e filitos grafitosos	Sedimentos de cobertura de <i>shelf</i> estável.	150 m local tipo	
		Taboões	Ortoquartzitos	Sedimentos de cobertura de <i>shelf</i> estável.	125 m local tipo	
		Fêcho do Funil	Filitos quartzosos, filitos dolomíticos, dolomitos silicificados	Sedimentos de cobertura de <i>shelf</i> estável.	410 m local tipo	
		Cercadinho	Filitos, sericita quartzitos, quartzitos e filitos ferruginosos, metachert, conglomerados e dolomitos	Sedimentos de cobertura de <i>shelf</i> estável.	~600 m max a 150 min.	
	Discordância angular e erosiva local					
	ITABIRA	Gandarela	Dolomitos com brechas intraformacionais, calcários, itabiritos, dolomitos, xistos dolomíticos e itabiritos manganésiferos, filitos, itabiritos e xistos verdes	Sedimentos de cobertura de <i>shelf</i> estável.	~600 máx. a ausente	
		Cauê	Itabiritos, itabiritos dolomíticos, filitos, dolomitos e xistos verdes	Sedimentos de cobertura de <i>shelf</i> estável.	~500 max a < 50 min.	
	CARAÇA	Batatal	Filitos, filitos grafitosos, metachert e itabiritos	Sedimentos de cobertura de <i>shelf</i> estável.	~250 máx a ausente	
		Moeda	Fácies parálica, ortoquartzitos, quartzitos, conglomerados com pirita detrítica e filitos. fácies de bacia: sericita quartzitos, filitos quartzosos e quartzitos.	<i>Shelf</i> estável.	~1000 máx. a < 50 min.	
	Contato basal tectônico de <i>nappes</i> com litologias dos Supergrupos Espinhaço e Rio das Velhas e rochas TTG, <i>sensu lato</i> , graníticas Arqueanas					

Fonte: (DORR, 1969) com modificações de Schorscher (1992).

QUADRO 2.5

Coluna estratigráfica simplificada e litotipos principais do Supergrupo Espinhaço na porção Meridional do QF, com modificações de Schorscher (1992).

SUPERGRUPO	GRUPO	FORMAÇÃO	LITOLOGIA
Espinhaço			As formações superiores do Supergrupo Espinhaço não foram encontradas nas extremidades meridionais da Serra do Espinhaço; faltam devido a não-deposição e/ou erosão.
		Galho do Miguel	Ortoquartzitos puros com mega-estratificações cruzadas (altura de até > 10 m e extensão até > 100 m). Localmente com delgadas lâminas de sericita xistos nos planos de acamamento.
		Sopa Brumadinho	Quartzitos às vezes ferruginosos, grossos a finos, micáceos ou não, com níveis de filitos/ xistos sericíticos intercalados e lentes de metaconglomerados localmente diamantíferos oligomíticos (fácies Altamira, com seixos de quartzo de veio e quartzito) e polimíticos (seixos de itabiritos pobres e ricos em ferro, quartzitos, metachert e muito raros seixos de rochas graníticas e outras do embasamento arqueano.
		São João da Chapada	Quartzitos micáceos ou não, às vezes conglomeráticos ou com seixos esparsos na parte basal da sequência (seixos de quartzo de veio, quartzito, filitos / xistos) filitos e filitos hematíticos em níveis intercalados.
	Sequência de Xistos Verdes	Indiviso	Clorita actinolita albita-quartzo, quartzo-clorita, quartzo-clorita-sericita e sericita-quartzo xistos / filitos derivados de tufos, tufitos e vulcanitos máficos a ácidos; subordinadamente, xistos e filitos metapelíticos grafitosos e xistos metapelíticos com cloritóide.
Discordância angular e erosiva			
Arqueano indiviso			Embasamento arqueano: terrenos TTG em domos e sequência metavulcanossedimentares dos greenstone belts Rio das Velhas, Rio Paraúna e correlatos.

2.5 METABÁSICAS METAMORFIZADAS E METASSOMATIZADAS

Rochas metabásicas intrusivas em corpos de tipos e dimensões muito variáveis, de lacólitos e lopólitos quilométricos a diques submétricos, são bastante abundantes na região do Quadrilátero Ferrífero e na Serra do Espinhaço Meridional.

Tais rochas foram denominadas de anfibolitos diabasóides por Guimarães (1931) e suas relações de campo mostram que foram afetados por eventos deformacionais e pelo metamorfismo regionalis dínamo-termal Proterozóico de fácies xisto verde superior com a formação de anfibolitos foliados.

Muitos trabalhos de cunho regional e de semi-detelhe registram a presença destas rochas como, por exemplo, em Dorr (1969) e Schobbenhaus *et al.* (1978, 1981) dentre outros. Além destes anfibolitos, são individualizados corpos de metabasitos coronizados do Proterozóico Superior, e basaltos de idade Mesozóica.

Tolbert (1964) descreve um conjunto de diques de metadiabásio paralelos intrudidos ao longo de zonas de cisalhamento e cortando as camadas de formação ferrífera do Grupo Nova Lima, na Mina de Raposos. Pomerene (1964) interpretou que tais rochas foram afetadas pelo metamorfismo Minas.

Dorr (1969) descreve um intrincado sistema de diques que preenchem falhas normais e de empurrão na Serra do Caraça e que cortam tanto os quartzitos Cambotas quanto os quartzitos Maquiné e as rochas do Grupo Nova Lima.

Baseado em um conjunto de dados de campo, petrográficos, geoquímicos e geocronológicos Silva (1992) propõe a existência de pelo menos quatro (4) enxames de diques básicos que cortam todas as rochas do Quadrilátero ferrífero:

- Grupo 1 – Diques e *sills* deformados, metamorfisados, de direção N-S, com espessuras da ordem de centímetros a metros, sem feições ígneas preservadas;
- Grupo 2 – Corpos máficos que formam diques, *sills*, stocks ou *plugs* com dimensões que variam de centenas a dezenas de metros, excetuando o *stock* da Serra das Cambotas que possui 4 km de diâmetro. Apresentam direções

preferenciais NE, NS, NW e raramente EW. Foram descritos na Mina de Raposos, Serra das Cambotas e Serra de Ouro Fino;

- Grupo 3 – Dique com direção NS não deformado e com texturas ígneas preservadas, mapeados na região de Ibirité;
- Grupo 4 – Corpos máficos de espessuras decimétricas a métricas de direções NS, EW, NW e NE, não metamorfisados e não deformados, preservando texturas ígneas, ocorrem em todas as estruturas pré-cambrianas da região.

Baltazar & Zucchetti (1998) agrupam os metabasitos mapeados na região do Quadrilátero Ferrífero, no âmbito do Projeto Rio das Velhas, em três intervalos de idades, a saber:

- Idades de 1,7 a 1,5Ga. Relacionados à abertura da bacia do Espinhaço (SILVA *et al.*, 1991);
- Idades de 906 Ma. (U / Pb em zircão e baddeleyita), Machado *et al.*, 1989 e 1000Ma (K/Ar em hornblenda verde), Machado & Carneiro, 1992. Relacionados aos estágios iniciais do ciclo Brasileiro.
- Idades de 220 a 120 Ma. (K/Ar em rocha total), Silva *et al.*, 1991; Dossin *et al.*, 1995. Basaltos mesozóicos relacionados à abertura do continente Gondwana.

Na área de estudo ocorrem inúmeros diques e *sills* de rochas máficas a intermediárias metamorfizadas, cisalhadas e com variados graus de alterações metassomáticas, que são descritas no capítulo de Geologia Local.

2.6 ROCHAS DO FANEROZÓICO

Depósitos terciários e quaternários, frequentemente fossilíferos, recobrem pequenas áreas, a exemplo das bacias sedimentares terciárias, fluviais e lacustres de Fonseca (GORCEIX, 1884; MAXWELL, 1972), Gandarela (GORCEIX, 1884) e Lagoa do Miguelão (POMERENE, 1964) localizadas no QF.

Como resultados do intemperismo provocado pelo clima tropical se formam depósitos residuais ou transportados de cangas ferruginosas ou aluminosas (VARJÃO, 1991), solos lateríticos e tálus, no topo ou nas encostas das elevações.

Depósitos de areias, argilas e cascalhos inconsolidados ocorrem ao longo dos vales das drenagens da região e por vezes distribuem-se por até 30 metros acima dos leitos atuais dos rios. Muitos destes constituíram depósitos auríferos, explorados continuamente por garimpeiros e prospectores desde o século XIX.

2.7 ESTRUTURAÇÃO REGIONAL

Dorr (1969) propôs que três grandes períodos de deformação ocorreram na região do Quadrilátero Ferrífero. O primeiro evento atingiu apenas a Série Rio das Velhas, o segundo ocorreu após a deposição da Série Minas e antes da deposição do Grupo Itacolomi e o último e mais forte atingiu a todas as rochas sedimentares pré-cambrianas, portanto de idade pós-Itacolomi.

Baltazar (1998a) reporta que três eventos deformacionais estão impressos nos litotipos do Greenstone Belt Rio das Velhas (QUADRO. 2.6).

QUADRO 2.6

Quadro resumo da evolução geológica da região do Quadrilátero Ferrífero

EVENTO	CARACTERÍSTICAS	FOLIAÇÕES	LINEAÇÕES
D1 Compressional	Dobras isoclinais, recumbentes, com vergência para S ou SSE e caimento de eixo suave para E. Desenvolve-se sobre o acamamento S0 e outras estruturas primárias ígneas e sedimentares. Exclusivo do Supergrupo Rio das Velhas e seu embasamento. Estruturas mais antigas reconhecidas por Rynearson <i>et al.</i> , 1954.	S1:ENE-WSW ou EW com caimento entre 60° e 70° para NNW, subparalela ao acamamento S0 dobrado. (CORRÊA NETO & BALTAZAR, 1998a). Foliação S1 plano axial das dobras isoclinais, recumbentes da fase D1. Foliação milonítica, acompanhada por falhas de empurrão de norte para sul.	Lineação proeminente, mineral (Lm ₁) e de estiramento. (Lx ₁) Lineações down-dip com caimento para norte. Lineações de interseção S0 com S1 (Lb1) são subhorizontais e paralelas aos eixos de dobras. Estruturas obliteradas na porção leste do QF por empurrões do Brasileiro. Estruturas proeminentes na porção ocidental do QF.
D2 Compressional	Relacionado ao posicionamento dos Complexos e domos granito-gnáissico. Idade transamazônica – 2.2 a 2.1 Ga.	Reorientação das estruturas anteriores: S1, L1. Foliação S1 amoldando-se ao redor dos domos granito-gnaiss, com mergulhos para o exterior do núcleo. Desenvolvimento de auréola de metamorfismo de contato, com surgimento de biotita, plagioclásio, epidoto, hornblenda, estauroлита e cianita em rochas do Supergrupo Rio das Velhas Foliação milonítica S _e relacionada a zonas de cisalhamento formadas durante a ascensão de corpos graníticos de várias idades.	Lineações minerais e de estiramento subhorizontais e eixos de dobras intrafoliais de eixos verticais. Lineações anteriores (L1, Lm1, Lb1, Lx1) reorientadas.
D3 Extensional intermediário	Mais notável no interior do QF. Foliação S2 Clivagem de crenulação e fratura de direções em geral NS- EW, subverticais, Falhas rúpteis segmentando os <i>fronts</i> de empurrão.	Direções NW, NS e NE de sul para norte e mergulhos medianos para leste, relacionadas a rampas oblíquas e frontais dos <i>fronts</i> de empurrões. Foliação milonítica. Sistema de cisalhamento Fundão-Cambotas (CHEMALE JR <i>et al.</i> , 1991; ENDO & FONSECA, 1992). Falha de Ouro Fino, Flechas, Alegria, Frazão, e da Água Quente. Sistema de falhas do Caraça (RIBEIRO-RODRIGUES <i>et al.</i> , 1993). Falha de Caeté, São Vicente e Ribeirão da Prata. Atribuído ao Ciclo Brasileiro (CHEMALE JR. <i>et al.</i> , 1991; ALKMIN <i>et al.</i> 1993).	Foliação de estiramento com caimento para SE.

Fonte: Baltazar (1998a).

Na região de Nova Lima, Vieira & Oliveira (1988) identificam que quatro eventos deformacionais atuaram sobre o Supergrupo Rio das Velhas, conforme resumido no QUADRO 2.7.

QUADRO 2.7
Tabela com resumo da geologia estrutural do Supergrupo Rio das Velhas no distrito de Nova Lima.

EVENTOS	ESTILO DE DOBRAS E ESTRUTURAS GERADAS	FOLIAÇÕES	LINEAÇÕES
D ₁	Isoclinais, recumbentes com xistosidade plano axial S ₁ paralela ao acamamento S ₀	S1 paralelas ao S ₀ = N28°W / 26° NE	Lineações L ₁ paralelas ou subparalelas a L ₂ .
D ₂	Isoclinais, recumbente e xistosidade plano paralela – S ₂	N20° – 40° E / 27° SE	Lineações L ₂ (interseção de S ₀ com S ₂) variando de S85°E /30° a N85°E/ 30° Plunge de dobras que controlam as mineralizações auríferas.
D ₃	Clivagem de fratura, com transposição, não penetrativa em rochas pouco competentes. S ₃	E – W/ 55° N	Lineações L ₃ (interseção de S ₃ com S ₂) é subparalela a L ₂ . N85° /18° a S55°E/24° Juntas E-W/70° – 90° N.
D ₄	Clivagem de fratura, notável apenas em rochas pouco competentes. S ₄	N10°W / 75 SW	Ondulação suave em S ₂ com eixo L ₄ quase N-S / 12°:28° N ou S

Fonte: Vieira & Oliveira (1988).

Junqueira (1997) detalha a geologia estrutural do Grupo Nova Lima na região da mina Raposos (QUADRO 2.8):

QUADRO 2.8
Tabela resumo da geologia estrutural do Grupo Nova Lima
na região das Minas Morro Velho e Raposos.

EVENTOS	IDADE	ESTILO DE ESTRUTURAS GERADAS	FOLIAÇÕES		LINEAÇÕES	
			Tipo	Atitude	Tipo	Atitude
D1 – D _{n-1}	Jequié - 2.7 Ga.		D _{n-1} S _{n-1} // S ₀ B _{n-1} // L _{n-1}	N54°W/25° NE N05°W /25°NE	L _{n-1}	S74°E /25°
D2 – D _n	Transama- zônico 2060 – 2030 Ma		D _n S _n xistosidade Cisalhament o	N60°E / 30° a 40° SE N45° 60°E / 20° 50° SE	L _n B _n // L _n	E / 18°-28°
D3 – D _{n+1}	Brasiliano 600 – 400 Ma		D _{n+1} e S _{n+1} clivagem espaçada	N30° W/70° – 90° SW	L _{n+1} Interseção Interseção + Crenulação	S20°W/25° N26°E/05° S10°E/05°
D4- D _{n+2}	Brasiliano (?)		D _{n+2} S _{n+2} – Clivagem espaçada	E-W / 70° – 90° N	L _{n+2} // L _n	N85° E/20°

Fonte: Junqueira (1997).

O autor correlaciona as informações da geologia estrutural regional com os dados da área de estudo no capítulo de geologia local.

Evolução geotectônica da região do Quadrilátero Ferrífero

Chemale Jr. *et al.* (1994) sintetizam a evolução tectônica do Quadrilátero Ferrífero e regiões adjacentes (QUADRO 2.9).

QUADRO 2.9
Quadro resumo da evolução geológica da região do Quadrilátero Ferrífero

#	GRUPOS LITOLÓGICOS	IDADE (Ma.)	REGIME TECTÔNICO E OUTRAS CARACTERÍSTICAS
01	Domos e complexos granito-gnaiss do tipo TTG.	>2920	Tectônica compressiva Arqueana com geração de estruturação complexa.
02	Fase inicial da deposição da sequência Greenstone Belt Rio das Velhas.	>2880	Tectônica extensional com magmatismo komatiítico e toleítico.
03	Deformação e metamorfismo do Supergrupo Rio das Velhas, acompanhado de magmatismo ácido e intermediário.	2780 a 2703	Tectônica compressional com caráter direcional (<i>strike-slip</i>). Foliação e bandamento com direção N-S e mergulho vertical. Lineação mineral subhorizontal a horizontal. Orogenia Rio das Velhas
04	Deposição do Supergrupo Minas (deposição da Formação Gandarela ~2400 Ma.)	<2703 e >2060	Fase <i>rift</i> inicial com extenso depósito plataformal (intracratônico) subsequente.
05	Remobilização isotópica das rochas pré existentes. Formação de pegmatitos e anfibolitos no embasamento. Metamorfismo de baixo grau no SGM. Metamorfismo de contato no SGM.	2060 a 2000	Tectônica extensional com desenvolvimento de megazonas de cisalhamento extensional, soerguimentos dos blocos arqueanos e formação dos megassinclinais.
06	Intrusão de diques máficos.	1700 a 1500	Tectônica extensional com rifteamento Mesoproterozóico do Cráton São Francisco.
07	Intrusão de diques máficos.	1200 a 900	Tectônica extensional relativa à abertura do proto-oceano Brasileiro – Panafricano.
08	Deformação e metamorfismo das unidades do Quadrilátero Ferrífero.	650 a 500	Tectônica compressional com implantação de um <i>fold thrust belt</i> Brasileiro, porção intermediária a distal. Orogenia do Brasileiro
09	Intrusão de diques máficos; Tectônica Mesocenozóica com formação de diques básicos e bacias sedimentares.	< 130	Registros extensionais relativos à abertura dos continentes América do Sul e África.

Fonte: Chemale Jr. *et al.* (1994).

Lobato *et al.* (2001a, 2001b) sumariza os principais elementos estruturais do QF, indicando a Suite 2 como relacionada a principal geração de mineralizações auríferas.

QUADRO 2.10
Sumário de elementos estruturais descritos para o QF

SUITE DE ESTRUTURAS IDADE RELATIVA	NATUREZA	TRANSPORTE TECTÔNICO	PRINCIPAIS FEIÇÕES
SUITE 1 Pós complexo do embasamento, pós-Rio das Velhas, pré-Minas	Compressivo	NNE p/ SSW	Falhas mergulhando ENE-WSW, dobras com vergência S ou SSE, recumbentes, apertadas a isoclinais, normais ou invertidas com eixo E-W mergulhando moderadamente para leste. Foliação plano-axial, subparalela ao dobramento. S ₀ (20° -235° / 30° a 65°) Lineação mineral down-dip, lineação de estiramento em interseção com lineação (S ₀ e foliação)
SUITE 2 Pós complexo do embasamento, pós-Rio das Velhas, pré-Minas	Compressivo Principal evento orogênico relacionado a mineralizações auríferas	De NE para SW	Falha de empurrão NW, mergulhando 30° a 60° . Dobras isoclinais a apertadas com vergência p/ SW Foliação plano-axial ou milonítica Lineação mineral e de estiramento com plunge de 30° a 45° na direção N65°E..
SUITE 3 Pós complexo do embasamento, pós-Rio das Velhas, pré-Minas	Distensional	?	Intrusão de abundante magma granítico, localmente diapírico, com assinaturas geoquímicas indicativas de anatexia crustal
SUITE 4 (Pós-Minas)	Compressivo	SE p/ NW	Foliação (NW – NE mergulhando para E). Lineação mineral e de estiramento (E-W p/ ESSE – WSW)
SUITE 5 (Pós-Minas)	Distensional	?	Arquitetura <i>dome-keel</i> do Quadrilátero Ferrífero Uplift de domos do embasamento com subsequente subsidência do Supergrupo Minas. Rotação de dobras, foliações e lineações anteriores, orientadas NS, mergulhando verticalmente.
SUITE 6 (Pós-Itacolomi)	Distensional	?	Diques relativos à transição entre o Paleo- e o Mesoproterozóico
SUITE 7 (Pós-Espinhaço)	Distensional	?	Diques relativos à transição entre o Meso- e o Neoproterozóico
SUITE 8 Pós-Espinhaço	Compressivo	E para W.	Sistemas de empurrão com vergência para W; reativação, transposição e/ou re-orientação de estruturas com vergência para W, dobras apertadas, recumbentes, N-S. Foliação plano-axial ou milonítica (50° – 130° az / 30° -60°); lineações mineral e de estiramento (90° -115° az / 15° a 55°) Clivagens de crenulação e fraturas subverticais N-S e E-W; dobras abertas (em estágios tardios).

Fonte: Lobato *et al.* (2001^a, 2001b).

Estas propostas serão discutidas no capítulo de Considerações Finais.

2.8 METAMORFISMO

Na região do Quadrilátero Ferrífero há registros de diversos eventos metamórficos, com características distintas: o metamorfismo do complexo regional de rochas gnáissico-graníticas TTG, do *Greenstone Belt* Rio das Velhas, das orogêneses Minas e Espinhaço e do Ciclo Brasileiro.

Schorscher (1992) sugere que o metamorfismo do complexo de rochas gnáissicas – graníticas TTG, com deformação plástica migmatítica e sem polaridade metamórfica evidente, não representa um evento metamórfico regional dínamo-termal convencional, mas sim processos de um nível crustal arqueano intermediário, com migmatização generalizada.

Regionalmente são observadas duas foliações que precedem o metamorfismo Minas e Espinhaço e são evidências da orogênese do *Greenstone Belt* Rio das Velhas, que se apresenta como metamorfismo regional, geralmente na fácies xisto verde médio e, subordinadamente na fácies xisto verde baixo (DORR, 1969).

As rochas supracrustais da região do Quadrilátero Ferrífero em geral apresentam-se no fácies xisto verde baixo (DORR, 1969).

Ladeira (1980) argumenta que condições metamórficas de mais alto grau metamórfico devem ter existido na região tendo em vista que: o metamorfismo retrógrado no Supergrupo Rio das Velhas é evidenciado pelo crescimento de clorita e serpentina a partir do metamorfismo de tremolita xistos; anfibólios desenvolvidos a partir de piroxênios das rochas máficas e sericita a partir de fenocristais de plagioclásio em trondjemitos pórfiros.

Auréolas de contato, em condições de fácies anfíbolito, estão presentes ao redor dos corpos graníticos e diques máficos que cortam as sequências supracrustais (HERZ, 1978; JORDT, 1984).

O metamorfismo da região do Quadrilátero Ferrífero aumenta geralmente de Oeste para Este e Sudeste com xistos e filitos passando para gnaisses e granulitos (LADEIRA, 1980).

Nas proximidades dos plútons graníticos ocorre um metamorfismo no fácies anfibolito zona da granada e que transiciona para uma isógrada da zona da estauroлита. Isto também ocorre em locais sem aparente relação com corpos graníticos e podem refletir altos locais de temperatura do metamorfismo regional (LADEIRA, 1980).

2.9 HISTÓRICO DOS ESTUDOS DAS MINERALIZAÇÕES AURÍFERAS NA REGIÃO DO QF

Minas Gerais é uma das regiões do mundo conhecidas pela produção aurífera, iniciada desde os tempos mais remotos da colonização do país por povos ultramarinhos. Estes recursos minerais impulsionaram os estudos geológicos promovidos pelos mais famosos pesquisadores do seu tempo, ao cargo das monarquias e posteriormente da iniciativa privada.

Castro & Solla (1968) ao historiar a influência portuguesa na mineração brasileira registra que em Sylvio de Abreu há o relato de que ao final do século do descobrimento, foram encontrados os primeiros depósitos de ouro aluvionar, em 1578 na região de Paranaguá no litoral do Paraná e em 1590 no entorno do pico do Jaraguá, perto da vila de São Paulo.

Até 1822 estima-se que as sucessivas levas de bandeirantes que palmilharam Minas Gerais, Bahia, Goiás e Mato Grosso e lavraram depósitos aluvionares além das atividades de empresas que operaram pequenas escavações e minas produziram cerca de 1200 toneladas de ouro, segundo cálculos de Eschwege, Calógeras e Antônio Olinto dos Santos (CASTRO & SOLLA, 1968).

Moraes (1937) reitera que no século XVIII o Brasil foi o maior produtor de ouro, quase atingindo o monopólio na produção mundial. Registros da época mostravam

que entre 1523 e 1835, ou seja, por 311 anos, o Brasil remeteu para a Europa uma média anual 5000 kg de ouro.

Reportam-se a Ferrand (1894) as primeiras tentativas de organizar sistematicamente o estudo dos jazimentos auríferos da região central do estado de Minas Gerais.

Moraes & Barbosa (1939) supervisionaram um grupo de trabalho que reavaliou o potencial aurífero da porção central de Minas Gerais, entre os anos de 1933 e 1939, enfocando galerias e escavações antigas nos distritos auríferos de Caeté, Santa Bárbara, Mariana e Ouro Preto.

Na região de Ouro Preto foram estudadas mais de 350 galerias e escavações, dentre as quais as de Taquaral, Águas Férreas, Mina Tapera dentre outras. Nas proximidades de Mariana foram estudadas as ocorrências do Tesoureiro, Ouro Fino, Morro do Fraga, Bonito, Brumado, etc. No distrito de Santa Bárbara destacaram-se as minas de Santa Quitéria, São Bento, Capoeirinha, Pedra do Judeu, Quebra Ossos, Jambeiro, Bahú, Patrimônio, Pari, além de Pitangui, Serra de Cocais, Trindade, Brumado, Brumadinho, Ouro Fino e Paracatu. Em Catas Altas foram estudados os depósitos de Cata Preta e outros nas imediações de Santa Rita Durão e Fonseca. No Distrito de Caeté foram estudados acuradamente 12 depósitos, dentre estes se citam Juca Vieira, Catita, Caeté, Veremos, Rocinha, Roça Grande, Descoberto, Vira Copos, Carrancas, dentre outros menores com descrição sumarizada.

Heineck et al. (1983) cadastraram cerca de 450 citações de ocorrências auríferas da porção central de Minas Gerais, registrando sua localização aproximada, aspectos geológicos e mineiros das escavações além das referências bibliográficas utilizadas e disponíveis à época.

Com o objetivo de classificar os tipos de mineralizações auríferas de Minas Gerais foram publicados inúmeros estudos sumarizando as principais particularidades dos jazimentos auríferos (Ladeira, 1985b, 1988, 1991; Ribeiro-Rodrigues, 1998b, Lobato et al., 1998; Thorman, 2001; Hartmann, 2001; Lobato et al. 2001b; Vial et al., 2007).

Ladeira (1985b, 1988, 1991) descreve as mineralizações auríferas no Supergrupo Rio das Velhas como hospedadas tanto em um metachert carbonático impuro, denominado *lapa seca*, descrito nas minas de Morro Velho, Urubu, Bela Fama e Bicalho e ainda em formação ferrífera bandada, arqueana, característica dos depósitos Raposos, Cuiabá, São Bento e Faria.

Vieira (1987c, 1988, 1981b) cita além destes tipos acima citados, aqueles relacionados a veios de quartzo que ocupam as porções centrais de zonas de alteração hidrotermal e relacionados à zona de cisalhamento dúctil.

Ribeiro Rodrigues (1998) apresenta tabela que sumariza os tipos de minérios auríferos encontrados na região do Quadrilátero Ferrífero e agrupados segundo seu estilo estrutural (QUADRO 2.25).

As mineralizações auríferas do Lineamento Córrego do Sítio, segundo Ribeiro-Rodrigues (1998) e Vial *et al* (2007), hospedam-se em rochas metassedimentares arqueanas do Supergrupo Rio das Velhas associadas a zonas de cisalhamento, com a instalação de veios de quartzo com sulfetos. Maiores detalhes serão descritos nos capítulos de Geologia Local e Mineralizações do Lineamento Córrego do Sítio.

QUADRO 2.11(*):
dados até 1996: Quadro modificado de Ribeiro-Rodrigues (1998)

Tipo de depósito Estilo estrutural	Hospedeiras	Depósitos Mais importantes	Idade (Ga)	Ocorrência de Au	Tamanho (t Au)	Teor (g/t AU)	Au (t)*
Au HOSPEDADO EM DEPÓSITOS CENOZÓICOS							
Supergênicos	Lateritos	Ouro Preto Fazendão	? ?	Au livre em lateritos	?	?	?
Aluvionar	Cascalheiras	Ouro Preto Sabará Bento Rodrigues	? ?	Au livre em placer e paleo <i>placer</i>	>400	?	400
Au HOSPEDADO EM ROCHAS METASSEDIMENTARES DE IDADE PROTEROZÓICAS							
Shear zone	Itabiritos	Gongo Sôco Maquine Cauê Conceição	< 2.4	Au livre em discretas (até 20 cm) zonas de cisalhamento	>30	20:80	22
Shear zone (veios de quartzo)	Rochas Metas- sedimentares	Passagem de Mariana Santana	< 2.4	Au em sulfetos	>70	6:14	70
Paleoplacer (tipo Witwatersrand)	Meta- conglomerado s	Gandarela	?	Au livre	0.2	?	0.2
Au HOSPEDADO EM GREENSTONE BELT ARQUEANO							
	Lapa seca	Morro Velho Bicalho		Au em sulfetos	>470	8:20	455
Stratabound , dominado por substituição	FFB e <i>chert</i>	Cuiabá, São Bento. Raposos, Faria, Lamego Esperança III, Tinguá, Morro da Glória	>2.4	Au em sulfetos	>300	8:15	90
	Rochas metas- sedimentares	Córrego do Sítio	?	Au em sulfetos	>5	2:3	3
Disseminado em zonas de cisalhamento dúctil	Vulcânicas félsicas	Morro Velho , Bicalho Bela Fama, Paciência	>2.7	Au em sulfetos	>1	10:13	1
	Vulcânicas máficas	Juca Vieira, Pari Cuiabá, Tinguá	?	Au em sulfetos	>5	8:10	3
Veios de quartzo em zonas de cisalhamento dúctil	Vulcânicas máficas	Cuiabá (corpo Viana) Juca Vieira	?	Au em sulfetos e ouro livre	>1	4	1

Vial *et al.* (2007) sintetiza que no Quadrilátero Ferrífero há dois depósitos de classe mundial (Morro Velho e Cuiabá), três de tamanhos intermediários (Raposos, São Bento e Passagem de Mariana) além de centenas de pequenos depósitos e ocorrências mais ou menos detalhadas na literatura geológica.

Vial *et al.* (2007) separa os depósitos auríferos hospedados no Supergrupo Rio das Velhas, de idade arqueana, daqueles hospedados nos Grupos Minas e Caraça, de idade Proterozóica, conforme QUADRO 2.26 abaixo:

QUADRO 2.12
Tabela sinóptica dos estilos de mineralização aurífera da região do QF

Estilo de mineralização	Hospedeiras	Principais depósitos	Minerais associados
DEPÓSITOS HOSPEDADOS NO GREENSTONE BELT RIO DAS VELHAS DE IDADE ARQUEANA			
A1	BIF do tipo algoma	Raposos, Cuiabá, Lamego; Morro da Glória Farias, Carrapato de Cima, Bruacas, Luis Soares, Boa Vista.	Pirita, pirrotita e arsenopirita.
A2	Lapa seca*	Morro Velho, Bela Fama, Bicalho.	Sulfetos maciços
A3	Veios de quartzo em zonas de alteração hidrotermal simétrica	Juca Vieira, Descoberto, Fernandes, e Carrapato de baixo.	Pirita
A4	Rochas metassedimentares e veios de quartzo	Córrego do Sítio , Moita, Alto Gago.	Sulfetos
A5	Anfibolitos	Pari	Sulfetos e camadas de anfibólios.
A6		Bico de Pedra	Sulfetos de metais base disseminados ou maciços.
DEPÓSITOS HOSPEDADOS NOS GRUPOS MINAS E CARAÇA DE IDADE PROTEROZÓICA			
B1	Filitos carbonosos e quartzitos do Grupo Caraça, itabiritos do Grupo Minas e quartzo-biotita xistos do Grupo Nova Lima	Passagem de Mariana; Rocinha, Morro Santana, Mata Cavallo, Veloso, Chico Rey, Taquaral, Cibrão e Lavras Novas.	Veios de quartzo com turmalina e arsenopirita.
B2	Itabiritos do Grupo Minas, tipo Jacutinga	Gongo Sôco, Maquiné, Itabira, Taquaril, Antônio Pereira.	Especularita, quartzo, caolinita, óxidos de manganês, talco e ouro livre. Bonanzas de alto teor em Au.
B3	Conglomerados do tipo Witwatersrand no Grupo Caraça	Mina Palmital	Au livre, pirita, anomalias de urânio.

Fonte: Vial *et al.* (2007).

3 MINERALIZAÇÕES AURÍFERAS EM TERRENOS METAMÓRFICOS

3.1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo, o autor sumariza as principais feições dos depósitos auríferos hospedados em terrenos metamórficos, abrigados sob a denominação “Depósitos de ouro orogênico”, no sentido de Groves *et al.* (1998). Por se tratar de tópico de revisão da literatura, o texto que se segue está em fonte de menor tamanho.

Os terrenos metamórficos constituem zonas complexas onde, por acreção ou colisão, há aumento e/ou espessamento da crosta continental (FIG. 3.1).

Depósitos auríferos podem ser formados em todos os estágios da evolução de um orógeno, e incluem zonas metamórficas que contêm diversos tipos de depósitos auríferos, particularmente aqueles formados, remobilizados e/ou superimpostos durante o evento compressional da orogênese, que modela a geometria final da zona metamórfica encaixante (GROVES *et al.*, 1998).

Depósitos de veios de quartzo auríferos (*lode gold*) são uma das mais características feições das mineralizações em *greenstone belts* arqueanos, presentes nos maiores depósitos das grandes áreas cratônicas, a exemplo de Austrália, Brasil, Canadá, Índia, África do Sul, Tanzânia e Zimbábue (FOSTER, 1984; MACDONALD, 1986; HO *et al.*, 1990; LOBATO *et al.*, 2001 a, b, c)

A formulação deste modelos foi desenvolvida a partir da década de 1970, com a aceitação generalizada da teoria de tectônica de placas.

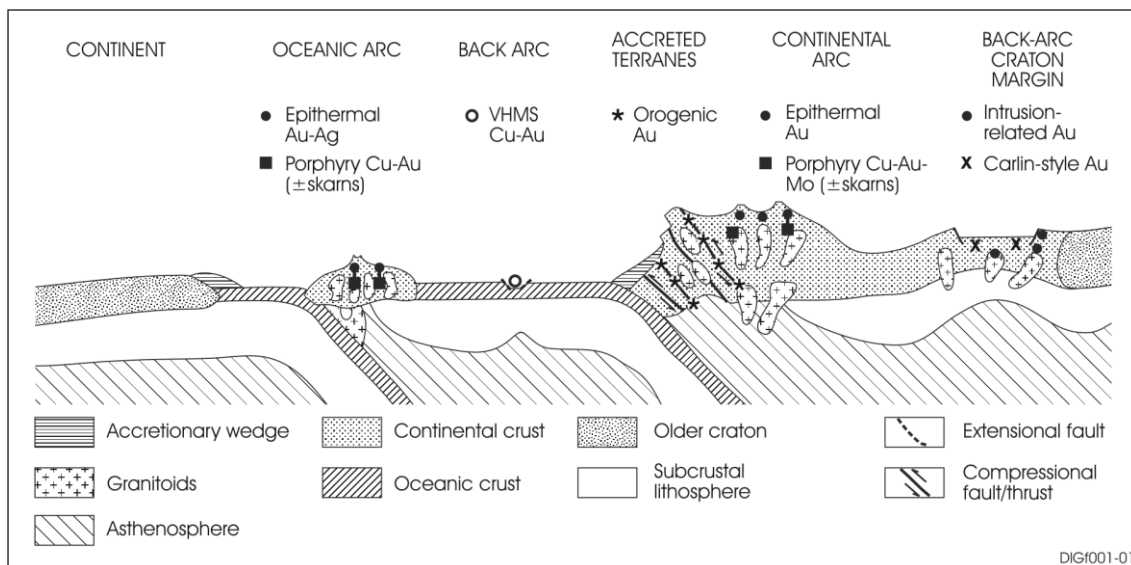


FIGURA 3.1 – Ambientes tectônicos em que se desenvolvem depósitos minerais epigenéticos. Escala vertical exagerada para permitir a representação esquemática da profundidade de formação dos vários estilos de depósitos
 Abreviações: VHMS = volcanic-hosted massive sulfide (sulfetos maciços hospedados em rochas vulcanogênicas).
 Fonte: Figura extraída de Groves *et al.* (1998).

3.2 EVOLUÇÃO DAS CLASSIFICAÇÕES GENÉTICAS DOS DEPÓSITOS AURÍFEROS

Na primeira metade do século passado as tentativas de classificação dos depósitos auríferos eram baseadas na temperatura e profundidade presumidas em que os depósitos foram formados. Lindgren (1933) e Emmons (1937) dividiram os depósitos auríferos, hospedados em rochas metamórficas, em grupos denominados como mesotermal, relacionado à baixa/média temperatura, e hipotermal, para os depósitos formados em alta temperatura. Os modelos hidrotermais epigenéticos, em que intrusões graníticas eram as fontes de calor e de fluidos circulantes mineralizadores, foram dominantes até ao início década de 1960.

Durante a década de 1960 uma variedade de depósitos minerais, incluindo os de sulfetos maciços vulcanogênicos (VMS), foi interpretada como depósitos singenéticos com expressiva substituição das rochas encaixantes. Estes conceitos reforçaram a hipótese de que depósitos de ouro arqueanos, hospedados em formação ferrífera bandada da fácies óxido, eram sinsedimentares ou vulcanogênicos (ANHAEUSSER, 1976), e que esses poderiam fornecer ouro para outras rochas através de processos de remobilização (BOYLE, 1979).

Na década de 1980 foram formulados novos modelos, baseados na circulação de fluidos hidrotermais epigenéticos (KERRICH & FRYER, 1979, 1981), mas apenas em meados da década de 1980 é que tais hipóteses ganharam maior crédito devido à publicação de estudos mais detalhados (PHILLIPS *et al.*, 1983; FOSTER, 1984; MACDONALD, 1986; PERRINGS *et al.*, 1987).

Apesar do crescente emprego dos modelos epigenéticos não houve solução para as controvérsias com respeito a fonte dos fluidos mineralizadores e dos minerais metálicos constituintes dos minérios:

- Singenético ou sinvulcânico, acompanhado ou não por remobilização através de fluidos hidrotermais;
- Hidrotermal epigenético, em que a fonte dos fluidos, dos metais e do enxôfre pode estar relacionada tanto a processos metamórficos, magmáticos ou mantélicos profundos.

Sillitoe & Thompson (1998), Thompson *et al.* (1999) e Lang *et al.* (2000) estabeleceram as principais características do modelo dos depósitos auríferos diretamente relacionados a intrusões.

Groves (1993) e Gebre-Mariam *et al.* (1995) propuseram uma classificação dos depósitos auríferos em zonas metamórficas. Em níveis mais rasos, com associações que variam da fácies prehnita-pumpeleita ao xisto verde inferior, esses são denominados epizonais. Os depósitos mesotermiais são redenominados como mesozonais e os depósitos profundos, em terrenos metamórficos dos graus anfíbolito a granulitos, são denominados hipozonais (FIG. 3.2).

Embora alguns grandes depósitos ocorram em domínios de fácies anfíbolito médio a superior, como, por exemplo, Hemlo, Big Bell e Kolar, a maioria da produção de ouro vem de domínios de xisto verde médio a superior, que também possuem depósitos gigantes tais como Timmins (Porcupine) e Golden Mile (Kalgoorlie). Este regime metamórfico corresponde a transição rúptil-dúctil, em que ainda predominam os mecanismos dúcteis com valores de pressão e temperatura menores (SIBSON *et al.*, 1988).

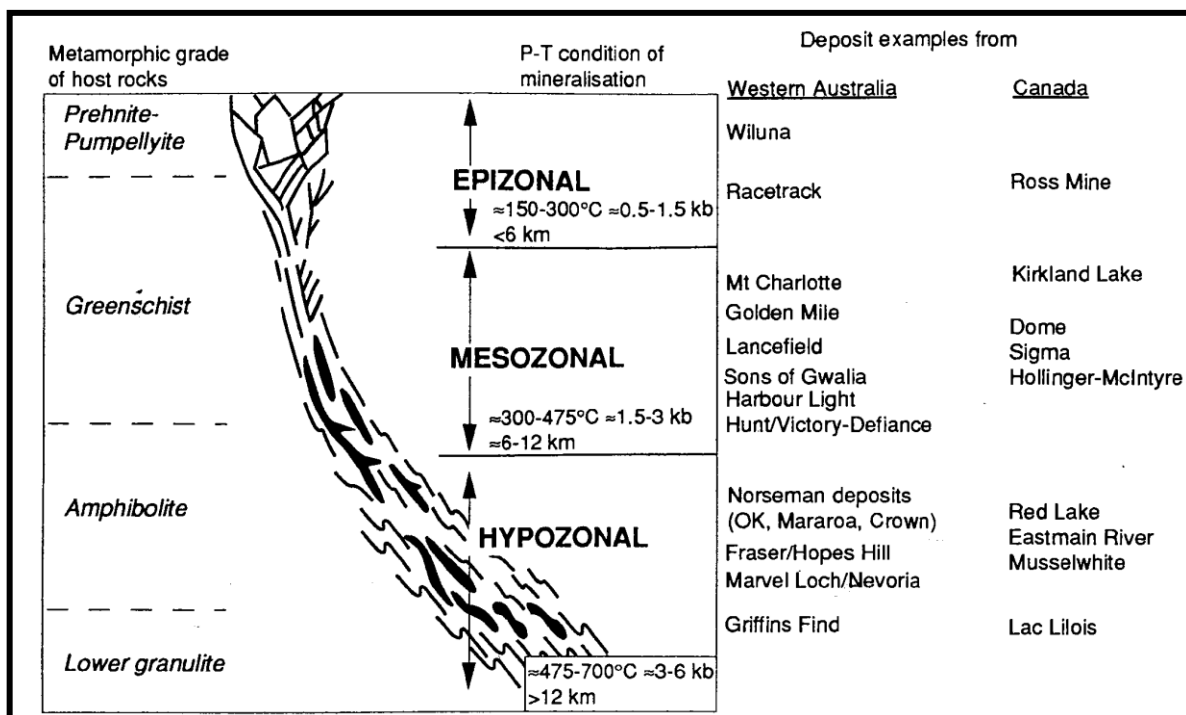


FIGURA 3.2 – Seção esquemática mostrando o modelo *continuum* crustal dos depósitos arqueanos e a terminologia proposta para descrever as várias condições de P e T. Fonte: exemplos de depósitos de lode-gold do oeste da Austrália e Canadá Groves (1993); Gebre-Mariam et al. (1995); Colvine (1989); McCuaig & Kerrich (1994).

Groves *et al.* (1998) propõem a adoção do termo “Depósitos Auríferos Orogênicos” para denominar os minérios formados durante a deformação, que varia de compressional a transpressional, ao longo das margens de placas convergentes dos orógenos colisionais ou acrescionários, e depositados em profundidades que variam desde 15-20 km até quase ao ambiente superficial.

Os termos epi-, meso- e hipotermal, anteriormente empregados, são considerados falhos para designar estes depósitos, pois os eventos termiais, relacionados a subducção, episodicamente aumentam o gradiente geotérmico dentro das sequências acrescionárias, carreando fluidos hidrotermais por longas distâncias, e por isto pode não haver correlação entre a profundidade e a temperatura de formação do depósito.

Com respeito às profundidades de formação, os depósitos orogênicos são assim melhor subdivididos em epizonal (rasos < 6 km), mesozonal (6 a 12 km) e hipozonal (> 12 km), cada um com as suas particularidades geoquímicas, mineralógicas e litoestruturais (FIG. 3.3)

Um grande número de depósitos auríferos do Arqueano e Fanerozóico, mostram uma forte associação do ouro com rochas metamorfizadas na fácies xisto verde (QUADRO 3.1). No entanto, importantes depósitos ocorrem em mais alto grau metamórfico ou em grau inferior, dentro de zonas de diferentes idades (McCUAIG *et al.*, 1993).

Em alguns terrenos as mineralizações auríferas parecem que representam um único evento relacionado às fases tardias de deformação, acompanhando o final do pico de metamorfismo, e pós-datando a intrusão da maioria dos granitóides, pórfiros félsicos e lamprófiros. Vide QUADRO 3.1 as características principais dessa classe de depósitos.

Depósitos auríferos arqueanos são comumente denominados depósitos *gold-only* (HODGSON & MACGEEHAN, 1982) e o Au, em geral, apresenta correlação com altos teores em As, W, Ag, Sb, Te e B, e baixos conteúdos de Cu, Pb, Zn, Sn e Mo (KERRICH, 1993; PHILLIPS & GROVES, 1983). A razão Au/Ag, em geral, varia em torno de 10:1. Alguns depósitos podem conter zonas enriquecidas em Sb, Cu, Pb, Mo e Ag, que tanto podem ocorrer isolados quanto combinados.

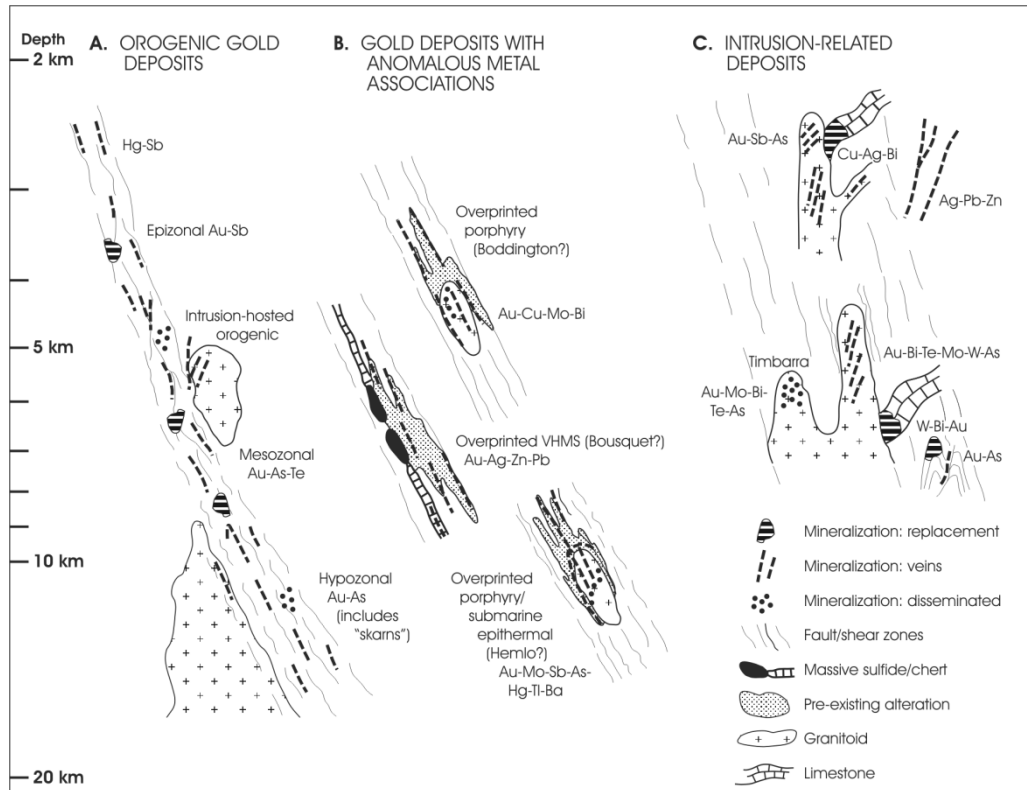


FIGURA 3.3 – Tipos de depósitos auríferos epigenéticos em terrenos metamórficos.

Depósitos auríferos orgênicos epizonais, mesozonais e hipozonais estão associados com fluidos regionais que fluem ao longo de grandes zonas de falhas profundas, formadas em profundidades entre 2 e 20 km.

Fonte: Groves *et al.* (2003).

QUADRO 3.1
Resumo das características de alguns depósitos de veios de quartzo auríferos
(lode gold) arqueanos bem documentados, de tamanhos grandes
a gigantes em domínios de fácies xisto verde.

(Continua)

Região Depósito	Produção Au (t)	Rocha Hospedeira	Tipo de Lode	Zonas de alteração	Minerais -minérios
Yilgarn / Austrália					
Golden Mile, Kalgoorlie	~1200 t	Sill dolerito toleítico	Zonas de cisalhamento rúptil-dúctil mergulhando fortemente e conjuntos de fraturas rúpteis; algumas brechas.	Muscovita, ankerita, pirita, silicificação e venulações de quartzo	Ouro e pirita, raras scheelita, arsenopirita e anidrita, teluretos tardios
Sons of Gwalia, Leonora	> 90 t	Basaltos toleíticos ricos em Mg	Grandes zonas de cisalhamento com mergulho muito inclinado, veios de quartzo localmente boudinados	Muscovita, biotita, ankerita, pita e veio de quartzo	Ouro, pirita, arsenopirita, pirrotita e rara calcopirita.
Mararoa-Crown, Norseman	> 70 t	Basaltos toleíticos e intrusões ultramáficas	Veios de quartzo laminados e dobrados	Biotita, anfibólio, clorita, anekrita, dolomita	Ouro, pirita, galena, teluretos, scheelita
Mt. Charlotte, Kalgoorlie	>70 t.	Unidade granofírica em sill de dolerito toleítico.	Conjuntos de veios de quartzo ao longo de fraturas hidráulicas.	Sericita, ankerita, pirita, albita, alguma silicificação.	Ouro, pirita e scheelita
Abitibi, Canadá					
Hollinger, Timmins	> 600t.	Lavas máficas, subordinadas lavas félsicas e piroclásticas, pórfiros quartzo-feldspáticos.	Veios de quartzo e <i>stockworks</i> ; zonas de cisalhamento com mergulhos acentuados.	Sericita, ankerita, clorita, calcita, quartzo e albita	Ouro, pita, pirrotita, galena e esfalerita
Kerr Addison, Larder lake	> 320 t.	Basaltos ricos em Mg, basaltos toleíticos, pórfiros félsicos a diques sieníticos e sedimentos clásticos.	Veios escalonados em <i>stockwork</i>	Ankerita, dolerito, albita e muscovita	Ouro, pirita, scheelita, arsenopirita.
Sigma, Val d'Or	> 110 t.	Plug dolerito intrusivo com lavas andesíticas, subordinados diques pórfiros	Veios subverticais e brechas em zonas de cisalhamento rúptil-dúctil, veios horizontalizados.	Calcita e mica branca	Ouro, pita, pirrotita, rara calcopirita, esfalerita, galena, teluretos e scheelita.

QUADRO 3.1

Resumo das características de alguns depósitos de veios de quartzo auríferos (*lode gold*) arqueanos bem documentados, de tamanhos grandes a gigantes em domínios de fácies xisto verde.

(Conclusão)

Região Depósito	Produção Au (t)	Rocha Hospedeira	Tipo de Lode	Zonas de alteração	Minerais -minérios
ZIMBABWE					
Cam and Motor, Kadoma	> 145 t.	Andesitos, basaltos toleííticos, basaltos ricos em Mg, intrusões doleríticas, raros sedimentos clásticos	Veios mergulhando acentuadamente, arranjos de veios em zonas de cisalhamento, <i>stockworks</i>	Quartzo, ankerita, serpentina em rochas ricas em Mg.	Ouro, pirita, arsenopirita, stibinita, esfalerita e scheelita.
Phoenix, Kwekwe	> 105 t	Complexo intrusivo dunito-peridotito	Veios de quartzo, subordinados <i>stockwork</i> e silicificação	Magnesita, fucsita e talco	Ouro, pirita, stibinita, arsenopirita
Dalny, Kadoma	> 50 t .	Lavas basálticas toleííticas	Zona de cisalhamento rúptil-dúctil com mergulhos íngremes.	Ankerita, mica branca, clorita e albita	Ouro, pirita, arsenopirita, calcopirita, galena, tetrahedrita, scheelita e esfalerita.

Fonte: dados do oeste da Austrália extraídos de Groves *et al.* (1998), do Canadá extraídos de Colvine *et al.* (1988) e do Zimbábue de Foster *et al.* (1993).

3.3 DISTRIBUIÇÃO E IDADE DOS DEPÓSITOS AURÍFEROS

Depósitos auríferos estão heterogeneamente distribuídos dentre os *greenstone belts* (FIG. 3.4), com alguns grandes terrenos quase ausentes de depósitos econômicos enquanto outros contêm depósitos muito grandes.

Foster (1984) e Groves *et al.* (1987) apresentam dados sobre a produtividade de vários terrenos *greenstone* em termos de kg Au por km² (TAB. 3.1).

TABELA. 3.1
 Produtividade de vários terrenos *greenstone* em termos de kg Au por km²

Greenstone belt	Kg Au / Km ²
Zimbabwe	59
Barbeton	50
Abitibi	43
Yilgarn	25
Norseman:Wiluna	35
São Francisco*	86

Fonte: modificado de Foster (1984) e Groves et al. (1987), e acrescido de dados (*) de Ribeiro-Rodrigues (1998).

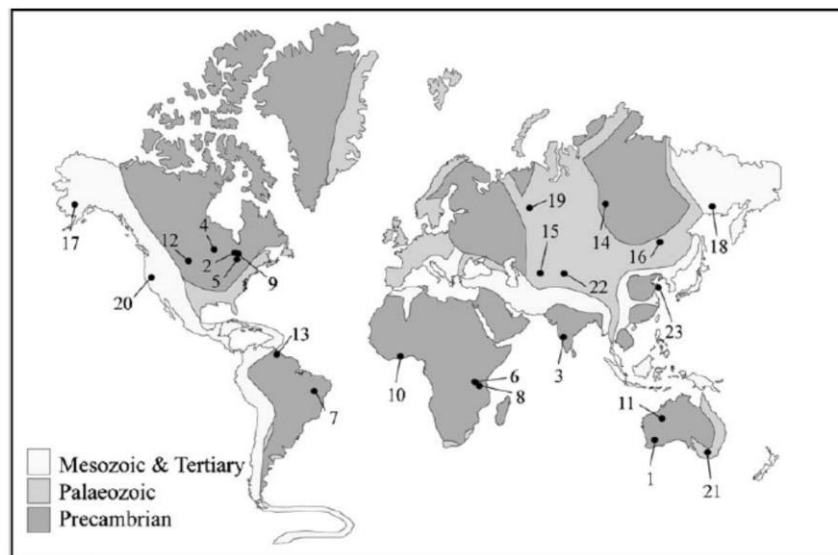


FIGURA 3.4 – Mapa mostrando a distribuição dos terrenos do Arqueano, Proterozóico, Paleozóico, Mesozóico e Cenozóico.

Os números referem-se a localização dos 23 maiores distritos / depósitos de ouro orogênico.

Fonte: dados originais do banco de dados do *Geological Survey of Canadá* e de Goldfarb *et al.* (2001) e compilados por Bierlein *et al.* (2006).

TABELA. 3.2
Tabela com 23 distritos e depósitos de ouro orogênico gigantes
distribuídos segundo as épocas

(Continua)

ÉPOCA	INTERVALO DE IDADE (Ga)	DEPÓSITO	CRÁTON	PRODUÇÃO +RECURSOS (t)	PRODUÇÃO +RECURSOS (Moz) Oz = 31.103 g
ARQUEANO	2.6 a 2.64	1. Golden Mile	Yilgarn	1984	64
	< 2.67	2. McIntyre-Hollinger	Plataforma Canadense	987	32
	>2.55	3. Kolar	Dharwar	838	27
	<2.87 e >2.71	4. Campbell-Red Lake	Plataforma Canadense	799	26
	<2.67	5. Kirklan Lake	Plataforma Canadense	797	26
	<2.64	6. Geita	Tanzânia	788	25
	<2.71	7. Morro Velho	São Francisco	654	21
	<2.64 e >2.55	8. Bulyanhulu	Tanzânia	543	17
	<2.68	9. Dome	Plataforma Canadense	509	16
PROTEROZOÍCO	2.1	10. Ashanti	Oeste africano	2070	67
	700:600 Ma	11. Telfer	Orógeno Paterson	1564	50
	1.75	12. Homestake	Orógeno Trans-Hudson	1237	40
	2.14:2.06	13. Las Cristinas	Amazônico	964	31
	800:600 Ma	14. Olimpiada	Siberiano	700	23
FANEROZOÍCO	285 Ma	15. Muruntau	Orógeno Tien Shan	5290	170
	380:365 Ma	16. Sukhoi Log	Siberiano	1048	34
	74:68 Ma	17. Donlin Creek	Alaska	793	25
	135 Ma	18. Natalka	Extremo leste da Rússia	716	23
	<328 Ma	19. Berezovkoe	Orógeno Uralides	715	23
	145:140 Ma	20. Grass Valey	Califórnia	664	21
	440 Ma	21. Bendigo	Orógeno Lachlan	660	21
	285 Ma	22. Kumtor	Orógeno Tien Shan	600	19
	123 Ma	23. Linglong Camp	Orógeno Yanshanian	500	16

Fonte: dados originais do banco de dados do Geological Survey of Canadá e de Goldfarb *et al.* (2001) e compilados por Bierlein *et al.* (2006).

A distribuição das províncias orogénicas através do tempo indica uma concentração de minérios em torno de 2800:2550 Ma, 2100-1800 Ma e 600-50 Ma. As estimativas dos recursos combinam produção passada, recursos residuais e depósitos de *placers* de todos os dados disponíveis (FIG. 3.5).

O Paleoarqueano (2.65 ± 0.5 Ga) foi um período de intensa mineralização aurífera, ultrapassado apenas pela deposição de ouro durante o Mesozóico (WOODALL, 1988).

Poucos depósitos auríferos são encontrados com idades entre 1800 e 600 Ma, haja vista que as partes expostas de orógenos deste período refletem níveis crustais tipicamente abaixo das profundidades favoráveis para concentração de ouro, entre 3 e 20 km, com a exposição de rochas de alto grau metamórfico (GOLDFARB et al., 2005).

Não são reconhecidos grandes depósitos de ouro orogênico mais jovens do que 50 Ma, já que os sistemas auríferos Cenozóicos, localizados a profundidades meso-crustais, ainda estão gradualmente sendo formados em orógenos tais como os dos Alpes e Himalaia (GOLDFARB et al, 2005).

Em alguns terrenos as mineralizações auríferas parecem que representam um único evento relacionado às fases tardias de deformação acompanhando o final do pico de metamorfismo e pós-datando a intrusão da maioria dos granitóides, pórfiros félsicos e lamprófiros.

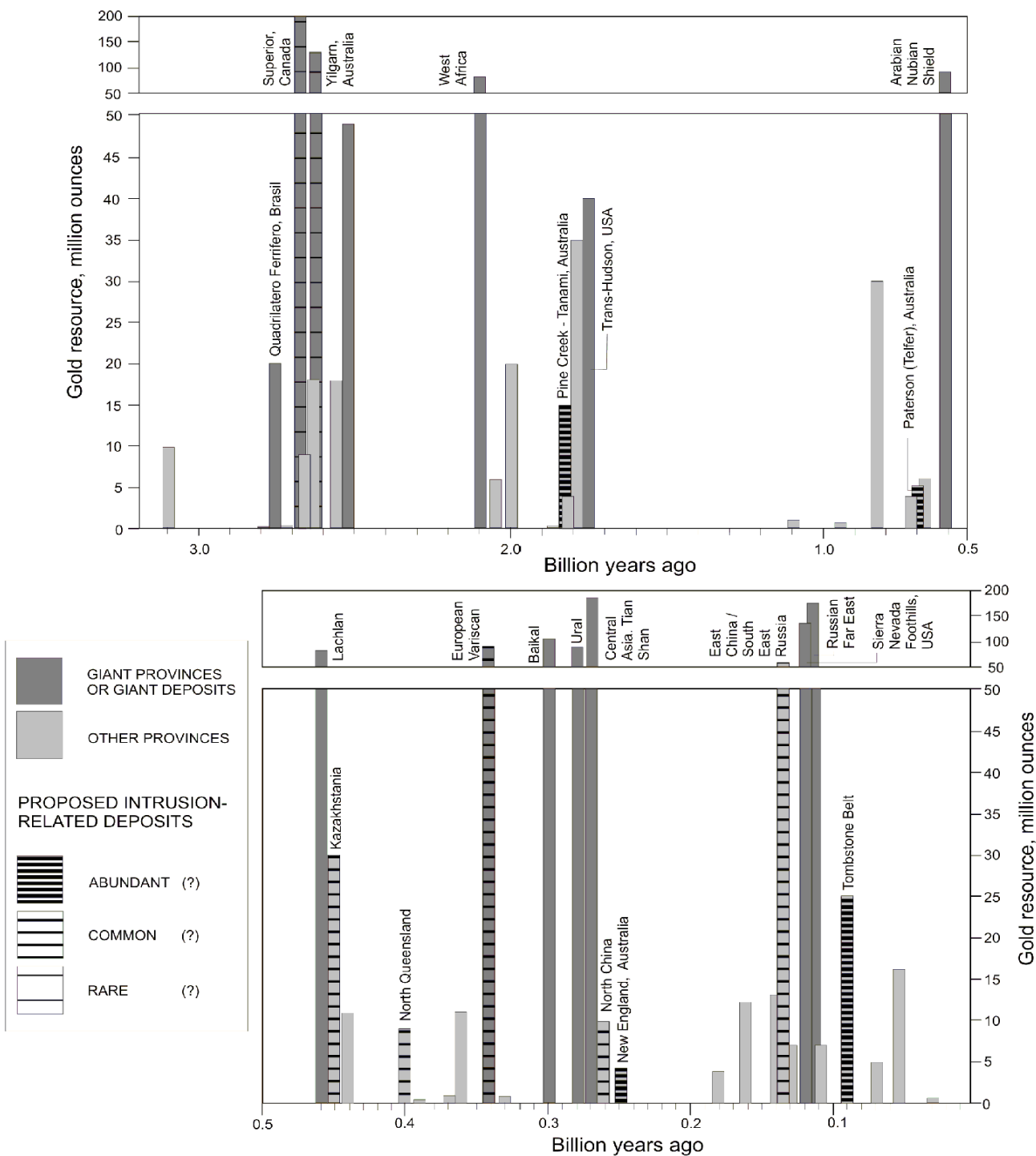


FIGURA 3.5 – Distribuição temporal dos depósitos auríferos orogênicos usando a melhor aproximação da produção de ouro e idade para províncias auríferas individuais. Fonte: Goldfarb *et al.* (2001).

3.4 ROCHAS HOSPEDEIRAS E TEORES DAS MINERALIZAÇÕES AURÍFERAS

As rochas hospedeiras mais comuns dessas mineralizações auríferas são:

- Rochas com alta razão Fe / (Fe+Mg) – vulcânicas e intrusivas máficas e ultramáficas; além de FFB e metacherts, que apresentam diferentes comportamentos quanto a competência com relação às encaixantes. Nas rochas metavulcanossedimentares ricas em Fe, o minério pode localmente ocorrer pseudo-estratiforme devido à sulfetação seletiva de camadas ricas em Fe PHILLIPS et. al., 1984);
- Rochas metavulcanos sedimentares clásticas (metagrauvas e metapelitos carbonosos);
- Batólitos graníticos, plutons félsicos;
- Vulcânicas félsicas;
- Pórfiros félsicos e rochas alcalinas.
- Em relação às rochas intrusivas, alguns depósitos de ouro ocorrem dentro ou adjacentes ao contato de batólitos de granitóides como, por exemplo, no Zimbabwe (FOSTER, 1984). Apesar disso maior atenção tem sido dada à associação entre intrusões relativamente menores, de lamprófiro e pórfiros félsicos a intermediários, com os depósitos auríferos.
- Esta associação é mais pronunciada na Província Superior, no Canadá, onde intrusões associadas com depósitos de ouro variam de tipos portadores de quartzo, tais como granodioritos e monzonitos (BURROWS & SPOONER, 1986), até aqueles insaturados em sílica, tais como os sienitos, (KERRICH et. al., 1981), monzonitos (CHERRY et al., 1984) e lamprófiros (BURROWS & SPOONER, 1986), sendo que estes últimos são abundantes em distritos auríferos. Existe alguma associação entre minerais-minérios, tais como molibdenita, scheelita, galena, teluretos e turmalina, com determinados tipos de intrusões porfíricas (HODGSON et al., 1993). Esses autores mostraram que 70% dos depósitos auríferos hospedados por outras litologias ainda têm pequenas intrusões porfíricas félsicas a máficas no contexto de suas minas.

Há relatos de teores da ordem de teores de até 220 g/t Au, em minas descobertas no século XIX, mas atualmente as minas em operação possuem teores de 5 a 6 g/t

Au ou até, mais raramente, entre 10 e 15 g/t Au, como na Mina Teck-Corona em Hemlo (BURK *et al.*, 1986).

Atualmente há lavras com teores inferiores a 1 g/t Au, tendo em vista os novos métodos de recuperação metalúrgica do ouro, crescentes dimensões das frotas de equipamentos de lavra e o alto preço do ouro. Estes novos parâmetros viabilizam a exploração econômica de depósitos com baixos teores e alta tonelagem, a exemplo da Mina Paracatu, em Minas Gerais, em que se pratica um *cut-off* de 0,21 g/t Au para a extração de 15 Moz Au ao longo de 13 anos de lavra, com uma recuperação metalúrgica de 79,6 % e a custo inferior a US\$400/oz (HENDERSON, 2006).

3.5 ESTILOS ESTRUTURAIS

As estruturas que hospedam os depósitos auríferos refletem a movimentação dentro de zonas de cisalhamento transcratônicas, com diferentes estilos estruturais de mineralização, resultante das variações na orientação do campo de tensão regional e da resistência (competência) da rocha hospedeira (ou o contraste de competência entre rochas hospedeiras adjacentes).

A importância da competência ou do contraste de competência é mostrada pela ocorrência de abundantes mineralizações, em zonas de cisalhamento ao longo de contatos litológicos, e à ausência comum de mineralização em veios discordantes à rochas específicas (*i.e* doleritos, *sills*, intrusões de pórfiros félsicos). Desta forma, muitos corpos de minério têm uma aparência grosseiramente *stratabound* o que, no passado, contribuiu para aumentar a controvérsia acerca da origem “epigenética X singenética”, desses depósitos.

As zonas de cisalhamento reversas de alto ângulo são particularmente importantes para o controle das mineralizações auríferas (SIBSON *et al.*, 1988). Em muitos casos os *ore-shoots* apresentam um *plunge* subparalelo à lineação de estiramento mineral na rocha hospedeira, respeitando a relação estrutural fundamental entre estiramento e desenvolvimento de condutos preferencial canalizadores dos fluxos de fluidos. Em outros depósitos, os *ore-shoots* apresentam *plunge* paralelo à interseção

entre a zona de cisalhamento e outras estruturas planares (por exemplo: contatos litológicos, outras falhas, etc.).

Muitas estruturas, que controlam mineralizações auríferas, mostram feições típicas de deformação rúptil-dúctil, mas há um completo espectro desde controles por zona de cisalhamento dúctil até falhas rúpteis e zonas de fraturas e brechas. Assim, mineralizações auríferas podem ocorrer em zonas de cisalhamento que cortam obliquamente ou paralelamente o *strike* das unidades estratigráficas.

Colvine *et. al.* (1988) propuseram uma ampla zonação em profundidade das estruturas controladoras das mineralizações auríferas, onde estruturas dúcteis predominam na fácies anfíbolito, enquanto as estruturas rúpteis prevalecem nos domínios de fácies sub-xisto verde. Isto pode ter validade como uma generalização, mas existem numerosos exemplos onde estruturas dúcteis e rúpteis ocorrem no mesmo distrito, por exemplo, Golden Mile, Kalgoorlie, sob o mesmo grau metamórfico. Neste caso o contraste de competência (resistência/reologia) entre tipos litológicos e mudanças na taxa de deformação pode ser tão importante quanto as condições de P-T da rocha, ao longo tempo da deformação e mineralização.

Adicionalmente espera-se que as condições físico-químicas variem durante a mineralização, devido a movimentação ascendente associada com as zonas de deformação reversas em um regime *oblique-slip* ou *strike-slip* (SIBSON *et al.*, 1988).

As mineralizações auríferas são melhor desenvolvidas em *greenstone belts* dominados por zonas de cisalhamento anastomosadas de escala crustal, comumente resultando em um conjunto linearizado de depósitos auríferos, embora geometricamente associados a estruturas subsidiárias, de segunda, terceira ou quarta ordens. Os depósitos auríferos localizam-se dentro ou adjacentes a zonas de alta tensão, hospedadas em sequências *greenstone* menos deformadas.

No *greenstone* Abitibi, no Canadá, os grandes depósitos ocorrem adjacentes a grandes zonas deformadas, de escala crustal (suturas), que são interpretadas com tendo controlado a geometria da bacia de sedimentação Paleo-arqueana

(*Timiskaming-type*), e ainda a intrusão, sin- a tardi-tectônica, de *stocks* ou diques alcalinos saturados em sílica, intermediários a félsicos, incluindo lamprófiros (COLVINE *et al.*, 1988).

Similarmente no Norseman-Wiluna Belt, Austrália, os depósitos auríferos ocorrem próximos a zonas de cisalhamento oblíquos ou *strike slip*, de escala crustal, que podem, em parte, ser reativadas por falhas sinvulcânicas (GROVES *et al.*, 1984), e que abrigam intrusões de suítes lamprofíricas a porfíricas félsicas (GROVES *et al.*, 1988a,b).

3.6 ALTERAÇÃO DAS ROCHAS ENCAIXANTES E MINERALIZAÇÃO

Embora ouro livre ocorra em veios de quartzo, a maior parte da mineralização aurífera associa-se aos minerais de alteração da encaixante. O ouro pode aparecer incluso em pirita ± pirrotita ± arsenopirita, com uma distribuição heterogênea de minerais acessórios tais como scheelita, teluretos, stibnita, galena, esfalerita, calcopirita, magnetita, hematita e anidrita. Qualquer um deles pode, localmente, ser muito abundante em *ore-shoots* específicos (QUADRO 3.2)

Raramente os depósitos auríferos contêm paragêneses muito complexas de sulfetos, sulfoarsenietos e sulfossais (HARRIS, 1989). Múltiplas fases de mineralização são comuns, embora, provavelmente, representem um *continuum* de fluido, dentro de uma estrutura rúptil-dúctil que abriga pulsos discretos de atividade hidrotermal.

A alteração das encaixantes normalmente implica na introdução maciça de CO₂, K₂O, S e H₂O, com acréscimo ou redistribuição de SiO₂, além de aumento no teor de Na₂O, Rb, Li e Ba, que são também comumente enriquecidos. Existe uma suíte característica de elementos imóveis (e.g. Al, Ti, V, Y, Zr) e elementos relativamente imóveis (Fe, Mg, Cr, Ni, Sc), que comumente aumentam de teor nas zonas mineralizadas. A expressão mineralógica deste metassomatismo varia tanto com o tipo de rocha hospedeira quanto com o grau metamórfico.

Em zonas fortemente mineralizadas predominam K-micas, biotita e sericita (menos comumente micas portadoras de V e Cr), mas estas podem estar ausentes em rochas pobres em Al, tais como as formações ferríferas bandadas.

Em ambiente de fácies xisto verde, vários estudos (PHILLIPS & GROVES, 1984; CLARK *et al.*, 1989) mostraram que a alteração mineral sobrepõe-se à associação mineral do pico do metamorfismo e, por esta razão, a alteração das encaixantes pós-data o pico do metamorfismo.

QUADRO 3.2

Classes dos depósitos do estilo de veios de quartzo auríferos, com base na paragénese de alteração proximal ao minério, em depósitos hospedados em rochas máficas do Bloco Yilgarn, oeste da Austrália.

Classe do depósito	Alteração proximal	Minerais de minério proximais	Intervalo de Temperatura (°C)	Minerais de ganga
Sericita, Ankerita	Ankerita, dolomita, quartzo	Pirita e arsenopirita	250° a 350°	Sericita, albita
Biotita, ankerita	Ankerita, dolomita, quartzo	Pirita, pirrotita, arsenopirita	320° a 420°	Biotita, albita.
Anfibólio	Biotita, Ca-anfibólio, plagioclásio,	pirrotita, arsenopirita, pirita	470° a 540°	Quartzo, calcita
Diopsídio	Biotita, Ca-anfibólio	Pirrotita, arsenopirita	520° a 580°	Plagioclásio, quartzo
Diopsídio, K-feldspato	Quartzo, K-feldspato, piroxênio	Pirrotita, arsenopirita, loellingita	570° a 700°	Granada, biotita, wollastonita

Fonte: modificado de Mueller & Groves (1991) e Ridley *et al.* (1995)

Em muitos dos grandes depósitos, onde a maior parte do ouro está intimamente associado com sulfetos de ferro em rochas hospedeiras com alta razão Fe/(Fe+Mg), é sugestivo de que as reações de sulfetação das encaixantes induzem a instabilidade do complexo de enxôfre reduzido e causam precipitação do ouro (PHILLIPS & GROVES, 1984).

Tais mecanismos não são, entretanto, não universais, porque tipos de rochas com baixa razão Fe/(Fe+Mg) também apresentam mineralizações, e é claro que outras reações encaixantes-fluido induziram mudanças no pH e na fugacidade do O₂ (*f*O₂)

para permitir a deposição do ouro. Rochas encaixantes carbonosas são importantes neste aspecto em alguns locais. (BIERLEIN et al., 2001).

3.7 NATUREZA DOS FLUIDOS MINERALIZANTES

A natureza dos fluidos é deduzida a partir do estudo das inclusões fluidas em veios de quartzo interpretados como sincrônicos com ou quase pós-datando o estágio principal de mineralização aurífera (SMITH *et al.*, 1984; ROBERT & KELLY, 1987). Estes estudos implicam que fluidos mineralizantes foram responsáveis por mineralizações auríferas arqueanas em domínios de fácies xisto verde em diferentes crátons.

Os fluidos têm as seguintes características:

- Aquo-carbônico (H₂O, CO₂); com 10 a 25 moles de CO₂: Metano está presente em fluidos onde eles interagem com rochas sedimentares carbonáticas (HO, 1987);
- Baixa salinidade (2% NaCl equivalente). Raramente se reconhecem fluidos salinos, mas há exemplos como em Sigma Mine (34% NaCl equivalente);
- Densidade moderada (0,9 g/cm³);
- Intervalo de temperatura entre 200° e 400°, mas normalmente entre 250° e 350°;
- Reflete pressão entre 0,5 e 4.5 kb, normalmente entre 1 e 3 kb;
- Ph quase neutro a levemente alcalino;
- Condições redutoras, embora fluidos oxidados tenham sido registrados.

4. GEOLOGIA E PETROGRAFIA DO LINEAMENTO AURÍFERO CÓRREGO DO SÍTIO, ÊNFASE NO DEPÓSITO LARANJEIRAS

4.1. INTRODUÇÃO

O Depósito Aurífero Córrego do Sítio (FIG. 4.1 e 4.2) originalmente constituía-se pelos corpos de minério Carvoaria Velha, Crista-Laranjeira, Cachorro Bravo, Lajeado-Mutuca, Rosalino e Grota Funda (FIG. 4.1), no sentido de Takai et al. (1991). A lavra destes corpos transcorreu no período entre 1990 a 1998, sendo retomada em 2002, e persistindo até os dias de hoje com uma produção acumulada em torno de 11 toneladas de ouro (TAB. 4.1).

Baseado nas informações geológicas históricas e atuais, o presente autor propõe a mudança da denominação de “Depósito Aurífero Córrego do Sítio” para o termo informal “Lineamento Aurífero Córrego do Sítio” para agregar outros depósitos mais afastados e que obedecem ao mesmo alinhamento NE-SW e possuem mineralizações auríferas com características litoestratigráficas semelhantes.

Neste sentido, o “Lineamento Aurífero Córrego do Sítio” inclui para nordeste as escavações Sangue de Boi, Descoberta, Santana, Barra Feliz, Anomalia 1 e Santa Quitéria; e para sudoeste acrescenta as anomalias geoquímicas Saracura e Serra Redonda (FIG. 4.2).

O Lineamento Córrego do Sítio se caracteriza pela mineralização estilo veios de quartzo-carbonato-sulfeto com a paragênese ouro livre (Au), bertierita (FeSb_2S_4), arsenopirita (FeAsS), estibnita (Sb_2S_3), pirrotita (Fe_{1-x}S), pirita (Fe_2S), calcopirita (CuFeS_2), esfalerita (ZnS), além de traços de outros sulfetos e sulfossais, hospedados em sequências de metagrauvacas e metapelitos carbonosos, polideformados, ao longo de zonas de cisalhamento. Estes elementos permitem classificá-lo com um depósito aurífero do tipo *lode gold orogênico*, no sentido de Groves (1998), conforme ocorre em diversas partes do mundo, a exemplo do Lachlan Fold Belt (RAMSAY *et al.* 1998) da Austrália.

Pesquisas adicionais na região permitiram o reconhecimento de outros dois lineamentos paralelos, que também abrigam depósitos auríferos, porém de estilos distintos, denominados São Bento-Donana e Cristina (FIG. 4.2).

O Lineamento São Bento–Donana, paralelo ao Córrego do Sítio, é caracterizado pelo alinhamento de espessas camadas de formação ferrífera bandada aflorantes no Morro Donana e na Mina São Bento (FIG. 4.1). Em ambos os lineamentos ocorre mineralização aurífera hospedada em formação ferrífera bandada (FFB) ou em venulações de quartzo-carbonato-sulfeto. O lineamento da Mina São Bento não é discutido neste trabalho (FIG. 4.2).

A mineralização aurífera do Lineamento Cristina, mais a oeste, é materializada pelo alinhamento NE-SW dos depósitos Candeias e Cristina. Estas mineralizações auríferas hospedam-se na capa de lentes estreitas de FFB, com injeções de veios de quartzo-carbonato-sulfeto, em contato com rochas metassedimentares carbonosas, ao longo de zonas de cisalhamento, conforme exposto por Wilson (1999) (FIG. 4.2). Este lineamento também não é discutido neste trabalho.

Os depósitos Grota Funda, Mutuca, Lajeado e Cachorro Bravo foram objeto de dissertações de mestrado realizados por Canale (1999), David (2006) e Porto (2008), que enfocaram aspectos petrográficos, estruturais, isotópicos, geocronológicos e de alteração hidrotermal dos diques básicos, e formularam hipóteses para a gênese do minério sulfetado.

A partir de 2002, a AngloGoldashanti Brasil Mineração iniciou sondagens profundas, abaixo das cavas das minas Cachorro Bravo, Laranjeiras e Carvoaria Velha, que resultaram na descoberta adicional de minério sulfetado totalizando cerca de 12,5 milhões de toneladas de minério aurífero com teor médio de 6,65 g/t de Au (TAB.4.1).

O Depósito Aurífero Laranjeiras detém 37% do total destes recursos minerais sulfetados atribuídos ao Lineamento Aurífero Córrego do Sítio (FIG. 4.4). Recentes pesquisas avaliam a possibilidade de recuperação de antimônio como subproduto da produção aurífera.

O Lineamento Córrego do Sítio apresenta três estilos de mineralização sulfetada, tendo por base a natureza da rocha encaixante, o estilo da deformação e a paragénese dos minerais metálicos acessórios (FIG. 4.3, 4.3a e 4.4):

- Série 300 - O estilo mais importante constitui uma zona delgada e contínua dominada por um veio de quartzo *fumê* e carbonato disseminado com ouro, na forma livre ou associado à berthierita (FeSb_2S_4), arsenopirita (FeAsS), pirrotita (Fe_{1-x}S) e pirita (Fe_2S). Estes veios se hospedam próximos à capa da Unidade Intermediária (item 4.3) de metaturbiditos carbonosos logo abaixo do contato com a Unidade Superior.
- Série 200 - O segundo tipo de mineralização é formado por microvenulações de quartzo *fumê*, carbonato e disseminações de sulfetos hospedados em metapelitos carbonosos dobrados e transpostos na zona de cisalhamento da Unidade Córrego do Sítio Intermediária (item 4.3). O ouro ocorre incluso ou nas bordas de arsenopirita, pirrotita ou pirita.
- Série 100 - O terceiro tipo é constituído por veios de quartzo cinza *fumê*, carbonato e disseminações de sulfetos brechados com metagrauvas de estrutura maciça, ou com foliação incipiente da Unidade Córrego do Sítio Inferior (item 4.3). A rocha hospedeira apresenta cloritização, carbonatação, sericitização, silicificação e sulfetação. O ouro está incluso em arsenopirita, pirrotita ou pirita.

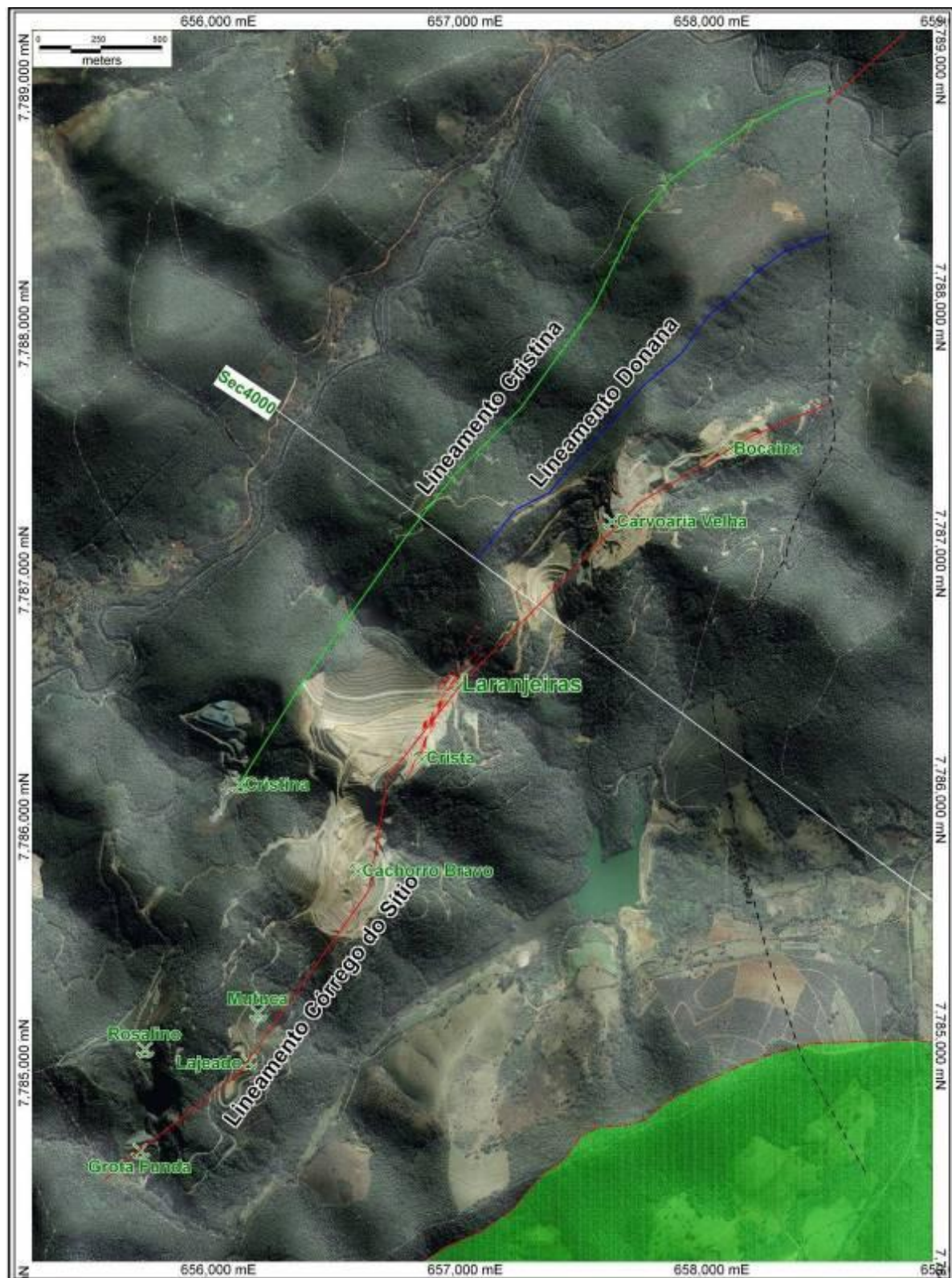


FIGURA 4.1 – Localização da cavas das minas Carvoaria Velha, Crista-Laranjeira, Cachorro Bravo, Lajeado-Mutuca, Rosalino e Grotá Funda

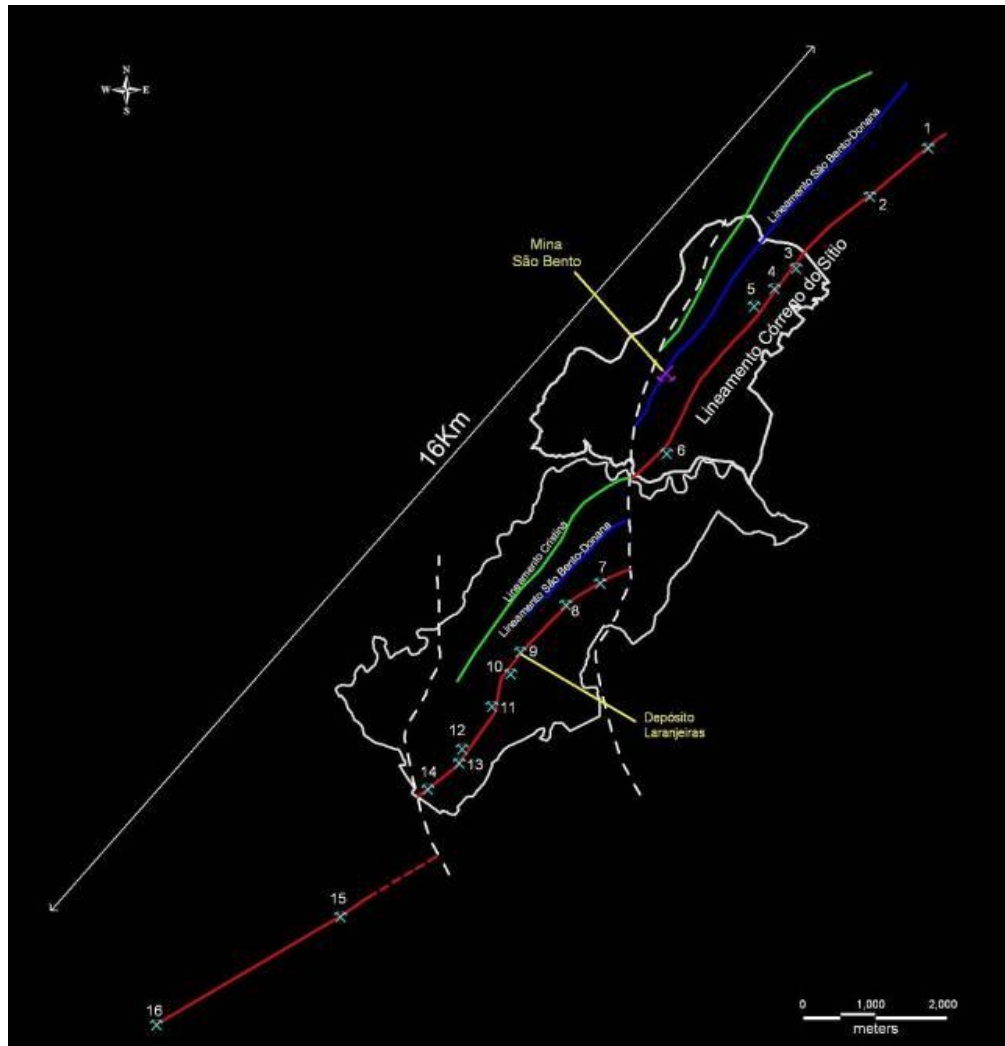


FIGURA 4.2 – Croquis do posicionamento do Lineamento Córrego do Sítio com depósitos e ocorrências auríferas alinhadas NE-SW.

Legenda dos depósitos auríferos do Lineamento Córrego do Sítio:

- 1=Santa Quitéria
- 2=Anomalia 1
- 3=Barra Feliz
- 4=Descoberta
- 5=Santana
- 6=Sangue Boi
- 7=Bocaina
- 8=Carvoaria Velha
- 9=Laranjeiras
- 10=Crista
- 11=Cachorro Bravo
- 12=Mutuca
- 13=Lajeado
- 14=Grota Funda
- 15=Saracura
- 16=Serra Redonda

TABELA 4.1
Totalização do minério (alimentado na planta metalúrgica) e ouro produzido no período de 1990 e 1998 e de 2002 a 2009.

Produção das Minas Córrego do Sítio - oxidado										
Depósitos	Fase I - Junho 1990 a Março 1998			Fase II - 2002 a dezembro/2009			TOTAL			
	Minério alimentado (t)	Teor Au g/t	Au (g)	Minério alimentado (t)	Teor Au g/t	Au (g)	Minério alimentado (t)	Teor Au g/t	Au (t)	Au (oz)*
Grota funda N	186477	2.87	535189				186477	2.87	535.19	17207
Grota funda S	162053	2.18	353276				162053	2.18	353.28	11358
Rosalino	400485	3.51	1405702				400485	3.51	1405.70	45195
Lajeado	76847	3.19	245142	22336	2.9	64688	99183	3.12	309.83	9961.4
Mutuca	41471	5.26	218137				41471	5.26	218.14	7013.4
Cachorro Bravo	564588	4.14	2337394	708196	6.04	4279220	1272784	5.2	6616.61	212732
Crista	113031	3.5	395609	85984	3.36	288860	199015	3.44	684.47	22007
Laranjeiras				381	3.26	1244	381	3.26	1.24	39.99
Carvoaria-Bocaina				583812	4.47	2606801	583812	4.47	2606.80	83812
Candeia	17679	2.65	46849				17679	2.65	46.85	1506.3
Cristina	185541	3.52	653104				185541	3.52	653.10	20998
Total ROM (t)		3.54			5.17			4.27		
Total alimentado (t)	1748172	3.18	6190402	1400410	4.71	7240812	3148582	3.86	13431.21	431830
Total recuperado (t)		2.94	5138420		3.99	5588860		3.41	10727.00	344895

* - oz = 1 onça equivalente a 31,103 gramas de Au.

4.2. HISTÓRICO DOS MAPEAMENTOS GEOLÓGICOS ANTERIORES

A partir de 1979 a Unigeo Geologia e Mineração Ltda. inicia os primeiros trabalhos de prospecção aurífera na área que o autor denomina como Lineamento Aurífero Córrego do Sítio. (FIG. 4.1) e que abriga o Depósito Laranjeiras.

Geólogos da Unigeo Geologia e Mineração Ltda. , e posteriormente da Mineração Morro Velho Ltda., detectaram anomalias geoquímicas de Au e As, atribuídas como continuidade ao sul da antiga Mineração São Bento (TAKAI *et al.*, 1991). Com o

desenrolar dos trabalhos verificou-se que se tratava na verdade de uma mineralização distinta da Mina São Bento, hospedada em FFB, pois estas anomalias associavam-se a rochas metavulcanossedimentares clásticas portadoras de densa trama de venulações de quartzo, carbonato e disseminações de ouro, sulfetos e sulfossais.

Os mapas geológicos 1: 25.000 do Projeto DNPM/USGS para as folhas Conceição do Rio Acima (SIMMONS, 1968) e Distrito de Alegria (MAXWELL, 1972) forneceram as bases para o planejamento inicial destas pesquisas (FIG. 4.2).

No âmbito do Projeto Rio das Velhas da CPRM/DNPM foram publicados relatórios e mapas geológicos das folhas Santa Bárbara (SILVA, 1996) e Conceição do Rio Acima (MALOUF & CORRÊA NETO, 1996) ambos na escala 1:50.000. Forneceram uma breve descrição de estruturas mesoscópicas e macroscópicas, e ainda propuseram uma estratigrafia regional. Estes trabalhos, no entanto, são regionais e interpretativos demais para representarem fielmente a geologia local.

Canale (1999) forneceu detalhada descrição petrográfica dos litotipos e das texturas dos minérios, além de uma breve análise estrutural com o estabelecimento da sequência temporal do desenvolvimento das foliações e lineações nas minas Cachorro Bravo, Rosalino, Mutuca e Cristina. Este trabalho não foi acompanhado por mapeamento geológico e não foram discutidas as relações entre as estruturas e a mineralização.

Wilson (1999), consultor interno da empresa, contribuiu com a descrição detalhada da geometria e dos aspectos cinemáticos das estruturas mesoscópicas, além das suas relações com a mineralização. Este relatório não foi acompanhado de mapa geológico.

Bennell (2001) elaborou um relatório com o modelamento dos principais corpos de minério conhecidos na época, com o objetivo de subsidiar a abertura da mina subterrânea.

Até o ano de 2002 os mapas geológicos disponíveis eram uma compilação heterogênea baseada em diferentes contribuições formuladas ao longo dos anos por diversos geólogos. Tais mapas, portanto, não eram mapas de afloramentos em que fosse clara a separação daquilo que eram observações de campo do que eram inferências.

Espada (2003 a, b) gerou o primeiro mapa geológico de pontos, com descrição litológica dos afloramentos e detalhou os possíveis controles estruturais responsáveis pela geometria do minério. Este trabalho desenvolveu-se nas cavas e acessos do Lineamento Córrego do Sítio, que já estavam abertos na época, a saber, Grota Funda, Mutuca, Lajeado, Rosalino, Candeias, Cristina, Cachorro Bravo, Candeias, Laranjeiras e Carvoaria (FIG. 4.2).

4.3 LITOESTRATIGRAFIA

A sequência metassedimentar do Lineamento aurífero Córrego do Sítio comumente é considerada como um pacote “monótono” (PORTO, 2008), pois seus litotipos estão intercalados na escala de afloramento e não há como separá-los em escala de mapa. Entretanto, de leste para oeste é possível subdividir a sequência em unidades mapeáveis baseando-se na proporção relativa dos diferentes litotipos.

A Unidade Córrego do Sítio, no sentido de Zucchetti & Baltazar (1998), é subdividida neste trabalho em três subunidades informais: Superior, Intermediária e Inferior (FIG. 4.3, 4.3a e 4.4 e 4.6). Esta divisão obedece ao critério da proporcionalidade relativa entre os diferentes litotipos, definida durante a descrição de testemunhos de sondagem em rocha sã, e em trabalhos de mapeamento geológico de superfície e em subsolo.

- Unidade Córrego do Sítio Superior: Predominam metagrauvas com subordinadas lentes de filitos carbonosos organizados em ciclos de Bouma incompletos, em que o acamamento apresenta granodecrescência normal ou invertida, o que pode estar relacionado a dobras ou falhas de empurrão que invertem o empilhamento estratigráfico natural (FIG. 4.3 e 4.3a).
- Unidade Córrego do Sítio Intermediária: Constitui-se predominantemente por metapelitos carbonosos caracterizados por uma xistosidade anastomosada,

densa trama de venulações quartzo-carbonáticas, de espessuras milimétricas a métricas, e por microdobramentos, localmente transpostos segundo o plano axial de dobras assimétricas. Esta unidade contém o grosso da mineralização aurífera, onde os veios de quartzo-carbonato contêm ouro, sulfetos e sulfossais disseminados. O contato superior e o inferior são bruscos.

- Unidade Córrego do Sítio Inferior: Caracteriza-se por uma espessa sequência de metapelitos carbonosos intercalados a camadas de metagrauvaca, com locais ciclos de Bouma incompletos, e que contém subordinadas camadas e lentes métricas-decamétricas de formação ferrífera bandada, com raras camadas magnéticas, e abundantes intercalações de xisto carbonoso.

Em termos estratigráficos, de leste para oeste, a área de trabalho apresenta uma faixa de rochas metassedimentares da Unidade Santa Quitéria recobrando, por contato tectônico, a Unidade Córrego do Sítio, no sentido de Zucchetti & Baltazar (1998). Esta inversão estratigráfica provavelmente ocorre devido à falha de empurrão com vergência para oeste. Separando as duas unidades ocorre um dique de rocha metabásica metamorfisada e com alteração metassomática incipiente à intermediária, com relictos de cristais de piroxênio ainda preservados (FIG. 4.3 e 4.3a).

A Unidade Santa Quitéria (QUADRO 4.1) caracteriza-se por uma sequência de rochas metassedimentares de granulação muito fina a fina, com alternância de filitos carbonosos ou não, e metassiltitos geralmente com clorita e que abriga lentes de formação ferrífera bandada fortemente magnéticas. Em lâmina delgada os filitos carbonosos e metassiltitos apresentam variadas porcentagens de quartzo, clorita, sericita, epidoto, biotita e matéria carbonosa, além de traços de opacos tais como turmalina, zircão, ilmenita, pirrotita, e calcopirita (SILVA, 1998).

Todos os litotipos do Grupo Nova Lima na região são cortados obliquamente por enxames de diques intrusivos metabásicos, com orientação geral NNE-SSW e mergulho para SE.

O autor subdivide informalmente o enxame de diques de metabásicas em três tipos diferentes, baseado em suas características macroscópicas e microscópicas,

denominando-as: metabásica incipientemente alterada com piroxênio relicto (MBpx); metabásica com alteração clorítica e carbonática (MBcl) e metabásica com alteração carbonática e muscovítica (MBcb) (FIG. 4.3 e 4.3a ,4.4) e Quadro 4.2).

Esta nomenclatura não tem nenhuma conotação cronológica ou estratigráfica e apenas reflete diferenças macroscópicas, microscópicas e quanto ao posicionamento das intrusões dos diques básicos.

Davi (2006) obteve uma idade U-Pb (SHRIMP), de 2694 ± 34 Ma em zircões extraídos de metabásica para a época de cristalização da rocha metabásica com alteração carbonática aflorante na rampa principal de acesso à lavra de subsolo. Atribuiu ainda uma idade entre 2770 e 2694 Ma para a deposição dos sedimentos. Desta forma a mineralização teria uma idade posterior a esta, admitindo-se uma origem epigenética.

O intemperismo produzido pelo clima tropical formou espesso regolito com empilhamento de solos areno-argilosos, cascalheiras lateríticas inconsolidadas e saprolitos profundos. Nas margens do Rio Conceição formaram-se espessos depósitos aluvionares inconsolidados, além de terraços de aluvião elevados com cascalheiras consolidadas por material ferruginoso coloidal. Inúmeras escavações às margens do rio e das estradas revelam a importância econômica destes trabalhos, mas não há registros do volume de ouro produzido.

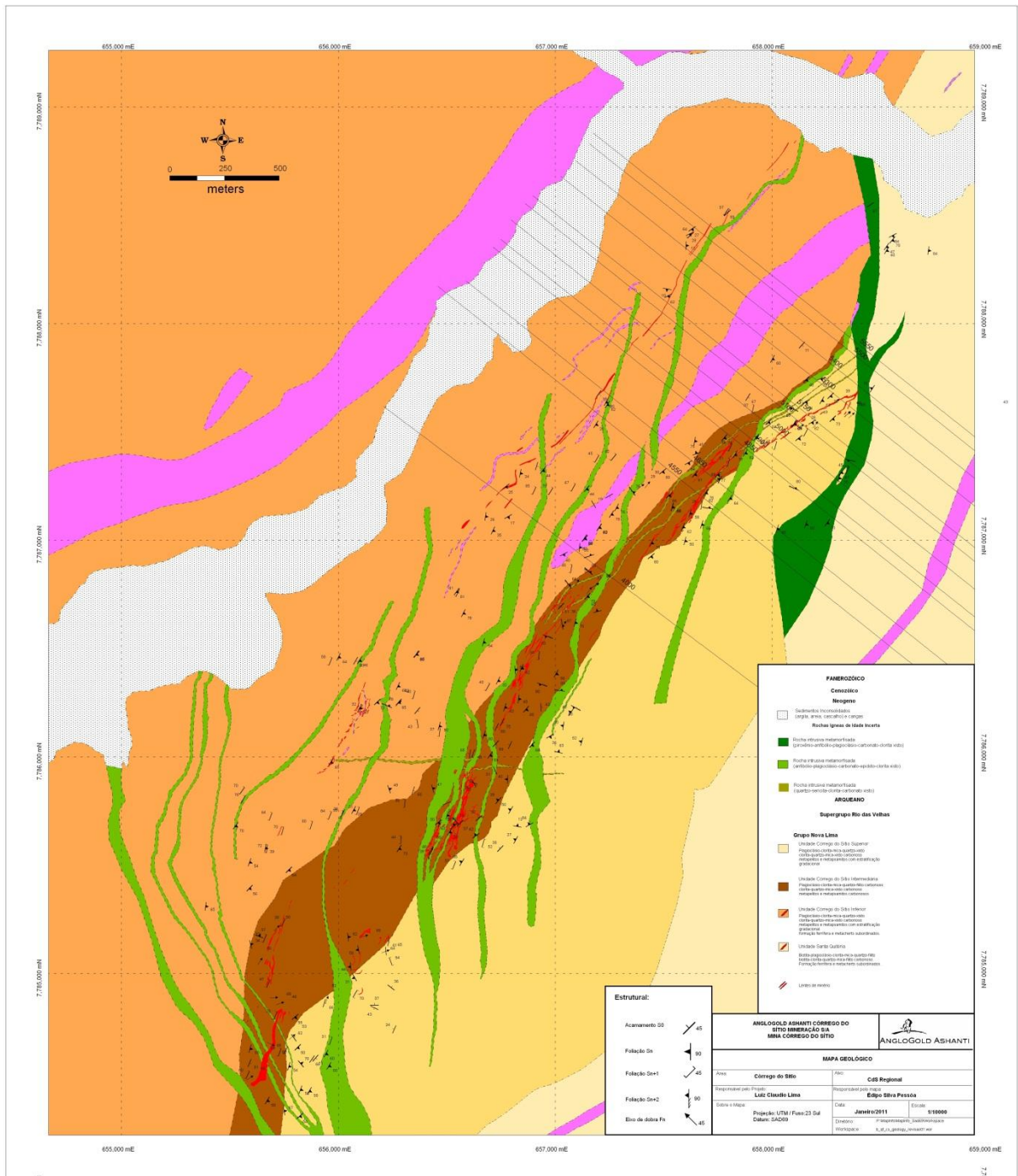


FIGURA 4.3 – Mapa geológico da porção central do Lineamento aurífero Córrego do Sítio
Fonte:Lima (2010).



FIGURA 4.3 – Legenda ao mapa geológico da FIG. 4.3

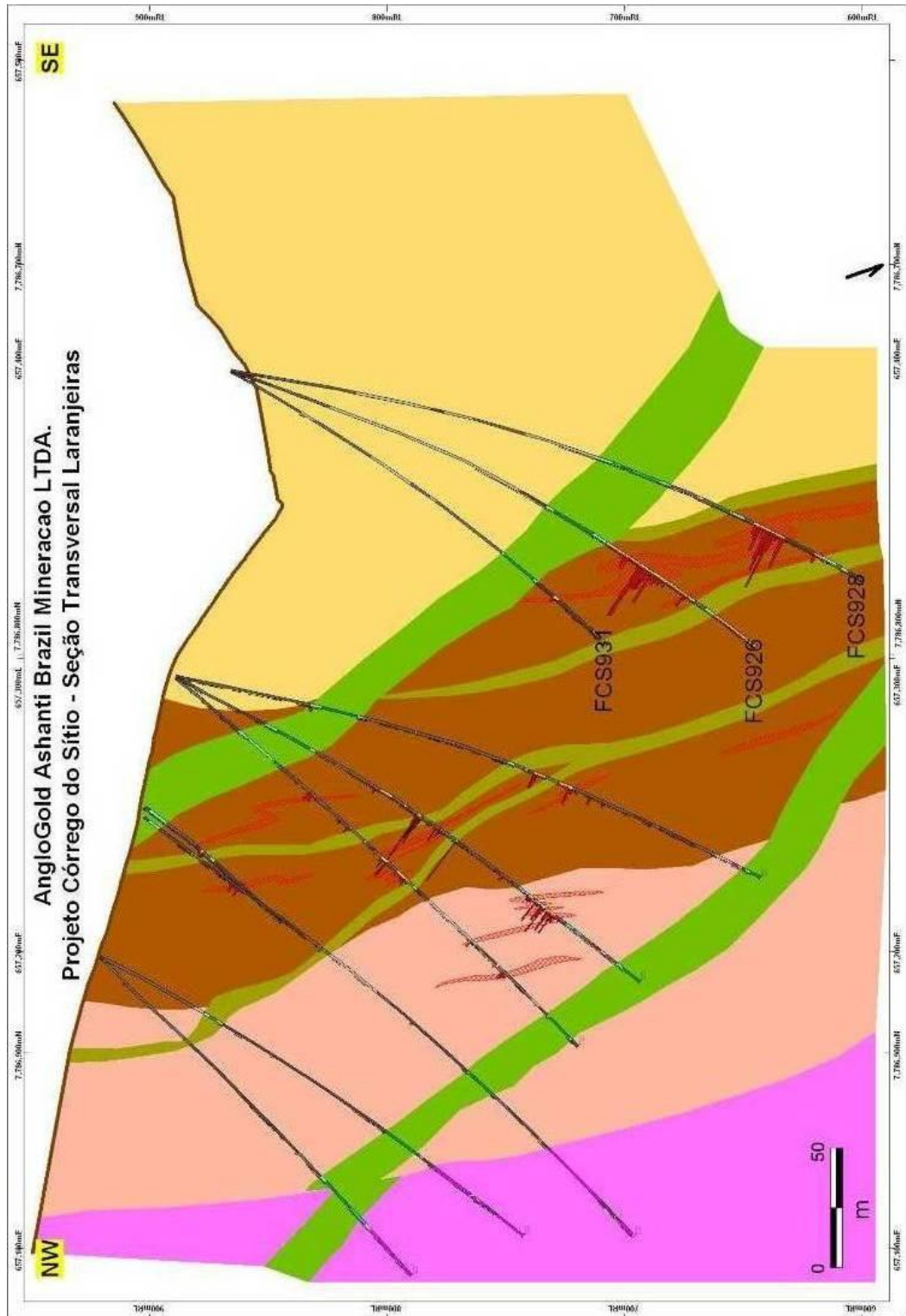


FIGURA 4.4 – Seção-tipo da Geologia do Depósito Aurífero Laranjeiras. (Seção 4000).

QUADRO 4.1
Aspectos macroscópicos das rochas do Lineamento aurífero Córrego do Sítio, em estado são e intemperizadas.

UNIDADE	SUBTIPOS / SIGLAS	DESCRIÇÃO LITOLÓGICA	ESPESSURA MÉDIA (m)	CARACTERÍSTICAS MACROSCÓPICAS DAS ROCHAS METAVULCANOSSEDIMENTARES	
				ASPECTOS GERAIS	ASPECTOS DO SAPROLITO
UNIDADE CÓRREGO DO SÍTIO	SUPERIOR	Metagrauvascas intercaladas com subordinadas lentes de metapelitos carbonosos e sericíticos	(?)	-Predomínio de metagrauvascas espessas com estratos com granodecrescência em direção ao topo até metapelitos carbonosos; -Venulações de quartzo e carbonato são raras.	-Variados tons de cinza, amarelo e vermelho; -Refração da clivagem de crenulação nas camadas mais arenosas, -Localmente há fragmentos de xisto carbonoso estirados na xistosidade.
	INTERMEDIÁRIA	Metapelitos carbonosos intercalados com subordinadas lentes de metagrauvascas	80 a 120	-Predomínio de metapelitos carbonosos intercalados com subordinadas lentes e camadas de metagrauvasca. -Venulações mili-centimétricas de quartzo e carbonato; -Veios de quartzo com sulfetos e sulfossais de espessuras variável de milímetros a metros. -Veios paralelos ou oblíquos a xistosidade -Dobras apertadas, isoclinais e localmente transpostas; -Zonas de cisalhamento e foliações miloníticas.	-Tons de vermelho, castanho, púrpura e marrom; -Cor variável do cinza claro ao preto. -Granulação fina a média; -Clivagem de crenulação muito penetrativa e grande fissibilidade -Grande abundância de vênulas de quartzo e carbonato.
	INFERIOR	Metapelitos carbonosos intercalados com lentes de metagrauvascas	(?)	-Alternância de camadas decimétricas de metapelitos carbonosos com metagrauvascas de granulação média a grossa. -Ciclos de Bouma incompletos preservados.	-Metapelitos carbonosos quando intemperizados apresentam tons de vermelho a marrom intercalado com camadas arenosas amarelas.
			Formação ferrífera bandada		-Formação ferrífera bandada heterogênea alternando faixas decamétricas magnéticas com bandas não magnéticas onde predominam bandas claras de chert, carbonato ou silicatos (clorita, grunerita-cumingtonita, estilpnomelano) e bandas de filito carbonoso.
UNIDADE SANTA QUITÉRIA	INDIVISO	Metapelitos carbonosos, sericíticos e cloríticos	(?)	-Metapelitos carbonosos, sericíticos e cloríticos; -Dobras apertadas e transpostas; -Deposição de matéria carbonosa em plano axial; -Biotita em palhetas marrons; -Camadas decamétricas homogêneas e sem intercalações.	-Tons de marrom e amarelo; -Granulação muito fina a fina. -Xistosidade penetrativa e milonítica;
		Formação ferrífera bandada		-Forte magnetismo -Aflora no topo da principal elevação do Distrito de Sumidouro, margem direita do Córrego do Sítio.	-Rocha com alternância de lâminas claras, mili-centimétrica, de quartzo sacaroidal fino a médio (<i>chert</i>) e lâminas escuras com magnetita e micas.

QUADRO 4.2
Aspectos macroscópicos das rochas do Lineamento aurífero Córrego do Sítio,
em estado são e intemperizadas.

UNIDADE	SUBTIPOS / SIGLAS	DESCRIÇÃO LITOLÓGICA	ESPESSURA MÉDIA (m)	CARACTERÍSTICAS MACROSCÓPICAS DAS ROCHAS METAVULCANOSSEDIMENTARES	
				CARACTERÍSTICAS GERAIS	CARACTERÍSTICAS DO SAPROLITO
ROCHAS METABÁSICAS	MBpx (DB4)	Metabásica com alteração incipiente, com relictos de piroxênio	60 a 100	<ul style="list-style-type: none"> -Intrusão espessa; -Associada com falhas responsáveis por deslocamentos quilométricos dos contatos; -Nas porções nordeste e sudoeste, -Interrompe a Unidade Córrego do Sítio e a mineralização aurífera; -Não apresenta clivagem de crenulação Sn+1 	<ul style="list-style-type: none"> -Variados tons de verde verde, amarelo e ocre e marrom; -Porfiroclastos de feldspato potássico caolinizado com 1 a 10 cm de diâmetro alongados e orientados segundo a direção do contato cisalhado.
	MBcl (DB1)	Metabásica com alteração intermediária clorítica e carbonática-	10 a 40	<ul style="list-style-type: none"> -Intrusões de espessuras intermediárias; -Foliação nas bordas e porções centrais maciças ou com incipiente xistosidade; -Corpos zonados com diferenças mineralógicas, texturais e petrográficas entre as porções centrais e da borda das intrusões; -Alteração metassomática nas bordas e nas rochas metassedimentares encaixantes; -Posicionadas em zonas de falhas com deslocamento decamétrico sinistral. -Cortam zonas em que a mineralização está boudinada. -Apresenta clivagem de crenulação Sn+1 	<ul style="list-style-type: none"> -Variados tons de verde, amarelo e ocre e marrom; -Nas porções centrais mais maciças a alteração supergênica desenvolve esfoliação esferoidal.
	MBcb (DB2/3)	Metabásicas com alteração carbonática e muscovítica profunda	0,1 a 7	<ul style="list-style-type: none"> -Intrusões mais delgadas que as demais; -Ocorrem em enxames e localmente em direções radiais; -Falhas E-W cortam e deslocam seus contatos; -Não zonadas do centro para a borda; -Rocha maciça ou com incipiente xistosidade; -Cristais de carbonato euédricos dispersos em toda a rocha; -Vugs preenchidas por quartzo, carbonato, sulfetos e sulfossais euédricos. . -Apresenta, localmente, clivagem de crenulação Sn+1 	<ul style="list-style-type: none"> -Relictos de cristais de carbonato oxidados com 1 a 7 mm, preenchidos por óxidos de ferro.

4.3.1 Unidade Santa Quitéria

A Unidade Santa Quitéria (ZUCCHETTI e BALTAZAR, 1998) aflora no extremo nordeste da área, mas não faz contato com a Unidade Córrego do Sítio por estar desta separada pela instalação de espesso dique de metabásica com piroxênio (MBpx) e veios de quartzo cisalhados (FIG. 4.10).

No local, a rocha mostra-se bastante intemperizada, apresentando alternância de bandas centi-decimétricas de cor cinza clara e marrom. O bandamento é acompanhado por uma foliação milonítica anastomosada e por uma segunda xistosidade oblíqua.

Em testemunhos de sondagem foram caracterizadas como rochas xistosas muito finas, alternando camadas decamétricas de metapelitos carbonosos e metassiltitos constituídos por quantidades variáveis de albita, epidoto, biotita, quartzo, sericita, clorita e minerais opacos (FIG. 4.6).

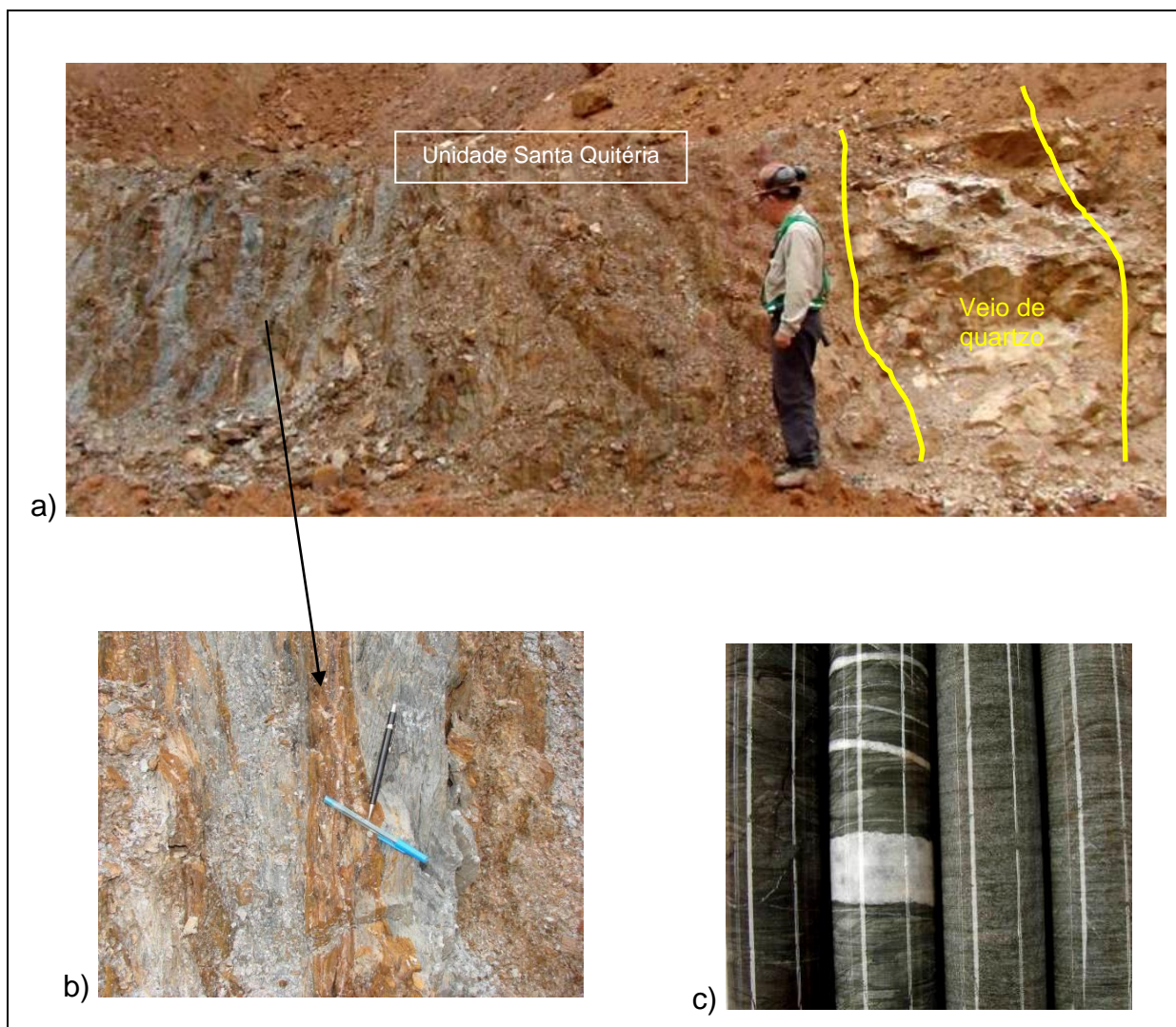


FIGURA 4.5 –

- a) Afloramento da Unidade Santa Quitéria na Cava céu-aberto Bocaina, cortada por veio de quartzo à direita;
- b) Detalhe da fotografia anterior com caneta indicando sentidos das foliações oblíquas;
- c) Testemunho de sondagem do furo FCS906 (207 m) com intervalo de biotita-albita-epidoto-carbonato-clorita-quartzo-sericita xisto da Unidade Santa Quitéria.

Microscopicamente são rochas heterogêneas de granulação fina e textura granoblástica à lepidoblástica. Um bandamento composicional dobrado e/ou transposto, é notável em porções da rocha (FIG 4.6).

Os planos de transposição da xistosidade são marcados pela deposição de matéria carbonosa.

Onde bandada, exibe lâminas de espessura milimétrica ricas em sericita verde, de composição não determinada, acompanhadas por pequenas quantidades de

quartzo, carbonato, plagioclásio, epidoto, clorita, biotita e titanita alternadas com lâminas granoblásticas ricas em quartzo, carbonato e clorita.

Biotita ocorre como relictos no centro de palhetas de clorita, ocorrendo apenas nesta unidade e não na Unidade Córrego do Sítio (FIG 4.6 C).

Ilmenita, turmalina, zircão e epidoto ocorrem subordinadamente em todas as bandas.

Dentre os sulfetos descrevem-se traços de pirrotita, calcopirita, esfalerita e galena que formam cristais finos subédricos, disseminados em toda a rocha.

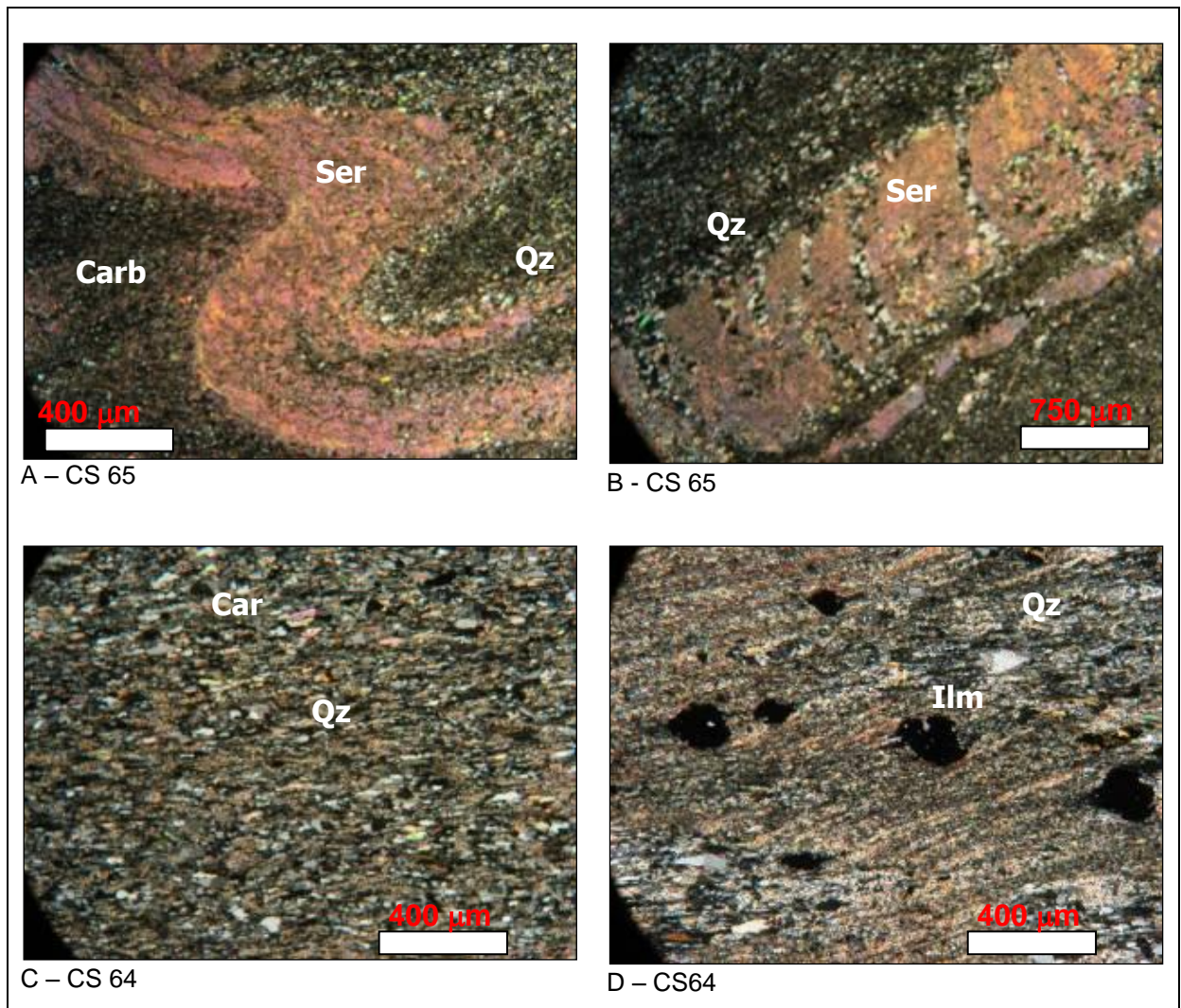


FIGURA 4.6 –

- A-CS 65 – Banda sericítica dobrada. Luz transmitida, nicóis cruzados (25X);
 B-CS 65 – Banda sericítica cortada por inúmeras vênulas de quartzo±carbonato. Luz transmitida, nicóis cruzados (25X).
 C CS 64 – Finos cristais granoblásticos de quartzo e carbonato, com biotita e sericita (pleocroísmo verde) orientadas. Luz transmitida, nicóis cruzados (50X).
 D – Amostra CS 64 – Cristais subarredondados, poiquiloblásticos e discretamente rotacionados de ilmenita em banda micácea. Luz transmitida, nicóis descruzados (100X).

4.3.2 Unidade Córrego do Sítio Inferior

A Unidade Córrego do Sítio Inferior correlaciona-se com as unidades informais da Mina São Bento (MARTINS PEREIRA, 1995), entre elas a formação Carrapato, formação carbonosa basal, e a formação ferrífera São Bento, localizada a nordeste da Mina Córrego do Sítio (QUADRO 4.2).

A Unidade Córrego do Sítio Inferior tem espessura estimada em cerca de 1000 metros e caracteriza-se pelas intercalações de metagrauvas com metapelitos carbonosos e sericíticos, e que abrigam camadas de rochas de origem clástico-química, tais como formações ferríferas bandadas, com magnetita, *chert*, carbonato, silicatos e intercalações de filito carbonoso.

As rochas clásticas caracterizam-se pela alternância decimétrica à métrica de metagrauvas finas a médias, com xistos e filitos muito carbonosos. O acamamento sedimentar está localmente preservado na forma de ciclos de Bouma incompletos que possuem sentido normal e invertido, feições estas interpretadas como devido à presença de dobras fechadas a isoclinais.

Em termos gerais, apresenta uma foliação principal entre N30°E e N45°E, e caimento de 60° a 75° para sudeste (QUADRO 4.1). As rochas metassedimentares são rochas foliadas com alternância aleatória entre lentes e camadas de filitos e xistos carbonosos com subordinadas lentes de metagrauvas.

Estas rochas apresentam mineralização onde ocorrem intercalações milimétricas a centimétricas de veios e venulações de quartzo e carbonato, subparalelizadas à xistosidade. Há formação de sericita nas encaixantes e disseminações principalmente de arsenopirita e pirrotita, com subordinadas quantidades de pirita, bertierita, calcopirita e esfalerita.

Os tipos metassedimentares de origem clástica contemplam as mesmas litologias descritas na unidade Córrego do Sítio Superior, acrescida das formações ferríferas, com alternância rítmica entre metapsamitos e metapelitos com espessuras milimétricas a métricas (RPP) (FIG. 4.8).

- Metapelitos pretos, cinza escuros a marrons que sujam os dedos, descritos como filitos carbonosos (RP) e que contém quantidades variáveis de clorita e sericita.
- Metapelitos cinzentos mais sericíticos e pobres em material carbonoso (RP), mas que localmente podem apresentar cor verde pálida devido ao aumento na proporção de clorita ou de muscovita esverdeada.
- Metapsamitos, classificados como metagrauvas (MG), em camadas maciças de espessuras milimétricas a métricas intercaladas com camadas e lentes de filitos carbonosos e sericíticos. Sequências de Bouma incompletas, granodecrescência e contatos inferiores erosivos são frequentemente reportados tanto em afloramentos quanto em testemunhos de sondagem.
- As rochas de origem clástico-químicas são formações ferríferas bandadas heterogêneas, em termos composicionais. Caracterizam-se por sucessões de níveis milimétricos a centimétricos (entre 0,1 e 10 centímetros), de bandas claras constituídas principalmente por quartzo e carbonatos (ankerita e siderita), alternadas com bandas escuras constituídas por quantidades muito variáveis de magnetita, stilpnomelano, clorita, sericita e matéria carbonosa (FIG. 4.9). As formações ferríferas apresentam variações composicionais, provavelmente relacionadas a variações faciológicas, representadas por intercalações decimétricas a métricas de xistos carbonosos, xistos cloríticos, *metachert* e dolomitos silicosos (FIG. 4.7). São encontrados veios de quartzo e carbonato com ouro e sulfetos (pirita, pirrotita e arsenopirita) em escalas não econômicas.

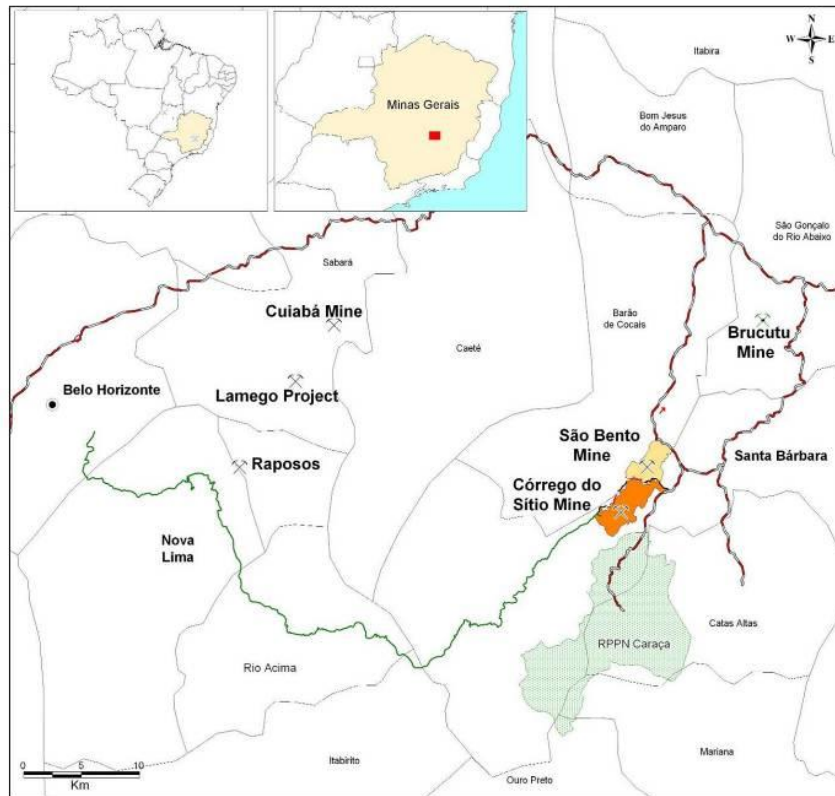


FIGURA. 4.7 – Mapa de localização da Mina São Bento em relação à área da Mina Córrego do Sítio.

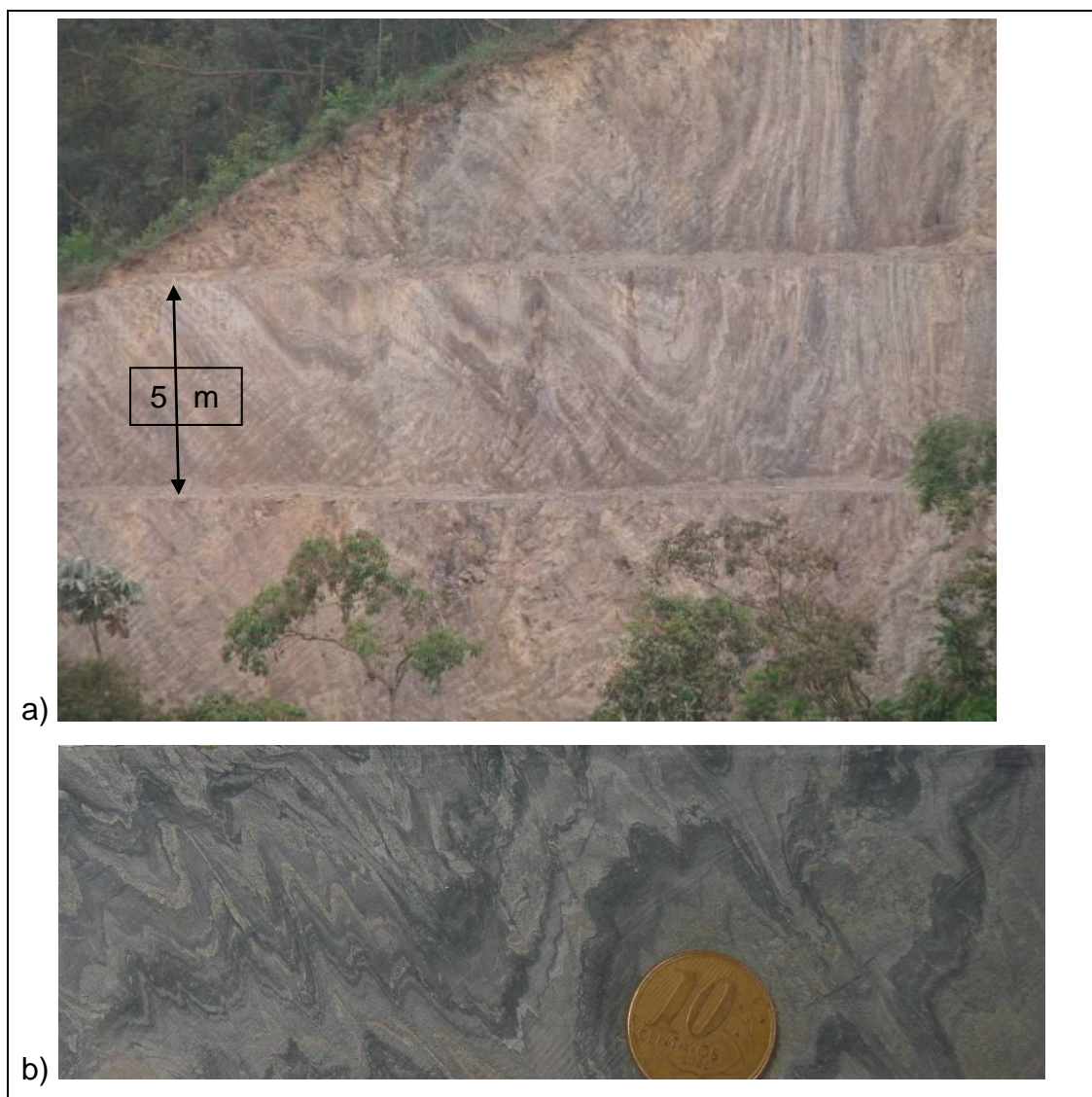


FIGURA 4.8 –

a) Fotografia de corte E-W da Mina Crista com afloramento de xistos carbonosos intercalados com xistos sericíticos e metagrauvascas da porção inferior da Unidade Córrego do Sítio. Notar dobras assimétricas com vergência para oeste, com vista para norte. Escala aproximada com taludes de 5 m de altura.

b) Fotografia de testemunho de sondagem do FCS1107, intervalo 348,20 m, com filito quartzo-sericítico carbonoso com microdobras parasíticas assimétricas.

As rochas englobadas no pacote de formação ferrífera bandada (FFB) Donana (FIG. 4.9) apresentam-se como um conjunto heterogêneo, que inclui:

- Formação ferrífera bandada, magnética, *sensu-stricto*, no sentido de James (1948), contendo quantidades variáveis de estilpnomelano, grunerita-cummingtonita e clorita;
- Bandas métricas intercaladas de carbonato e *metachert*, bandado ou não;
- Lâminas e bandas de clorita xisto;
- Lâminas e bandas de filito carbonoso.

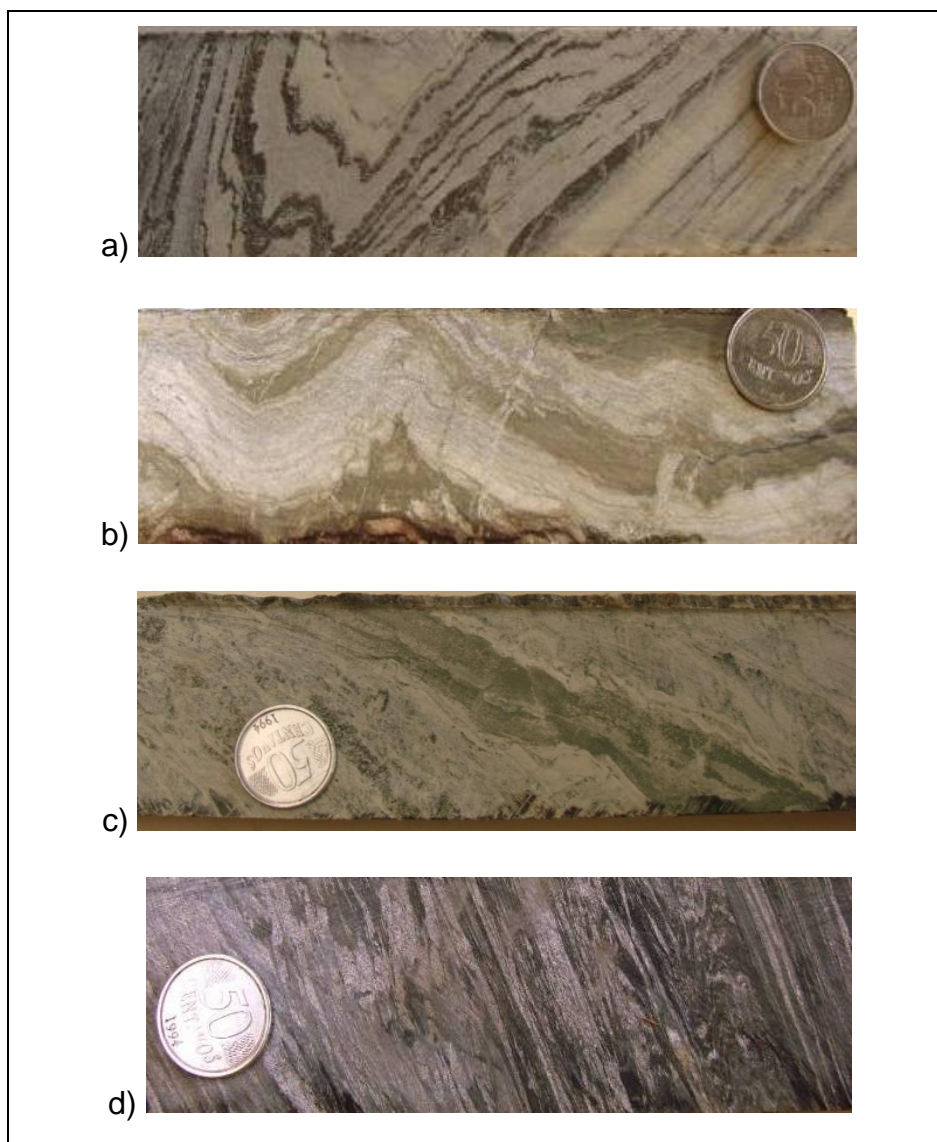


FIGURA 4.9 –

- a) Formação ferrífera bandada, magnética, com lâminas milimétricas a centimétricas ricas em magnetita intercaladas com camadas constituídas por *chert*, carbonato, grunerita, stilpnomelano e clorita;
- b) Formação ferrífera bandada, carbonática, com intercalação mili-centimétrica de camadas de carbonato “sujo”, com matéria carbonosa, e camadas de *chert*, não magnética.
- c) Lâminas de clorita xisto intercalada com a formação ferrífera bandada
- d) Filitos carbonosos dobrados e transpostos

Nas formações ferríferas bandadas, a magnetita é o opaco dominante e ocorre como finos cristais subédricos a anédricos em faixas com carbonato e ainda como cristais anédricos de até 4 mm, rotacionados e oblíquos ao bandamento. (FIG. 4.10 e 4.11). Os cristais de quartzo são finos, em média 0,08 mm, granoblásticos, e exibem extinção ondulante e contatos poligonizados. Localmente cristais mais grossos, de

até 2,0 mm, possuem as bordas lobadas. Há bandas em que o quartzo ocorre junto com carbonato em cristais muito finos, entre 0,01 e 0,08 mm. (FIG. 4.10 A, B, C, D). A granulação fina e a recristalização do quartzo sugerem tratar-se de *metachert*.

Carbonato laranja, resultado de parcial oxidação, ocorre como cristais finos, límpidos ou manchados, associados com blastos de magnetita, provavelmente trata-se de carbonato rico em ferro, do tipo ankerita.

Carbonato de provável origem hidrotermal, em geral mais grosso que o anterior, associa-se ao quartzo em vênulas contínuas e descontínuas, e que por vezes cortam o bandamento. Localmente quartzo e carbonato estão cristalizados em “pente”. Estes cristais subidioblásticos de carbonato com tamanhos entre 0,2 e 0,8 mm sobrecrescem aos cristais de quartzo. Estas vênulas quartzo-carbonáticas podem estar dobradas (FIG. 4.10 e 4.11). Carbonato ocorre ainda como cristais euédricos, límpidos, de provável composição cálcica, com granulação média, de até 0,3 mm, sendo esta também de provável de origem hidrotermal, pois em geral envolve os cristais anédricos, mais antigos, de quartzo e carbonato.

Raras palhetas de clorita, com cor de interferência roxa e de composição rica em ferro, formam filetes alongados poiquiloblásticos com inclusões de magnetita e quartzo ou preenchem fraturas em blastos de magnetita. Localmente há bandas constituídas essencialmente por clorita em associação com carbonato e quartzo granoblásticos. A clorita nestas bandas apresenta-se pintalgada por cristais subédricos a euédricos de ilmenita. Localmente ocorre ainda clorita fibro-radial, no núcleo de pirrotita.

Estilpnomelano ocorre como agulhas de até 2 mm de comprimento, com média de 1,2 mm, exibindo pleocroísmo verde-marrom em orientação randômica e textura decussada. Localmente os cristais de magnetita parecem sobrecrescê-lo, mas em outros pontos esta relação não é óbvia. Estilpnomelano forma ainda agregados em faixas em formato de veios, juntamente com carbonato e quartzo (FIG. 4.11), sugerindo origem hidrotermal.

Muscovita é rara e ocorre associada a vênulas quartzo-carbonáticas na forma de palhetas orientadas na foliação e bordejando opacos.

A pirrotita é o sulfeto predominante e ocorre em agregados de cristais finos, média de 0,2 mm, que ocasionalmente apresenta-se como pseudomorfo de magnetita. A pirrotita ocorre ainda em cristais anédricos alongados segundo a foliação, em cristais em média maiores que 0,2 mm (FIG. 4.10 e 4.11).

A calcopirita é rara e ocorre em cristais finos, subédricos a anédricos, e localmente sobrecresce nas bordas da pirrotita. Em geral, a calcopirita mostra relações de equilíbrio textural com a pirrotita.

Arsenopirita forma cristais subédricos com tamanho médio de 0,30 mm, e que sobrecresce à custa da pirrotita, substituição esta iniciada a partir das bordas destes cristais.

A pirita ocorre em cristais anédricos a subédricos. Pirita ocorre com o agregado alongado e/ou dobrado formado por cristais, de até 0,6 mm, subédricos a anédricos, bordejados por franja de quartzo muito fino. Pirita em hábito euédrico de hábito cúbico é rara.

Ilmenita e titanita são raras e ocorrem em finos cristais anédricos dispersos por partes da rocha.

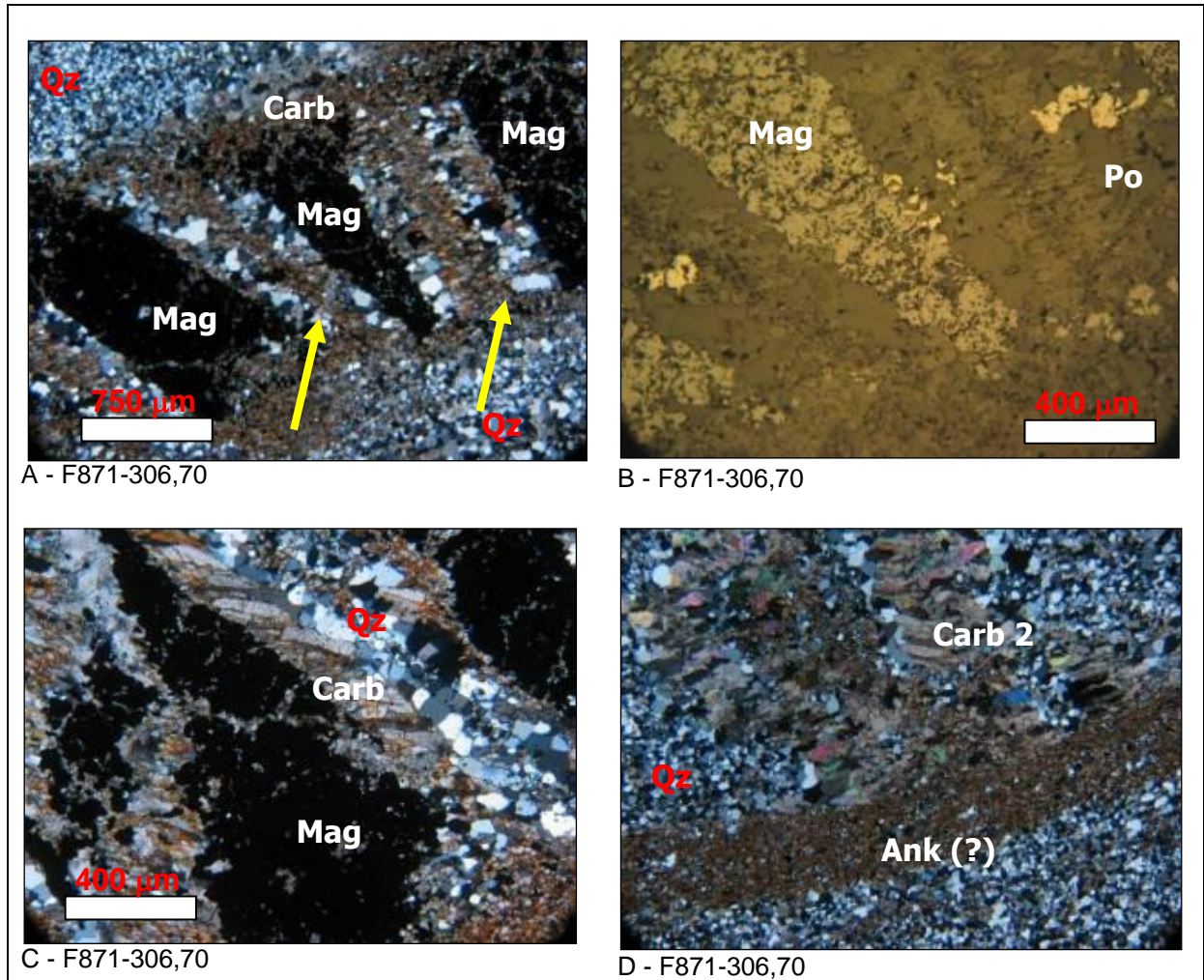


FIGURA 4.10 – Fotomicrografia

- a) F871-P306,70 – Faixa composta por blastos de magnetita rotacionados, cortada por vênulas de carbonato e quartzo cristalizados em “pente”(setas);
- b) F871-P306,70 – Detalhe mostrando blastos de magnetita e finos cristais de pirrotita, além de rara calcopirita. Luz refletida , nicóis descruzados (50X);
- c) F871-P306,70 – Carbonato exibindo textura em pente em borda de cristal de magnetita. Quartzo é granoblástico. Luz transmitida, nicóis cruzados (50X);
- d) F871-306,70 – Faixa com predomínio de cristais finos de carbonato manchados (provável ankerita), e carbonato mais grosso com textura em pente em veios. Luz transmitida, nicóis cruzados e luz refletida (25X).

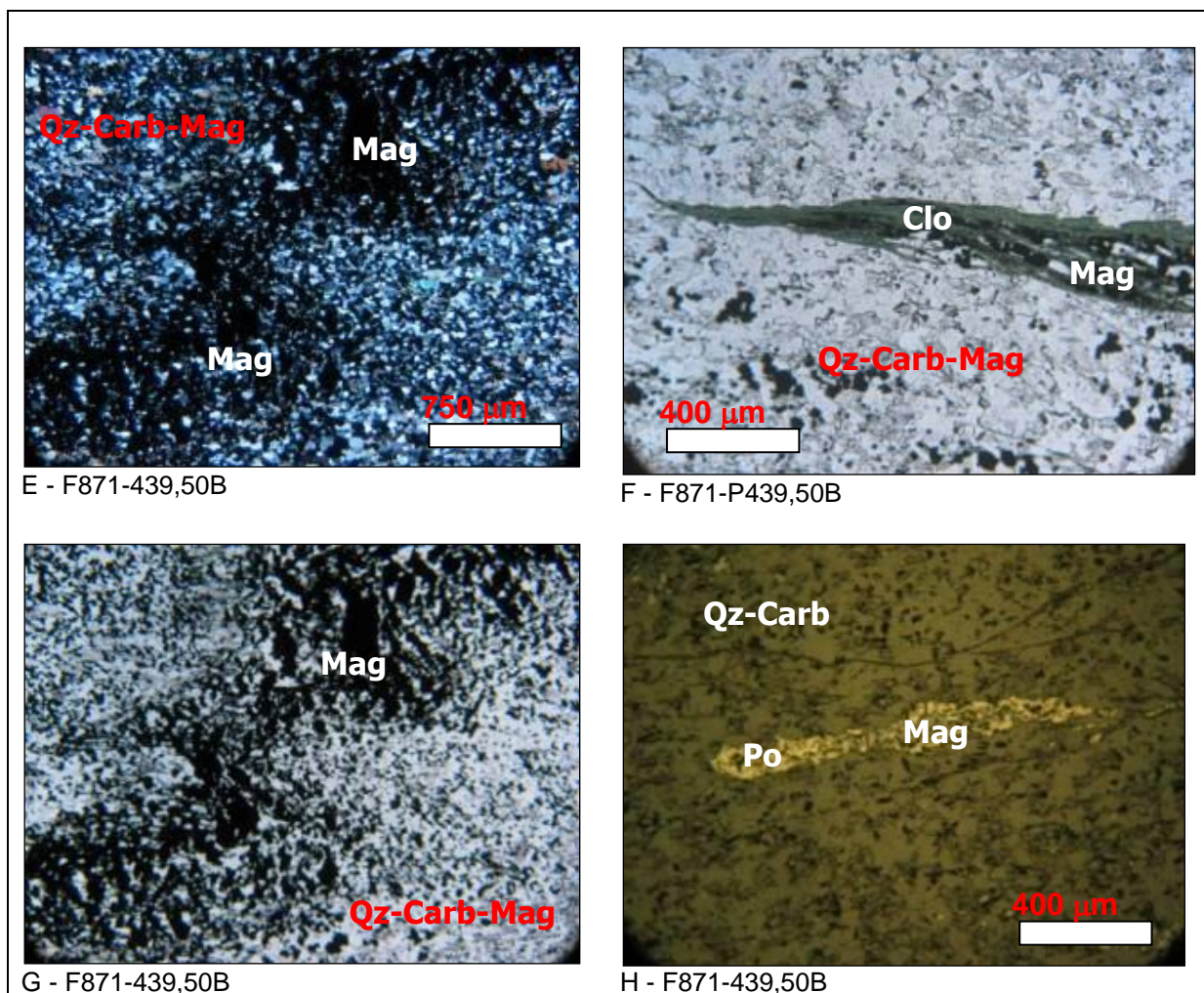


FIGURA 4.11 – Fotomicrografia

- e) F871-P439,50B – Magnetita finamente dispersa em faixa dobrada juntamente com quartzo e carbonato finos. Luz transmitida, nicóis cruzados (25X);
- f) F871-P439,50B – Faixa de clorita pintalgada por finos cristais de magnetita. Luz transmitida, nicóis cruzados (50X);
- g) F871-439,50B – Magnetita finamente dispersa em faixa dobrada juntamente com quartzo e carbonato finos. Luz transmitida, nicóis descruzados (25X);
- h) F871-439,50B – Relictos de magnetita em meio a pirrotita. Luz transmitida, nicóis cruzados e luz refletida (50X).

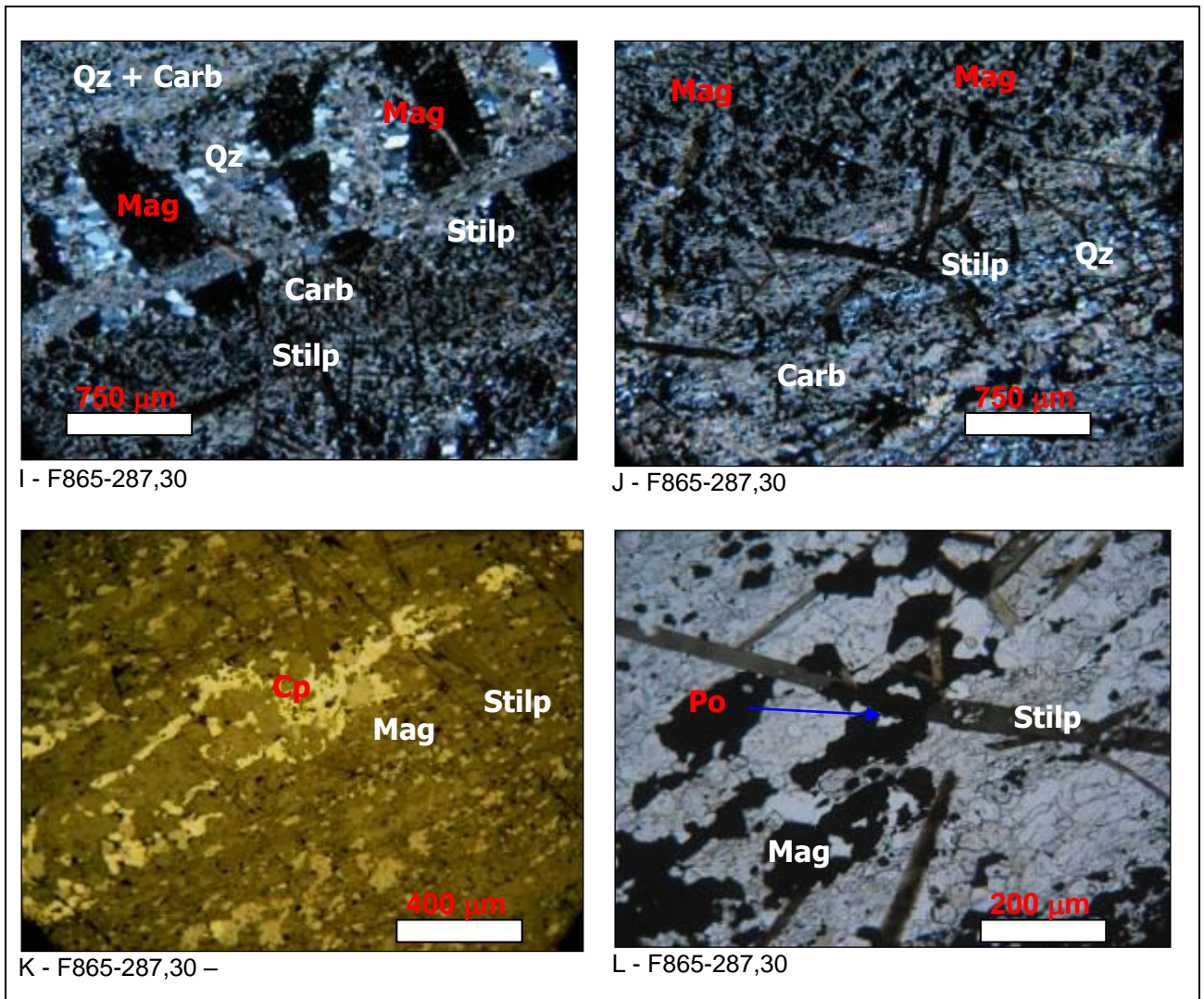


FIGURA 4.12 – Fotomicrografia

I - F865-287,30 – Banda de magnetita com blastos rotacionados e atravessados por veios em pente com carbonato e quartzo finos. Luz transmitida, nicóis cruzados;

J -F865-P287,30 – Agulhas de estilpnomelano, não orientados, sobrecrescidos em banda composta por quartzo,carbonato e magnetita finos, Luz transmitida, nicóis cruzados (25X);

K - F865-287,30 – Faixa com cristais de pirrotita e calcopirita, associados a magnetita. Luz refletida (50X);

L - F865-287,30 – Estilpnomelano atravessado por magnetita - pirrotita e também atravessando cristais de calcopirita (seta azul). Luz transmitida, nicóis descruzados (100X).

QUADRO 4.3
Síntese das características mineralógicas das rochas da
Unidade Córrego do Sítio Inferior

TIPO LITOLÓGICO (CÓDIGOS)	MINERALOGIA EM LÂMINA		PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DAS ROCHAS, QUANDO NÃO INTEMPERIZADAS
	ESSENCIAIS	ACESSÓRIOS	
Metagrauvaca (MG ou RPP)	-Quartzo -Albita -Sericita -Clorita -Carbonato	-Zircão -Matéria carbonosa -Pirita -Pirrotita -Calcopirita	-Cor cinza claro a cinza pálido. -Nas bordas de metabásicas podem ser cinza pálido a verde pálido; -Granulação fina a grossa; -Maciça a incipientemente foliada; -Lentes e camadas milimétricas a métricas; intercaladas com lâminas de metapelitos carbonosos em granodecrescência em direção ao topo do estrato; -Ciclos de Bouma incompletos; -Lentes e camadas em contato erosivo na base; -Fragmentos de filitos estirados na xistosidade; -Clivagens de crenulação ausentes ou muito pouco penetrativas. -Clivagem de fratura pouco desenvolvida. -Venulações de quartzo e carbonato milimétricas -Micro e macro dobras abertas a fechadas
Metapelitos carbonosos (RPP, RP, XG)	-Sericita -Clorita -Quartzo -Matéria carbonosa -Carbonato -Plagioclásio	-Zircão -Pirita -Pirrotita -Calcopirita	-Cor cinza fosco, cinza escuro e preto. -Nas bordas de metabásicas podem ser cinza pálido a verde pálido; -Granulação fina a média; -Foliação penetrativa e marcante fissibilidade; -Lentes e camadas milimétricas a métricas; intercaladas com subordinadas lentes ou camadas de metagrauvacas; -Ocorrem no topo de estratos caracterizados como Ciclos de Bouma incompletos; -Fragmentos de filitos estirados na xistosidade; -Clivagens de crenulação penetrativas; -Clivagens de fratura penetrativas; -Venulações de quartzo e carbonato milimétricas; -Micro e macro dobras abertas a fechadas.
Formação ferrífera bandada (FFB)	-Magnetita -Quartzo (chert) -Carbonato (siderita, ankerita, calcita férrica)	-Pirita -Pirrotita -Calcopirita	-Cor cinza e preto; -Nas bordas de metabásicas podem ser cinza pálido a verde pálido; -Granulação média a grossa; -Bandamento; -Lentes e camadas métricas a decamétricas; intercaladas com subordinadas lentes ou camadas de metachert; bandados com silicatos verde ou metapelitos carbonosos; -Venulações de quartzo e carbonato milimétricas; -Micro e macro dobras abertas a fechadas.
Metachert intercalada com bandas de carbonatos e silicatos (MCH)	-Carbonato -Clorita -Estilpno-melano -Grunerita -Quartzo (chert)	-Pirita -Pirrotita -Calcopirita	-Cor verde claro a escuro; -Granulação fina a grossa; -Bandamento e xistosidade plano axial; -Rocha não magnética; -Venulações de quartzo e carbonato milimétricas a métricas; -Micro e macro dobras abertas a fechadas.
Metachert bandada com carbonato e quartzo-clorita-sericita xisto carbonoso (MCHC)	-Quartzo (chert) -Sericita -Quartzo -Carbonato -Matéria carbonosa	-Pirita -Pirrotita -Calcopirita	-Cor cinza claro a escuro e bege; -Granulação fina a média; -Bandamento e xistosidade plano axial; -Rocha não magnética; -Venulações quartzo-carbonáticas mili-centimétricas; -Micro e macro-dobras abertas a fechadas.

4.3.3 Unidade Córrego do Sítio – Intermediária

A subunidade intermediária ocupa um corredor que se estende por todo Lineamento Aurífero Córrego do Sítio (FIG. 4.3) na forma de um arco, em que na parte sudoeste a atitude situa-se entre N20°E e N35°E, e no extremo nordeste, a direção muda para algo entre N35°E à N45°E. O caimento, em geral, varia de 55° a 75° para sudeste e a espessura real situa-se entre 90 e 110 metros.

A Unidade Córrego do Sítio Intermediária distingue-se das demais pelas seguintes características:

- Predomínio das camadas de metapelitos carbonosos em relação às de metagrauvas;
- Apresenta uma foliação milonítica dentro de uma zona de cisalhamento que se torna indistinguível da foliação regional das rochas encaixantes. Não é claro se estas duas foliações são contemporâneas e cogenéticas. Elas podem ser interpretadas como uma única estrutura híbrida com forte componente de cisalhamento dentro do milonito, e predominantemente suavizada em outros lugares. Em escala quilométrica esta zona de cisalhamento é semi-concordante com os contatos das unidades litológicas mapeadas e com as atitudes de acamamento e foliação;
- Hospeda a maior parte da mineralização do Lineamento Aurífero Córrego do Sítio.

Este corredor, portanto, apresenta grande heterogeneidade estrutural, marcada pela transição de dobras (Fn) apertadas, cilíndricas, assimétricas e desarmônicas, com cisalhamento em alto ângulo, e que variam até dobras isoclinais sem cisalhamento, o que localmente origina um bandamento milonítico que inclui filitos e metagrauvas mais ou menos deformadas e cisalhadas.

A deformação no entorno dos milonitos diminui concentricamente, variando de rochas protomiloníticas até filitos e metagrauvas pouco deformadas, em questão de dezenas de centímetros ou decímetros.

Estas faixas miloníticas de espessuras variáveis se estabelecem preferencialmente nas porções mais pelíticas da sequência mevolcanossedimentar, onde predominam pirita-quartzo-clorita-sericita-xistos carbonosos que cumulativamente hospedam lentes e *boudins* anastomosados de quartzo, carbonato e pirita grossa.

Os milonitos são reconhecidos pelo tamanho diminuto dos cristais e pela formação de planos retos e finos que definem uma foliação milonítica responsável por uma grande fissibilidade da rocha.

As mineralizações mais ricas (>5 g/t Au) residem nas faixas miloníticas mais espessas (3 a 5 m) que abrigam maior quantidade de,ou mais espessas, lentes e *boudins* de quartzo, carbonato, sulfetos e sulfossais.

Segmentos com um grande número de finas zonas miloníticas (1 a 2 m) e pobres em venulações de quartzo, carbonato e sulfetos apresentam teores sub-econômicos (< 1g/t Au).

Espada (2003) enumera as principais características dos milonitos formados nestas heterogêneas zonas de cisalhamento (FIG. 4.13, 4.14 e 4.15):

- Texturas miloníticas com foliação anastomosada formada pela combinação de uma foliação milonítica penetrativa do tipo S associadas a planos de cisalhamento C-C`-R`-P (FIG. 4.13 A e B);
- *Boudins* e *podds* mineralizados centi-decimétricos, e de forma romboédrica, constituídos por fibras de quartzo-carbonato, contidos pela foliação sigmoidal (FIG. 4.14 A);
- Veios e venulações *boudinadas* e/ou rotacionadas (FIG. 4.14 B e C);
- Raros *tension gashes* sigmoidais (FIG. 4.14 D);
- Raros veios *en-échelon* (FIG. 4.14 E);
- Raros veios e vênulas em estruturas *saddle reefs* (FIG. 4.14 F);
- Predomínio das feições planares ao invés de L-tectonitos, sugerindo um forte componente de achatamento paralelo à zona de cisalhamento, típico de zona de cisalhamento transpressional.

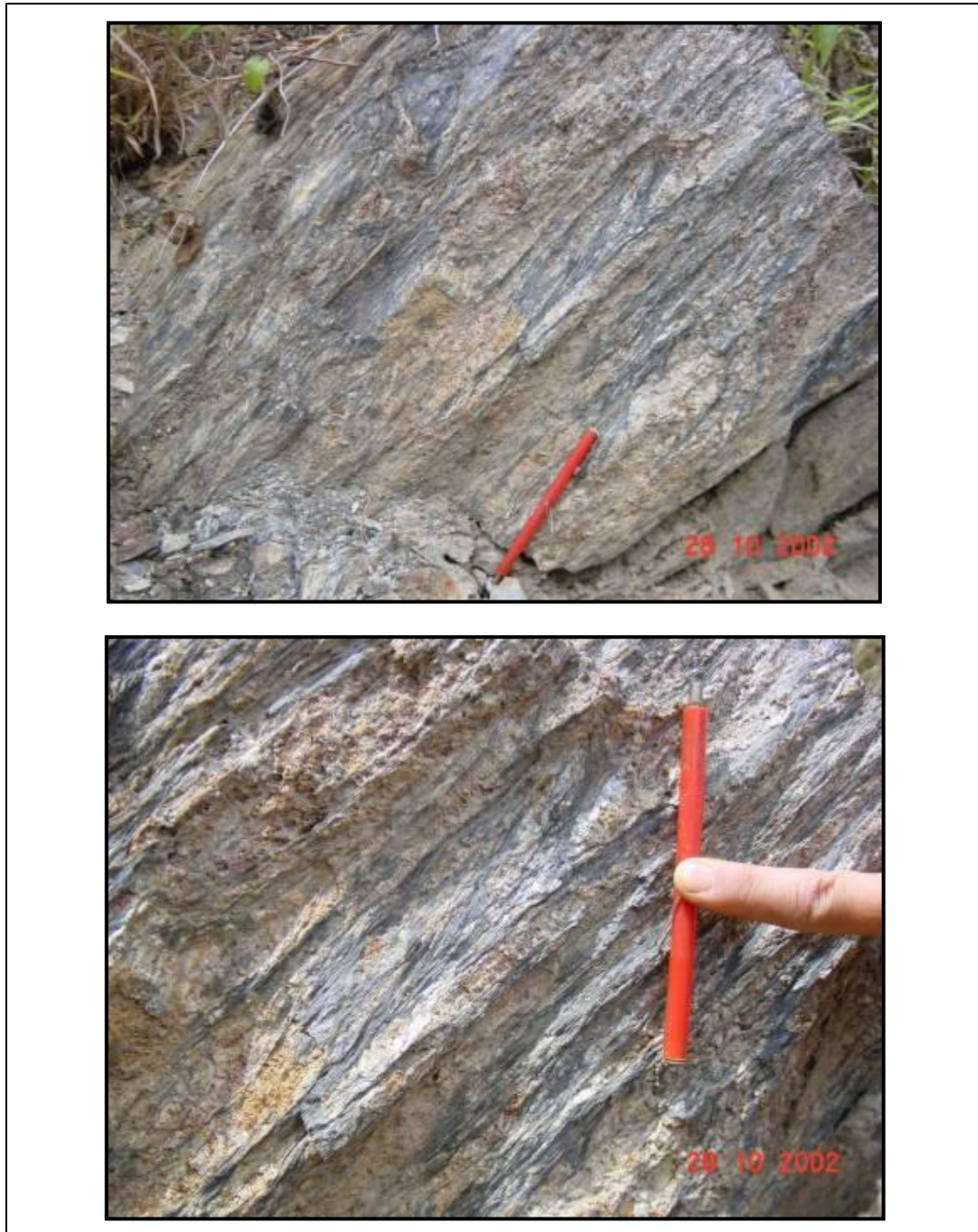


FIGURA 4.13 – Feições miloníticas em filitos carbonosos intercalados com venulações de quartzo e carbonato e que desenvolvem dois conjuntos de planos, sendo um paralelo e outro oblíquo à foliação principal.
Afloramento na Mina Cristina (Fotografia de Espada, 2003a)

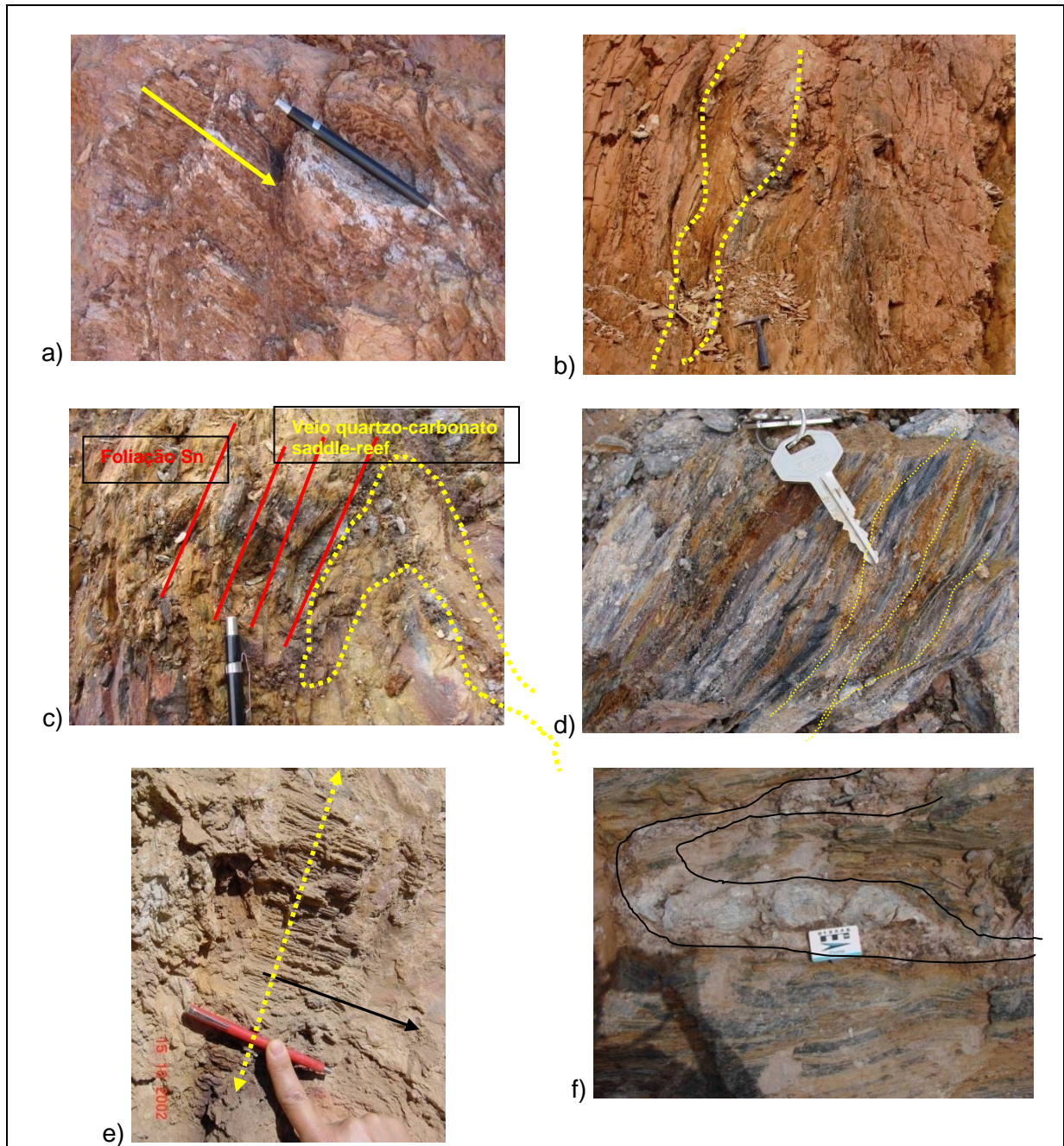


FIGURA 4.14 – Fotografia de afloramentos com aspectos cinemáticos na cava Bocaina.

- a) fibras de crescimento em veios quartzo-carbonático;
- b) *boudins* mineralizados contido na foliação milonítica;
- c) Veio quartzo-carbonático em *saddle reef*;
- d) foliação milonítica anastomosada em torno de veios e lâminas quartzo-carbonática;
- e) Pods mineralizados com forma romboédrica com fibras de quartzo-carbonato estirados no sentido do plunge das dobras F_n ;
- f) Veio quartzo-carbonático em *saddle reef*.

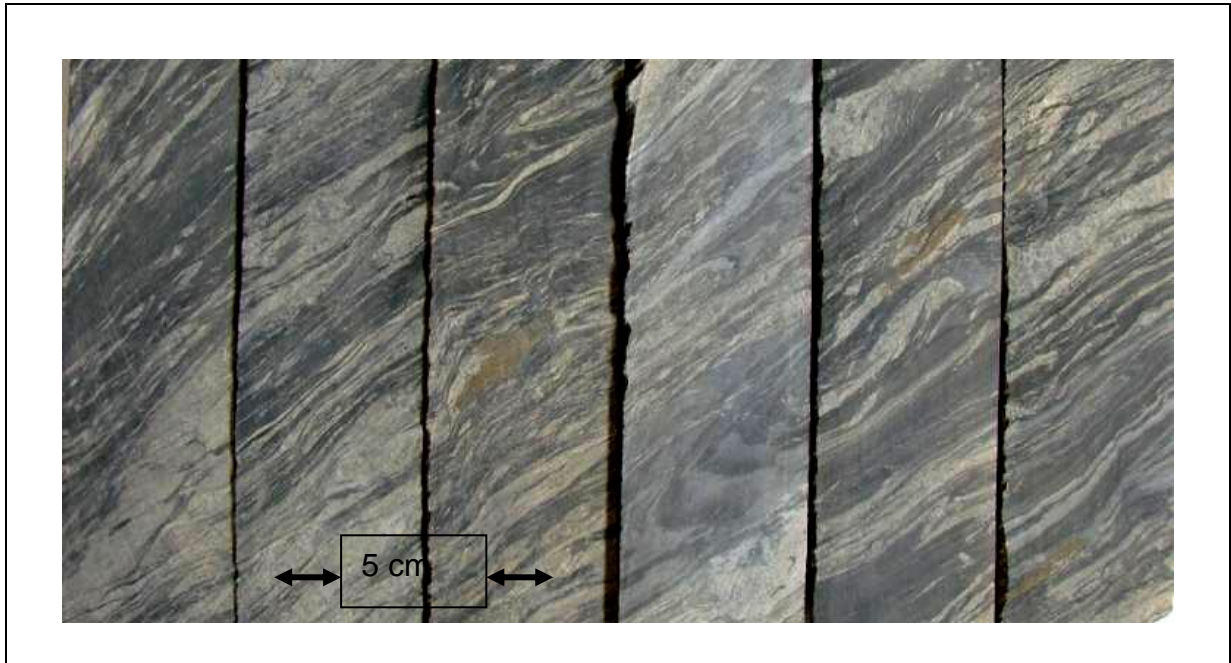


FIGURA 4.15 – Filitos carbonosos com dobras apertadas a isoclinais transpostas paralelamente à foliação regional, com intercalações de venulações de quartzo e carbonato suparalelas- FCS926 - intervalo 177,10 – 182,00 m

As rochas da Unidade Córrego do Sítio intermediária, hospedeira da maior parte do ouro, são rochas foliadas e/ou bandadas, em que a textura lepidoblástica predomina nas lentes mais finas, mas torna-se granoblástica nas mais grossas. A xistosidade define-se principalmente pelo paralelismo da sericita, além de quartzo e carbonato alongados. Geralmente apresenta-se anastomosada e localmente crenulada (FIG. 4.16 A e B). Há intercalações entre as faixas em que predominam sericita e matéria carbonosa, com delgadas bandas ricas em quartzo e carbonato finos. Veios milimétricos de quartzo, carbonato e opacos são comumente concordantes com a foliação, mas podem ser discordantes.

São rochas constituídas por 25 a 55 % de sericita associada com matéria carbonosa, 35 a 45% de quartzo, carbonatos de 5 a 15%, 1 a 8% de muscovita, 3 a 6 % de clorita, 1 a 2% de albita, 1 a 2% de pirita e quantidades variáveis de 1 a 10% de outros sulfetos e sulfossais (TAB. 4.2).

A sericita é fina a muito fina, e orienta-se segundo a xistosidade principal ou a crenulação espaçada S3. Nestas bandas sericíticas, a matéria carbonosa é bastante abundante. Localmente apresenta-se em estrutura *mica fish* (FIG. 4.16). Muscovita

em palhetas de até 2 mm desenvolve-se em bandas sericíticas e também orienta-se segundo a xistosidade dominante (FIG. 4.16).

Há bandas em que finos cristais de quartzo, variando de 0,1 a 1 mm, mostram-se estirados, com extinção ondulante e contatos poligonizados. O quartzo porfiroclástico, de até 2,4 mm, por vezes apresenta bordas corroídas, o que pode indicar origem vulcânica. Estes cristais maiores de quartzo poligonizados exibem extinção ondulante, bordas lobadas ou mais raramente serrilhadas, e formas sigmoidais rotacionadas com recristalização em sombra de pressão assimétrica do tipo Phi. Inclusões fluidas podem ser observadas em cristais de quartzo poligonais, que macroscopicamente é fumê (FIG. 4.16). Há venulações de quartzo-carbonato cristalizados em “pente”.

Carbonato ocorre preferencialmente em veios associados com quartzo fino e sulfetos, mas onde disseminado na rocha mostra-se em cristais granoblásticos, localmente estirados e de contato poligonal e a sua limpidez indica tratar-se de provável calcita. Carbonatos xenomórficos recristalizados encontram-se envoltos em lamelas de uma segunda geração de carbonato que exhibe extinção ondulante, caracterizando pelo menos a existência de duas gerações de carbonatação. Os carbonatos xenomórficos mais antigos mostram-se por vezes orientados na xistosidade principal S_n .

Duas composições de clorita podem ser descritas, sendo uma magnesianiana com cor de interferência verde a cinza, e uma segunda mais rica em ferro com cor de interferência azul ou cinza esverdeado. Estes cristais apresentam-se em aglomerados com até 4 mm, em formas achatadas ou sigmoidais, associados com minerais opacos no interior ou na borda de veios quartzo-carbonáticos.

Porfiroclastos de albita são raros, mas onde encontrados são cristais submilimétricos, subédricos e posicionam-se conforme a xistosidade principal.

Os minerais opacos são mais comuns em veios, mas ocorrem também disseminados nas bandas micáceas. Berthierita é um opaco abundante nas porções

de veios e ocorre em cristais de até 4 mm de comprimento, em formas euédricas à subédricas, e frequentemente envolvendo cristais de pirita ou pirrotita. Berthierita ocupa o núcleo de *vugs*, que possuem ainda quartzo, carbonato e clorita nas bordas (FIG. 4.16 e 4.17 e 4.18).

Pirita porosa é o sulfeto mais comum e abundante e que ocorre no núcleo de aglomerados cristalinos que alcançam até 4 mm, envoltos por bertierita, calcopirita, ullmanita, esfalerita e arsenopirita. Onde poiquiloblástica atinge de 1 a 3 cm e encerra inclusões de pirrotita, arsenopirita, quartzo, clorita, sericita, carbonato, dentre outros sulfetos e sulfossais (FIG. 4.17 e 4.18). Pirita euédrica fina localmente ocorre no contato entre veios quartzo-carbonáticos e bandas sericíticas (FIG. 4.17 e 4.18).

Pirrotita ocorre em massas irregulares de até 2,5 mm, mas também ocorre inclusa em berthierita com superfície porosa. Arsenopirita ocorre em cristais euédricos ou subédricos associados a faixas sericíticas e também em veios de quartzo e carbonato. Associa-se à pirita, pirrotita, calcopirita e esfalerita (FIG. 4.17 e 4.18). Esfalerita é rara e ocorre em massas anédricas associadas com bertierita, arsenopirita e calcopirita.

Titanita forma finos bastões associados a faixas sericíticas ricas em matéria carbonosa . Rutilo ocorre disperso pintalgando cristais de quartzo.

TABELA 4.3
Porcentagens minerais em lâminas petrográficas em rochas metassedimentares
da Unidade Córrego do Sítio Intermediária.

UNIDADE CÓRREGO DO SÍTIO INTERMEDIÁRIA											
Mineral	FCS 978	FCS 1019	FCS 978	FCS 1234	FCS 1234	FCS 1020	FCS 971	FCS 1234	FCS 1234	FCS 1234	FCS 1234
	508626A	516222	508626B	305,40	305,40b	515310	510198	p301.60	302,70	302,70B	303,65
Quartzo	50	44	45	32	38	44	30	50	42	34	30
Albita	--	5	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Sericita+ matéria. Carbonosa	15	1	38	15	33	24	44	37	28	42	49
Muscovita	--	--	2		2	1	1	1	1	1	1
Clorita	5	--	5	2	1	--	--	1	1	3	--
Titanita	traço	traço	traço	traço	traço	traço	traço	traço	traço	traço	traço
Zircão	traço	traço	traço	traço	traço	traço	0.25	traço	traço	traço	traço
Calcita, Ankerita, Siderita	20	30	3	40	15	3	2.75	7	25	18	18
Rutilo	traço	traço	traço	traço	traço	traço	traço	traço	traço	traço	traço
Arsenopirita	--	7	--	--	--	15	15	0.5	1	--	0.5
Pirita	--	2	--	--	0.5	--	--	1	--	--	--
Pirrotita	--	10	--	0.5	0	10	7	0.5	0.5	--	0.5
Bertierita	9.75	--	7	10	10	2.75	--	1	1	1.5	1
Calcopirita	0.25	1	--	0.5	0.25	0.25	--	0.5	0.5	--	--
Esfalerita	--	--	--	--	0.25	--	--	0.5	--	0.5	--
Cinábrio	--	--	--	--	--	--	--	traço	--	--	--
Ouro	--	--	--	--	--	--	--	traço	--	traço	--
Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

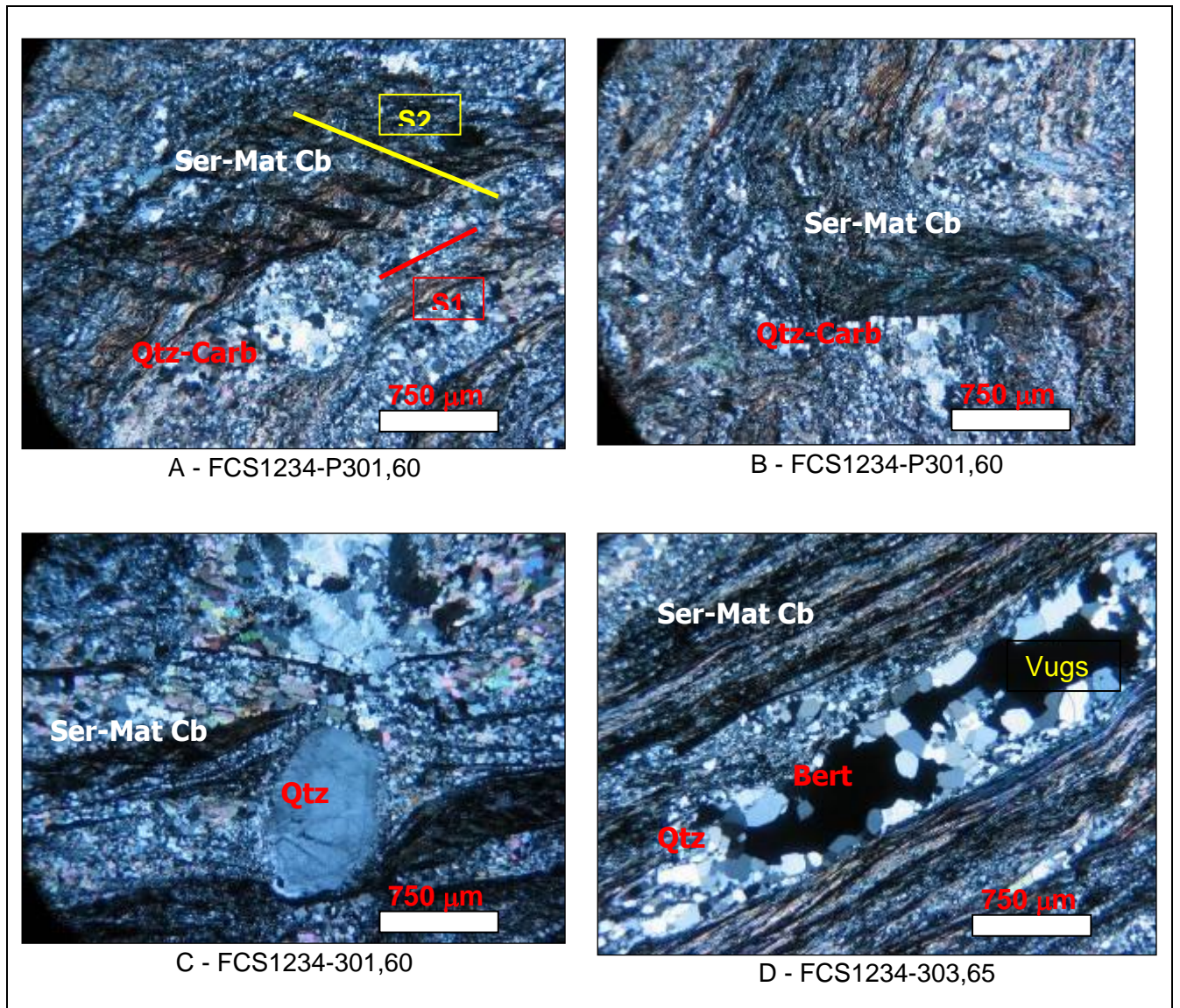


FIGURA 4.16 – Fotomicrografias

A - FCS1234-301,60 – Bandas de sericita-matéria carbonosa crenuladas intercaladas com bandas de quartzo e carbonato. Luz transmitida, nicóis cruzados (25X);

B - FCS1234-301,60 – Quartzo em “pente” crescendo a partir de flanco de dobra. Luz transmitida, nicóis cruzados (25X);

C - FCS1234- 301,60 – Cristal de quartzo com borda recristalizada e rotacionada, oblíqua à foliação. Luz transmitida, nicóis cruzados (25X);

D - FCS1234- 303,65 – Faixas de mica branca-matéria carbonosa, intercaladas por veio (*vuggy-textured*) de quartzo-bertierita±carbonato. Luz transmitida, nicóis cruzados (25X).

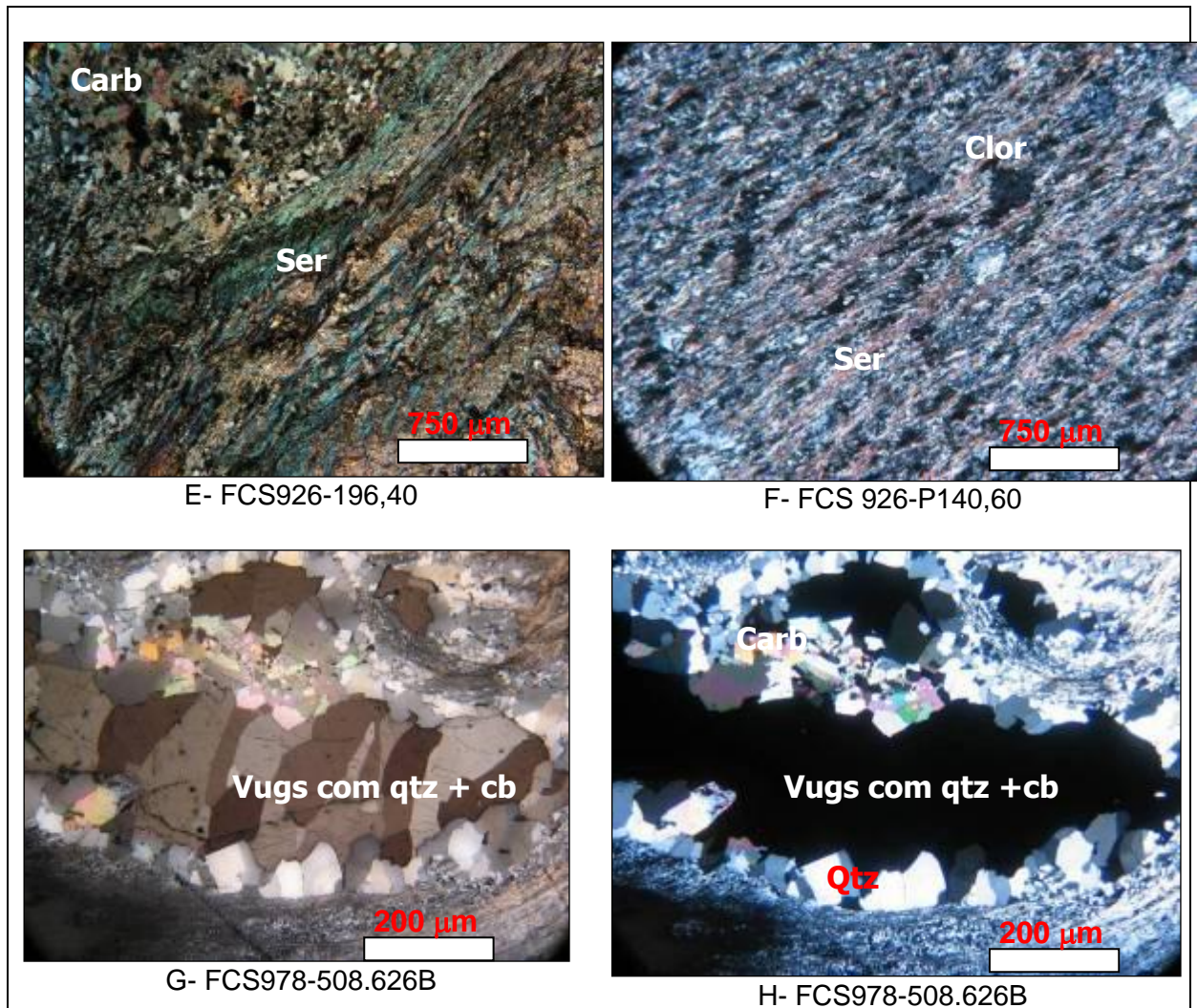


FIGURA 4.17 – Fotomicrografias

- E- FCS926-196,40 – Foliação crenulada definida por sericita, porção de vênula quartzo-carbonática. Luz transmitida, nicóis cruzados (25X);
- F- FCS 926-140,60 – Feição geral da rocha mostrando foliação definida por sericita. Luz transmitida, nicóis cruzados (25X);
- G- FCS978B – Vug preenchida por quartzo-carbonato e bertierita. Luz refletida, nicóis descruzados (100X);
- H-FCS978B – Vug preenchida por quartzo-carbonato e bertierita. Luz refletida, nicóis cruzados (100X).

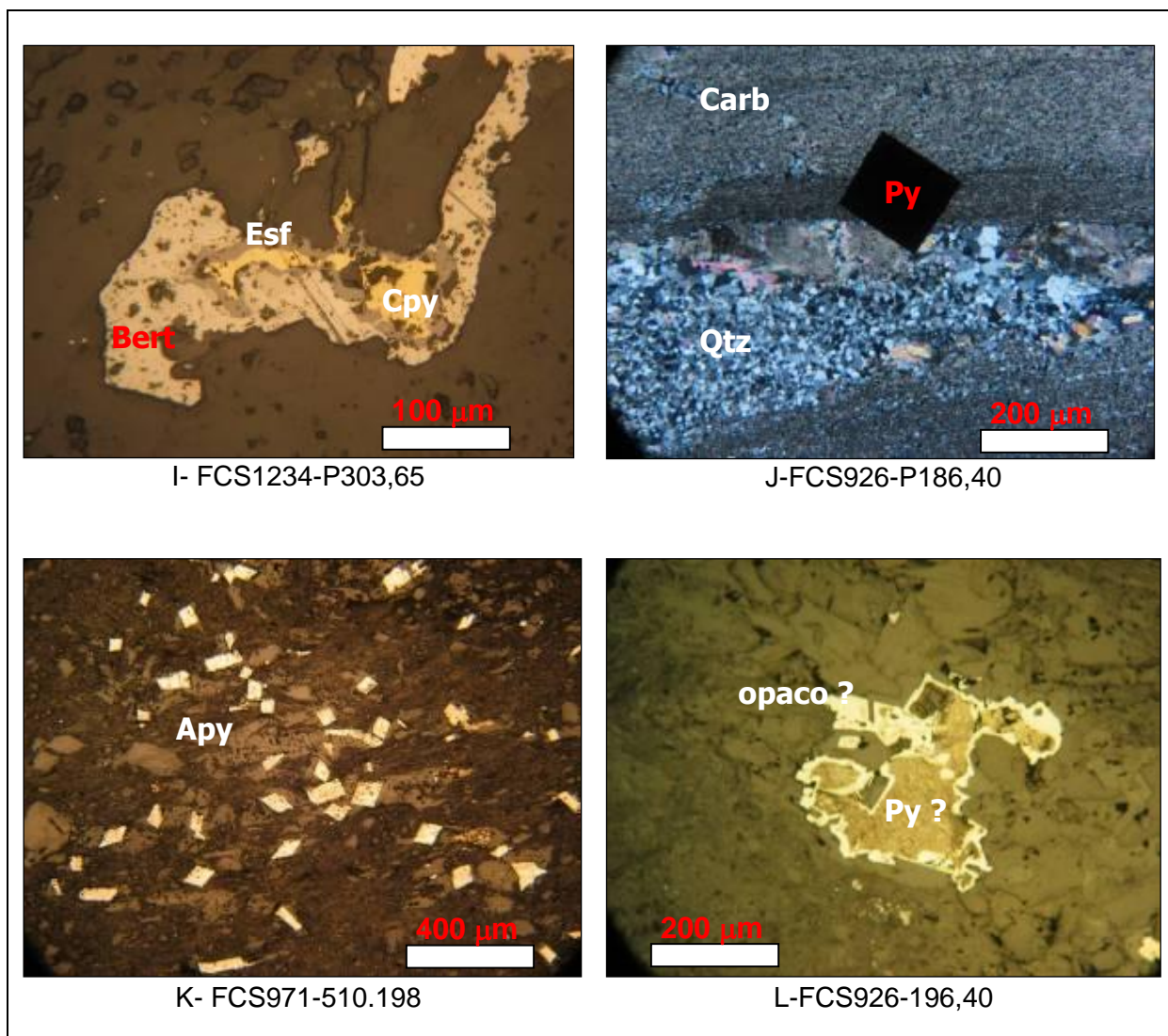


FIGURA 4.18 – Fotomicrografias

I-FCS1234-303,65 - Núcleos de esfalerita e calcopirita em cristal de bertierita. Luz refletida (200X);

J-FCS926-P186,40 – Cristal de pirita euédrica em banda rica em carbonato fino, no contato com vênula entre bandas. Luz transmitida, nicóis cruzados e luz refletida (25X);

K- Amostra FCS971-510198 – Arsenopirita em finos cristais euédricos. Luz transmitida, nicóis cruzados e luz refletida (50X).

L- Amostra FCS926-196,40 – opaco (?) envolvendo mineral opaco poroso (pirita?). Luz refletida (100X).

4.3.4 Unidade Córrego do Sítio – Superior

Na porção superior da Unidade Córrego do Sítio ocorre uma sequência de rochas metassedimentares clásticas, com predomínio de camadas e lentes de metapsamitos e subordinados níveis de metapelitos carbonosos.

As camadas apresentam ciclos de deposição granodecrescente em sentido normal e invertido, interpretados como resultantes de dobras sobre o acamamento sedimentar.

Os metapsamitos apresentam composição mineralógica bastante monótona em que clastos milimétricos de quartzo e albita distribuem-se aleatoriamente numa matriz fina de clorita, sericita, pirita, além de raros opacos. A textura lepidoblástica ou granoblástica é marcada pela abundância e paralelismo das palhetas de sericita e clorita.

Os níveis de metapelitos carbonosos têm textura lepidoblástica e constituem-se por clorita, sericita, quartzo, clorita e abundante matéria carbonosa, pirita grossa, além de outros raros opacos.

Nesta unidade são descritos diversos tipos litológicos, incluindo metapsamitos e metapelitos:

- Metapsamitos “sujos” ou impuros, classificados como metagrauvas (código MG) e que formam camadas maciças de espessuras milimétricas a métricas intercaladas com alguns intervalos de filitos, indicando uma provável deposição em ambiente turbidítico. Sequências de Bouma incompletas, granodecrescência e contatos inferiores erosivos são frequentemente reportados tanto em afloramentos quanto em testemunhos de sondagem. O quartzo e o plagioclásio ocorrem como cristais detríticos em camadas que podem conter componentes vulcanoclásticos.

- Metapelitos pretos, cinza escuros a marrons, e que são descritos como filitos carbonosos (código RP) e que contém quantidades variáveis de clorita e sericita. Provavelmente todo material carbonoso é de origem sedimentar; no entanto observa-se que, localmente, ocorre remobilização e redeposição em planos de clivagem de crenulação e em fraturas.
- Metapelitos cinzentos que tendem a ser mais sericíticos e pobres em material carbonoso, mas localmente podem apresentar cor verde pálida devido ao aumento na proporção de clorita ou de muscovita esverdeada, o que ocorre frequentemente próximo ao contato com diques metabásicos ou em zonas de alteração hidrotermal onde se desenvolve mineral verde claro (RP).
- Alternância rítmica entre metapsamitos e metapelitos com espessuras milimétricas a métricas (RPP).
- Litotipos psamíticos e pelíticos incluem variedades com quartzo e feldspato porfiroclásticos, interpretados como remanescentes de uma textura vulcânica e vulcanoclástica (MG, RPP).
- Litotipos psamíticos e conglomeráticos incluem litoclastos orientados (MG, RPP, RP).

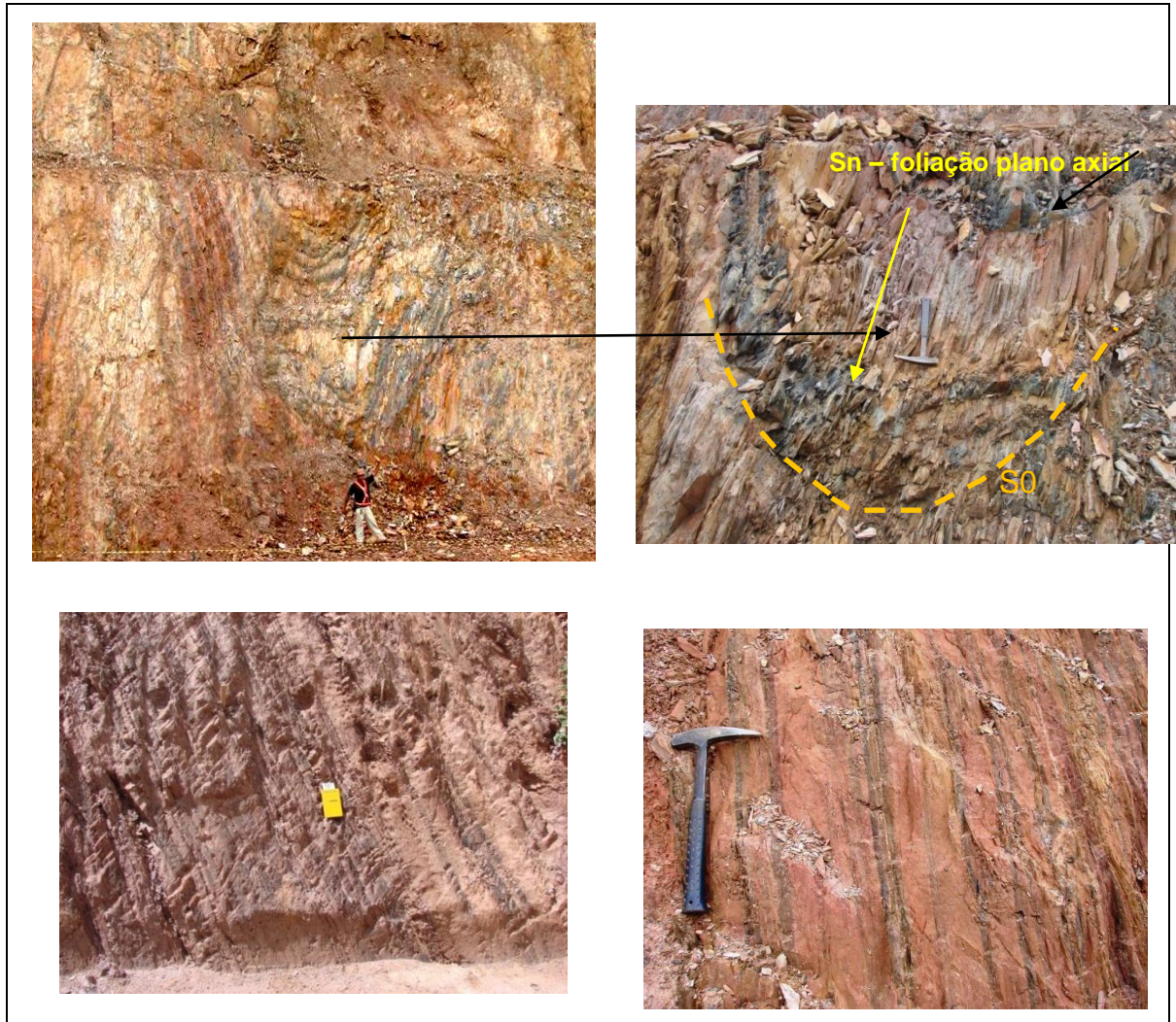


FIGURA 4.19

- a) Afloramento de rochas da Unidade Córrego do Sítio Superior, com rocha bandada alternando camadas centi a decimétricas, de metagrauvacas e metapelitos carbonosos, em dobra fechada – cava Bocaina – corte E-W com visada para sul.
- b) Detalhe da fotografia A, destacando a foliação plano axial oblíqua ao acamamento sedimentar representado pela alternância de camadas arenosas de cor clara e as camadas quartzo-sericíticas carbonosas de cor escura;
- c) Fotografia de afloramento de bandas centimétricas a decimétricas de metagrauvacas com intercalações milimétrica a centimétricas de filito carbonosos, Cava Bocaina – Unidade Córrego do Sítio superior;
- d) Fotografia de detalhe do acamamento sedimentar com alternância de lâminas de metapsamito claro e metapelito escuro. Cava Carvoaria.

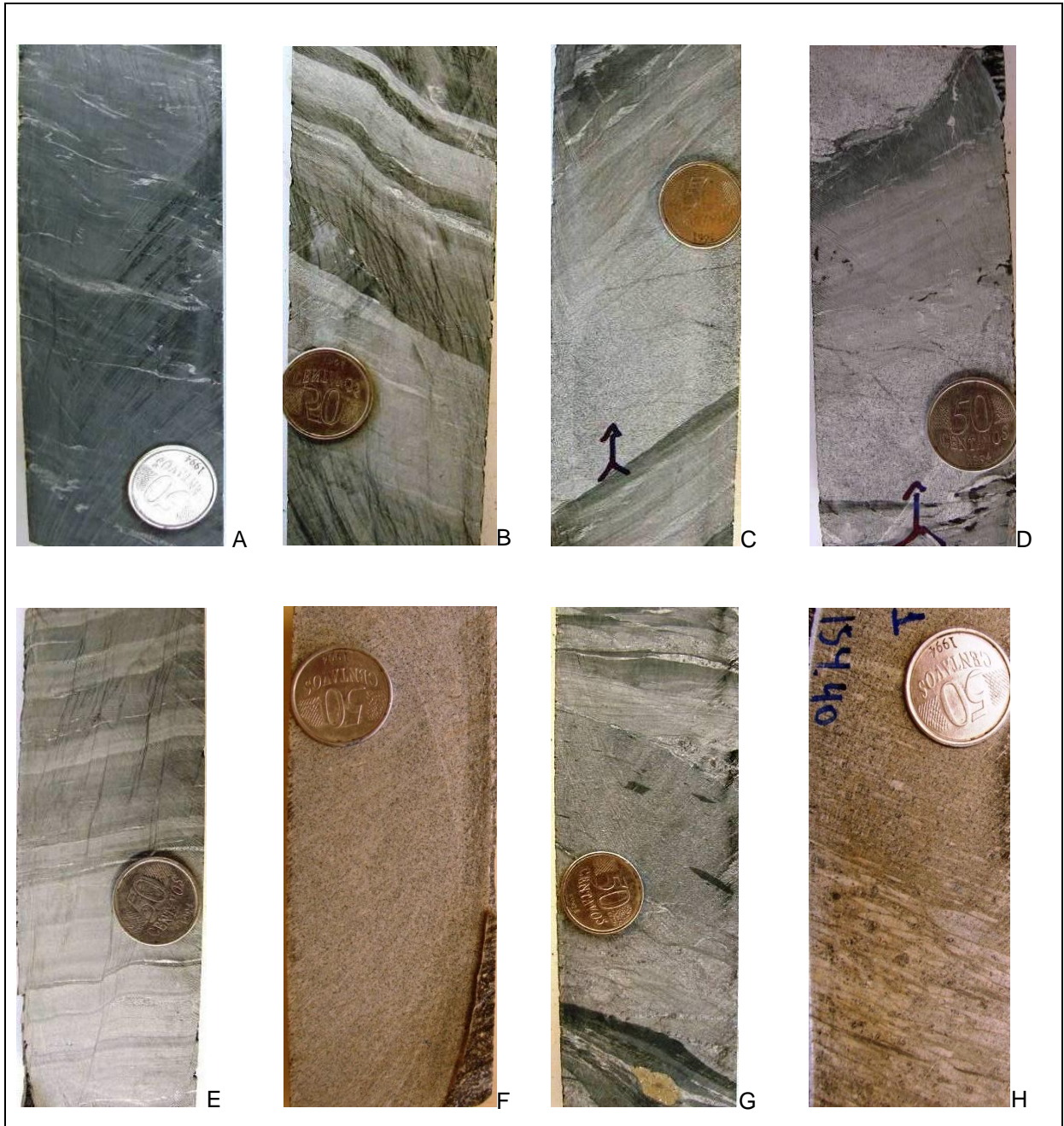


FIGURA 4.20

- a) Filitos carbonosos que sujam os dedos;
 - b) Filitos sercíticos intercalados com filitos carbonosos, clivagem de crenulação espaçada penetrativa;
 - c) Metapsamitos classificados como metagrauvascas (MG) em camadas granodescrescentes em direção ao topo;
 - d) Metapsamitos classificados como metagrauvascas (MG) em camadas granodescrescentes em direção ao topo;
 - e) Metapelitos com alternância rítmica entre metapelitos sercíticos mais ou menos carbonosos;
 - f) Metapsamito com porfiroclasto de quartzo e feldspato;
 - g) Metapsamitos com litoclastos de filito carbonoso orientados;
 - h) Conglomerado com fragmentos estirados de quartzo e filito carbonoso .
- Testemunhos de sondagem FCS926.

As metagrauvacas são constituídas majoritariamente por cerca de 50 a 70% de quartzo, 10 a 30% de sericita, 1 a 5% de albita, 5 a 10% de carbonato, 1 a 2% de clorita, 1 a 2% de pirita. (FIG 4.21.).

Ao microscópio constata-se que os porfiroclastos angulosos de quartzo e albita estão orientados paralelamente à xistosidade da rocha (FIG. 4.21) e, localmente, exibem sombras de pressão e fraturas, onde se recristalizam quartzo, carbonato fino e muscovita. Os porfiroclastos de quartzo policristalinos mostram extinção ondulante e bordas com golfos de corrosão indicando uma provável proveniência vulcânica (FIG. 4.21).

Nas bandas de granulação fina, predominam palhetas de sericita e clorita com microcristais de quartzo orientados segundo a xistosidade principal ou localmente crenulados (FIG. 4). São observadas raras palhetas de muscovita com até 0,4 mm de comprimento associadas a cristais de albita ou em porções ricas em sericita e clorita.

A ausência de K-feldspato reafirma a classificação das porções psamíticas como metagrauva em oposição a metarcóseo, no sentido de Pettijohn (1975). Este dado pode suportar a interpretação de que rochas de composição *sensu-stricto* graníticas não contribuíram como rocha fonte para a formação destes sedimentos ou que os K-feldspatos foram todos desintegrados ou dissolvidos durante a diagênese.

Os minerais opacos são raros e consistem em finos cristais subédricos de pirita e calcopirita, mais comumente associados aos veios de quartzo-carbonato. A titanita ocorre em cristais muito finos, subédricos a euédricos, e pode conter carbonato no núcleo.

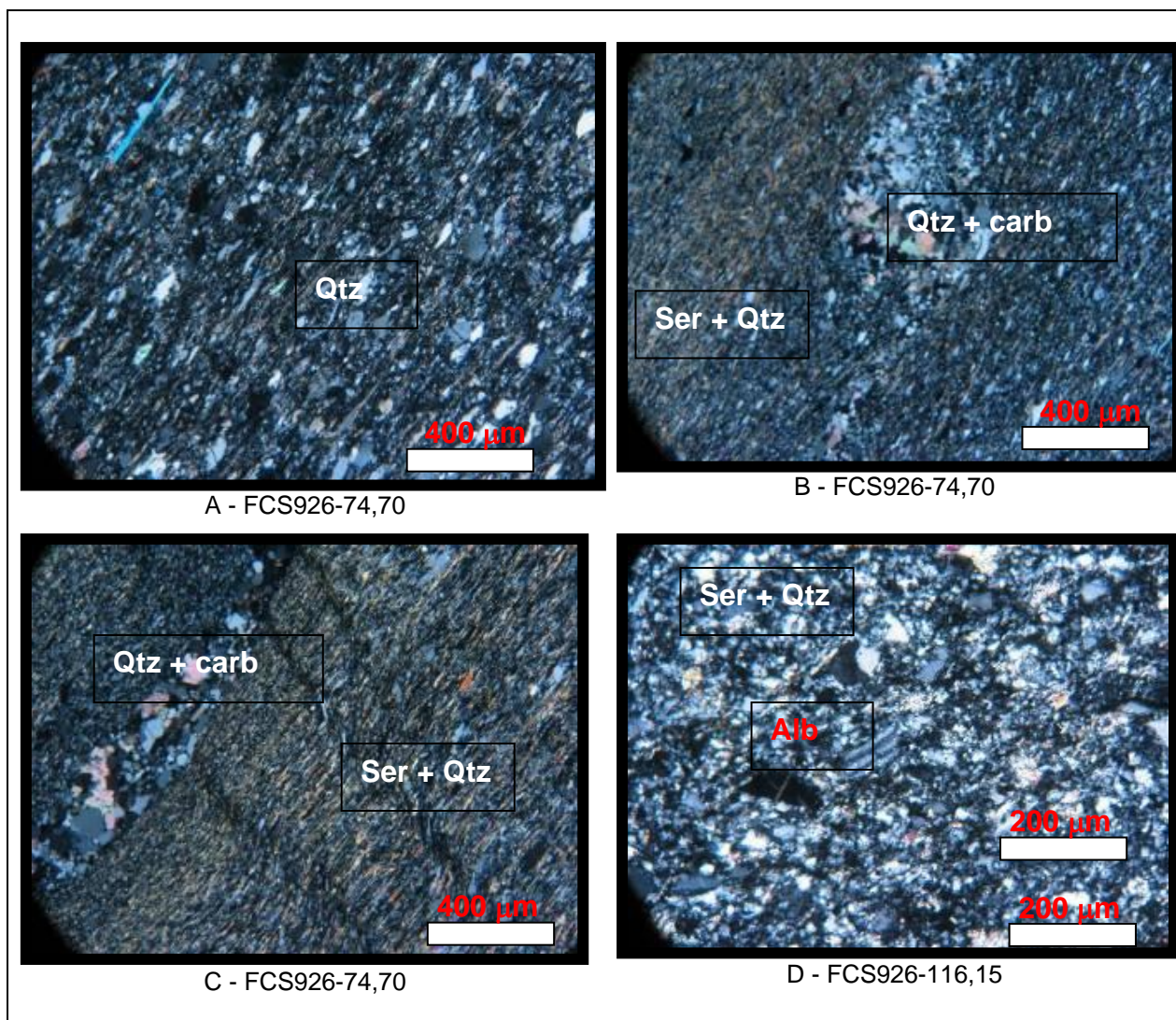


FIGURA 4.21 – Fotomicrografia

A – FCS926 -74,70 – Feição geral da rocha mostrando foliação definida por sericita e cristais de quartzo orientados. Luz transmitida, nicóis cruzados (50X);

B - FCS926-74,70 – Vênula de quartzo e carbonato paralela à foliação da rocha, com sigmóide. Luz transmitida, nicóis cruzados (50X).

C -FCS926-74,70 – Banda composta por quartzo muito fino e sericita, crenulada, e vênula de quartzo e carbonato. Luz transmitida, nicóis cruzados (50X).;

D–FCS926-116,15 – Detalhe mostrando cristais de albita maclado e sericitizado, quartzo fino e sericita em (i). Luz transmitida, nicóis cruzados (100X).

4.3.5 Descrição das rochas metabásicas

Os enxames de diques intrusivos metabásicos, com orientação geral NNE-SSW e mergulho para SE são subdivididos em três tipos devido a diferenças macroscópica e microscópicas (QUADRO 4.4):

- Metabásica com alteração incipiente com cloritização, preservando relictos de piroxênio (DB4);
- Metabásica com alteração intermediária por cloritização e subordinada carbonatação (DB1);
- Metabásica com alteração avançada com carbonatação e muscovitização (DB3 / DB2).

O contato com as demais unidades é brusco, oblíquo e marcado pelo desenvolvimento de halos de carbonatação, sericitização, muscovitização, silicificação e sulfetação nas encaixantes.

No Lineamento Aurífero Córrego do Sítio, a mineralização é cortada pelas intrusões básicas, e onde se interceptam há o desenvolvimento de halos de alteração hidrotermal com intensa silicificação, sericitização, carbonatação e rara sulfetação.

As relações temporais entre os enxames de diques ainda guardam incertezas, pois não há datações geocronológicas absolutas e nem foram descritas exposições que mostrem suas relações de corte de forma inequívoca.

QUADRO 4.4
Resumo das características macroscópicas das metabásicas.

Litologia (Códigos)	Espessura (m)	Mineralogia		Principais características das rochas metabásicas, onde não intemperizadas, segundo zonas de alteração metassomática		
		Essenciais	Acessórios	Centro	Intermediária	Borda
(MBpx ou DB4) Metabásica Zonada com relictos de piroxênio	60 a 100	-Piroxênio -Anfibólio -Biotita -Plagioclásio -Clorita férrica -Quartzo -Titanita -Muscovita -Carbonato	-Magnetita -Ilmenita -Pirita -Pirrotita -Calcopirita -Esfalerita -Apatita	-Cor verde escuro -Cristais de tamanho grosso à médio . -Textura ígnea preservada (ofítica a subofítica) -Xistosidade incipiente pela orientação de clorita. -Raras microvenulações de quartzo e carbonato; -Presença de magnetita em cristais euédricos	-Cor verde a verde clara; -Cristais de tamanho médio à fino; -Xistosidade incipiente gerada pela orientação de micas (clorita, biotita e muscovita) - <i>Stockwork</i> com venulações milimétricas de quartzo e carbonato.	-Cor verde claro com tons de marrom e pontuações brancas -Cristais de tamanho médio à fino; -Xistosidade penetrativa com abundante clorita, biotita e muscovita orientadas - <i>Denso stockwork</i> com venulações de quartzo e carbonato milimétricas a centimétricas.
(MBcl ou DB1) Metabásica zonada com alteração clorítica e subordinada- mente carbonática	10 a 40	-Hornblenda -Tremolita- actinolita -Plagioclásio -Clorita férrica -Clorita magnesiânica -Epidoto -Carbonato -Quartzo -Muscovita -Biotita	-Magnetita -Titanita -Ilmenita -Rutilo -Pirrotita -Pirita -Calcopirita	-Cor verde a verde escura -Cristais de tamanho grosso a médio. -Textura ígnea preservada (ofítica a subofítica) -Xistosidade incipiente pela orientação de clorita. -Raras microvenulações de quartzo e carbonato; -Presença de magnetita em cristais euédricos.	-Cor verde escuro à verde claro; -Cristais de tamanho médio à fino; -Xistosidade penetrativa com abundante clorita e muscovita orientadas - <i>Stockwork</i> com venulações de quartzo e carbonato milimétricas	-Cor verde claro, cinza e bege; -Cristais de tamanho médio à fino; -Xistosidade penetrativa com abundante clorita e muscovita orientadas - <i>Stockwork</i> com venulações de quartzo e carbonato milimétricas. -Presença rara de porfiroblastos de carbonato em cristais euédricos de 0,1 a 0,7 mm.
(MBcb ou DB3 /DB2) Metabásica não zonada com forte alteração carbonática e sericítica.	0,10 a 7	-Carbonato -Muscovita -Quartzo -Clorita -Tremolita actinolita	-Pirita -Pirrotita -Calcopirita	-Cor bege a cinza -Cristais de tamanho médio a fino com porfiroblastos de carbonato, variando de 1 a 7 mm. -Textura maciça, homogênea e rara e incipiente orientação por cisalhamento nas bordas -Raras microvenulações de quartzo e carbonato com sulfetos		

4.3.5.1 Metabásica com alteração carbonática (MBcb ou DB3 / DB2)

O enxame de diques básicos com alteração carbonática equivale às rochas denominadas como DB3 por Porto (2008). Em campo são corpos tabulares subparalelos e estreitos, de espessura variável de 3 a 10 metros (QUADRO 4.2 e FIG. 4.22). A direção varia de N25° à N30°E e o caimento em torno de 75° à 80° para sudeste. No Depósito Cachorro Bravo ocorre rocha macroscopicamente

semelhante, mas de direção E–W e caimento subvertical e denominada por Porto como DB2 (FIG. 4.3 e 4.3a).

Em amostras de mão apresentam cor cinza à bege, granulação média a grossa, e distinguem-se por exibir grandes cristais de calcita euédrica de 1 a 7 mm dispersos aleatoriamente em uma matriz fina de foliação incipiente, dada pela orientação de clorita e sericita fina (FIG. 4.26).

Estas rochas foram abordadas em estudos petrográficos por Jost (2005a), Davi (2006) e Porto (2008), que reconheceram uma paragênese de alteração avançada, com raros cristais de plagioclásio e anfibólio de composição indeterminável por métodos petrográficos. O plagioclásio apresenta geminação segundo as leis da Albita e Carlsbar, e em alguns casos, crescimento local de cristais finos de epidoto, muscovita e clorita, típicos da saussuritização. Os raros cristais de anfibólio são tabulares e substituídos por clorita.

Cortando os diques básicos com carbonatação ocorrem veios de quartzo branco que contêm drusas, que variam de 1 a 10 centímetros de diâmetro, preenchidas por cristais euédricos de calcita, mica-verde, quartzo e longas agulhas de estibnita (FIG. 4.23).

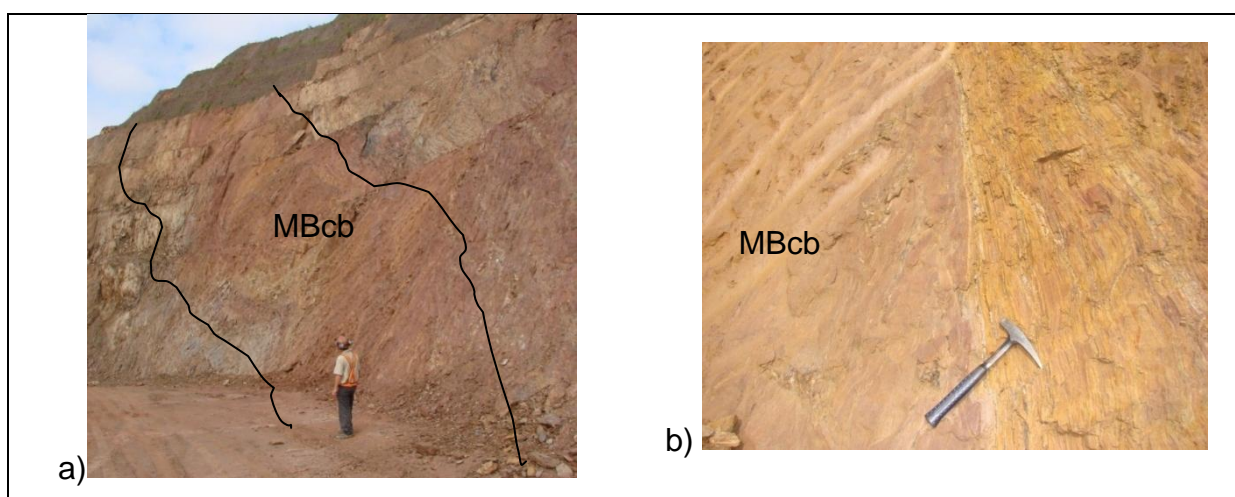


FIGURA 4.22

- a) Afloramentos de diques de metabásica com alteração carbonática na Cava Carvoaria;
- b) Detalhe do contato entre metabásica com alteração carbonática e xisto da Unidade Córrego do Sítio Intermediária. Cava Carvoaria.

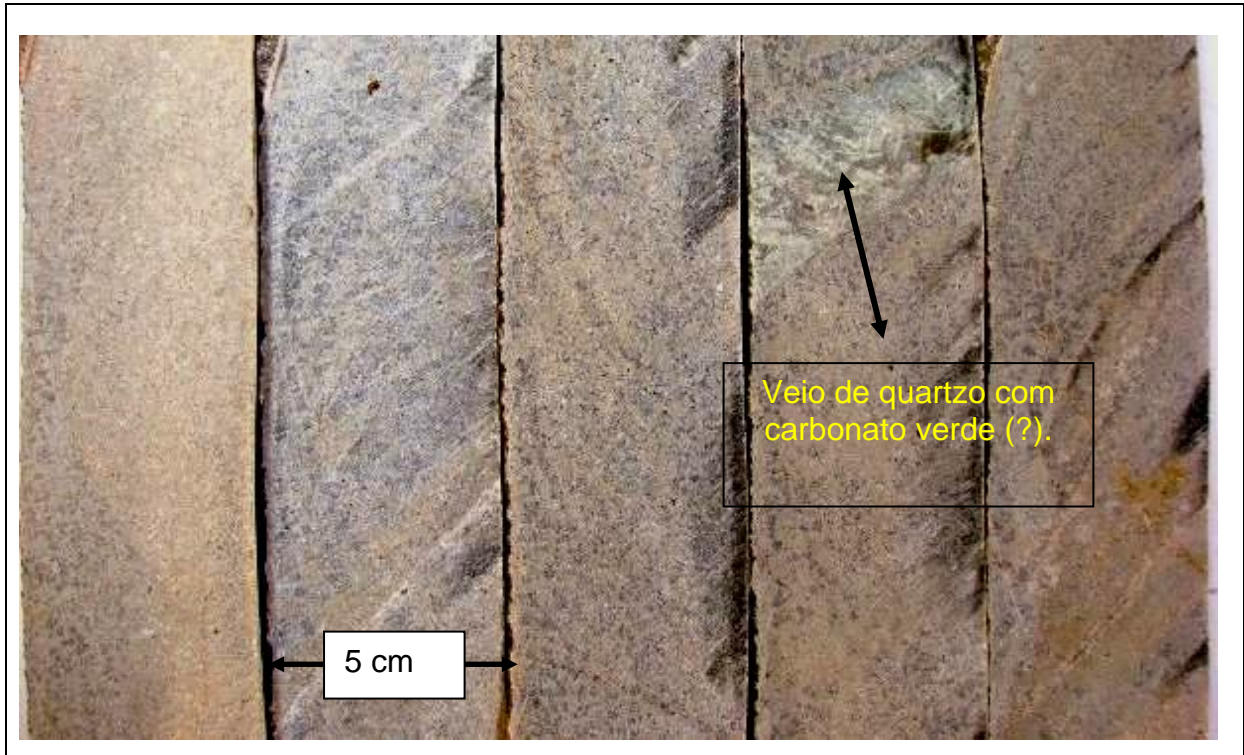


FIGURA 4.23 – Fotografia de metabásica com alteração carbonática no furo FCS931.

A metabásica com alteração carbonática é granoblástica à incipientemente lepidoblástica, de granulação fina à média. Em geral é homogênea e constitui-se basicamente por 25 a 50 % de carbonato, 25 a 40 % de quartzo, 1 a 30 % de muscovita / mica branca, 3 a 25 % de clorita, 1 a 20 % de plagioclásio (albita), além de traços de ilmenita, titanita, rutilo, pirita, pirrotita, arsenopirita, calcopirita, esfalerita e cobaltita (TAB. 4.4).

O carbonato ocorre como cristais anédricos, subédricos e euédricos, geralmente maclados (polissintética), e localmente orientados. Apresentam tamanho muito variável, de 0,5 a mais de 4 mm, com hábito poiquiloblástico quando de granulação mais grossa. Alguns cristais encontram-se sobrecrecidos por muscovita. Rutilo e titanita ocorrem pintalgando carbonato (FIG. 4.24).

O quartzo é muito fino, até 1 mm, e apresenta contatos poligonais e extinção ondulante.

Muscovita aparece como finas palhetas, mas pode atingir até 1 mm, localmente apresentam hábito fibro-radial, e em geral não obedece a qualquer orientação (FIG. 4.24).

A clorita ocorre como massas intergranulares ora de cor verde acinzentada, indicativa de composição ferro-magnésiana, e ora de cor roxa, que indica uma composição férrica. Localmente define uma foliação incipiente na rocha.

Plagioclásio aparece como cristais subédricos que variam de 0,1 a 3,0 mm, com intensa sericitização.

Dentre os opacos tem destaque a pirita que ocorre em cristais anédricos a subédricos, finos de até 0,1 mm, localmente obedecendo a uma orientação preferencial. Pirita apresenta-se ainda como um aglomerado de cristais subédricos a euédricos com até 2 mm de diâmetro.

Raros e finos cristais de pirrotita, calcopirita, arsenopirita e esfalerita associam-se a clorita e pirita. Cristais hexagonais euédricos de cobaltita ocorrem inclusos em veios de quartzo.

TABELA 4.4
 Percentagens dos minerais em lâminas de metabásicas
 com alteração carbonática avançada.

Furo de sondagem	FCS0926	FCS0926	FCS0926	FCS0928	FCS0931	FCS0931
Intervalo	219.20	221.90	222.85	270.80	188.15	192.75
Amostra	599018	599019	599020	599027	599035	599036
Hornblenda	tr					
Quartzo	30	31	32	32	25	41
Albita		<1		4	1	22
Muscovita/ mica branca	16	17	10	30	5	<1
Carbonato	40	41	52	38	30	24
Clorita	13	11	5	3	25	9
Turmalina				<1		
Titanita		<1				2
Rutilo		<1			<1	
Stibnita			traço			
Arsenopirita		<1		<1		
Pirrotita		<1			<1	<1
Pirita	<<1		1	<<1	<1	2
Calcopirita					<1	<1
Esfalerita	<1					<1
Cobaltita						<1
Calcosita / digenita		<1				

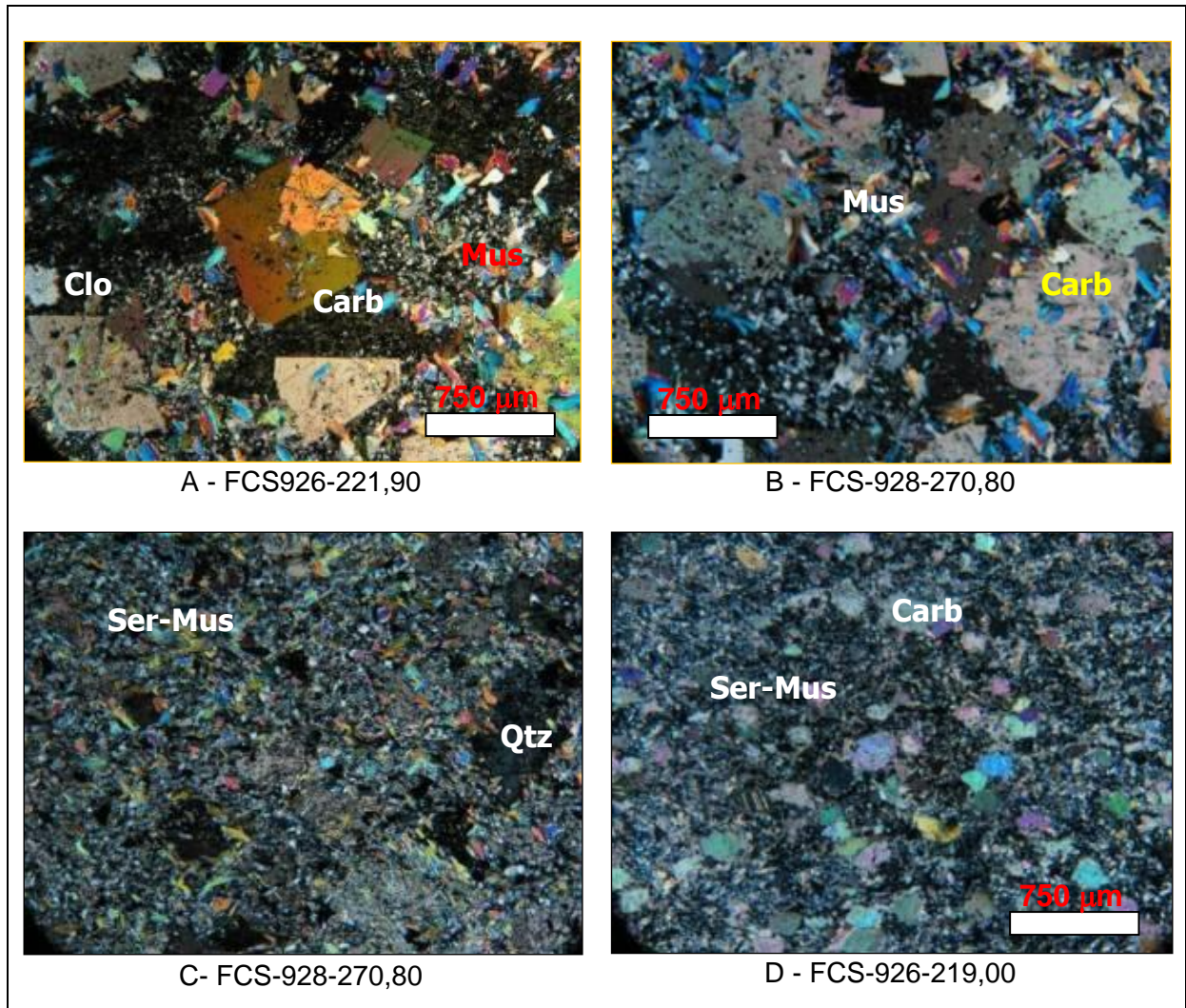


FIGURA 4.24 – Fotomicrografia

A- FCS926 - 221,90 – Feição geral da rocha mostrando cristais euédricos de carbonato com muscovita sobrecrescida (?), massas de clorita e quartzo fino granoblástico. Luz transmitida, nicóis cruzados (25X);

B FCS928-270,80 – Feição geral da rocha mostrando palhetas de sericita-muscovita associadas a carbonato e cristais de quartzo. Luz transmitida, nicóis cruzados (50X);

C - FCS928-270,80 – Feição geral da rocha mostrando palhetas de sericita - muscovita associadas a carbonato e cristais de quartzo. Luz transmitida, nicóis cruzados (50X).,

D- FCS926 - 219,00 – Cristais de carbonato, juntamente com clorita e sericita, discretamente orientados. Luz transmitida, nicóis cruzados (25X).

4.3.5.2 Rocha metabásica com alteração clorítica e subordinadamente carbonática (MBcl ou DB1)

O enxame de diques metabásicos com alteração clorítica atravessa toda a área mapeada, e constitui corpos tabulares subparalelos de espessura variável de 10 a 60 metros, com espaçamento variável de 20 a 400 metros. A direção gira em torno de N15° a N20°E e o caimento de 50° à 55° para E-NE (FIG. 4.3, 4.3a). No depósito Laranjeiras, as metabásicas com cloritização cruzam com as lentes de minério, mas não a interrompem.

Porto (2008) estudou os diques de metabásicas com alteração clorítica do depósito Cachorro Bravo, denominando-os como *DB1*, e concluiu que a xistosidade e a paragênese mineral das bordas das intrusões são feições originadas pelo mesmo evento de alteração hidrotermal que resultou na mineralização. Desta forma, estes diques seriam pré-mineralização e pré- a sin-deformação.

As metabásicas com alteração clorítica são rochas zonadas do núcleo para as bordas (item 4.3.5.2.1) e Tab 4.5.

- Na porção central exibem texturas granoblásticas, grã média a grossa, e constitui-se por anfibólio, plagioclásio cálcico, epidoto, clorita, carbonato, quartzo, ilmenita, magnetita, titanita e pirita.
- Nas porções intermediárias não há mais magnetita e aumenta a quantidade de clorita, carbonato e quartzo.
- As bordas são lepidoblásticas e de grã mais fina, com aumento na percentagem de clorita, carbonato, quartzo e titanita, à custa da redução das quantidades de anfibólio e plagioclásio, produzindo uma cor verde pálida fosca (FIG. 4.25 e 4.36).

Os metapelitos carbonosos perdem matéria carbonosa quando em contato com os diques básicos com cloritização, passando de cinza escura para verde pálido. Em seção delgada polida observa-se que há um aumento no percentual de sericita fina, muscovita, quartzo, carbonato e turmalina.

Jost (2005) propõe que os grãos de tamanho mais fino na borda podem ter sido produzidos no instante da intrusão ainda quente nas encaixantes hidratadas mais frias

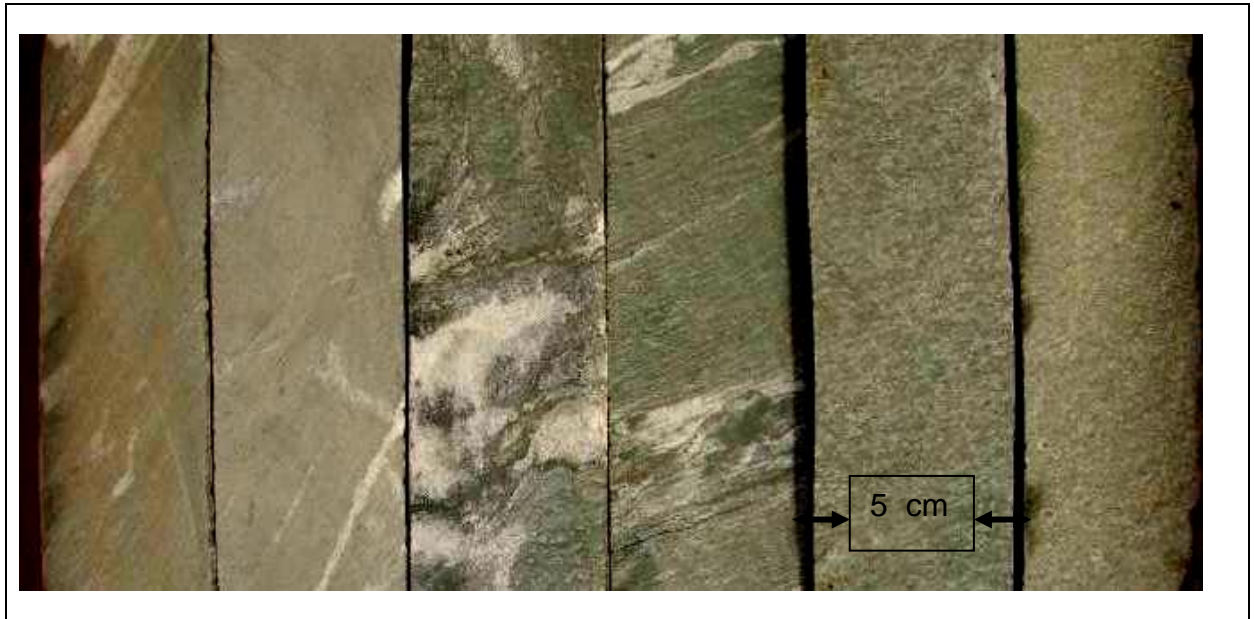


FIGURA 4.25 – Metabásica clorítica FCS928 – (170,00 – 185,50 m). Escala = largura =5cm

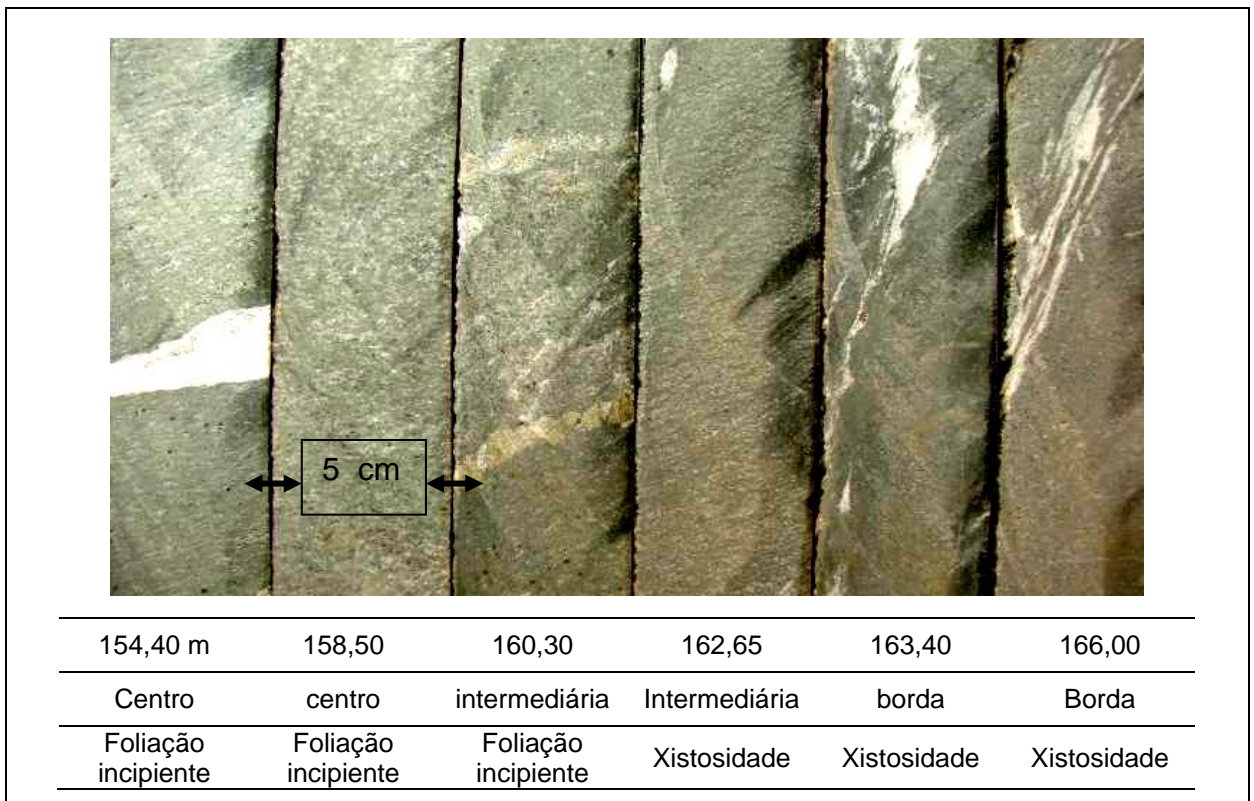


FIGURA 4.26 – Metabásica clorítica FCS926 – intervalo entre 154,40 m – 166,00 metros. Ilustração de zoneamento do centro para as bordas da metabásicas com crescente alteração clorítica e carbonática.

TABELA 4.5
Distribuição dos minerais nas amostras de lâminas de metabásicas
com alteração clorítica com subordinada alteração carbonática
(tr= traço <<1 %; (--) ausência do mineral).

Furo sondagem	FCS0926	FCS0928	FCS0931	FCS0926	FCS0928
Intervalo	155.65	174.10	153.70	164.70	185.60
Amostra	599011	599022	599030	599012	599023
Posição relativa	centro	centro	centro	intermediária	borda
Minerais	%	%	%	%	%
Hornblenda	30	25	30	--	--
Plagioclasio	5	7	22	20	--
Albita	--	--	--	--	1
Tremolita-actinolita	--	1	--	--	--
Cumingtonita-grunerita	--	<1	--	--	--
K-feldspato	--	--	--	--	--
Biotita	Tr	--	--	--	--
Epidoto	12	22	25	--	--
Clorita	15	13	20	20	22
Carbonato	5	2	--	25	30
Quartzo	15	25	--	25	45
Titanita	10	4	--	10	3
Magnetita	3	1	<1	--	--
Pirrotita	--	<1	--	--	<1
Pirita	1	<1	3	<1	--
Calcopirita	--	<1	--	<1	--
Esfalerita	--	--	tr	--	--
Ilmenita	--	--	<1	--	--
Rutilo	--	<1	--	--	1
Arsenopirita	--	--	<1	--	--

4.3.5.2.1 Porção central da intrusão de metabásica cloritizada

Nestas porções a rocha é verde e constitui-se por 20 a 30% de hornblenda, 5 a 20% de plagioclásio, 1 a 10% de epidoto, 10 a 20% de clorita, 5 a 20% de carbonato, 10 a 25 % quartzo, 1 a 10% de titanita, 1 a 3% de magnetita, 1 a 2 % de tremolita-actinolita, 1 a 2 % de pirita além de traços de rutilo, ilmenita e calcopirita (TAB. 4.5).

A hornblenda ocorre em cristais subédricos a anédricos com até 1,5 mm de comprimento e geralmente envolve-se em agregados de clorita, epidoto e carbonato, tremolita-actinolita e opacos. A clorita exibe cor de interferência azul a roxa, característica da variedade rica em ferro (FIG. 4.27 A).

O plagioclásio exibe extinção ondulante e macla Carlsbad, e quando em avançado estágio de saussuritização ocorre no núcleo de agregados com carbonato, mica branca e epidoto.

Cristais de carbonato são euédricos, límpidos e encontram-se comumente em agregados de quartzo fino poligonizado ou alterando o plagioclásio original. O quartzo apresenta-se em cristais de contatos poligonizados e de modo geral estão alongados.

A titanita forma cristais disformes, esqueletais, manchados e leucoxenizados com tamanhos de até 1,2 mm. A magnetita forma cristais euédricos de até 0,4 mm e comumente ocorre associada com agregados de anfibólio em porções mais preservadas do protólito (FIG. 4.27 A,C).

A pirita ocorre em cristais finos, de até 0,08 mm, euédricos e associados a finos cristais de epidoto e porções de quartzo poligonal.

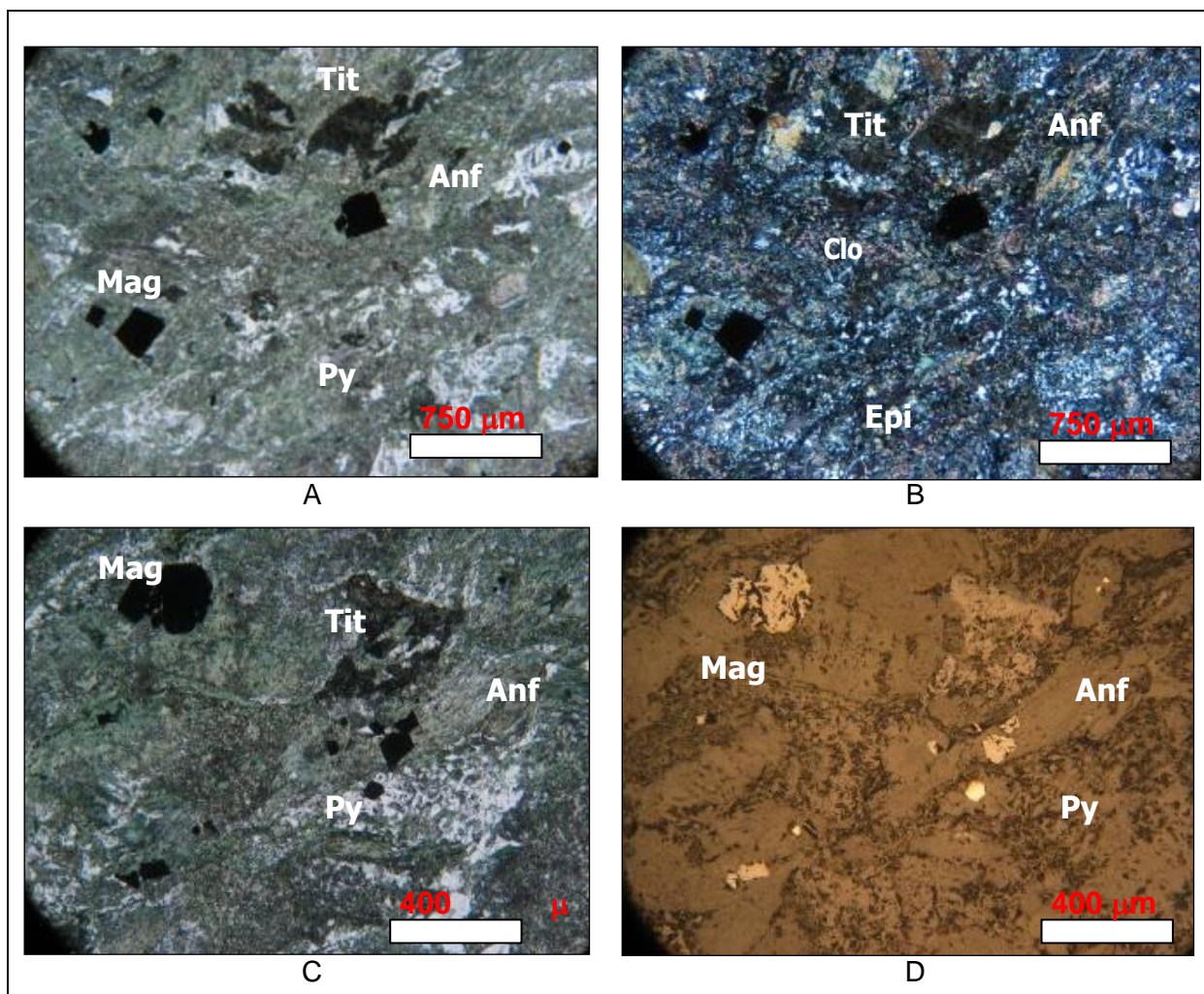


FIGURA 4.27 – Fotomicrografia da lâmina FCS926 - 155,65 m. Metabásica com alteração clorítica, com relictos de hornblenda e magnetita, além de traços de titanita e pirita euédrica.

A e C nicóis cruzados e luz refletida;
 B- nicóis descruzados, luz refletida;
 D - luz transmitida e nicóis descruzados.

4.3.5.2.2 Porção intermediária da metabásica cloritizada

A rocha é verde pálido a fosco, e apresenta texturas granoblástica e lepidoblástica. Constitui-se por 20 a 45% de quartzo, 30 a 50% de carbonato, 20 a 30% de clorita, 10 a 20 % de plagioclásio, 2 a 5 % de muscovita, 1 a 3% de titanita, 1 a 3 % de rutilo e traços de pirrotita, pirita, ilmenita, calcopirita, esfalerita (FIG. 4.28).

Nestas porções nota-se um aumento na proporção de venulações de quartzo, carbonato e clorita, formando um *stockwork*, em que o enxame de veios pode estar entrelaçado, paralelo ou microdobrado. O quartzo apresenta-se em cristais de

granulação fina, em torno de 0.05 a 0,1 mm, mas que atingem até 1 mm. Os contatos são retos e poligonizados. Localmente os cristais exibem extinção ondulante.

Plagioclásio aparece em cristais subédricos com até 1,6 mm de comprimento, comumente maclados segundo Carlsbad. O carbonato exhibe-se em cristais subédricos a euédricos, localmente poiquiloblásticos com inclusões de plagioclásio e quartzo (FIG. 4.28).

A clorita ocorre em níveis ou faixas milimétricas na forma de massas orientadas segundo a foliação e com típica cor de interferência azul ou roxa, indicando uma composição rica em ferro. Localmente possui hábito lamelar subédrico com até 0,2 mm de comprimento (FIG. 4.28. F).

Rutilo encontra-se em massas anédricas dispersas por toda a rocha com até 0,1 mm de diâmetro. Ilmenita é rara e ocorre inclusa em carbonato poiquiloblástico. Titanita ocorre em grãos anédricos a subédricos de até 0,05 mm de tamanho.

Pirrotita é rara e apresenta-se em cristais subédricos de até 0.05 mm. Calcopirita e esfalerita são subédricas, com até 0,05 mm.

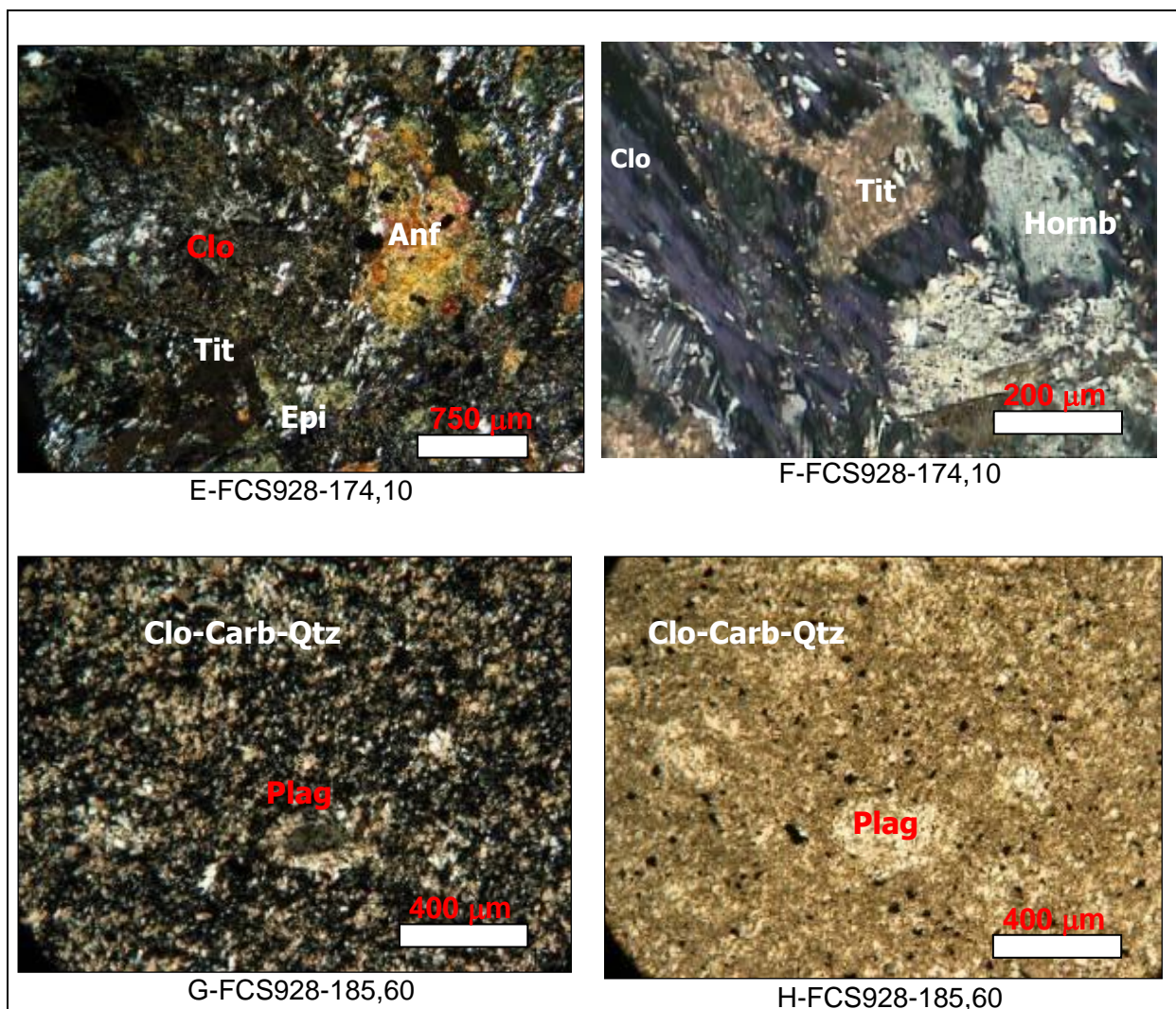


FIGURA 4.28

E - Amostra FCS928-174,10 – Rocha mostrando massas de epidoto, agregados de anfibólio, faixas de clorita e cristais esqueletais de titanita. Luz transmitida, nicóis cruzados (25X).

F - Amostra FCS928-174,10 – Detalhe mostrando trama de palhetas de clorita, titanita e hornblenda. Luz transmitida, nicóis cruzados (200X);

G - Amostra FCS928-185,60 – Rocha caracterizada por massa fina de clorita, carbonato e quartzo, com cristal de plagioclásio maclado, bordejado por carbonato e quartzo. Luz transmitida, nicóis cruzados

H - Amostra FCS928-185,60 – IDEM anterior com luz transmitida, nicóis descruzados (B) (50X).

4.3.5.2.3 Bordas das intrusões de metabásicas cloritizadas

Constitui-se basicamente por cerca de 25 a 50% de carbonato, 20 a 35 % de quartzo, 10 a 25 % de clorita, 5 a 20 % de plagioclásio, 1 a 5 % de muscovita, 1 a 3 % de rutilo além de traços de pirrotita, pirita, calcopirita, ilmenita, esfalerita (FIG. 4.29).

Plagioclásio em cristais anédricos a subédricos, que atingem até 0,8 mm de comprimento, encontra-se disperso na rocha e associado a massas de carbonato e quartzo. Muscovita forma finas lamelas de até 0,2 mm.

Massas e cristais intergranulares de clorita com cor de interferência azulada a roxa estão dispersos em toda a rocha. Exibe hábito lamelar e atinge até 2 cm de comprimento.

Carbonato aparece em três formas diferentes:

- (i) extensas massas de cristais anédricos e de contato irregulares em vênulas milimétricas;
- (ii) em cristais anédricos a subédricos com granulação média de 0,2 mm, dispersos na rocha ; e
- (iii) em cristais subédricos a euédricos (blastos) com até 2,8 mm, que sobrecrescem plagioclásio ou carbonato (FIG. 4.29).

Quartzo ocorre em cristais finos com tamanhos médios de 0,1 mm, mas que podem atingir até 0,8 mm, e com contatos poligonais a irregulares.

Pirita em finos cristais subédricos a euédricos possuem até 0,2 mm de diâmetro.

Esfalerita ocorre associada a bordas de calcopirita.

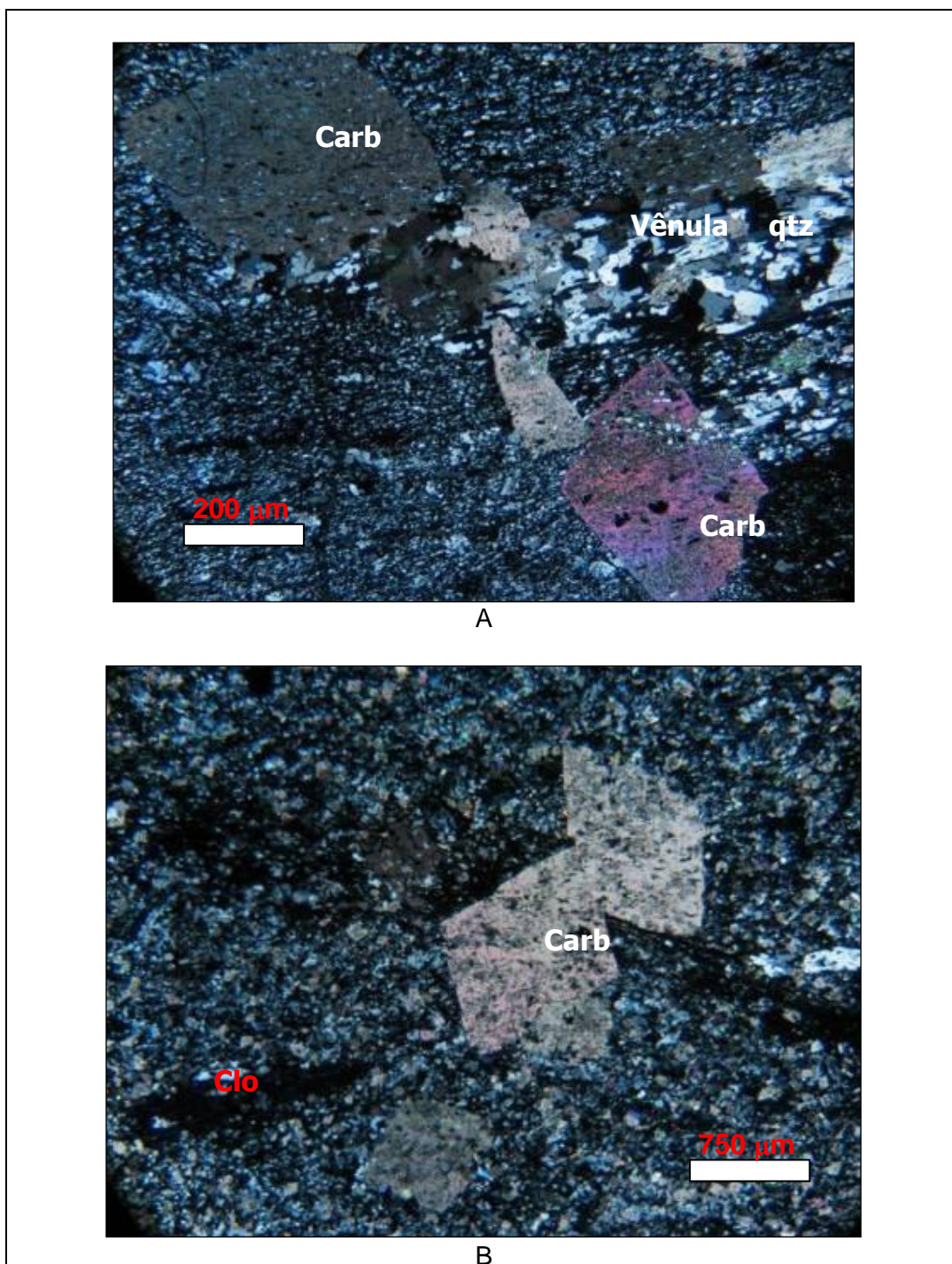


FIGURA 4.29 – A Amostra FCS-931-154,15

A – Vênula discordante e descontínua de quartzo. Esta parece preceder blastos de carbonato, já que os cristais sobrecrecem da mesma. Luz transmitida, nicóis cruzados (25X);

B - Amostra FCS-931-154,15(B) – Blastos de carbonato, sericita - muscovita e faixas irregulares de clorita rica em Fe. Luz transmitida, nicóis cruzados (25X).

4.3.5.3 Metabásica a piroxênio (MBpx ouDB4)

Na cava Bocaina, a nordeste do Depósito Laranjeiras, aflora um dique de metabásica de direção geral N–N5° W, com caimento de 50° à 55° para E-NE, variando de 60 a 100 metros de espessura e com ramificações de espessuras decamétricas (FIG. 4.3, 4.3a e Anexo 4.1)

Este dique posiciona-se no contato entre as Unidades Santa Quitéria e Córrego do Sítio, e claramente corta todas as unidades metassedimentares e os diques metabásicos com cloritização e os com carbonatação. Não são descritas mineralizações associadas a esta rocha (FIG. 4.30).

A rocha apresenta-se zonada, com o centro granoblástico constituído por piroxênio, anfibólio, plagioclásio cálcico, biotita, carbonato, muscovita, titanita, epidoto, clorita férrica, quartzo, apatita magnetita, ilmenita, e traços de pirrotita, pirita, e calcopirita. Na borda a textura torna-se lepidoblástica e constitui-se por quartzo, plagioclásio, clorita férrica, epidoto, biotita, titanita, muscovita, carbonato e traços de ilmenita, pirita, pirrotita e calcopirita (FIG. 4.31), sugerindo modificações metamórficas e metassomáticas.

Na borda inferior ocorrem porfiroblastos félsicos ovalados variando de 1 a 10 cm, constituídos por quartzo e plagioclásio imersos em matriz fina de clorita, carbonato, epidoto, muscovita, ilmenita e rara pirita (FIG. 4.31).

Em afloramentos e em furos de sondagem o contato da lapa do dique a piroxênio apresenta preenchimento com veio de quartzo espesso estéril, localmente cisalhado. O contato é tectônico e marcado por um maior fraturamento e decomposição intempérica da rocha.

Dados preliminares indicam que esta metabásica a piroxênio estende-se para sul sudeste até cortar a sequência de quartzitos Proterozóicos da Serra do Caraça, possivelmente correlacionando-se com os diques metabásicos descritos por Ribeiro Rodrigues *et al.* (1993) de idade Brasiliana e que preenchem falhas de empurrão de direção N-S, caimento para este, e direção de transporte tectônico para oeste.

Rochas semelhantes ocorrem no Depósito Grotta Funda, Lineamento Córrego do Sítio, e possivelmente também relacionadas a falhas de empurrão.



FIGURA 4.30

a) Fotografia panorâmica de afloramento de Metabásica com piroxênio (MBpx) posicionada entre a Unidade Córrego do Sítio Superior (lapa) e Unidade Santa Quitéria (capa). Notar ainda veios de quartzo que as separa.

b) Detalhe do contato na lapa do dique metabásico que apresenta faixas de veio de quartzo cisalhado alternado com dique estreito de metabásica que contém porfiroblastos de feldspato.



FIGURA 4.31

- A - Fotografia de afloramento de metabásica intemperizada com aglomerados estirados de feldspato.
- B - Detalhe do contato da metabásica e a Unidade Córrego do Sítio superior, com instalação em fraturas ortogonais ao contato.
- C- Afloramento no piso de metabásica com porfiroblastos de feldspato.
- D- Foto de testemunho de sondagem do furo FCS1231-130,25 m, com metabásica verde contendo porfiroblastos alinhados de feldspato.

A metabásica a piroxênio é uma rocha zonada do centro para a borda, diferenciando-se por aspectos texturais, mineralógicos e geoquímicos . Na porção do central, a dimensão dos cristais varia de média a grossa e predomina uma textura granoblástica, enquanto que nas bordas os cristais são finos a médios e a textura torna-se lepidoblásticas, com o aumento de percentagem de biotita, muscovita e clorita.

Microscopicamente é uma rocha heterogênea com 25 a 30 % de biotita, 5 a 10 % de quartzo, 5 a 10 % de muscovita, 5 a 10 % de clorita, 5 a 15 % de epidoto, 5 a 10 %

de plagioclásio, 10 a 15 % de titanita, 5 a 25 % de carbonato, 1 a 5 % de apatita, 1 % de piroxênio além de traços de pirrotita, calcopirita, ilmenita (TAB. 4.6).

Raro relicto de piroxênio, confirmado por MEV, ocorre associado à massa de biotita e cristais de titanita (FIG. 4.32).

O plagioclásio apresenta-se em cristais tabulares de até 0,8 mm e exibe macla da Lei da albita. Grandes cristais de plagioclásio, com até 3 mm, são substituídos em sua parte interna por biotita e carbonato.

A biotita ocorre em massas segundo uma orientação preferencial, e as palhetas podem estar alteradas a clorita e ou muscovita. O quartzo é fino, granoblástico e localmente ocorre em vênulas milimétricas com carbonato. Muscovita ocorre com finas palhetas em massas de biotita, plagioclásio e clorita.

Clorita forma-se basicamente a partir da biotita e apresenta cor de interferência azul a roxa, indicando uma composição rica em Ferro. Epidoto ocorre em finos bastões, com até 0,15 mm, comumente associados a palhetas de clorita, quartzo e plagioclásio, ou em massas junto a titanita. Os cristais de titanita exibem granulação média a grossa, variando de 0,5 à 5 mm. São cristais anédricos a subédricos e relacionados a massas de biotita e clorita. Por vezes contêm inclusões relictas de ilmenita (FIG. 4.32).

Carbonatos apresentam-se dispersos na rocha na forma de cristais límpidos e comumente associados com epidoto. Ocorre ainda em venulações carbonáticas com quartzo e biotita subordinados.

A apatita mostra-se em cristais finos e de hábito euédrico. Raros cristais anédricos a subédricos de calcopirita, pirrotita e pirita são descritos com cristais finos e comumente associados a massas de biotita, nas bordas dos cristais de titanita ou em agregados de epidoto, clorita e quartzo.

TABELA 4.6
Distribuição dos minerais nas amostras de lâminas
do FCS1231 em metabásicas com piroxênio.

Rochas metabásicas à piroxênio do FCS1231					
Intervalo	P103,25	P160,45	P161,60	P177,60	Média
Posição relativa	centro	intermediária	intermediária	borda	MBpx
Minerais	%	%	%	%	%
Quartzo	10	3	15	30	15
Piroxênio	1	0	0	0	1
Plagioclásio	5	1	10	0	5
Clorita férrica	10	10	10	10	10
Epidoto	10	15	15	1	10
Biotita	25	25	30		27
Titanita	13	14	10	6	11
Muscovita	10	5	3	40	15
Calcita, Ankerita, Siderita	8	25	5	10	12
Magnetita	1	0	0	0	1
Ilmenita	0.5	0.5	0.5	1	1
Pirita	1	1	1	1	1
Pirrotita	1	1	1	1	1
Calcopirita	0.5	1	0.5	0.5	1
Esfalerita				0.5	1
Apatita	3	1	1	1	2

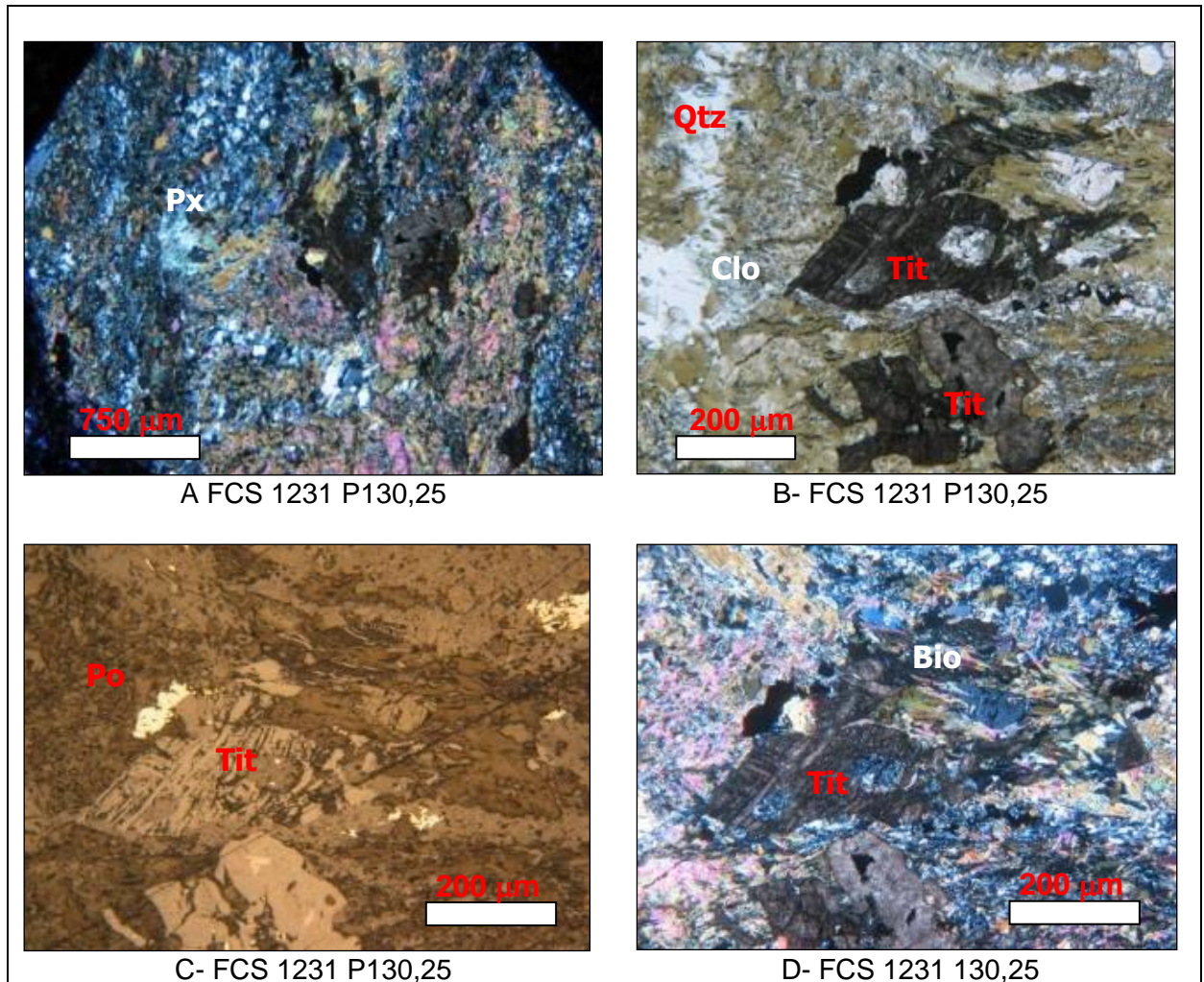


FIGURA 4.32

- A - Amostra FCS1231 130,25 – Cristal de piroxênio envolto em massas de biotita, de titanita e quartzo. Luz transmitida, nicóis cruzados (25X).
- B- Amostra FCS1231 130,25 – Cristais de titanita (relictos de ilmenita) e massa de biotita (alterada a clorita localmente) em xisto. Luz transmitida, nicóis descruzados,
- C - Amostra FCS1231 130,25 – Finos cristais de pirrotita em borda de titanita. Luz refletida (50X).
- D - Amostra FCS1231 130,25 – Finos cristais de pirrotita em borda de titanita. Luz transmitida, nicóis cruzados (50X).

4.4 GEOLOGIA ESTRUTURAL

Neste capítulo, busca-se apresentar o estado-da-arte do conhecimento da geologia estrutural do Lineamento Córrego do Sítio, e para tal o autor apresenta a estruturação das minas São Bento, Córrego do Sítio e Pilar, segundo, respectivamente, as dissertações de mestrado de Martins Pereira (1995), Canale (1999) e Ferreira da Silva (2007).

Além dos trabalhos publicados na literatura geológica, anteriormente descrita, o autor utiliza os documentos internos, elaborados por geólogos da empresa e os de consultoria técnica externa, tais como os de Wilson (1999), Bennel (2001), Holcombe (2005), Rankin (2006) e especialmente Espada (2003 a, b), que uma vez condensados contribuem para o esboço de um quadro amplo sobre as principais feições estruturais locais e como estas controlam a geometria dos corpos de minério. Finalmente o autor apresenta suas próprias observações, obtidas a partir do mapeamento geológico e análise estrutural aplicada sobre os dados coletados nas cavas Crista, Laranjeiras, Carvoaria e Bocaina e na descrição de cerca de 500 furos / 100 km de sondagem geológica, distribuídos por todo o Lineamento Córrego do Sítio.

4.4.1 Trabalhos anteriores sobre a estruturação da porção oriental do QF.

Em termos regionais, a porção oriental do Quadrilátero Ferrífero destaca-se pela inversão estratigráfica, materializada pelo cavalgamento do Complexo Santa Bárbara por sobre as rochas do Supergrupo Rio das Velhas devido à movimentação tectônica de leste para oeste segundo o sistema de cisalhamento Fundão-Cambotas (CHEMALE JR. *et al.*, 1994) (FIG. 4.33 e 4.34). Este sistema de cisalhamento representa uma frente de empurrões e dobras compreendida pelas falhas do Fundão (DORR II, 1969) e das Cambotas (CROCCO-RODRIGUES, 1991), que se articulam ao sul do Sinclinal Gandarela (CHEMALE JR. *et al.*, 1994) (FIG. 4.33 e 4.34).

O sistema de cisalhamento Fundão-Cambotas é uma zona de empurrão, de direção geral norte-sul, com vetor de transporte tectônico orientado de leste para oeste

mergulhando com ângulos de 30° a 50° para leste e, segundo Chemale Jr. *et al.* (1994), corresponde a um típico sistema de falhas com rampas frontais, laterais e oblíquas, formado durante o Evento Brasileiro, em regime compressivo e com vergência para oeste (FIG. 4.34).

As porções central e a norte da zona de cisalhamento Fundão-Cambotas estão relativamente menos deformadas pelo Evento Brasileiro, e não foram afetadas pela intrusão do Domo de Caeté (FIG. 4.33). Nestas porções, o Supergrupo Minas foi dobrado em uma série de dobras de escala regional com vergência para noroeste e nordeste. Exemplos destas estruturas incluem o Sinclinal Gandarela, o Anticlinal Conceição, a metade nordeste do Sinclinal Ouro Fino, e o conjunto de dobras do topo da Serra do Caraça (CHEMALE JR. *et al.*, 1994)(FIG. 4.34).

Os quartzitos da Serra do Caraça mostram uma série de dobras abertas, com vergência para noroeste, cortadas por uma família de falhas de empurrão e diques de rochas metabásicas de direção norte (ALKMIM & MARSHAK, 1998) (FIG. 4.34).

A estruturação da porção oriental do QF é complexa e controversa e, para seu melhor entendimento, é apresentado um resumo dos principais aspectos estruturais extraídos das dissertações de mestrado de Martins Pereira (1995), Canale (1999) e Ferreira da Silva (2007), que descreveram em detalhe os Depósitos São Bento, Córrego do Sítio e Pilar, respectivamente (QUADRO 4.5).

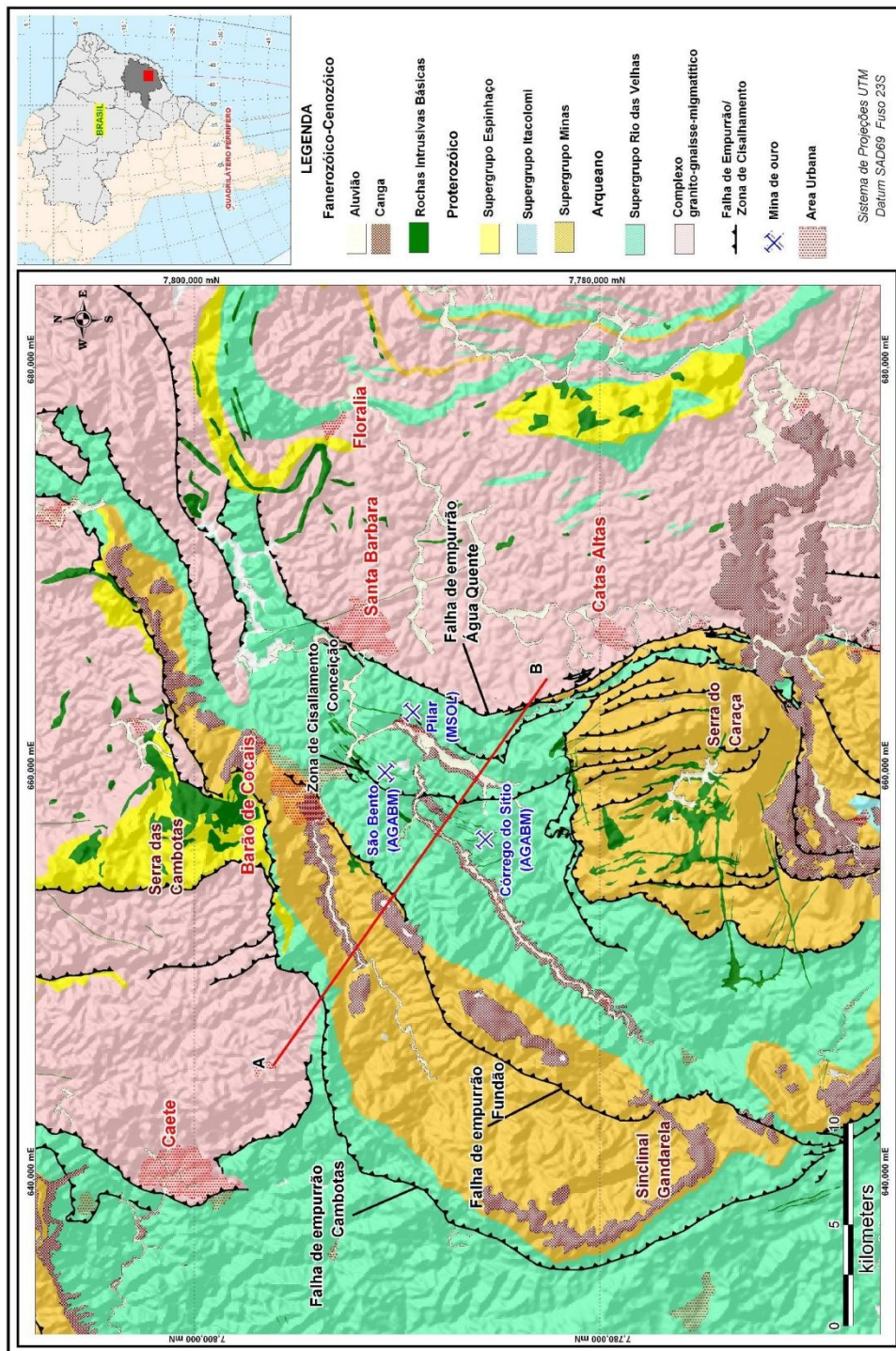


FIGURA 4.33: Mapa geológico simplificado da porção oriental da região do QF, com localização das falhas empurrão da Água Quente, Cambotas e Fundão, minas mais importantes e localização aproximada do perfil esquemático da FIG. 4.34.

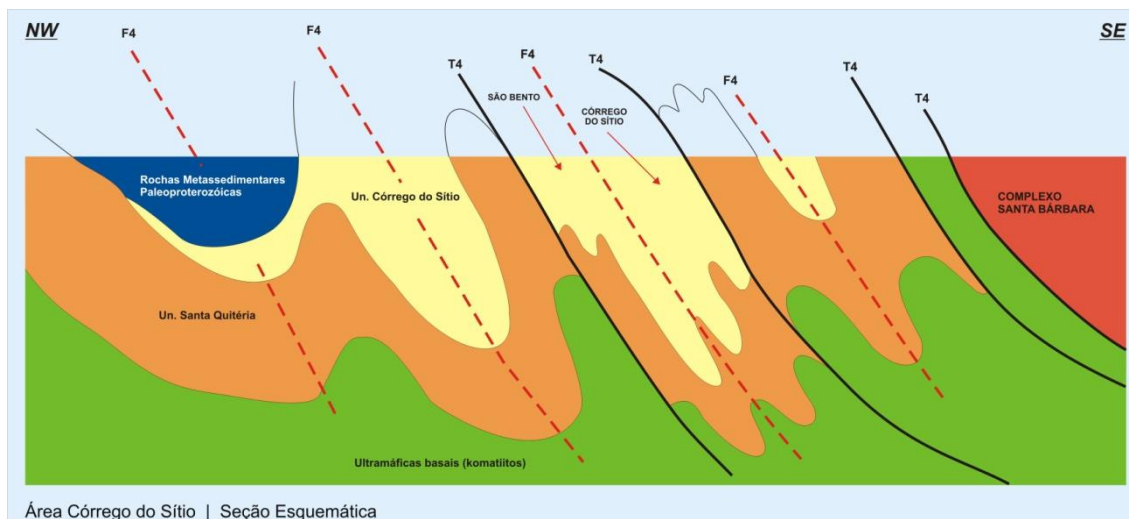


FIGURA 4.34 – Perfil esquemático NW-SE, representando a inversão estratigráfica, devido ao empurrão do Complexo Santa Bárbara sobre o Grupo Quebra Ossos (verde) e deste por sobre as unidades Santa Quitéria (laranja). Córrego do Sítio (amarelo) e Supergrupo Minas (azul).
Fonte: modificado de Rankin (2006).

4.4.1.1 Estruturação da Mina São Bento

A Mina São Bento, localizada na Zona de Cisalhamento Conceição, no sentido de Martins Pereira (1995), (FIG. 4.35), apresenta resumidamente as seguintes características:

- A estrutura da área da mina é um homoclinal com foliação 120 a 130/50 a 60 (*dip direction/dip*) marcada por intensa deformação, e acentuada por zonas de cisalhamento dúctil, paralelas à foliação, que fazem com que os estratos, de diferentes competências, sejam achatados e estirados.
- A fase de deformação D1 é caracterizada pela formação de dobras muito apertadas a isoclinais, similares, com arranjo em S e Z, e onde o bandamento composicional é paralelizado tanto ao contato entre as unidades litoestratigráficas, quanto com a foliação. Este conjunto é marcado por intensa transposição e geração de zonas com diferentes graus de milonitização no sentido de Sibson et al (1988) e Sibson et al. (1998).
- A foliação S_1 é plano axial às dobras da fase D1 e paralelizadas ao bandamento composicional, e que produz uma lineação de interseção L_1 , que é por sua vez paralela ao eixo das dobras b_1 . As estruturas L_1 e b_1 são rotacionadas pelas deformações subseqüentes, segundo máximos em torno de 60/35 a 45 ou 240/ 35

a 45, e que são interpretadas como uma variação contínua, ou como uma população bimodal (MARTINS PEREIRA, *et al.*, 2005). Estruturas semelhantes são descritas por LADEIRA & VIVEIROS (1984 a, b) no Supergrupo Rio das Velhas, especialmente na região de Nova Lima.

- O segundo evento, D_2 , superimpõe-se e rotaciona as estruturas previamente desenvolvidas, em um ambiente compressional, dúctil, caracterizado pela formação de zonas de cisalhamento, em que a foliação assume o caráter de foliação milonítica associada a estruturas S-C e porfiroclastos do tipo sigma, que indicam um movimento de E para W.
- A foliação S_2 , associada a D_2 , apresenta variações em sua orientação geométrica / espacial, acompanhando as anisotropias das superfícies de transporte tectônico. Nesta fase desenvolve-se uma lineação de estiramento e mineral (L_m) com atitude 145/52, que é paralela ao *plunge* dos corpos de minério

Na Mina São Bento a instalação dos veios de quartzo-carbonato-sulfeto e ouro pós-datam as dobras da fase D_1 , pois cortam os estratos dobrados da formação ferrífera hospedeira da mineralização.

O terceiro evento D_3 é considerado como um estágio rúptil da fase D_2 e que gera estruturas tais como clivagem de crenulação espaçada e de fraturas, com direção grosseiramente NNW, NE e EW.

No QUADRO 4.5 é apresentado um resumo das principais feições estruturais descritas por Martins Pereira (1995) para a região da Mina São Bento.

QUADRO 4.5
Sinótese das estruturas da Mina São Bento, modificado
de Martins Pereira (1995) e Ladeira & Ferreira (2000).

EVENTO	CARACTERÍSTICA	ELEMENTOS	FOLIAÇÃO	LINEAÇÃO	OBS
D ₁	Dúctil	-Dobras muito apertadas a isoclinais; -Vergência NW. -Bandamento /acamamento paralelo à foliação plano axial S1.	-S1 127/51 (Ladeira e Ferreira, 2000) -S1 118/50	Ladeira e Ferreira , 2000 b1 - 77/44 b1 - 117/51 b1 - 176/14 L1 - 118/52 L1 - 200/19 <hr/> Martins Pereira, 1995 L1 - 193° /35° L1 - 50 /35° b1 -50 - 60 / 30 a 40	-Plano axial das dobras paralelas à foliação S1. -Lineação de interseção, L1, entre o acamamento / bandamento e o plano axial das dobras b1. -Lineação de interseção L1 paralelo ao eixo das dobras b1
D ₂	Dúctil - Rúptil	-Zona de empurrão e milonitização. -Transporte tectônico de SE para NW.	Foliação milonítica S ₂ = 145°/50°	-Rotação de S1 e L1 - -S2m - 118/50; Lm - 145/52	-Foliação milonítica. - Lineação de estiramento Lm= 145/52 -Minério controlado pela direção da lineação de estiramento/ mineral Lm. Plunge do depósito down-dip
D ₃	Rúptil,	-Clivagem de crenulação espaçada; -clivagem de fraturas -Amplas flexuras	-S ₃ -315/45° - 50° -Fraturas de direção NNW, NE e EW. -Eixos de dobras horizontalizados de direção N-S.	Lineação de interseção da clivagem de crenulação com o acamamento e/ou foliação horizontalizados.	-Estas estruturas são descritas no Sinclinal Gandarela - Supergrupo Minas (Rosière et al.,1987). -Encurtamento E-W desenvolvidas por flambagem; -Comportamento rúptil tardio de D ₂ ; -Sistema conjugado de falhas com direções distintas.

4.4.1.2 Estruturação da Mina Córrego do Sítio

Em sua dissertação de mestrado, sobre a Geologia do Depósito Córrego do Sítio, Canale (1999) identifica dois domínios estruturais distintos, leste e oeste, que abrigam zonas de cisalhamento subparalelas e hospedeiras das mineralizações auríferas. A QUADRO 4.6 abaixo sintetiza suas principais observações estruturais.

Canale (1999) identifica as diferentes famílias de estruturas planares e lineares dos Depósitos Grotta Funda, Rosalino, Lajeado, Cachorro Bravo, Crista, Candeia e Cristina.

- A fase D1 sobrepõe-se às estruturas primárias do acamamento S0 e desenvolve uma xistosidade regional S1 de direção predominante 100 -120/45-55, com inversões localizadas para NW, no domínio leste da área.

A foliação milonítica S_{m1} é progressiva e paralelizada à direção de S_1 , comumente associada às áreas mineralizadas, e associada a boudinagem e silicificação.

Em mesoescala e microescala, as feições produzidas pelas zonas de cisalhamento, incluem: boudinagem da foliação S1, porfiroblastos de pirita rotacionados e múltiplos veios deformados, que formam estruturas do tipo *pinch and swell*, *boudins*, dobras isoclinais e raros *tension gashes*.

Os veios quartzo-carbonáticos comumente ocorrem estirados e boudinados segundo os planos XY e YZ do elipsóide de deformação, o que produz uma morfologia de “tabletes de chocolate”.

Além dos veios deformados, observam-se ainda, estruturas S-C, porfiroclastos de quartzo rotacionados e/ou textura *ribbon*, feições de deformação e recuperação intracristalina, exibida por grãos resistatos de quartzo e plagioclásio e, mais raramente, *mica fish*.

Os indicadores cinemáticos, de maneira geral, apresentam-se com uma frequente ausência de assimetria. Estruturas assimétricas ocorrem de forma mais localizada e, onde identificadas, revelam um movimento predominantemente dextral.

- A fase D2 caracteriza-se pela crenulação e transposição da foliação S1, que evolui para uma clivagem de crenulação S2 predominante 280 a 320/ 40 a 65 (*dip direction / dip*). Desenvolve-se uma lineação Ic2 com direção 200 a 230 e caimento subhorizontal, com locais inversões da inclinação para NE.
- A fase D3 é caracterizada por um regime dúctil com a geração de dobras métricas com eixos Ib3 com caimento subhorizontal ora para SW ora para NE. Estas mesodobras produzem inversões no sentido do mergulho da foliação S1 de SE para NW, bem como a mudança de orientação num ângulo aproximado de 180° das demais estruturas. Estas estruturas promovem importantes modificações na geometria do minério do Depósito Cachorro Bravo.
- A fase de deformação D4 representa um regime rúptil com o desenvolvimento de fraturas pouco espaçadas com direção preferencial WNW-ESSE e caimento subvertical, com atitudes máximas de 2/85. De maneira geral, a orientação das fraturas S4 coincide com a orientação dos lineamentos regionais observados em fotografias aéreas, sugerindo tratar-se de um padrão regional de fraturamento.

QUADRO 4.6
Sinópsese das fases de deformação no Depósito Córrego do Sítio,
modificado de Canale (1999).

Fase de deformação	Natureza da deformação	Estruturas	Domínio Oeste	Domínio Leste
D ₁	Dúctil	S ₁	-NE-SW c/ mergulho SE. -S1 114/49 Le1 45 a 90 /30 a 55	-NE-SW c/ mergulho SE, c/ inversões p/ NW. -S1 121/49
		S _{m1}	-Foliação milonítica subparalela à S1.	-Subparalela S1.
		L _{e1}	-Inclinação p/ SE.	-Inclinação p/ SE, c/ inversões p/NW.
D ₂	Dúctil-rúptil	S ₂	-Clivagem de crenulação NW-SE c/ mergulho SW. S2 293/ 52	-NW-SE c/ mergulho p/ SW, c/ inversões p/ SE.S2 39/42 S2 324/51
		L _{c2}	-Inclinação subhorizontal p/ SW.	-Inclinação subhorizontal p/SW.
D ₃	Dúctil-rúptil	L _{b3}	-Não ocorre. - Lb3 29/3	-Caimento subhorizontal, ora p/ SW, ora p/ NE.
D ₄	Rúptil	S ₄	-NW-SE c/ mergulho subvertical. -S4 2/85	Clivagem de crenulação e de fraturas NW-SE c/ mergulho subvertical.Padrão regional de fraturamento EW.

4.4.1.3 Estruturação da Mina Pilar

O Depósito Pilar apresenta complexa evolução estrutural proveniente da superimposição de quatro eventos deformacionais. Dentre estes, três desenvolvem-se em ambiente dúctil a dúctil-rúptil e, no último deles, predomina um ambiente rúptil, tal como sintetizado no QUADRO 4.7, modificado de Ferreira da Silva (2007).

- Apesar da intensa deformação, ainda é possível o reconhecimento de feições primárias tais como acamamento rítmico composicional em metapelitos, sequências de *pillows lavas* nas rochas máficas e microbandamento na formação ferrífera.

- O primeiro evento, D1, produziu dobras muito apertadas a isoclinais, com vergência para NW, de eixo inclinado e espessamento na zona da charneira, além de dobras parasíticas de variadas dimensões. Durante este evento (D1) é gerada a dobra F1, a foliação plano axial (S1), uma lineação de eixo de dobra Lb1 e a lineação mineral (L1)

A dobra F1 é formada pelo dobramento do acamamento/bandamento primário, S₀, e apresenta dimensões variáveis de centímetros a centenas de metros. Em escala local caracteriza uma estrutura sinforme, de estilo fechado à isoclinal, com eixo inclinado e espessamento na zona de charneira e vergência para NW.

A lineação de eixo de dobra Lb1, 135/50, é um dos principais controles estruturais da mineralização aurífera, e forma *oreshoots* contínuos e levemente ondulados segundo a direção *down plunge* na formação ferrífera bandada.

- O evento D2 desenvolve-se em ambiente variável entre dúctil e rúptil e caracteriza-se pela formação da Zona de Empurrão Principal, de rampa frontal oblíqua, com vergência para NW e dimensões regionais. Durante este evento há uma inversão tectônica que coloca as rochas do Grupo Quebra Ossos por sobre as rochas do Grupo Nova Lima.

A Zona de Cisalhamento Principal é uma estrutura de caráter regional, que corta a área do depósito na direção NE-SW, composta por duas frentes sub-paralelas, com *trend* geral NE-SW e mergulhos variáveis para SE. É caracterizada por feições de *slickensides* nas rampas de empurrão, foliação milonítica, estruturas S-C, porfiroblastos com sombras de pressão, sigmóides e dobramentos.

- O evento D3 desenvolve-se sob condições dúctil-rúptil, progressivo e superimposto às estruturas anteriormente formadas. As principais estruturas descritas são clivagem espaçada (S3), clivagem de crenulação (Sc), eixo de crenulação (Lbc) e a lineação de interseção entre os planos S1 versus S3 (Li). Não há mineralização aurífera relacionada a esta fase e nem deslocamentos substanciais dos corpos mineralizados.

- O quarto e último evento D4 constitui-se por um sistema conjugado de falhas, de pelo menos três direções distintas e extensões quilométricas, e que cortam todas as estruturas anteriores.

As mineralizações auríferas ocorrem principalmente nas zonas de charneiras da fase D1 nos limites dos contatos, tanto da capa quanto da lapa, da formação ferrífera bandada. Os corpos de minério são tabulares, contínuos, de espessura variável e de padrão anastomosado. Outro tipo de mineralização ocorre em zonas de cisalhamento, com a instalação de veios quartzo-carbonato-sulfeto hospedados em xistos máficos. Estas zonas estão orientadas segundo NE-SW com mergulhos para SE.

QUADRO 4.7
Sinópsse das principais feições estruturais no Depósito Pilar,
modificado de Ferreira da Silva (2007).

EVENTO	CARACTERÍSTICA	ELEMENTOS	FOLIAÇÃO	LINEAÇÃO	OBS
D ₁	Dúctil	Dobras isoclinais a apertadas. Vergência NW.	-S ₁ -130/50° SE	-L ₁ -135/ 50 (dip direction/dip) -Lm ₁ -135/50 -Lb1 // L1	-Controla a geometria do minério principal associado ao eixo de dobra Lb1 desenvolvidos em formação ferrífera bandada.
D ₂	Dúctil - Rúptil	Zonas de empurrão e milonitização	-S ₂ - 135//50		-Mineralizações associadas a veios de quartzo-carbonato-sulfeto hospedados em zona de cisalhamento de direção NE-SW com mergulhos para SE.
D ₃	Dúctil - Rúptil	Clivagem de crenulação e espaçada	-S ₃ - N35°E/45° - 50° NW	-L _{i3} /200/20 (dip/dip direction)	-Não há mineralização associada a estas estruturas;
D ₄ (?)	Rúptil	Falhas e fraturas	-N60° E/60° - 80° SE -N50°E/ variado. -NW-SE/caimento de forte inclinação para NE		-Sistema conjugado de falhas de, pelo menos, três direções distintas

4.4.1.4 Discussão

Apesar das diferenças litoestratigráficas as mais importantes mineralizações auríferas da porção oriental do QF, São Bento, Córrego do Sítio e Pilar, mostram algumas feições estruturais similares:

- As mineralizações estão hospedadas em zonas de cisalhamento dúctil, desenvolvidas sobre as mais variadas litologias hospedeiras, tais como xisto carbonoso, metagrauvaca, formação ferrífera bandada e metamáfica.
- A primeira fase de deformação, D_1 , produz dobras apertadas a isoclinais em seqüências de rochas metassedimentares e metamáficas que, apesar de intensa, localmente preserva algumas feições sedimentares originais, tais como acamamento com granodecrescência, acamamento com estratocrescência, bandamento químico-sedimentar e estruturas *pillow lava*. A foliação S_1 , plano axial, apresenta direção NE-SW com caimento em torno de 50 a 70 graus para SE, se não modificada por fases subsequentes.
- A segunda fase (D_2) é um evento progressivo e coaxial com a primeira fase, que acentua a deformação pré-existente e produz zonas de cisalhamento com movimentação transcorrente dextral, *strike-slip*. É registrada por inúmeros indicadores cinemáticos, tais como *boudins*, *tension gashes*, estrias, fibras de crescimento, porfiroclastos manteados, sigmóides, *mica-fish*, foliação milonítica anastomosada e protomilonitos. O ambiente varia de dúctil a dúctil-rúptil. A direção dos planos axiais S_2 e a foliação milonítica, subparalelas à da fase D_1 , também tem direção NE-SW e caimento variando de 50 a 70 graus para SE, onde não modificada por deformação posterior.
- Na Mina São Bento as mineralizações têm geometria controlada por estruturas geradas na fase D_2 , tais como charneiras de dobras F_2 , veios de quartzo-carbonato-sulfeto instalados no plano axial de dobras F_2 , ou em *tension gashes*, *boudins* e *pods* rotacionados na zona de cisalhamento. Na Mina Pilar, Ferreira da Silva (2006) reporta que a mineralização é sin- D_1 e posteriormente modificada por D_2 .
- Nas Minas São Bento e Pilar, em que a rocha hospedeira é uma formação ferrífera, Martins Pereira (1995) e Ferreira da Silva (2007), respectivamente, informam que estruturas com plunge para SE (145/52 em São Bento e 135/50 em

Pilar), controlam a geometria do minério. Em Córrego do Sítio, onde xistos carbonosos e metagrauvas hospedam a mineralização, Canale (1999) reporta que os corpos de minério se dispõem segundo a foliação principal (S1) que é semiconcordante com uma foliação milonítica coaxial (Sm), com atitude 100 a 120/ 45 a 55, ou em charneiras de dobras, e que ainda não havia consenso com respeito à definição da direção de um *plunge* controlador das estruturas mineralizadas.

- A terceira/quarta fase de deformação desenvolve-se em ambiente rúptil-dúctil com a formação de clivagem de crenulação espaçada, clivagem de fratura, juntas, fraturas e falhas.

4.4.2. Geologia Estrutural do Lineamento Córrego do Sítio, com ênfase nos Depósitos Crista, Laranjeiras, Carvoaria e Bocaina

4.4.2.1 Introdução

Apresentam-se dados coletados durante o mapeamento geológico nas cavas a céu aberto dos depósitos Crista, Laranjeiras, Carvoaria e Bocaina, integrantes do Lineamento Córrego do Sítio, e que revelam uma evolução estrutural polifásica geradora de distintas famílias de elementos planares e lineares, estabelecidos com base nos critérios de superposição, *i.e. overprinting*.

Os elementos estruturais foram levantados usando uma notação em trama (Clark), medindo-se o sentido do mergulho do plano ou caimento da linha de máximo declive (LMD). Os dados foram tratados estatisticamente na rede de projeção estereográfica de diagrama de igual área (rede de Schmidt, hemisfério inferior) utilizando-se o *software* Georient versão 9.4.3 (HOLCOMBE, 2005).

Para a denominação dos elementos planares utilizou-se a letra “S”, conforme terminologia empregada por TURNER ET AL (1888). O acamamento original, onde ainda identificável, é referido como S_0 e a principal foliação tectônica como S_n . A idade relativa das demais superfícies de origem tectônica, em relação à S_n , é representada por um número antecedido do sinal + ou -. Desta forma S_{n+1} e S_{n-1}

indicam, respectivamente, uma foliação posterior a S_n e outra foliação anterior a S_n , e assim sucessivamente.

Os elementos lineares serão denominados utilizando-se a letra “F” no que se refere aos eixos de dobras e pela letra “L” para lineações, seguidas por letras que indicam sua origem e idade relativa. As lineações de estiramento são denominadas L_e , enquanto as lineações minerais são identificadas como L_m . Na área de trabalho reconhecem-se ainda lineações geradas por crenulação, denominadas L_c , e lineações de interseção entre superfícies oblíquas que são referidas como L_i .

A nomenclatura aqui utilizada é estritamente local e não se baseia em qualquer esquema de correlação com outros trabalhos da literatura regional (QUADRO 4.8).

QUADRO 4.8
Resumo das notações para os elementos planares e lineares descritos na área.

ELEMENTOS PLANARES	ELEMENTOS LINEARES
Estruturas primárias Acamamento S_0	
Estruturas secundárias S_n = Foliação principal S_{n+1} = Clivagem de crenulação S_{n+2} = não registra foliação S_{n+3} = Plano axial de dobras abertas, plano axial da clivagem de crenulação e planos de clivagem de fratura	F_n = Eixo de dobra L_e = Lineação de estiramento L_m = Lineação mineral L_c = Lineação de crenulação L_i = Lineação de interseção entre planos

A partir das observações de campo, aliadas aos resultados da análise estatística aplicada às medidas estruturais, é possível identificar que a evolução estrutural do Lineamento Córrego do Sítio inclui pelo menos cinco fases de deformação (D), que desenvolvem múltiplas estruturas planares e lineares, e que se sobrepõem temporal e espacialmente, durante eventos tectônicos de escala regional.

QUADRO 4.9
Resumo das principais feições estruturais do Lineamento Córrego do Sítio.

EVENTO	CARACTERÍSTICA	ELEMENTOS	OBSERVAÇÕES
Sedimentação e diagênese	Acamamento sedimentar	-Acamamento em escala milimétrica a métrica; -Acamamento gradacional; -Erosão na base dos estratos; -Estratificação cruzada acanalada de pequeno porte. -Camadas com estruturas convolutas.	-Atitude do acamamento bastante variável devido dobramentos por fases de deformação superimpostas
D _n	Dúctil - dúctil	-Dobras F _n , -Dobras assimétricas, apertadas a isoclinais, -Localmente assemelham-se a dobras em kink	F _n = 45°/N43°E S _n =60°SE/N26°E
	D _n milonítico I	-Transposição segundo o plano axial de dobras F _n -Foliação anastomosada -Foliações miloníticas com planos S-C-C' - R' - P; - <i>Boudins</i> de forma romboédrica; - <i>Pods</i> com fibras de quartzocarbonato envoltas pela foliação sigmoidal; -Veios e vênulas <i>boudinéés</i> ; - <i>Boudins</i> rotacionados; -Tension gashes sigmoidais e <i>en echelon</i> .	F _n = 45°/N43°E S _n =60°SE/N26°E As zonas de cisalhamento são grosso modo concordantes com os contatos litológicos e com as atitudes do acamamento e da foliação principal (F _n), mas em grande escala observa-se que há obliquidades, em pequeno ângulo.
D _{n+1}	Dúctil - rúptil	-Clivagem de crenulação espaçada -Instalação de veios de quartzo ao longo do plano axial das dobras e da crenulação	S _{n+1} = 35°NW/N15°E L _{0,n+1} = 4°/S45°W.
D _{n+2}	Dúctil - rúptil	-Dobras suaves do acamamento e a foliação principal.	-Não desenvolve foliação ou lineação axial.
D _{n+3}	Rúptil Dúctil	-Dobras abertas com plano axial vertical a muito inclinado variando em leque, ora para Sudoeste ora para Nordeste. -Clivagem de fratura e juntas -Preenchimento dos planos S _{n+3} com veios de quartzo.	S _{n+3} =89°SW/S66°E°

Acamamento (S0) e bandamento

O acamamento nas rochas metassedimentares clásticas e vulcanoclásticas é representado pelas intercalações milimétricas a decamétricas entre camadas de metagrauvas, metapelitos sericíticos e metapelitos carbonosos. Nestas rochas, onde pouco deformadas, é possível o reconhecimento de feições de acamamento, como deposição em regime de granodecrescência em direção ao topo, com a formação de ciclos de Bouma incompletos, laminação, erosão na base de estratos, e localmente estratificações cruzadas acanaladas de pequeno porte em bancos decimétricos de metagrauva (FIG. 4.35 A, 4.45 A e B).

Em formação ferrífera bandada, a alternância milimétrica a decimétrica ocorre entre camadas fortemente magnéticas, ricas em magnetita, com outras não magnéticas constituídas por bandas ricas em *chert* e/ou carbonato, bandas ricas em silicatos verdes tais como clorita, estilpnomelano e grunerita-cummingtonita e ainda por lentes de metapelitos carbonosos (FIG. 4.35 B); que ocorrem na área Donana.

Considerando que todas essas rochas sedimentares acham-se metamorfas, os termos acamamento e bandamento são utilizadas de forma praticamente equivalente, já que em na maior parte dos casos não é possível afirmar haver paralelismo em um e outro.

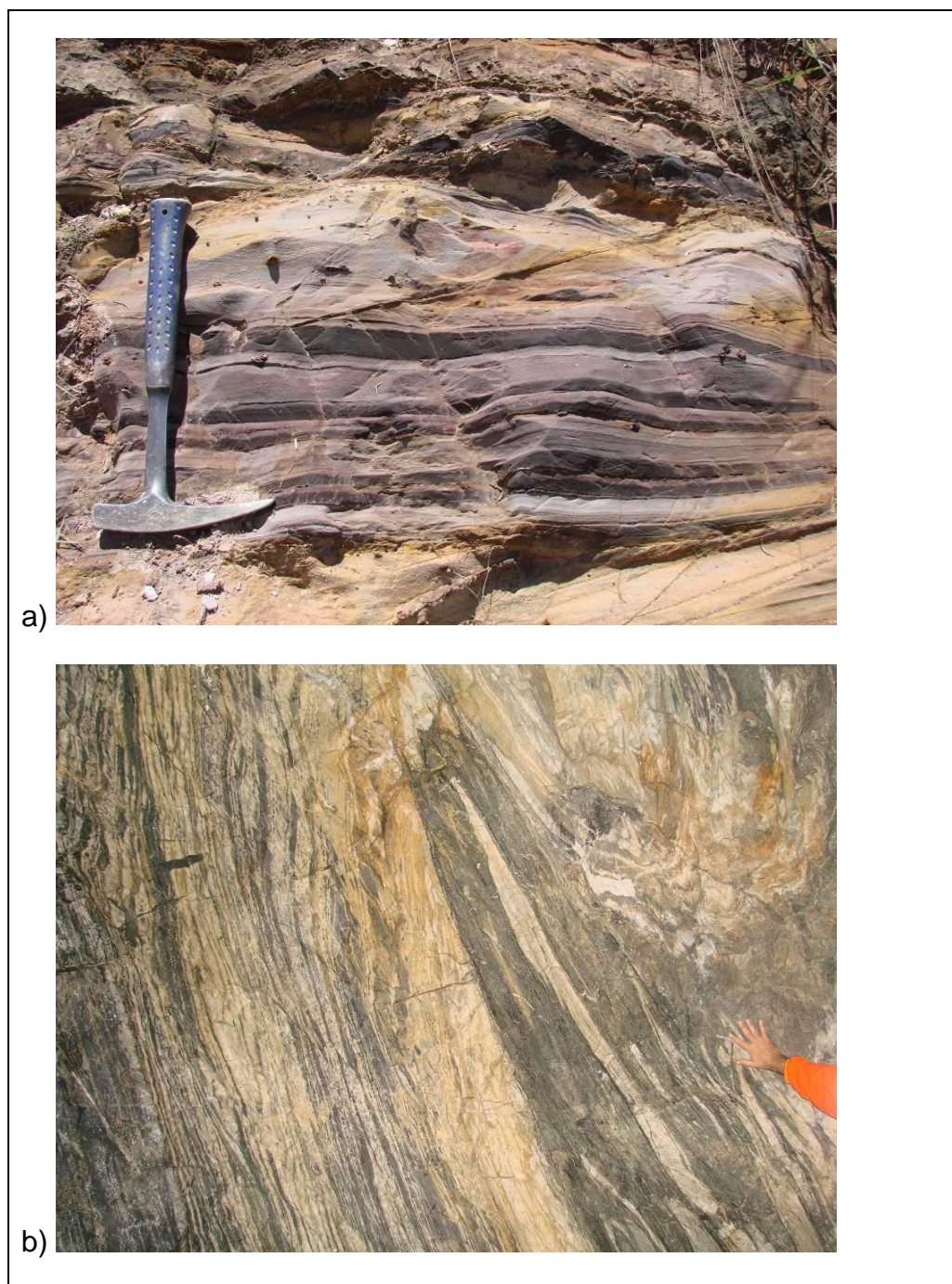


FIGURA 4.35

- A) Acamamento sedimentar registrado na alternância entre camadas e lentes milimétricas a centimétricas de metapelitos sericíticos mais ou menos carbonosos e metagrauvacas, organizados em ciclos de granodecrescência em direção ao topo dos estratos, afloramento localizado na estrada da Estação de tratamento d'água da Mina São Bento;
- B) Acamamento sedimentar-químico em formação ferrífera bandada (BIF) fácies óxido. Localização galeria Donana, Nível 726.

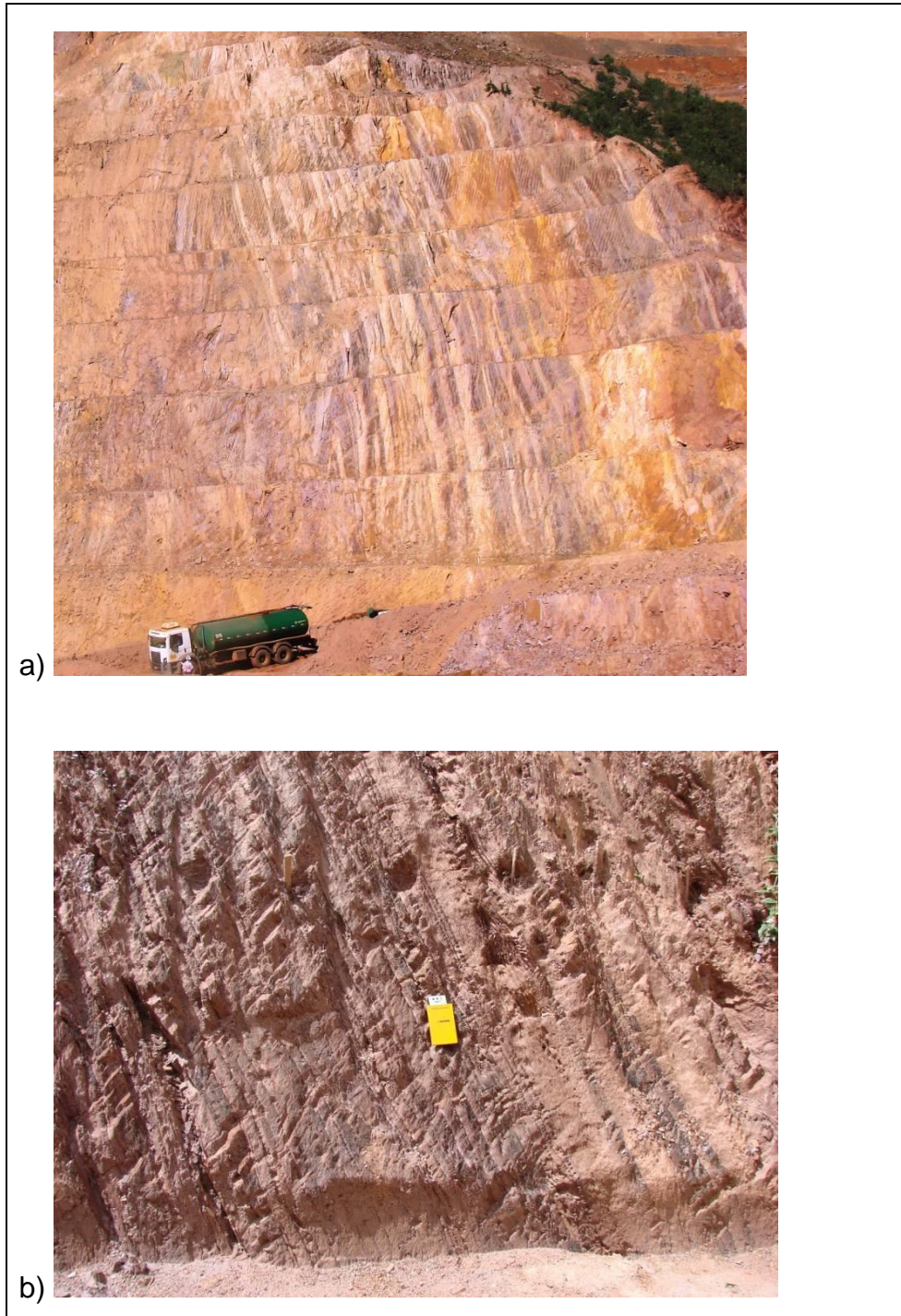


FIGURA 4.36

- a) Afloramento na Cava Bocaina em seqüência de metaturbiditos em bandas de metagrauvascas (amarelo claro) alternadas com bandas de metapelitos carbonosos (marrom escuro).
- b) Afloramento de seqüência de metaturbiditos em bandas de metagrauvascas (amarelo claro) alternadas com bandas de metapelitos carbonosos (marrom escuro), localizado atrás do galpão de testemunhos (Ponto Lcl-100).

Na área das Cavas Laranjeiras, Carvoaria e Bocaina foram obtidas 86 medidas do acamamento cuja orientação principal situa-se em $124^{\circ}/74^{\circ}$ (notação Clar = *dip direction / dip*). A variação da direção e do caimento dos flancos caracteriza os eventos deformacionais posteriores, com dobras assimétricas muito fechadas a isoclinais (FIG. 4.37).

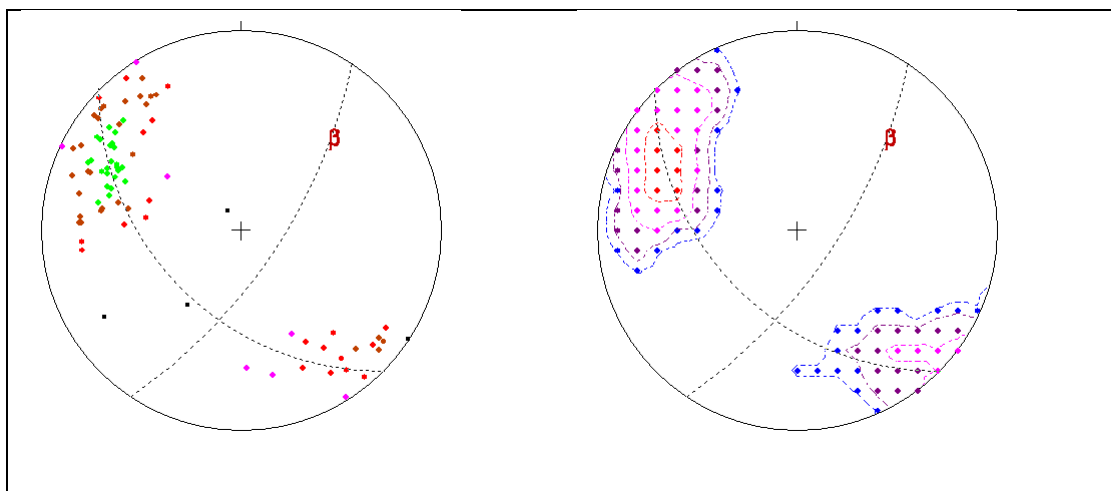


FIGURA 4.37 – Distribuição dos pólos do acamamento (S_0) dos 86 dados coletadas nas Cavas Laranjeiras, Carvoaria, Bocaina, com máximo de $N34E/74SE$ (contornos de 2%, 4%, 8%, 16% e 23,26%). Eixo Beta calculado $N46^{\circ} E/44^{\circ} NE$.

4.4.2.2 Análise Estrutural da área

4.4.2.2.1 Evento D_n

O primeiro evento de deformação (D_n) produz dobras (F_n) fechadas, cilíndricas, isoclinais, assimétricas e desarmônicas, do tipo *kink*, registradas em todo o Lineamento Córrego do Sítio. Onde não perturbada pelas fases de deformação posteriores, a foliação S_n , plano axial das dobras F_n , tem *strike* NNE e mergulha moderadamente ou acentuadamente para ESE com um máximo de $N29^{\circ}E/68^{\circ}SE$ (FIG. 4.42). A foliação S_n é a feição mais forte e penetrativa e, em todos os lugares, é a principal responsável pela fissibilidade das rochas (FIG. 4.38, 4.39, 4.40.e 4.41).

Diferente do que é reportado em outras áreas do QF (Ladeira & Viveiros, 1984) não há no Lineamento Córrego do Sítio evidências mesoscópicas ou microscópicas de

uma foliação paralela ao acamamento mais antiga do que S_n . Alternativamente, a mesma pode ter sido “apagada” pelas orogenias posteriores.

Há dificuldades na distinção entre o acamamento (S_0) e as xistosidades (S_n e S_{n+1}) devido à discreta diferença angular no *strike* e *dip* de cada uma destas superfícies, exceto em zonas de charneira de dobras D_n e/ou D_{n+1} .

Uma foliação milonítica (S_n milonítica) desenvolve-se em zonas de cisalhamento subparalelas a foliação regional S_n das rochas encaixantes. Não é claro se estas duas foliações são contemporâneas e cogenéticas. O autor as interpreta como uma única estrutura híbrida com forte componente de cisalhamento e pertencentes a um único evento progressivo. Não é possível distinguir evidências para separar os dois eventos.

A deformação no entorno dos milonitos diminui concêntricamente, variando de rochas protomiloníticas até filitos e metagrauvas pouco deformadas em escala decimétrica a decamétrica. Todo o conjunto é marcado por grande heterogeneidade estrutural, com transição de dobras (F_n) apertadas, cilíndricas, assimétricas e desarmônicas, localmente com cisalhamento em alto ângulo, e que variam para zonas com dobras mais fechadas a isoclinais, o que localmente origina um bandamento milonítico que inclui filitos e metagrauvas mais ou menos deformadas e cisalhadas.

As zonas de cisalhamento são semiconcordantes com os contatos das unidades litológicas mapeadas e com as atitudes de acamamento e foliação. Entretanto, na escala de mapa, observa-se uma pequena obliquidade entre a foliação milonítica anastomosada e os contatos geológicos. (FIG. 4.3 e ANEXO 4.3)

A foliação S_n é desenvolvida no plano axial das dobras F_n , que são fechadas, cilíndricas, isoclinais, assimétricas e desarmônicas, do tipo *kink* e ocorrem em todas as escalas, desde mili a decamétrica (FIG. 4.38, 4.39, 4.40, 4.41).



FIGURA 4.38 – Quartzo-sericita-xisto carbonoso aflorante no talude EW da Mina Crista com exposição de dobras assimétricas da fase D_n desenvolvidas sobre o acamamento. Unidade Córrego do Sítio Inferior.

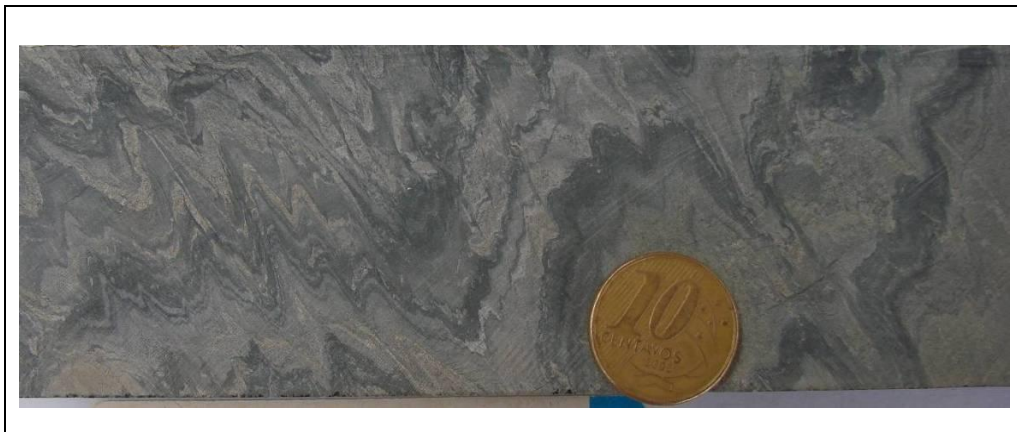


FIGURA 4.39: Testemunho de sondagem em quartzo-sericita xisto carbonoso, com microdobras assimétricas F_n , desenvolvidas sobre o acamamento (S_0), FCS1107, 368,20m.



FIGURA 4.40: Talude SE-NW da Cava Bocaina com dobra fechada em metagrauvas da Unidade Córrego do Sítio Superior. Foliação S_n plano axial da dobra desenvolvida sobre o acamamento (S_0).

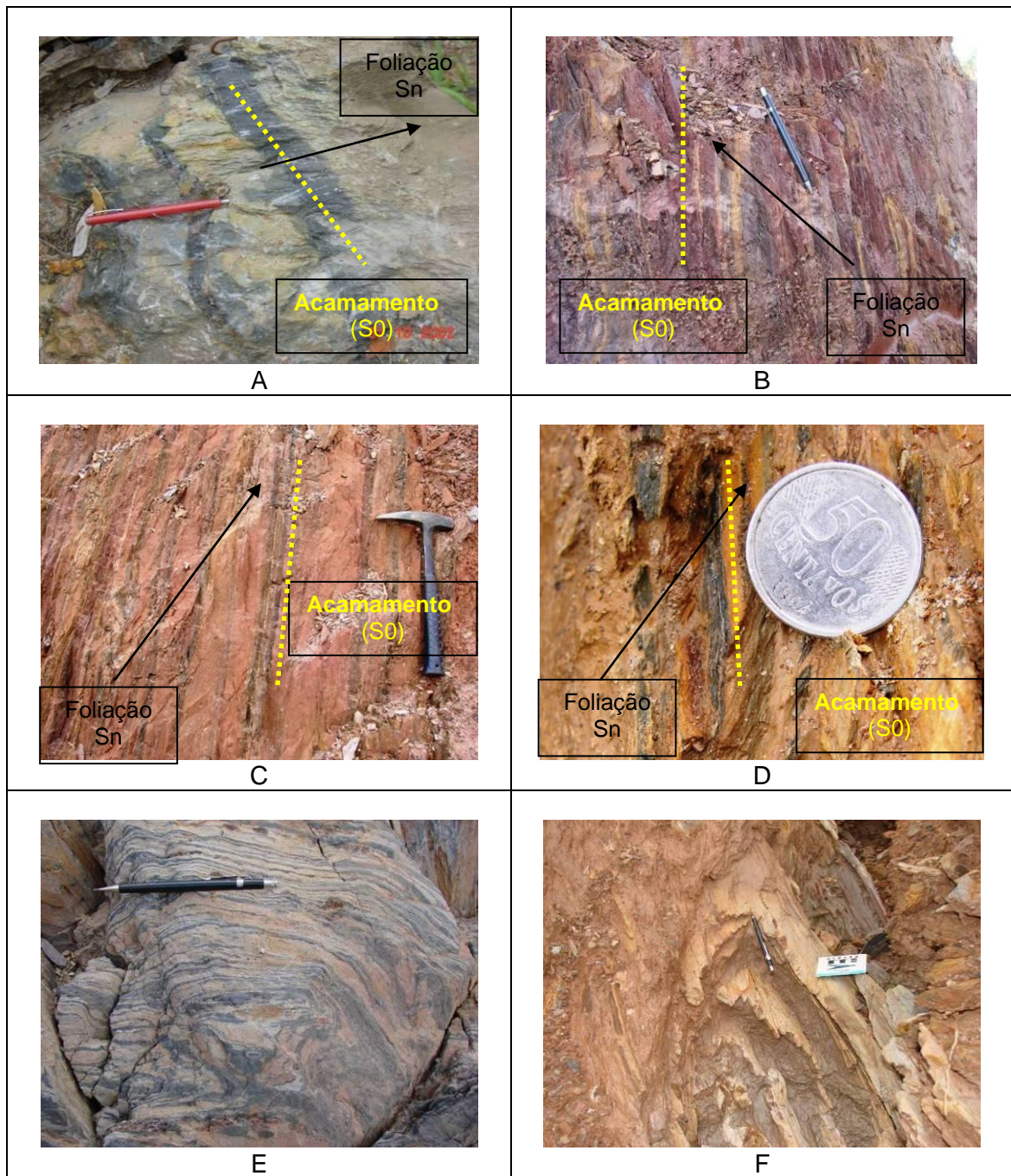


FIGURA 4.41 – Afloramentos em metagrauvaca intercalada com lâminas de xisto carbonoso em diferentes cavas,

- A - Foliação S_n ortogonal ao acamamento S_0 . Cava Mutuca;
- B - Foliação S_n em ângulo oblíquo ao acamamento S_0 ;Cava Carvoaria.
- C - Bandamento S_0 com granodecrescência e foliação S_n levemente oblíqua; Cava Carvoaria
- D - Detalhe da foliação S_n oblíqua com o acamamento S_0 ;Cava Carvoaria
- E - Dobras apertadas assimétricas com foliação (S_n) plano axial;Cava Bocaina
- F - Dobra mesoscópica (F_n) assimétrica dobrando o acamamento S_0 com eixo (F_n) com caimento para NE, Cava Laranjeiras.

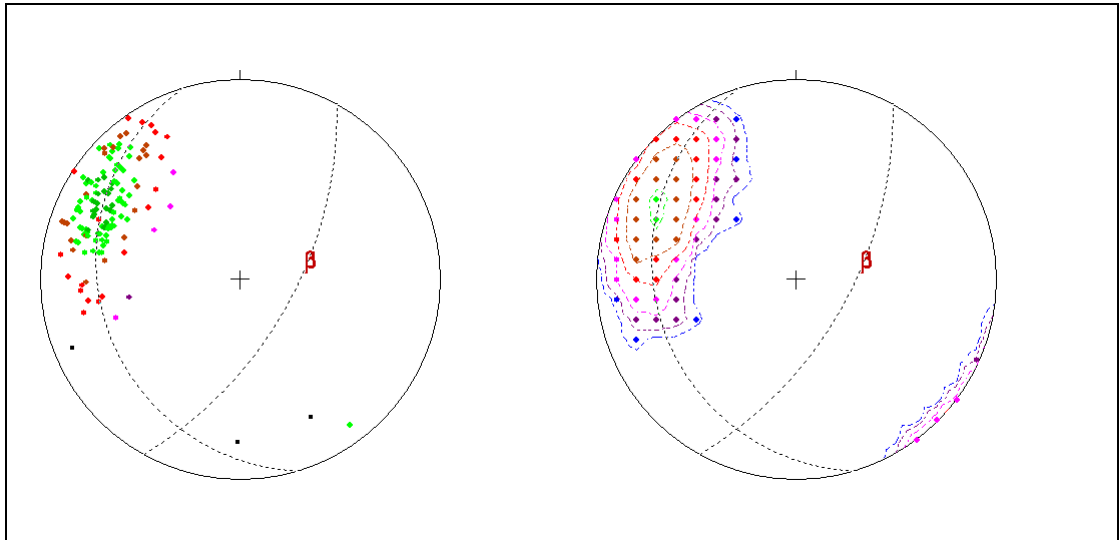


FIGURA 4.42: Distribuição dos pólos da foliação (S_n) dos 148 dados coletadas nas Cavas Crista, Laranjeiras, Carvoaria e Bocaina, com máximo de $N29^\circ E/68^\circ SE$ (contornos de 1%, 2%, 4%, 8%, 16%, 32%, e 42,57%).

Na área das cavas Crista, Laranjeiras, Carvoaria e Bocaina as dobras do evento D_n , apertadas a isoclinais, têm *plunge* variando de 20 a 50° para NNE, com máximo em $N45^\circ E/43^\circ NE$, onde não afetadas por dobramentos posteriores. Este *plunge* de dobras, definido pela orientação dos s eixos de dobras F_n , é paralelo à lineação de interseção L_n^o entre S_n e S_0 , e pode variar mais do que 20° em curtas distâncias. (FIG. 4.42 A e B).

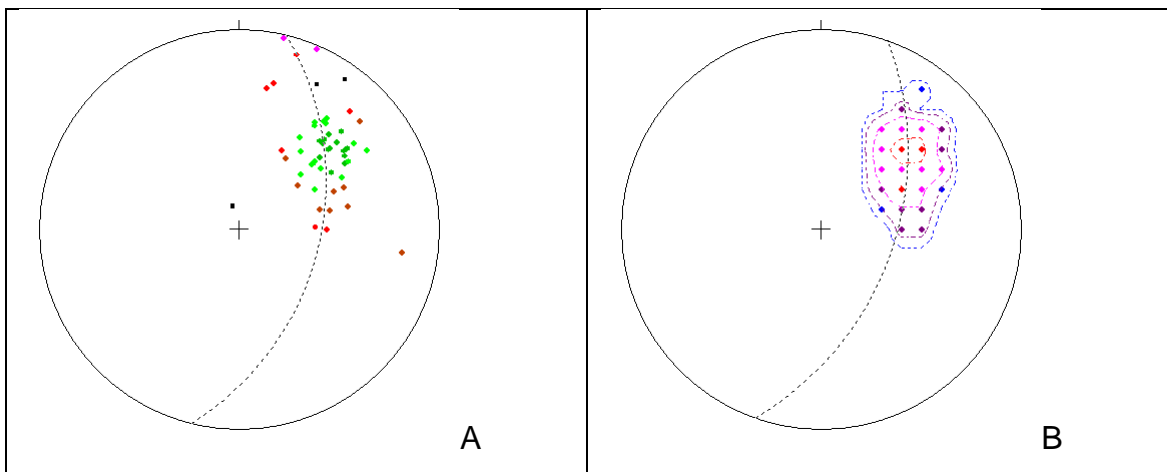


FIGURA 4.42: A e B - Distribuição dos pólos do eixo de dobras F_n em 58 dados coletados nas Cavas Crista, Laranjeiras, Carvoaria e Bocaina, com máximo de $N45^\circ E/43^\circ NE$ (contornos de 2%, 4%, 8%, 16%, 32%, e máximo de 53.45%).

As faixas miloníticas, de espessuras variáveis, se estabelecem preferencialmente nas porções mais pelíticas da sequência mevolcanossedimentar, denominada pelo autor como Unidade Córrego do Sítio Intermediária (ANEXO 4), onde predominam pirita-quartzo-clorita-sericita-xistos carbonosos que cumulativamente hospedam lentes e *boudins* anastomosados de quartzo, carbonato, sulfetos, sulfossais e ouro.

Nas unidades Córrego do Sítio Superior e Inferior predominam camadas mais espessas de metagrauva e subordinamente xistos carbonosos (vide QUADRO 4.1), que comumente apresentam dobras parasíticas de todas as escalas e raramente hospedam faixas miloníticas delgadas.

As zonas miloníticas caracterizam-se pela presença de protomilonitos, que são reconhecidos pelo tamanho diminuto dos cristais e pela formação de planos retos e finos, que definem uma xistosidade milonítica responsável por uma grande fissibilidade da rocha (FIG. 4.43). A deformação no entorno dos milonitos diminui concentricamente, variando de rochas protomiloníticas até filitos e metagrauvas pouco deformadas, em questão de dezenas de centímetros ou decímetros.

O estabelecimento de evidências de cisalhamento nas zonas mineralizadas é relativamente dificultado devido ao grande volume de veios e vênulas de quartzo-carbonato. Compreendem texturas miloníticas locais, como foliação anastomosada, formada pela combinação de uma superfície S de cisalhamento penetrativo com planos de cisalhamento secundários S-C-C', R' e P.

As zonas mineralizadas de mais alto teor (>5 g/t Au) residem nas faixas miloníticas mais espessas (3 a 5 m) que abrigam maior quantidade de lentes e *boudins* de quartzo, carbonato, sulfetos e sulfossais.

Segmentos com um grande número de finas zonas miloníticas (1 a 2 m) e pobres em venulações de quartzo, carbonato e sulfetos apresentam teores sub-econômicos (< 1g/t Au).

Espada (2003) enumera as principais características dos milonitos formados nestas zonas de cisalhamento heterogêneas e que controlam o grosso da mineralização (FIG. 4.42, 4.44 e 4.45):

- Texturas miloníticas, com foliação anastomosada formada pela combinação de uma foliação milonítica penetrativa do tipo S, ambas associadas a planos de cisalhamento C-C'-R'-P (FIG. 4.43 A e B, 4.45);
- *Boudins* e *pods* mineralizados centi-decimétricos, e de forma romboédrica, constituídos por fibras de quartzo-carbonato, contidos pela foliação sigmoidal (FIG. 4.43 B);
- *Veios e venulações boudinados* e/ou rotacionados (FIG. 4.44 B e C);
- Raros *tension gashes* sigmoidais;
- Raros veios *en-échelon*;
- Raros veios e vênulas em estrutura *saddle reef* (FIG. 4.44 C e F);
- *Predomínio* das feições planares ao *invés de L-tectonitos*, sugerindo um forte componente de achatamento paralelo à zona de cisalhamento, típico de zona de cisalhamento transpressional (FIG. 4.44 A, 4.46 e 4.47).

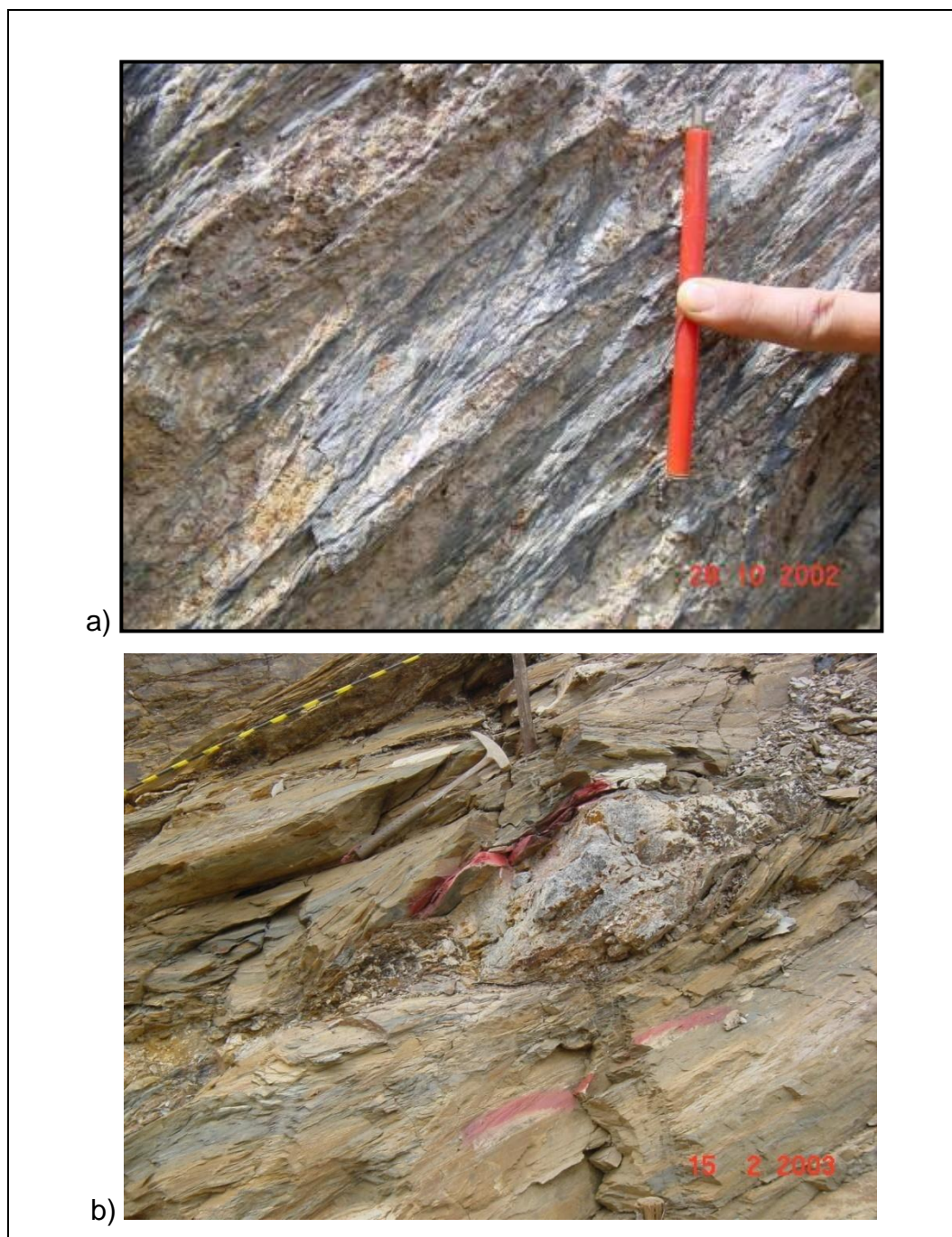


FIGURA 4.43

a) Feições miloníticas em filitos carbonosos intercalados com venulações de quartzo e carbonato e que desenvolvem dois conjuntos de planos, sendo um paralelo e outro oblíquo à foliação principal. Afloramento na Mina Cristina.

b) *Boudin* de veio de quartzo encaixado em xisto sericítico pouco carbonoso. Afloramento na Cava Mutuca.

Fonte: Fotografias de Espada (2003).

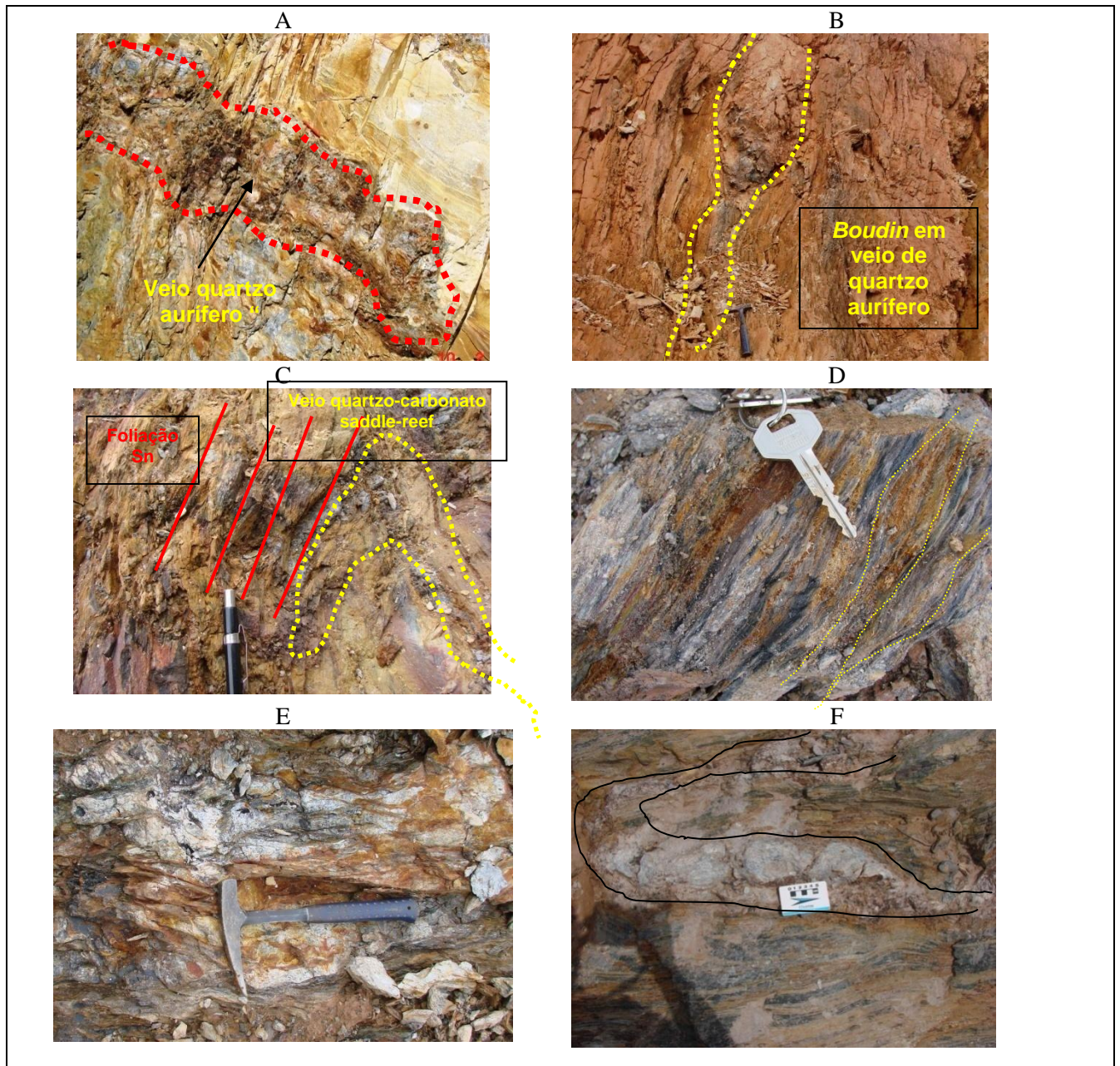


FIGURA 4.44 – Fotografia de afloramentos metagrauva e xisto carbonoso com aspectos cinemáticos na cava Bocaina.

- A-Veios de quartzo aurífero boudinado e achatado na foliação Sn.;
- B-*boudins* mineralizados contido na foliação milonítica;
- C-Veio quartzo-carbonático em *saddle reef*;
- D-foliação milonítica anastomosada em torno de veios e lâminas quartzo-carbonática;
- E-Veios quartzo-carbonáticos anastomosados envolvidos na foliação milonítica;
- F- Veio quartzo-carbonático em *saddle reef*.

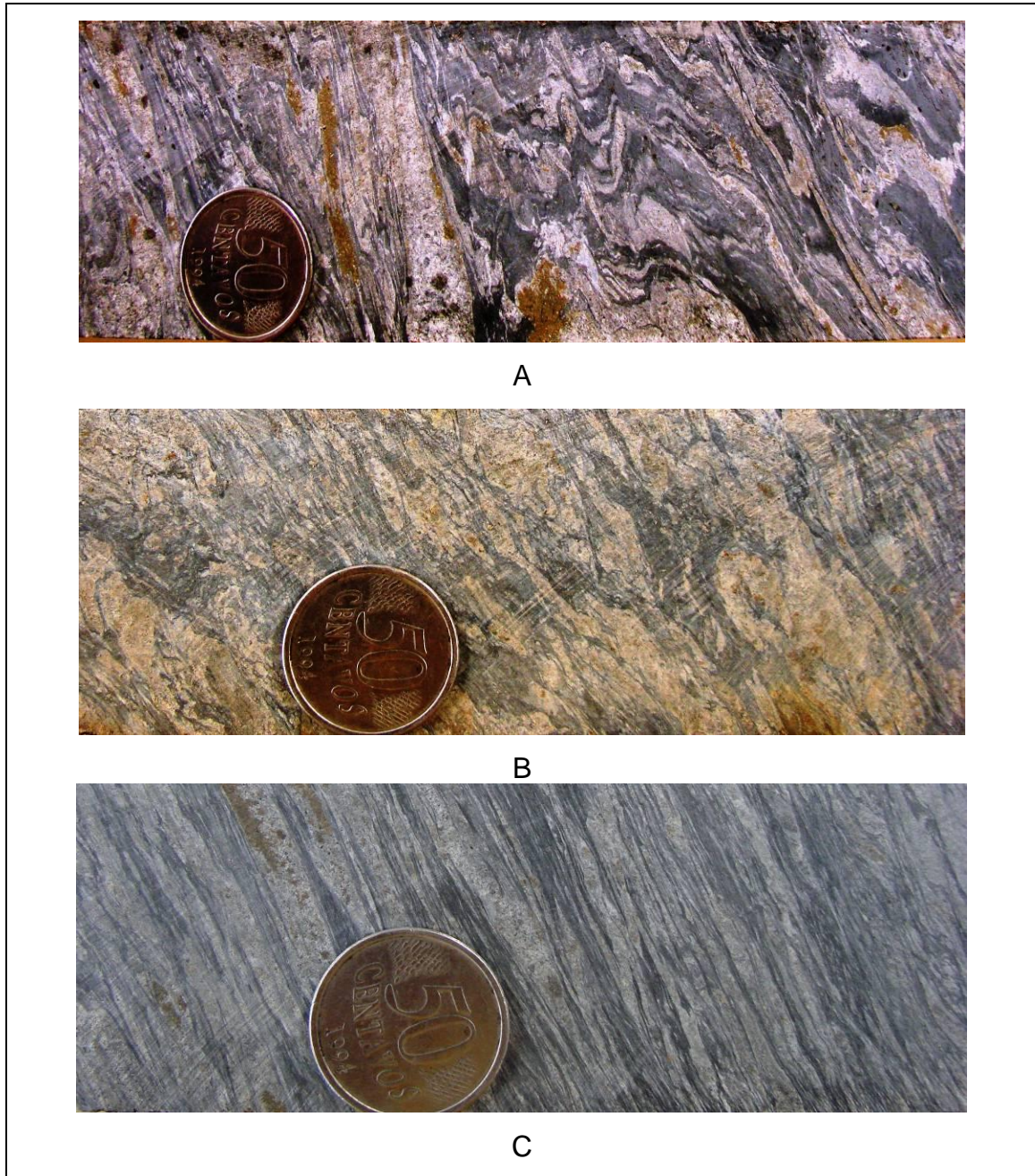


FIGURA 4.45

- A- Fotografia de quartzo-sericita filito carbonoso com pirita mostrando dobras assimétricas com transição à esquerda para zona de transposição segundo o plano axial das dobras assimétricas F_n ;
- B- Fotografia de pirita-quartzo-sericita filito carbonoso com venulações de quartzo-carbonato em zona de dobras assimétricas transpostas;
- C- Fotografia de pirita-quartzo-sericita filito carbonoso com venulações de quartzo-carbonato com bandamento milonítico com total transposição das dobras assimétricas F_n .



FIGURA 4.46

- a) Foliação milonítica anastomosada contornando *boudins* de quartzo-carbonato da zona mineralizada em metagrauvaca- Cava Bocaina.
- b) Detalhe dos *boudins* de quartzo-carbonato romboedrais envolvidos pela foliação milonítica no interior da zona de cisalhamento, Cava Bocaina.

Lineações de estiramento mineral no plano S_n raramente são vistas, mas onde ocorrem apresentam um *plunge* entre 35 e 45° para NE, com um caimento paralelo ao da lineação de intersecção ($L_{0,n}$) entre S_0 e S_n , e que é equivalente ao eixo de dobra F_n .

Na cava Laranjeiras ocorrem agregados de pirita de formato oblato no plano da foliação S_n e que se apresentam alongados paralelamente ao caimento das dobras F_n e cortados pela clivagem de crenulação S_{n+1} . (FIG. 4.47).



FIGURA 4.47: Poiquiloblasto de pirita de formato oblato desenvolvido no plano S_n com eixo maior segundo lineação mineral paralelo ao eixo das dobras F_n .

Nas zonas de cisalhamento ocorrem veios de quartzo-carbonato-sulfeto achatados no plano da foliação S_n , com direção ortogonal ao *plunge* das dobras F_n (FIG. 4.48 A). Estes veios são constituídos por quartzo cristalizado como fibras de crescimento ortogonais a direção do veio e que parecem preencher espaços vazios. O *plunge* destas fibras de crescimento, a lineação de estiramento mineral e o eixo das dobras F_n constituem guias para a determinação do *plunge* dos corpos de minério (FIG. 4.48 A a D).

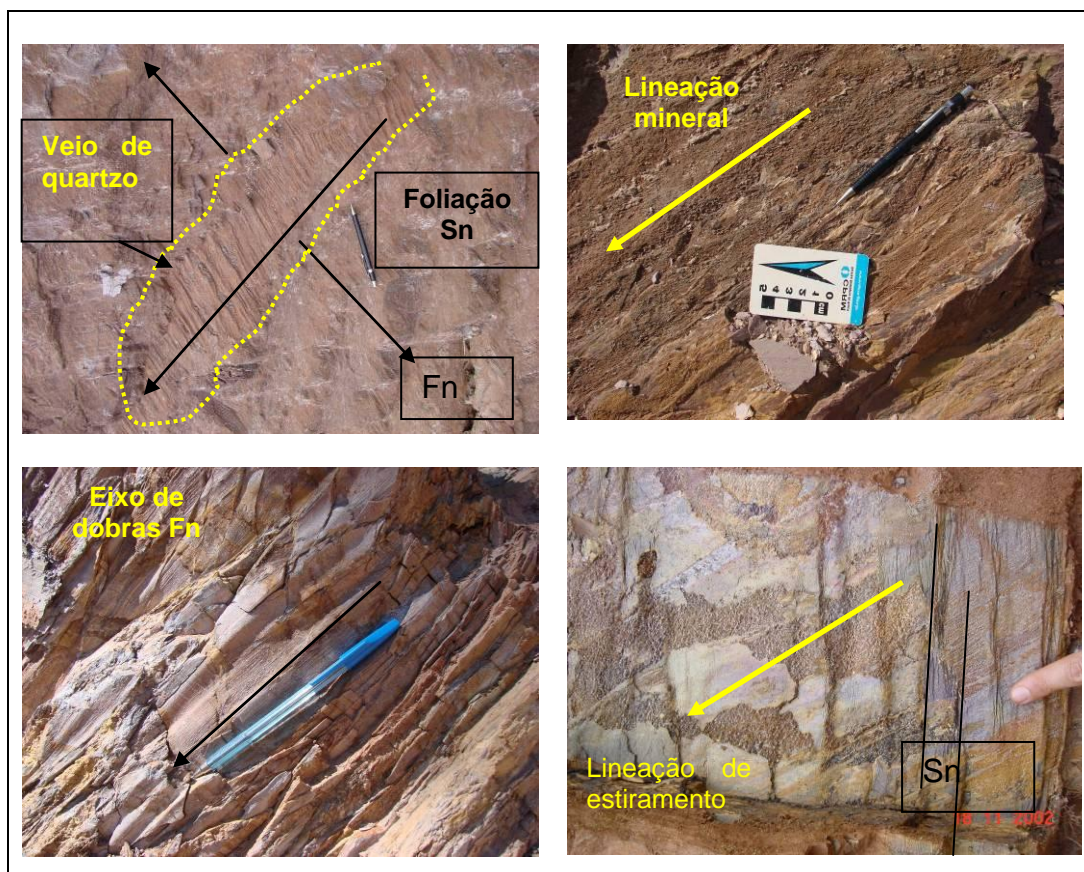


FIGURA 4.48 – Fotografias de afloramentos.

- A - *Pod* cujo eixo maior orienta-se ortogonalmente ao plunge das dobras e as fibras de quartzo crescem paralelamente ao eixo das dobras F_n ..;
- B Plano da foliação S_n com disseminação de carbonato e quartzo com lineação de estiramento subparalelo ao sentido do plunge das dobras F_n ..;
- C - Plano de acamamento com dobras abertas com eixo com plunge para NE,
- D - plano de acamamento com deposição de carbonato e quartzo com lineação de estiramento paralelo ao eixo das dobras F_n e oblíquo a plano axial da crenulação S_{n+1} .

A maioria dos corpos de minério consistem de veios de quartzo-carbonato-sulfeto hospedados em uma série de zonas de cisalhamento, sob a forma de *boudin*, que se estrangulam tanto ao longo do strike quanto do dip, desenvolvendo uma geometria de *pinch-and-swell*, com espaçamento variados de metros a decâmetros.

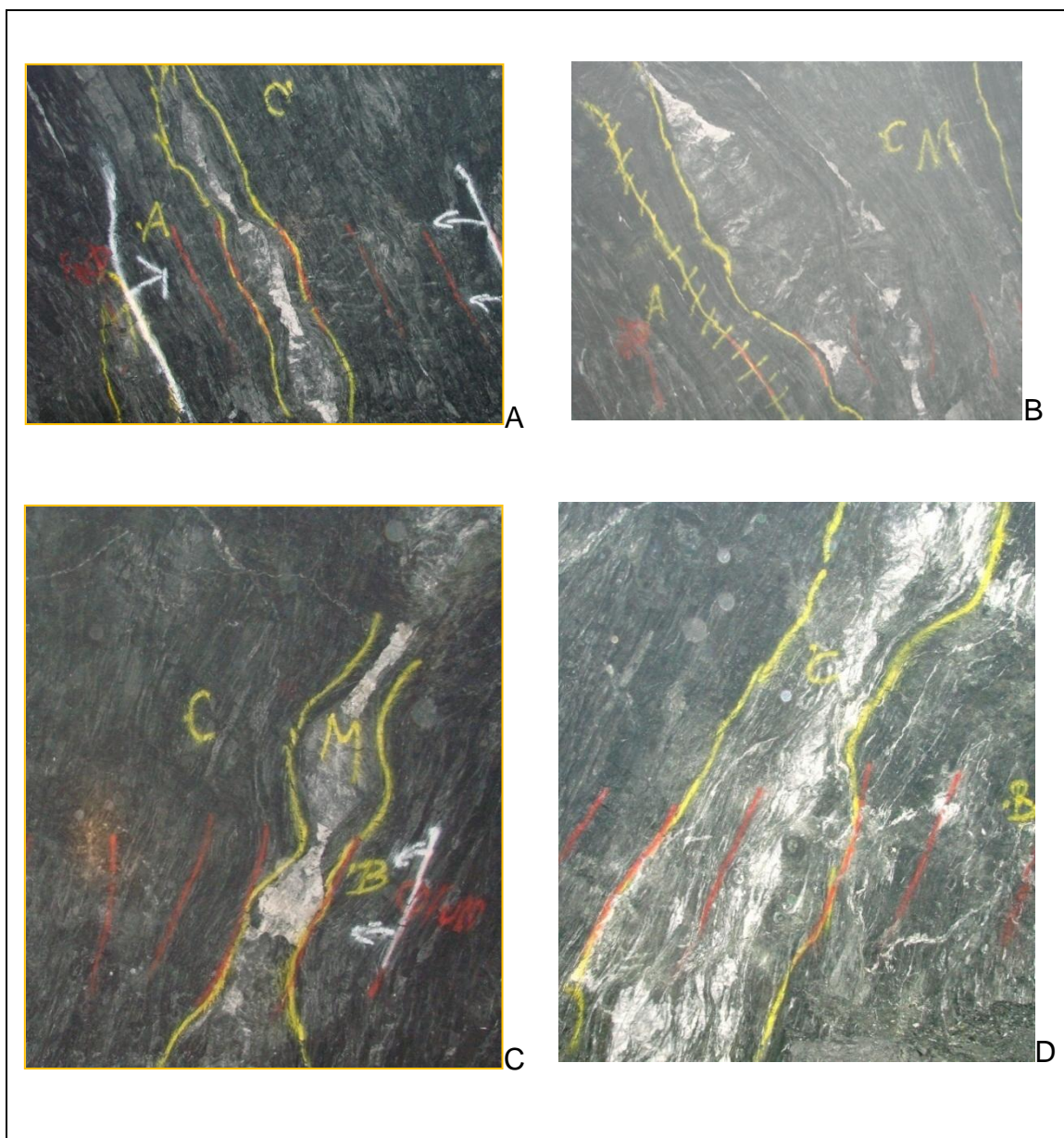


FIGURA 4.49 – Fotografias de frentes de lavra em subsolo do Depósito Cachorro Bravo, no nível 628, com veios de quartzo-carbonato-sulfeto encaixados em xistos carbonosos em zonas de cisalhamento.

- A Nível 628, frente 200N/N09;
- B Nível 628, frente 200N/N13;
- C - Nível 628, frente -200S/S04;
- D - Nível 628, frente 200S/S07.

4.4.2.2 Evento D_{n+1}

Exceto onde deformado por fases de deformação posteriores, a clivagem de crenulação S_{n+1} tem direção NNE e mergulha moderadamente para noroeste, tipicamente cortando S_n em alto ângulo ($70 - 80^\circ$). A interseção entre S_{n+1} e S_n é marcada por uma lineação de crenulação subhorizontal $L_{n,n+1}$ muito marcante, que é fortemente penetrativa nas rochas filíticas (FIG. 4.50. A e B) e quase imperceptível ou ausente nas metagrauvacas (FIG. 4.50 C). Localmente, esta clivagem facilita o deslocamento da rocha ao longo de plano comparável à S_n . (FIG. 4.50.B).

A clivagem de crenulação (S_{n+1}) desloca, com um movimento inverso de oeste para leste, os estratos e os veios de quartzo-carbonato-sulfeto orientados segundo a foliação S_n , geralmente com rejeito milimétrico, mas que pode localmente alcançar dimensões métricas e interferir na geometria do minério (FIG. 4. 49 B). A assimetria do sentido do cisalhamento associado à crenulação, de oeste para leste, sugere que esta pode ser interpretada como uma clivagem de crenulação extensional ou uma zona de cisalhamento de Riedel (FIG. 4.50 B). Estas estruturas geradas na fase D_{n+1} podem representar um estágio tardio da fase D_n .

Associada a esta fase D_{n+1} forma-se uma lineação de crenulação $L_{c_{n+1}}$, que é gerada a partir das pequenas crenulações simétricas nos planos da S_{n+1} (FIG. 4.50 A a D). Os diagramas de igual área (rede de Schimdt) com os dados da foliação S_{n+1} mostram-se dispersos em duas guirlandas, indicando que fases de deformação posteriores agem sobre esta estrutura (FIG. 4.51). Este fato é também notável no diagrama das lineações formadas pela interseção entre o plano axial da clivagem de crenulação e o plano de acamamento (S_0), ou da foliação (S_n) (FIG. 4.52), pois os dados distribuem-se em dois conjuntos opostos, sugerindo um arqueamento da estrutura.

A instalação de veios de quartzo-carbonato ao longo dos planos axiais das dobras E_{n+1} sugerem cisalhamento e extensão (transtensão) ao longo destes planos, portanto justificando o termo de clivagem de crenulação extensional (FIG. 4.49.D).

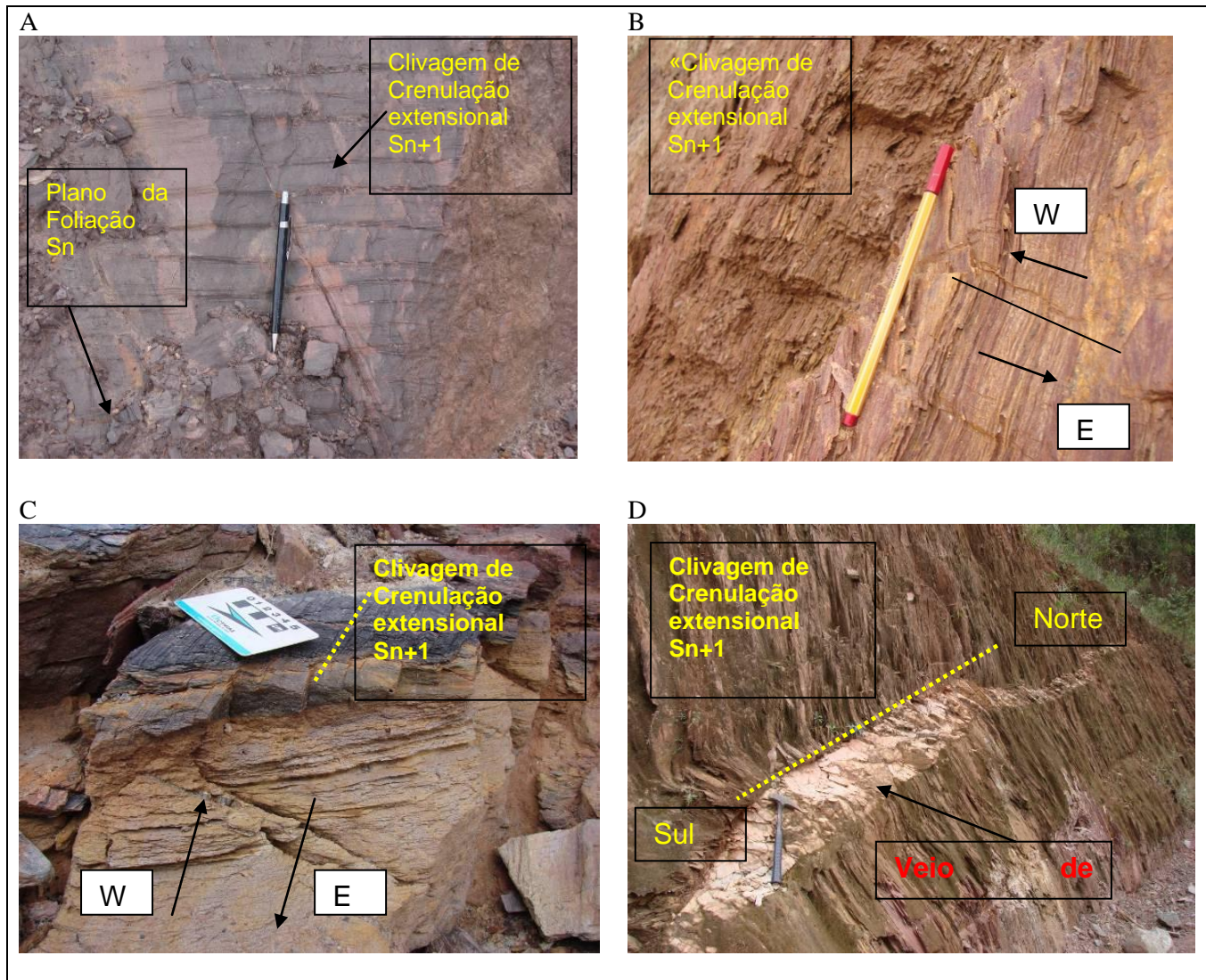


FIGURA 4.50

A – Clivagem de crenulação espaçada desenvolvida sobre a superfície S_n , desenvolvendo uma lineação de intersecção $L_{0,n+1}$;

B Clivagem de crenulação espaçada desenvolvida na superfície S_n com lineação de intersecção $L_{0,n+1}$;

C-Refração da clivagem de crenulação espaçada S_{n+1} nos níveis de metagrauvaca.

D- Veios de quartzo estéril no plano de S_{n+1} .

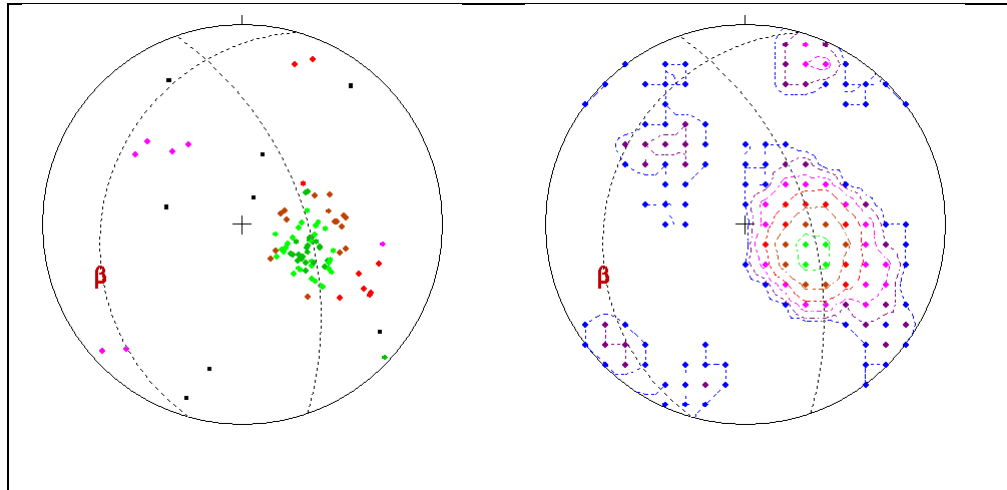


FIGURA 4.51: Distribuição dos pólos da clivagem de crenulação espaçada extensional S_{n+1} em 100 dados coletados nas Cavas Crista, Laranjeiras, Carvoaria e Bocaina, com máximo de 286/30 (contornos de 1%,2%, 4%, 8%, 16%,32%, e máximo de 43,00 %).

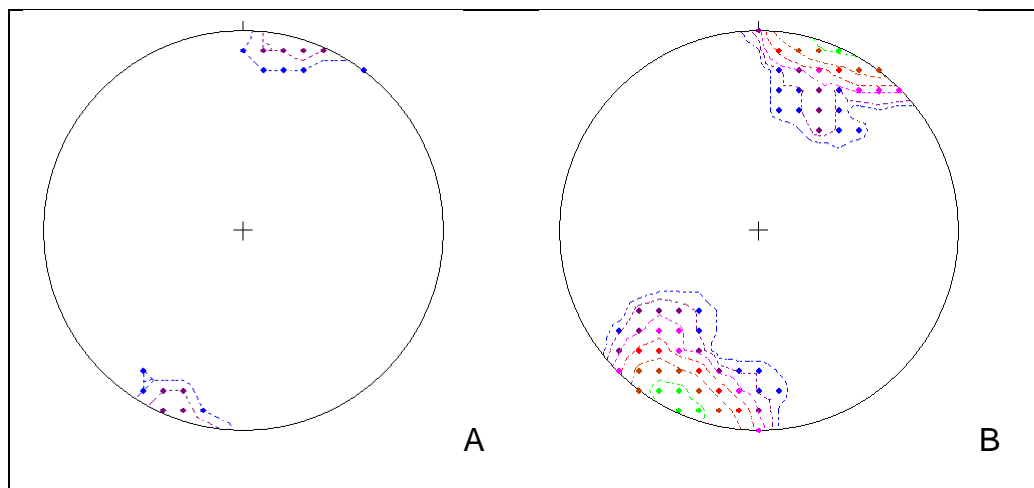


FIGURA 4.52

A - Distribuição dos pólos da lineação de interseção entre o plano axial da clivagem de crenulação espaçada S_{n+1} e o acamamento/foliação em 05 dados coletados nas Cavas Crista, Laranjeiras, Carvoaria e Bocaina, com máximo de 19/2 (contornos de 20 e 40 %).

B - Distribuição dos pólos da lineação de interseção entre o plano axial da clivagem de crenulação espaçada S_{n+1} e o acamamento/foliação em 115 dados coletados por Espada (2003) em todo o Lineamento Córrego do Sítio, com máximo de 205/6 (contornos de 1, 2, 4,8, 16, 32%, e máximo de 41,04 %).

4.4.2.2.3. Evento D_{n+2}

Foliação S_{n+2} e eixos de dobras F_{n+2}

As dobras suaves que arqueiam o acamamento, a foliação S_n e a clivagem de crenulação S_{n+1} , tipicamente preservando o ângulo de $70 - 80^\circ$ entre as foliações S_n e S_{n+1} , não desenvolvem uma foliação conspícua e, raramente, são encontradas suas estruturas mesoscópicas no campo.

As lineações L_n^0 e, de forma menos abrangente, as lineações $L_{n,n+1}$ são rotacionadas em torno do eixo de dobra F_{n+2} . As dobras mesoscópicas F_{n+2} são grosseiramente colineares com dobras F_{n+1} , e também têm vergência para leste, conforme demonstrado por Espada (2003) na região da Cava Cachorro Bravo (FIG. 4.55).

Estas dobras podem ser notadas nos perfis geológicos de direção NW-SE, onde as estruturas anteriores próximas à superfície mostram-se arqueadas e diferem da atitude e caimento em profundidade na mesma seção (FIG. 4.53, 4.54 e 4.55).

Ao leste da Cava Crista, há uma inversão local tanto da atitude da foliação S_n quanto da clivagem de crenulação S_{n+1} , configurando uma típica dobra com eixo F_{n+2} , registrada em mapa e no estereograma local (FIG. 4.56).

As dobras F_{n+2} modificam a geometria do minério, conforme se pode observar na FIG. 4.55, de tal forma que os corpos de minério são arqueados no topo do perfil, mas não em profundidade.

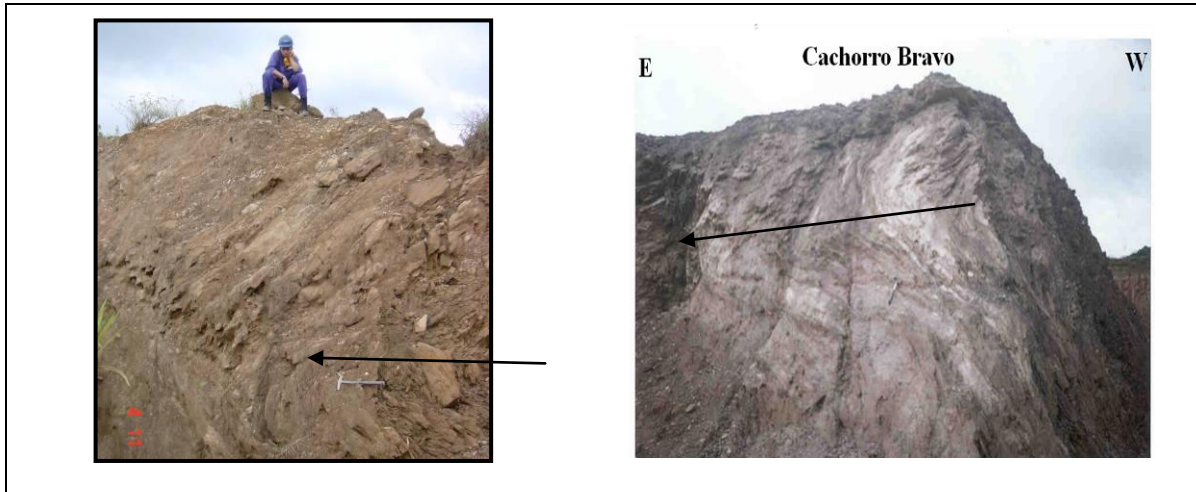


FIGURA 4.53 – Topo do Depósito Cachorro Bravo com dobra aberta F_{n+3} promovendo a inversão localizada da atitude de S_n e S_{n+1} e formando um plano axial subhorizontal com caimento ora para sudoeste ora para nordeste.

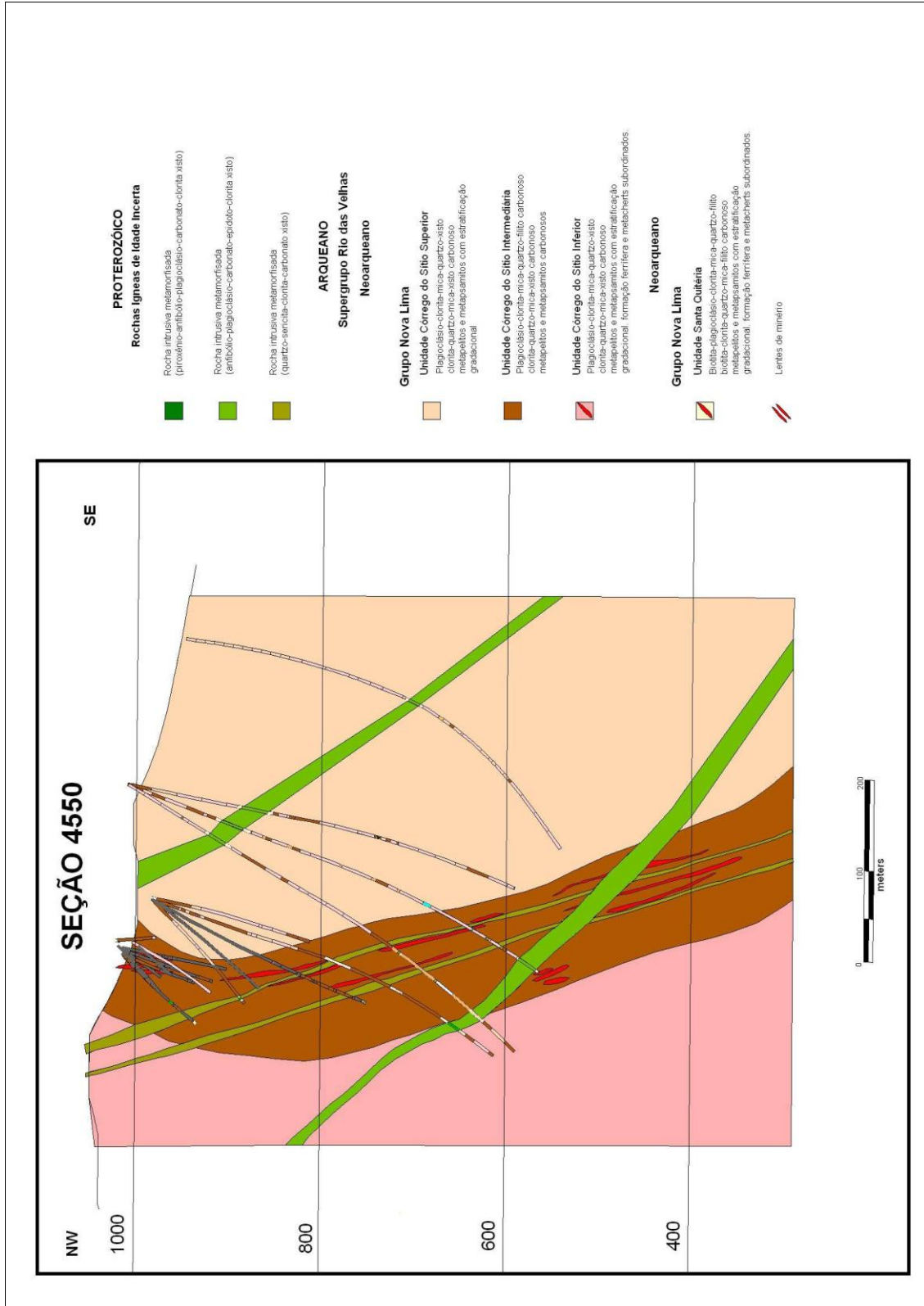


FIGURA 4.54 – Seção geológica 4550, representando o plano axial da dobra Fn+2, que arqueiam as rochas no topo dos perfis do Lineamento Córrego do Sítio.

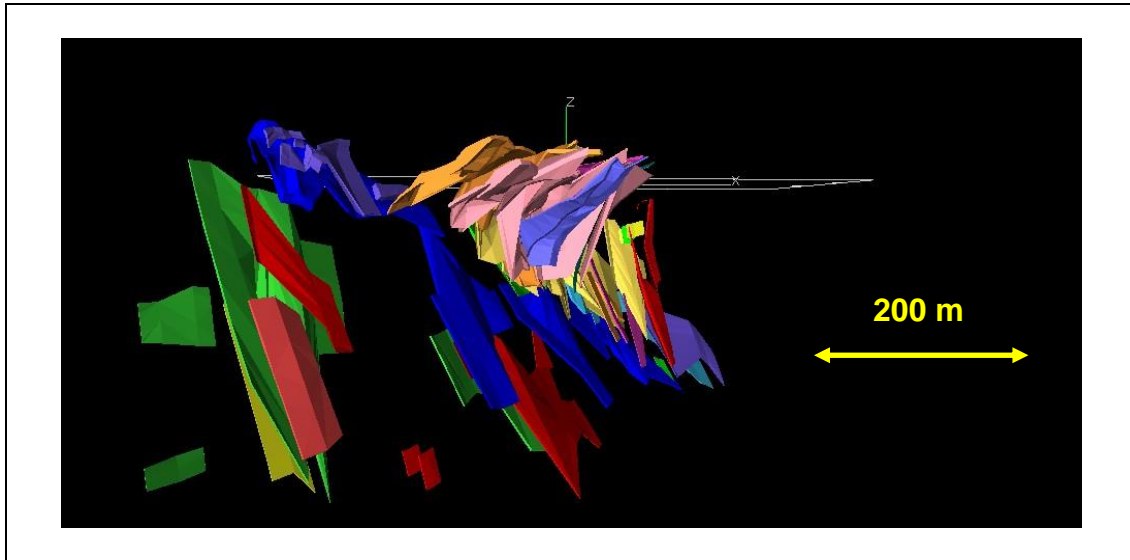


FIGURA 4.55 – Inversão da atitude do minério no Depósito Cachorro Bravo, perspectiva em 3D, com visada para norte,

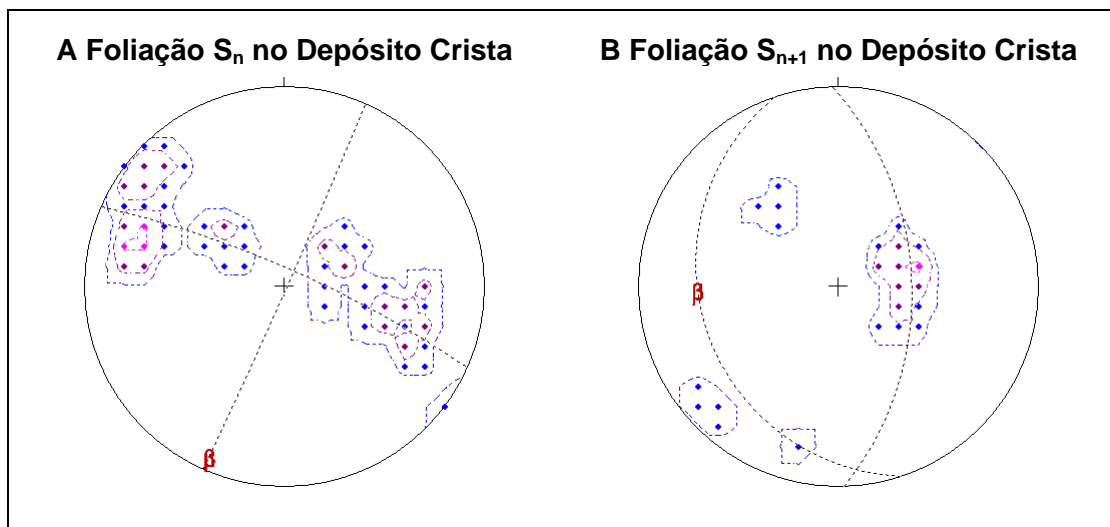


FIGURA 4.56 – Distribuição dos pólos da foliação S_n e S_{n+1} no Depósito Crista com inversões produzidas pela dobra F_{n+2} ,

A- S_n (29 leituras) com máximo de 119/89 (contornos de 4, 8, 16 e 17,24 %);

B- S_{n+1} , com (18 leituras), máximo de 286/30 (contornos de 1%, 2%, 4%, 8%, 16%, 32%, e máximo de 43,00 %).

4.4.2.2.4 Evento D_{n+4}

Dobras abertas, clivagem de crenulação e de fratura (S_{n+3}), falhas e juntas.

Ao evento D_{n+3} estão associadas estruturas formadas em um ambiente transicional entre o dúctil e o rúptil, com o predomínio de fraturas paralelizadas, em conjuntos espaçados de centímetros a metros, e dobras abertas ou *kink folds* subordinadas. As dobras são abertas, têm o plano axial muito inclinado e direção grosseiramente NW, formando alto ângulo com todas as estruturas anteriores. O plano axial destas dobras definem uma foliação S_{n+3} , que é comumente paralela ao conjunto de falhas e juntas. A clivagem de fratura por vezes dispõe-se em leque, localmente preenchida por quartzo fibroso (FIG. 4.57 e 4.58).

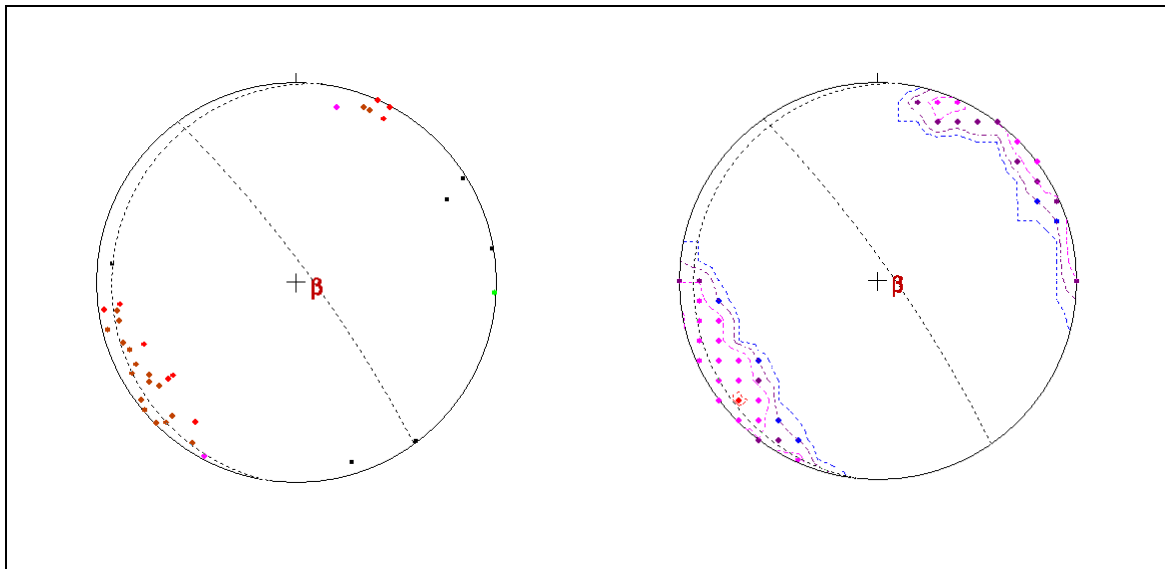


FIGURA 4.57: Distribuição dos pólos da foliação (S_{n+3}) dos 34 dados coletadas nas Cavas Crista, Laranjeiras, Carvoaria e Bocaina, com máximo de 55/84 (contornos de 3%, 6%, 12%, 24, 32%, e máximo de 35,29%).

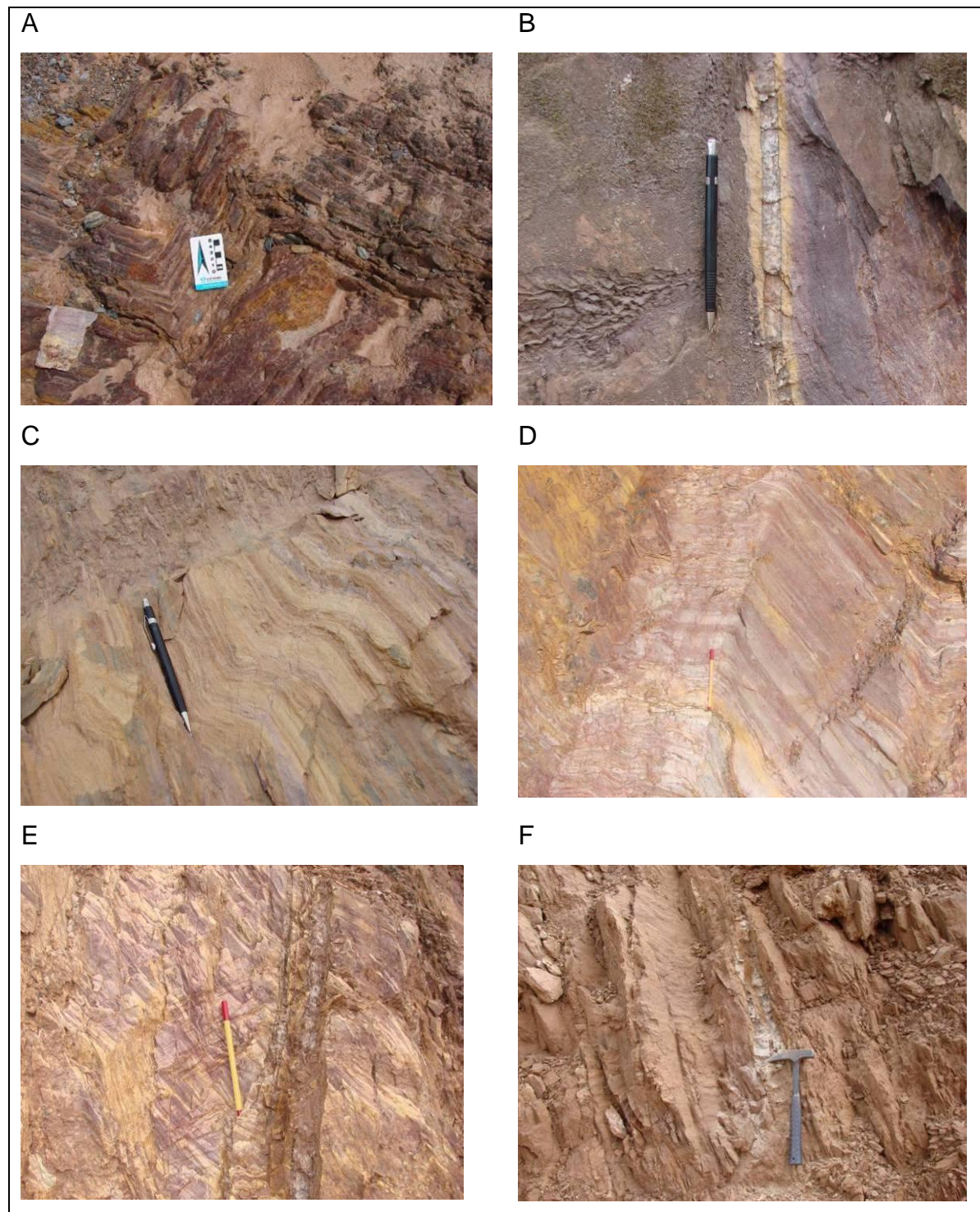


FIGURA 4.58

- A – Dobra aberta com plano axial de direção NW, subvertical;
- B - Fraturas preenchidas com quartzo fibroso com textura em pente de direção NW e caimento subvertical;
- C - Dobra abertas com plano axial NW e caimento subvertical;
- D - Dobra aberta com plano axial NW e caimento subvertical;
- E-Falhas conjugadas em zona de cisalhamento com preenchimento por quartzo fibroso ;
- F – Planos e fraturas preenchidas por quartzo fibroso. Afloramentos na Mina Bocaina.

4.4.3 Avaliação de *plunge* em minérios da Série 300

O autor apresenta a análise da distribuição espacial dos teores de Au nos corpos da Série 300, com o objetivo de avaliar a existência de *plunges* que controlem as zonas mineralizadas com teor de ouro acima de 1 g/t de Au (FIG. 4.59) entre os depósitos Cachorro Bravo, ao sul, e Carvoaria, a norte.

4.4.3.1 Método de trabalho

1. Utilização do *software* Studio 3 / Datamine para seleção de amostras e posterior cálculo de krigagem ordinária nas amostras;
2. Seleção de todas as amostras com teor de ouro e respectivas coordenadas geográficas X,Y,Z pertencentes aos furos de sondagem que interceptam os corpos de minério da série 300;
3. Cálculo da espessura e teor médio de cada intervalo mineralizado;
4. Multiplicação do teor médio de Au versus espessura de cada intervalo mineralizado;
5. Projeção de todos os produtos “Au X espessura” para um plano vertical;
6. Krigagem com modelo tridimensional do produto teor médio de Au versus intervalo mineralizado;
7. Obtenção de uma figura representando as áreas onde as concentrações de maior produto Au X espessura tem cor vermelha, e os de menor valor do produto Au X espessura tem cor azul e os valores intermediários obedecem a uma escala gradacional, apresentada ao lado da FIG. 4.59.

4.4.3.2 Comentários

A FIG. 4.59 apresenta um padrão que pode parecer confuso, pois apresenta zonas de formas arredondadas, de cor vermelha, de mais alto teor de Au e/ou maior espessura, descontínuas, e envoltas por zonas de cor azul ou verde (mais pobres em Au). As zonas mais ricas podem ser unidas tanto na direção NE quanto SW, do que se pode deduzir que não há uma única direção de *plunge* da mineralização.

As formas arredondadas de mais alto teor podem ser interpretadas como uma representação de um modelo tipo *pinch and swell*, com num tablete de chocolate, em que há altos teores tanto segundo o *strike* quanto segundo o *dip* dos corpos de minério.

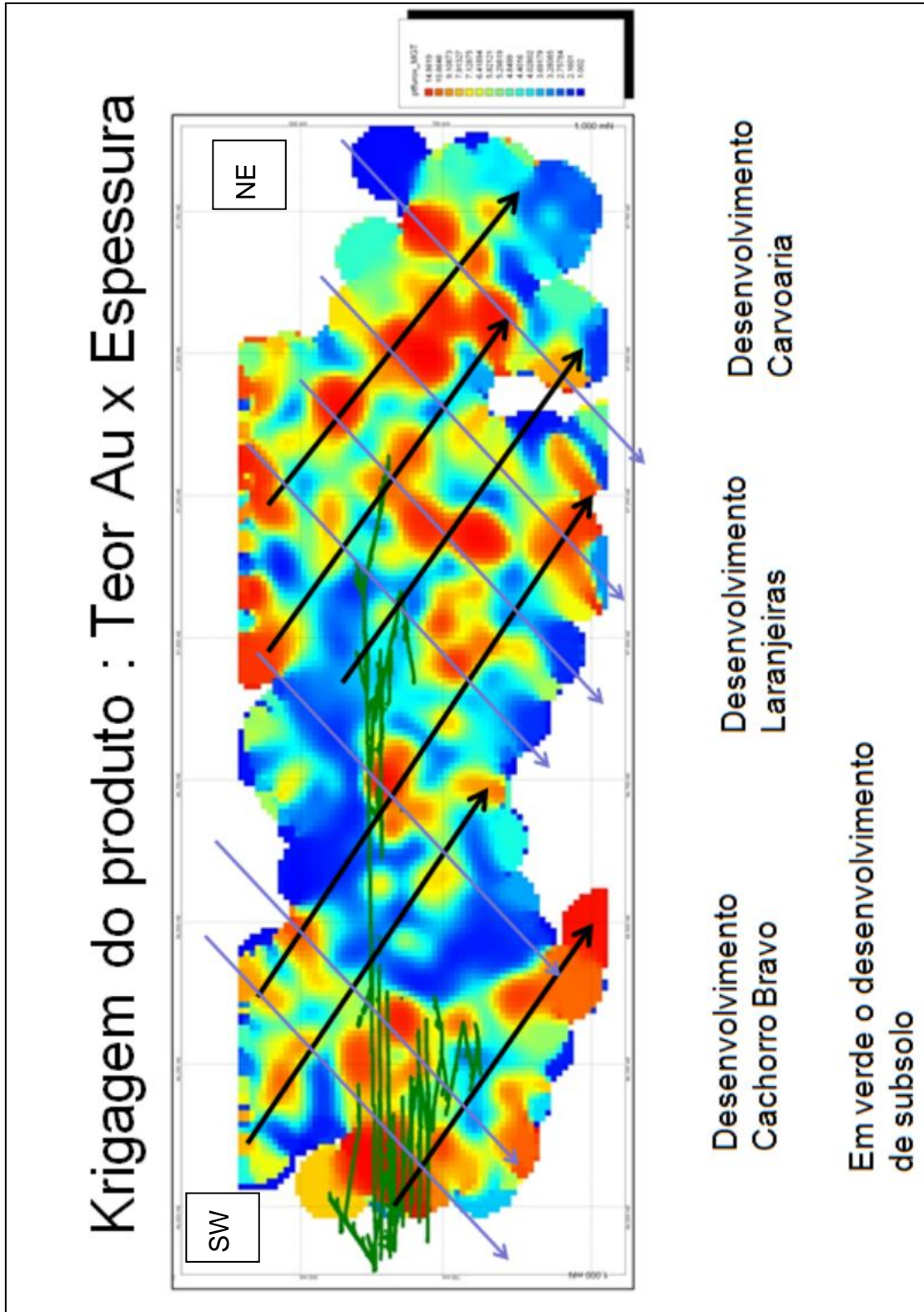


FIGURA 4.59: Perfil esquemático da krigagem do produto Au versus espessura do minério. Traços em verde correspondem ao desenvolvimento em subsolo, setas em preto são paralelas ao *plunge* e setas de cor cinza equivalem a direções ortogonais que também indicam um segundo *plunge*

4.4.4 Considerações Finais e discussões

Uma foliação milonítica (S_{n+1} milonítica) desenvolve-se em zonas de cisalhamento subparalelas à foliação regional (S_n) das rochas encaixantes da mineralização. Não é claro se estas duas foliações são contemporâneas e cogenéticas. O autor as interpreta com uma única estrutura híbrida com forte componente de cisalhamento. Não é possível distinguir evidências para separar os dois eventos. Apresenta um máximo de $N29^\circ E/68^\circ SE$

Uma clivagem de crenulação extensional e espaçada, S_{n+2} , é desenvolvida no evento D_{n+2} , com máximos em $N16^\circ E/30^\circ NW$, marcada pela remobilização de matéria carbonosa nos planos de clivagem, o que a torna de pronta identificação em campo. Durante a fase D_{n+3} , desenvolvem-se dobras que invertem a atitude e mergulho das superfícies S_n, S_{n+1}, S_{n+2} sem alterar o ângulo entre estas. Tal evento de deformação não registrou clivagem ou lineação mineral e, portanto, não é possível a medição de superfícies S_{n+3} relacionadas a esta fase.

A superfície S_{n+4} é o plano axial de uma clivagem de crenulação espaçada com atitudes $N35^\circ W/79^\circ NE$, acompanhada por clivagem de fratura e *kink folds* decimétricas.

Os corpos de minério têm forma lenticular oblata e dispõem-se como estreitos veios *en echelon*, com largura variando de 1 a 4 metros, altura de 60 a 400 metros e comprimento de 60 a 1200 metros, com direção de mergulho aproximada em torno de 104 a 131 e mergulho entre 45 e 75 , com caimento do *plunge* variando de 30 a 46° na direção 39° a 51° , em contraposição à outras mineralizações auríferas do Quadrilátero Ferrífero que, em geral, apresentam o *plunge* no sentido leste a sudeste, conforme reportado por Martins Pereira (1995), Ferreira da Silva (2006), Ribeiro-Rodrigues (1998) e Lobato *et al.* (2001 a, b) (Anexo 4.).

Os veios de quartzo-carbonato-sulfeto fumê estão diretamente relacionados à mineralização aurífera ao longo de zonas de cisalhamento dúctil, onde a deformação progressiva produziu formas com padrões de *boudins* e *pinch and swell* como resultado das diferenças de competência entre os veios e as rochas metassedimentares cisalhadas hospedeiras.

Os corpos mineralizados em planta são representados como lentes e boudins que distribuem-se em faixas alinhadas e em forma de uma arco aberto côncavo para sudeste, tendo uma direção NNE-SSW a sudoeste e NE-SW na extremidade nordeste, fato este interpretado como devido a movimentação dos quartzitos da Serra do Caraça de leste para oeste durante o Brasiliano.

Os dados estruturais (Tab 4.) do Lineamento Córrego do Sítio mostram que há variações na direção e mergulho do plunge das estruturas F_n e F_{n+1} ao longo do distrito, variando de um máximo de 41/46 (dip direction/dip) a sudoeste no Depósito Mutuca, para 45/32 no Depósito Cachorro Bravo, 39/30 no Depósito Laranjeiras , até atingir 45/42 no depósito Bocaina, na extremidade nordeste do Lineamento Córrego do Sítio. Estes dados mostram que no Depósito Mutuca ,a sudoeste, o plunge é mais inclinado do que nos depósitos Cachorro Bravo e Laranjeiras e torna a igualar-se na extremidade nordeste, nos depósitos Carvoaria e Bocaina.Estas variações provavelmente estão relacionadas ao mesmo evento que rotaciona a foliação e a direção de intrusão dos diques.

A sequência de rochas do Córrego do Sítio e suas estruturas mineralizadas são cortadas por enxames de diques orientados grosseiramente NNE-SSW e de espessuras variáveis de 1 a 60 m. Eles têm uma composição básica a intermediária e preservam texturas ígneas, apesar de que, particularmente nas bordas, apresentam xistosidade marcada pelo alinhamento de cristais de clorita, biotita, sericita, quartzo e carbonato, desenvolvidos por metamorfismo e alterações metassomáticas pós-ígneas e tardi-mineralização.(FIG. 4.60).

Os diques de rochas metabásicas com alteração clorítica e carbonática também exibem mudanças nas direções de intrusão, variando de N-S, à sudoeste, e tornando-se NE-SW no extremo nordeste. Provavelmente estas mudanças de direção são produzidas pelo mesmo evento que modifica a direção do minério e das suas encaixantes (FIG. 4.60).

Os corpos de minério se representados em mapas regionais de escala 1:25000 mostram-se oblíquos com relação a um envelope da zona de cisalhamento,

sugerindo que os veios de quartzo-carbonato-sulfeto mineralizados tem formato de tension gashes e que sugerem estar relacionados a zonas de cisalhamento de movimento dextral (FIG. 4.61).

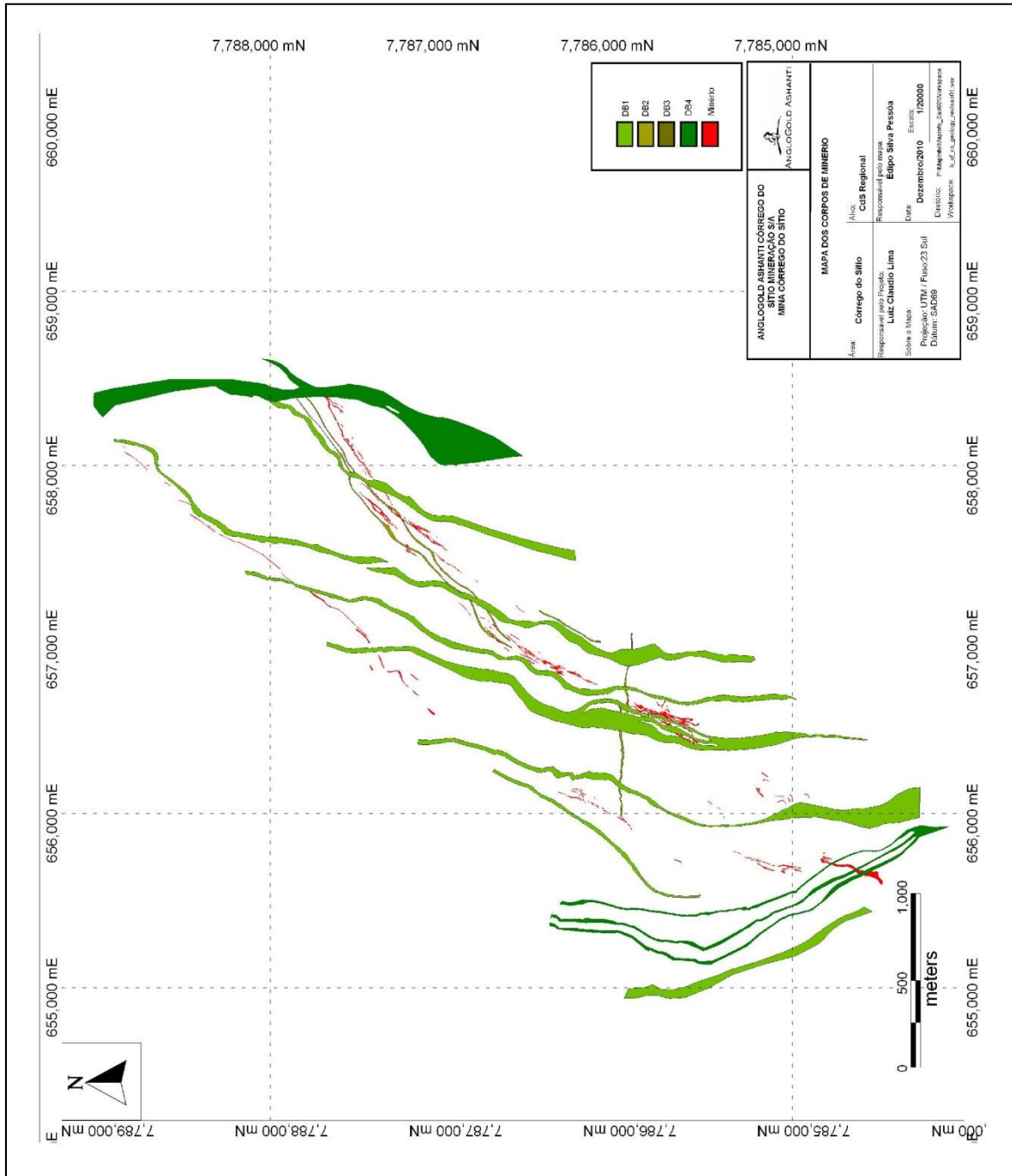


FIGURA 4.60: Mapa esquemático simplificado do Lineamento Córrego do Sítio, ilustrando as relações entre as zonas mineralizadas (vermelho) e os diques de rochas metabásicas (verde).

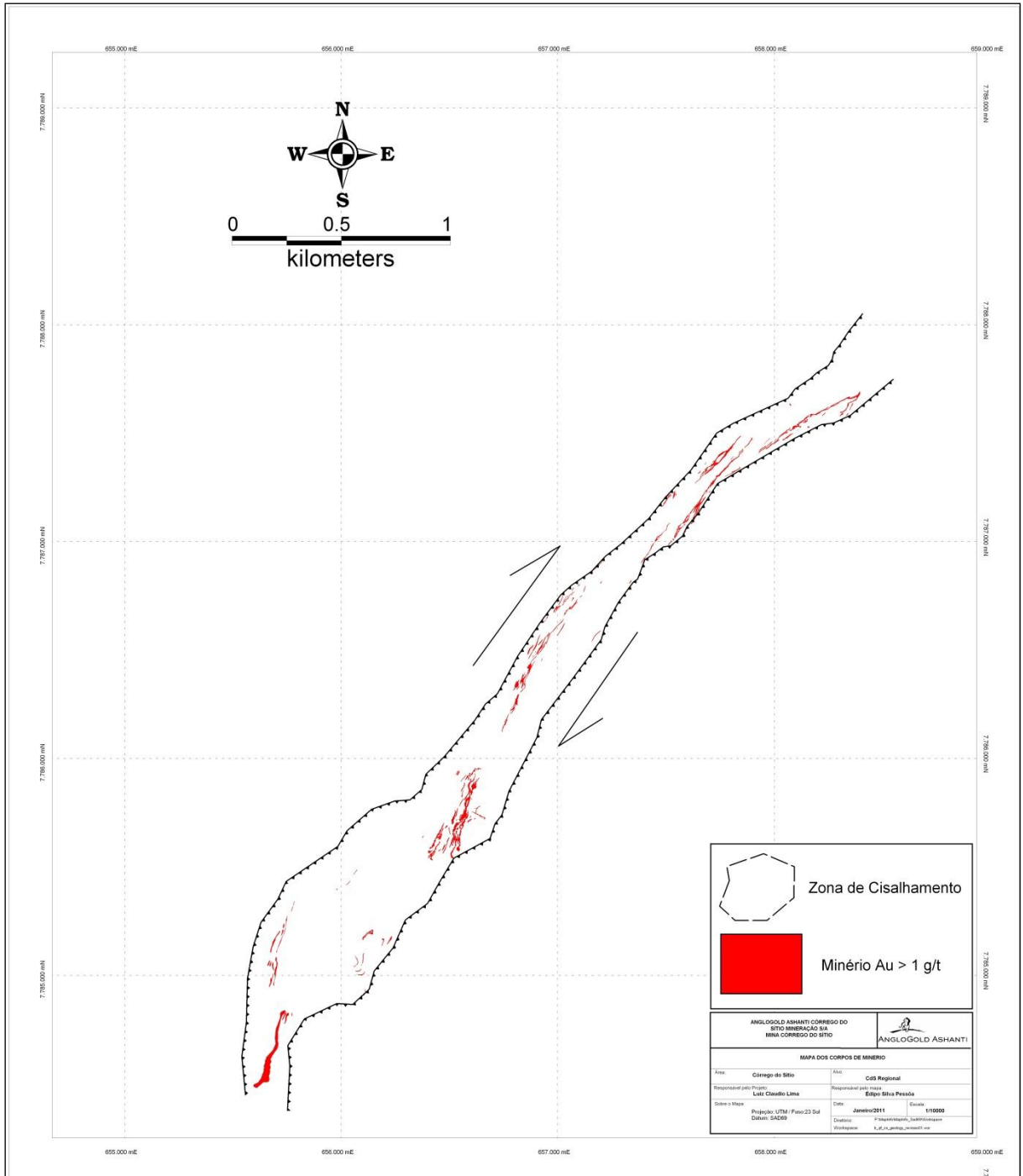


FIGURA 4.61: Mapa esquemático simplificado do Lineamento Córrego do Sítio, ilustrando o formato em arco das zonas mineralizadas (vermelho)

5 MINERALIZAÇÃO AURÍFERA

5.1 AS MINERALIZAÇÕES AURÍFERAS DO LINEAMENTO CÓRREGO DO SÍTIO

O total de recursos minerais do Lineamento Córrego do Sítio está distribuído principalmente nos depósitos Cachorro Bravo, Laranjeiras, Carvoaria e outros de menor porte (Mutuca, Cristina e Donana) (FIG. 5.1). O Depósito Laranjeiras, que contém o grosso da mineralização, detém aproximadamente 37% das reservas totais do Lineamento Córrego do Sítio, conforme TABELA 5.1 abaixo:

TABELA 5.1
Recursos em minério sulfetado do Lineamento Córrego do Sítio

TOTAL DE RECURSOS DOS DEPÓSITOS DO LINEAMENTO CÓRREGO DO SÍTIO 2009					
DEPÓSITO	TONELAGEM	TEOR (g/t Au)	ONÇAS TROY (31,103 g)	PERCENTUAL TON (%)	% EM ONÇAS TROY (*31,103 g)
LARANJEIRAS	5,043,299	6.32	1,024,957	37.00	37.00
CACHORRO BRAVO	3,520,839	7.65	866,234	26.00	31.00
CARVOARIA	2,392,148	6.69	514,233	18.00	18.00
OUTROS	2,614,909	4,74	398,261	19.00	14.00
TOTAL	13,571,195	6,43	2,803,685	100.00	100.00

Fonte: extraído do *site* oficial da AngloGold Ashanti Brasil Mineração Ltda: www.anglogoldashanti.com.br, relatório final da diretoria, (Dezembro, 2009).

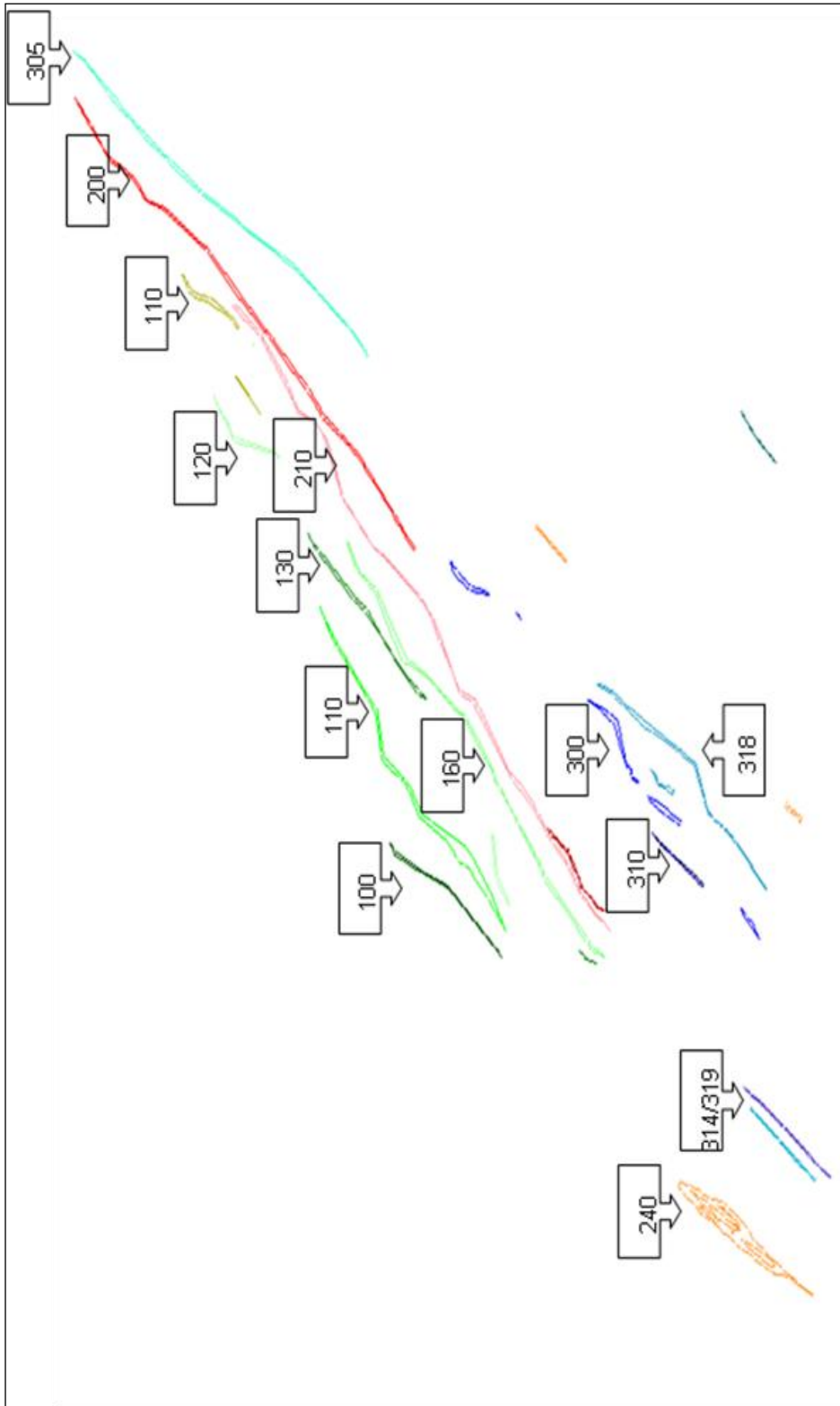


FIGURA 5.1: Mapa com a distribuição das lentes de minério, conforme as séries 300, 200 e 100, no Lineamento Córrego do Sítio.

5.2 MINERALIZAÇÕES DO DEPÓSITO AURÍFERO LARANJEIRAS

O Depósito Aurífero Laranjeiras (FIG. 4.1) constitui-se por um conjunto de corpos de minério (*cut off* >1.0 g/t Au) caracterizados por:

- (i) densa trama de veios de quartzo e carbonato com ouro, sulfetos e sulfossais, que se apresentam em bandas individuais; ou
- (ii) em microlentes anastomosadas encaixadas em lâminas de quartzo-sericita xistos carbonosos, ou metagrauvascas, da Unidade Córrego do Sítio, vide Capítulo 4.

Os corpos de minério são alongados subparalelamente ao *strike* das rochas encaixantes e se distribuem em três faixas denominadas, pela empresa operadora da lavra, como Séries 300, a mais importante, 200 e 100 (FIG. 5.2). Esta nomenclatura é utilizada pelo autor para a descrição dos diferentes tipos de minério.

O minério da Série 300 é representado por um conjunto de corpos hospedados em xistos carbonosos, do topo da Unidade Córrego do Sítio intermediária, e caracteriza-se pela ocorrência de uma banda venular de espessura métrica de quartzo e carbonato com ouro livre, bertierita (FeSb_2S_4), arsenopirita (FeAsS) e traços de outros sulfetos e sulfossais.

Outros corpos menores, satélites, paralelizados a este corpo principal, são caracterizados por apresentar microvenulações de quartzo isoladas, envolvidas pela xistosidade anastomosada milonítica do quartzo-sericita xisto carbonoso encaixante. Apresentam uma geometria similar a lentes, dispostas *em echelon*, cujas dimensões variam de 1 e 4 metros na largura, de 50 a 250 metros na altura e de 100 a 1200 metros no comprimento, com direção aproximadamente N30-50° E e mergulho variável de 60° a 75° para sudeste.

O minério da Série 200, localizado no centro da Unidade Córrego do Sítio intermediária, notabiliza-se por corpos com veios e microvenulações de quartzo-carbonato-sulfeto envoltos pela xistosidade anastomosada milonítica do quartzo-sericita xisto carbonoso encaixante. Apresenta uma geometria similar a lente, disposta *em echelon*, cujas dimensões variam de 1 a 4 metros na largura, de 50 a

210 metros na altura e de 100 a 1000 metros no comprimento, com direção de aproximadamente N30°-45° E com mergulho variável de 60° a 75° para sudeste.

O minério da Série 100, situado no *footwall* da Unidade Córrego do Sítio intermediária, apresenta lentes de minério com veios de quartzo fumê e carbonato, brechados e envolvendo fragmentos de metagrauvaca e sericita-quartzo xistos não carbonosos. Apresentam uma geometria similar a lentes, dispostas em “echelon”, cujas dimensões variam de 1 a 3 metros na largura, de 30 a 180 metros na altura e de 40 a 750 metros no comprimento, com direção aproximadamente N30-45° E com mergulho variável de 60° a 75° para sudeste

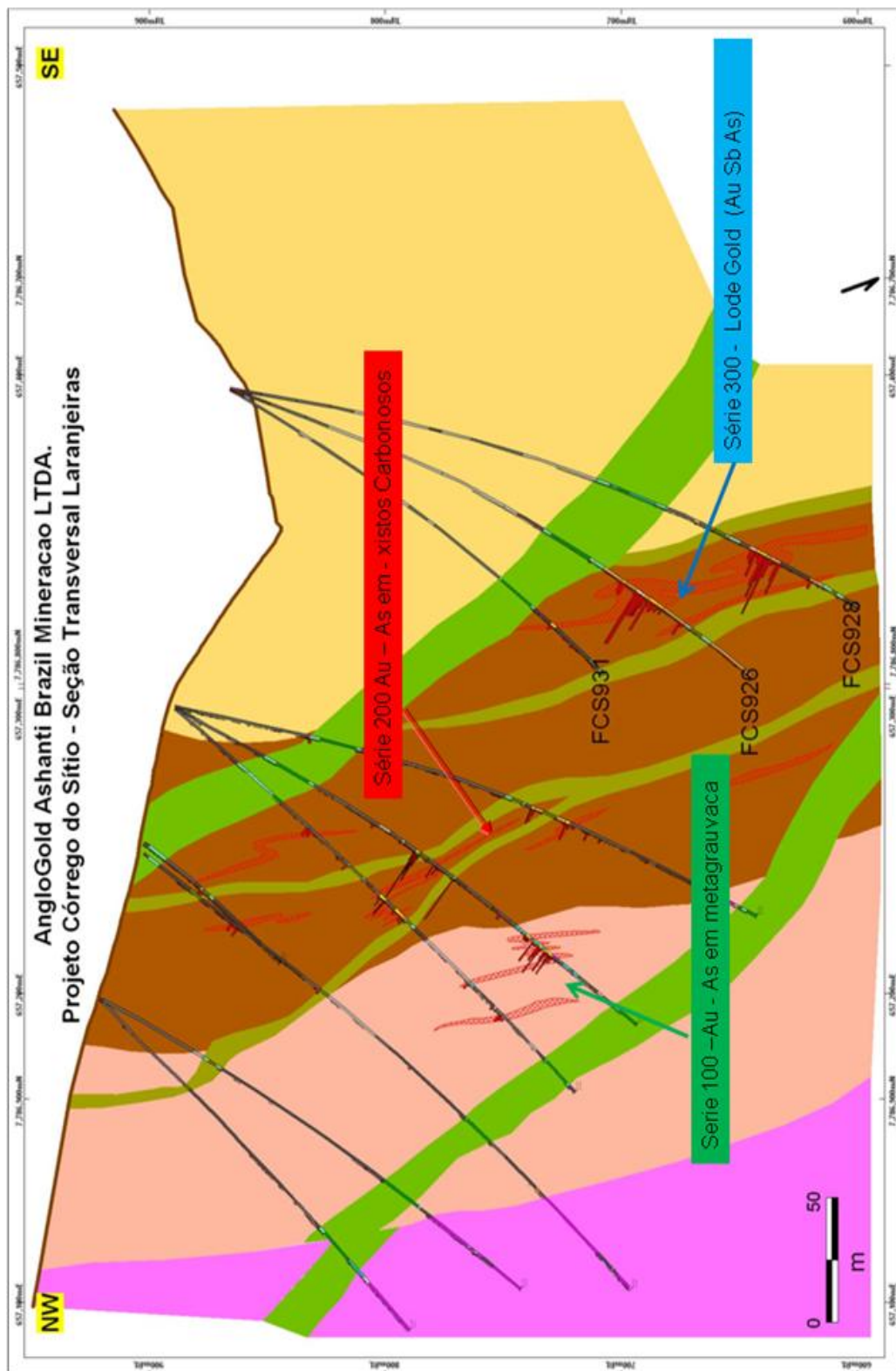





FIGURA 5.2: Seção geológica 4000 representando as três séries de minérios, (300, 200 e 100), no Depósito aurífero Laranjeiras, Lineamento Córrego do Sítio.

QUADRO 5.1
Tipos de minérios e mineralogia do Depósito aurífero Laranjeiras

TIPO DE MINÉRIO/SÉRIE	ENCAIXANTE	MINERAIS ASSOCIADOS		ASPECTOS DISTINTIVOS	FOTOS
		ESSENCIAIS	ACESSÓRIOS		
300	Unidade Córrego do Sítio intermediária ou superior	<ul style="list-style-type: none"> ·Sericita ·Quartzo ·Carbonato ·Clorita ·Matéria carbonosa 	<ul style="list-style-type: none"> ·Berthierita ·Arsenopirita ·Pirritas ·Pirrotitas ·Calcopirita ·Esfalerita ·Cobaltita ·Ullmanita ·Tetraedrita ·Boulangeria(?) ·Ouro livre ·Eletrum ·Cinábrio 	<ul style="list-style-type: none"> -Zona de cisalhamento com veios de quartzo fumê em bandas de espessura métrica. -Ouro associado com massas de sulfossais de antimônio e subordinadamente arsenopirita, pirita e pirrotita. 	
	Xistos carbonosos e subordinadas camadas de xisto sericítico e raras metagrauvacas finas				
200	Unidade Córrego do Sítio intermediária	<ul style="list-style-type: none"> ·Sericita ·Quartzo ·Carbonato ·Clorita ·Matéria carbonosa 	<ul style="list-style-type: none"> ·Arsenopirita ·Pirita ·Pirrotita ·Calcopirita ·Esfalerita ·Zircão 	<ul style="list-style-type: none"> -Zona de cisalhamento; -Lentes boudinadas, dobradas e localmente transpostas -Ouro associado com arsenopirita., pirita e pirrotita 	
	Quartzo-sericita xisto, mais ou menos carbonosos.				
100	Unidade Córrego do Sítio inferior Metagrauvaca	<ul style="list-style-type: none"> ·Quartzo ·Sericita ·Plagioclásio ·Carbonato ·Clorita ·Matéria carbonosa 	<ul style="list-style-type: none"> ·Arsenopirita ·Pirita ·Pirrotita ·Zircão 	<ul style="list-style-type: none"> -Corpos lenticulares; -Estrutura brechada; -Ouro associado com arsenopirita, pirita e pirrotita 	

5.3 CORPOS DA SÉRIE 300: VEIOS DE QUARTZO-CARBONATO-SULFETO AURÍFEROS

Este estilo de mineralização constitui cerca de 50% do minério total e distribui-se ao longo da porção leste do Lineamento Córrego do Sítio, na forma de veios de quartzo-carbonato, localmente boudinados, com espessuras variáveis de 1 a 4 metros (FIG. 5.3). Espessuras maiores são esporádicas e observadas apenas em zonas de charneira de dobras em que se formam estruturas do tipo *saddle reefs*.

Orientam-se segundo N30°E a N4°5E, com caimento variável de 60° a 75° para SE, ou seja, subparalelamente tanto ao acamamento quanto à foliação principal (FIG. 5.3) desenvolvida na fase D_n, vide Capítulo 4. Localmente ocorrem sob a forma de microvênulas lenticulares, centi a decimétricas, dobradas e transpostas juntamente com xistos carbonosos presentes em zonas de cisalhamento.

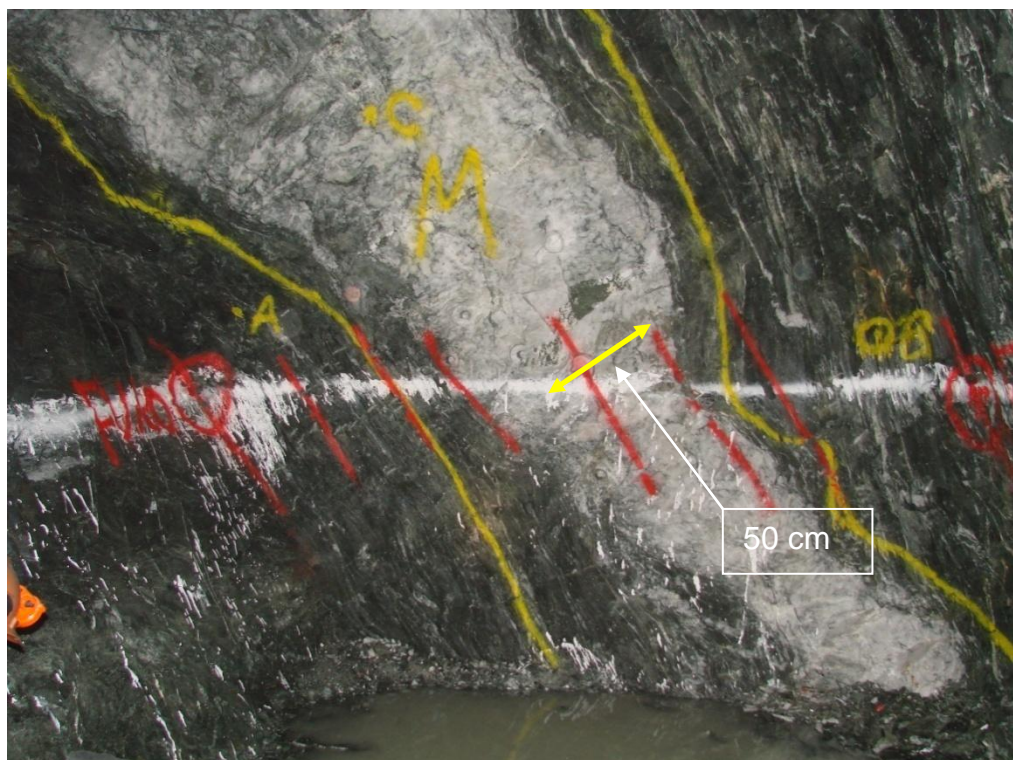


FIGURA. 5.3: Veio de quartzo fumê e leitoso com massas de berthierita (FeSb_2S_4) e arsenopirita (FeAsS) encaixado em xisto carbonoso com microvenulações lenticulares de quartzo e carbonato com berthierita. Galeria Mina Cachorro Bravo, nível 688, corpo 300. Traços inclinados, em vermelho, indicam tamanho das amostras entre 40 a 50 cm.

5.3.1 Descrição microscópica do minério

Os veios de quartzo-carbonato são rochas monótonas, constituídas majoritariamente por quartzo *fumê* com subordinadas porções de quartzo branco, carbonato, fragmentos de filito carbonoso, sulfetos, sulfossais e raras pintas de ouro.

Nestes veios mineralizados, são descritas pintas de ouro livre com tamanhos entre 1 e 32 μm , além de agregados poligonizados, com até 2,0 cm, de minerais metálicos sendo a berthierita (FeSb_2S_4) o mineral mais abundante. Estes agregados polimetálicos apresentam

uma associação de sulfetos, sulfossais, ouro e eletrum que raramente excedem 5% do volume total da rocha (QUADRO 5.1).

Pirrotita I (Fe_{1-x}S) e pirita I (FeS_2) apresentam-se geralmente no núcleo destes agregados, em cristais xenomorfos poiquiloblásticos com aspecto poroso e envoltos pelos demais minerais metálicos. A análise destes minerais por WDS não obteve um bom fechamento, provavelmente devido à refração e absorção irregular da energia nos poros (TABs. 5.3 e 5.4). A pirrotita nestes veios a quartzo-carbonato-sulfeto forma cristais xenomorfos a subidiomorfos, mostrando bordas com lamelas de ullmanita (NiSbS).

Pirita apresenta vários hábitos, desde agregados de pequenos cristais poiquiloblásticos estirados até cristais euédricos isolados.

A berthierita (FeSb_2S_4) ocorre em massas xenomorfas que bordejam estes cristais porosos de pirita e pirrotita. Em equilíbrio textural com a berthierita ocorrem cristais hipidiomorfos a xenomorfos de esfalerita (ZnS), calcopirita (CuFeS_2), estibnita (SbS) e sulfoantimonieto de chumbo ($\text{PbFeSb}_n\text{S}_n$:série da boulangerita).(FIG. 5.3).

A ullmanita (NiSbS) ocorre nas bordas de cristais xenomorfos e aglomerados de berthierita. (FIG 5.14). Tetraedrita ($\text{Cu}_{12}\text{Sb}_4\text{S}_{13}$) é rara e ocorre ao longo das bordas de cristais xenomorfos de calcopirita. Cobaltita (CoAsS) ocorre como cristais euédricos de até 50 μm no interior de cristais de quartzo. (FIG 5.24).

Arsenopirita (FeAsS) ocorre como cristais isolados, xenomorfos, associada às porções das bordas das massas de berthierita, ou em cristais euédricos zonados do centro para a borda (FIG. 5.17 e 5.18).A arsenopirita de aspecto poroso que ocupa a porção do núcleo de cristais zonados, envolvida por uma borda de arsenopirita de aspecto “limpo” (FIG. 5.19), é denominada arsenopirita I.A arsenopirita I das porções centrais dos cristais é enriquecida em enxôfre e ferro e empobrecida em arsênio em relação a arsenopirita II das bordas.(FIG. 5.19).

HOSPEDEIRA

VEIO DE QUARTZO-CARBONATO-SULFETO Série 300.....HOSPEDEIRA



FIGURA 5.4: Prancha com amostras de testemunhos de sondagem exibindo veio de quartzo-carbonato-sulfeto com Au–As–Sb. O veio de quartzo fumê tem massas de bertierita hospedado em xisto carbonoso dobrado e transposto. Há sericitização, silicificação e sulfetação na hospedeira. Furo de sondagem FCS1234, intervalo 302,90–310,40 m. Seção 5100 (vide FIG 4.1)



FIGURA 5.5: Testemunhos de sondagem com veio de quartzo-carbonato fumê, com massas de bertierita, encaixado em filitos carbonosos dobrados, transpostos e cisalhados. Há microvenulações com disseminações de bertierita encaixadas em xisto carbonoso dobrado e transposto. Furo de sondagem FCS926 – intervalo 193,55 – 196,90 m. Seção 4000 -Depósito Laranjeiras.

5.4 CORPOS DA SÉRIE 200: MICROVEIOS DE QUARTZO E SUBSTITUIÇÃO EM FILITOS CARBONOSOS.

Este estilo de mineralização aurífera se desenvolve em uma sequência de rochas metassedimentares, com típica foliação milonítica, e incluem microvenulações a quartzo-carbonato-sulfeto e disseminações de sulfetos. Internamente são constituídas por um grande número de pequenos corpos mineralizados anastomosados, que são subparalelos ou suavemente oblíquos uns aos outros, e que localmente juntam-se ou bifurcam-se ao longo do *strike* e do *dip*.

Estas mineralizações têm geometria similar a lentes e boudins, dispostos em echelon, cuja largura varia entre 1 e 6 metros, a altura de 50 a 210 metros e o comprimento de 100 a 1000 metros. Orientam-se, grosso modo, na direção entre N30o-45°E, com mergulho para sudeste variando entre 45° e 75°. O plunge da mineralização possui direção N30o -50°E, com caimento variando de 25° a 45° para nordeste.

As rochas encaixantes se constituem por 25 a 55% de sericita associada com matéria carbonosa, 35 a 45% de quartzo, carbonatos de 5 a 15%, 1 a 8% de muscovita, 3 a 6% de clorita, 1 a 2% de albita, 1 a 4 % de pirita e quantidades inferiores a 1% de arsenopirita, pirrotita, esfalerita e calcopirita.

Pirita é o sulfeto mais comum e abundante, pois distribui-se em todas as litologias, e que apresenta as mais variadas formas cristalinas. Onde euédrico desenvolvem cristais finos, em geral no contato entre veios quartzo-carbonáticos e bandas sericíticas.



FIGURA 5.6: Veio de quartzo fumê boudinado encaixado em quartzo-sericita xisto carbonoso com disseminações de arsenopirita (FeAsS). Galeria Mina Cachorro Bravo, nível 673 corpo 211 norte.

A



B



C



FIGURA 5.7: Amostras de testemunhos de sondagem de minérios da Série 200.

A: quartzo-sericita xisto carbonoso milonítico com venulações boudinadas e disseminações de arsenopirita fina, pirita e pirrotita.

B- pirita-quartzo-sericita xisto milonítico com microvenulações de quartzo-carbonato-pirita-pirrotita paralelas à xistosidade.

C- quartzo-sericita xisto com *microboudins* de quartzo orientados na xistosidade milonítica, contendo disseminações de arsenopirita fina.

5.5 CORPOS DA SÉRIE 100: VEIOS QUARTZO-CARBONATO-SULFETO E SUBSTITUIÇÃO EM METAGRAUVACAS

As mineralizações da Série 100 são caracterizadas por microvenulações, constituídas por quartzo, carbonato, sulfetos e sulfossais, encaixadas em metagrauvacas do membro inferior da Unidade Córrego do Sítio. A metagrauvaca encaixante é de granulação fina a média, apresenta textura granoblástica a incipientemente lepidoblástica. A xistosidade é anastomosada e porfiroblastos de quartzo envolvem-se em faixas de sericita. Os porfiroblastos de quartzo, que têm em média 0,4 mm e localmente estão rotacionados, mostrando formas sigmoidais do tipo *phi*, com franjas de pressão assimétricas em que se recristalizam quartzo muito fino. Este mineral tem extinção ondulante e suas bordas são lobadas, serrilhadas ou mostram-se corroídas, possivelmente representando relictos da origem vulcânica.

A arsenopirita é o sulfeto mais abundante, e ocorre como cristais finos, variando de 0,2 a 0,4 mm, com hábito euédrico e envolvidos em cristais de pirrotita, como se desenvolvido à custa desta. A pirrotita forma cristais anédricos, em média de 0,2 mm, que se associam com berthierita, arsenopirita e calcopirita.



FIGURA 5.8: Veio de quartzo fumê boudinado encaixado em metagrauvaca (plagioclásio-sericita-quartzo xisto carbonoso) com disseminações de arsenopirita (FeAsS); Galeria Mina Cachorro Bravo, nível 738 corpo 101 sul.

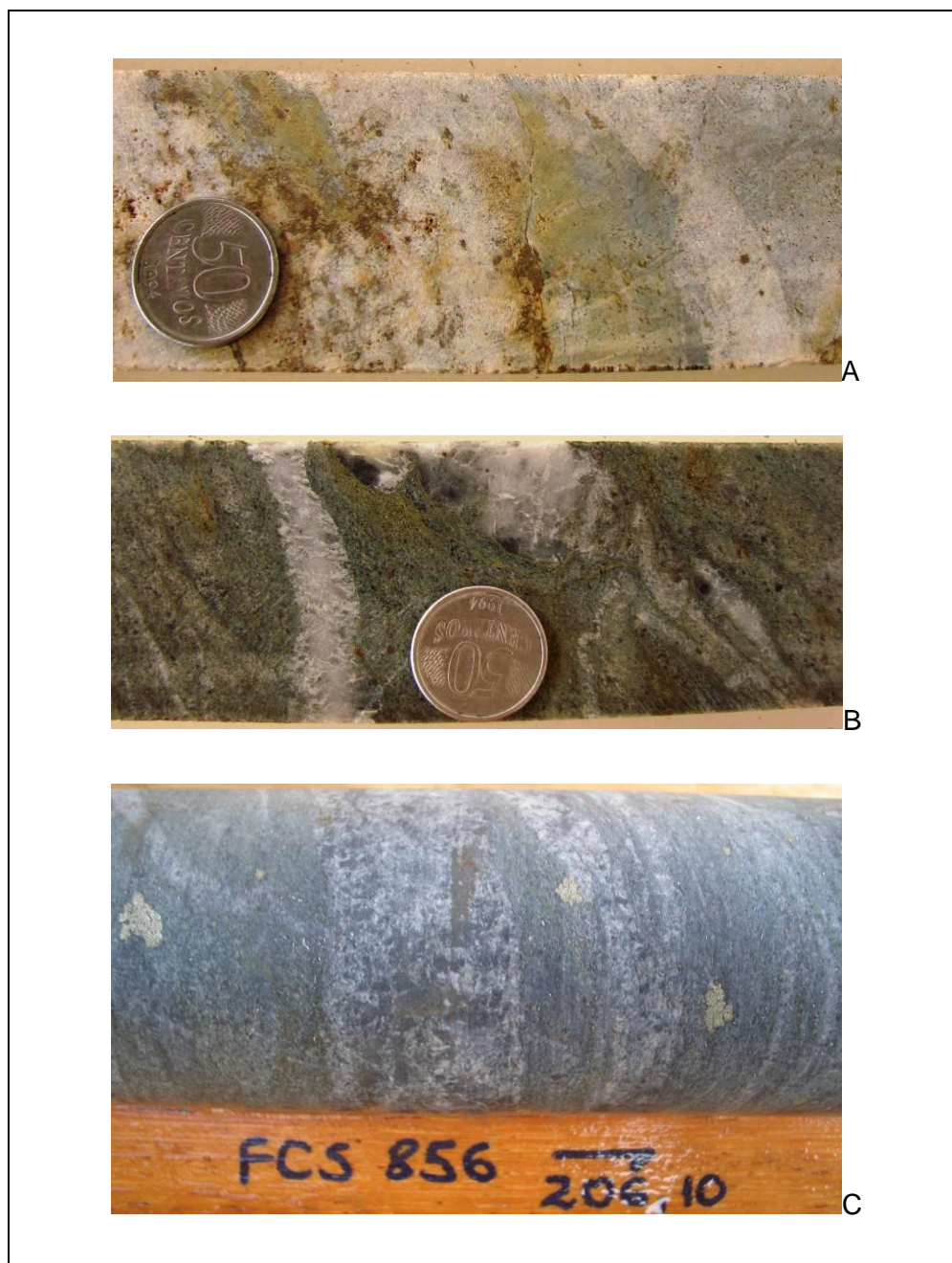


FIGURA 5.9 A: Minério da Série 100:veio de quartzo e carbonato em metagrauvaca.

A = Veio de quartzo com sericita, arsenopirita e pirita;

B= Veio de quartzo com sericita e arsenopirita;

C= Veio de quartzo encaixado em quartzo-plagioclásio-sericita xisto com disseminações de arsenopirita nas porções ricas em sericita verde claro.

5.6 MINERALOGIA DO MINÉRIO

Neste capítulo são apresentados os resultados de análise qualitativa e quantitativa dos sulfetos e sulfossais presentes nas lâminas delgadas e polidas confeccionadas com minério do Depósito Laranjeiras.





















As análises de microsonda eletrônica de varredura (MEV) foram realizadas em 05 sessões nos dias 20 de Junho/2009; 08 e 09 de setembro/2009 e 29 e 30 de Março de 2010. Foi utilizada uma microsonda eletrônica JEOL modelo JXA-8900RL, operada pelo geólogo Dr. Luis Rodrigues Armoa Garcia, sob a supervisão do Prof. Dr. Aba Israel Cohen Persiano do Departamento de Física-UFMG.

Foram realizadas 39 análises WDS quantitativas, cerca de 60 análises qualitativas com obtenção de espectros EDS e 13 imagens de elétrons retro espalhados, detalhados a seguir para cada amostra analisada. As condições de medidas e padrões utilizados estão apresentados no Anexo 5.

Análises quantitativas WDS foram realizadas nos seguintes minerais, a saber: arsenopirita (FeAsS), pirrotita (FeS), pirita (FeS_2), berthierita (FeSb_2S_4), calcopirita (CuFeS_2), ullmanita (NiSbS), gersdorffita (NiAsS), cubanita (CuFe_2S_3), tetraedrita ($(\text{Cu,Fe})_{12}\text{Sb}_4\text{S}_{13}$), esfalerita (ZnFeS), pentlandita ($(\text{Fe,Ni})_9\text{S}_8$), hematita (Fe_2O_3), rutilo (TiO_2), minerais do grupo da boulangerita ($\text{Pb}_5\text{Sb}_4\text{S}_{11}$), galena (PbS), estibnita (Sb_2S_3), cobaltita (CoAsS), cinábrio (HgS), eletrum (Ag-Au) e ouro (Au), que representam, no todo, quantidades inferiores a 1%.

As siglas utilizadas correspondem a: Cob = cobaltita; Cal = calcita; Po=pirrotita; Aspy = arsenopirita; Ccpy = calcopirita; Py = pirita; Esf = esfalerita; Bert = bertierita; Ullm = Ullmanita; Boul = boulangerita; Tetr = tetraedrita; Estib = estibnita

TABELA 5.2
Sequência paragenética dos minerais metálicos, da mineralização
aurífera do Lineamento Córrego do Sítio

MINERAIS	PRÉ-MINERALIZAÇÃO	SIN-MINERALIZAÇÃO	TARDI-MINERALIZAÇÃO	PÓS-MINERALIZAÇÃO
Pirita I, com textura flamboidal , que ocorre distante da zona mineralizada e disseminada em xisto carbonoso.				
Pirita I poiquiloblástica, dobrada e boudinada				
Pirrotita I porosa				
Pirita II porosa				
Pirrotita II poiquiloblástica e/ou estirada na xistosidade				
Arsenopirita I porosa				
Arsenopirita II euédrica				
Ouro incluído em pirita, pirrotita, arsenopirita e/ou berthierita.				
Ouro em veio de quartzo fumê-carbonato				
Berthierita maciça com inclusões de pirita, pirrotita, ouro, arsenopirita				
Berthierita em <i>vugs</i>				
Calcopirita equilíbrio com esfalerita				
Esfalerita equilíbrio com calcopirita				
Cinábrio Filamentos com ouro				
Ullmanita cresce na borda de berthierita				
Boulangerita cresce na borda de berthierita				
Tetraedrita- Tennantita cresce na borda de calcopirita				
Pirita III-euédrica e em veios de quartzo-carbonato tardios e estéreis.				
Cobaltita euédrica				
Estibnita euédrica em <i>vugs</i>				

5.6.1 Ouro nativo e eletrum

O ouro ocorre como mineral nativo em veios de quartzo com carbonato, ou encontra-se incluso em sulfetos e sulfossais de granulação fina (menor a 100 μm), essencialmente arsenopirita (Asp), pirrotita (Po), pirita (Py) e berthierita, cristalizados em épocas diferentes, tanto antes quanto durante e até mesmo após os processos de deformação da rocha.

O estudo da composição mineralógica, textura mineral, estrutura das rochas e dos diferentes corpos de minério permitiu identificar que o ouro ocorre em quatro (4) associações (FIG. 5.10 - A a F):

- i) Ouro livre e eletrum disseminados em veio de quartzo-carbonato de cor cinza fumê e branco;
- ii) Ouro incluso em berthierita (FeSb_2S_4), que somente ocorre no interior de veio de quartzo-carbonato *fumê*;
- iii) Ouro incluso em arsenopirita (FeAsS), em partículas submicroscópicas ou microscópicas, que ocorre disseminada, em geral, paralelamente à foliação principal e/ou ao acamamento, e associada a porções micáceas (clorita, sericita ou muscovita) da rocha;
- iv) Ouro incluso em pirita (FeS_2) ou pirrotita (FeS_{1-x}) que ocorrem disseminados paralelamente à foliação principal e ou acamamento nas porções micáceas (clorita, sericita ou muscovita) da rocha;
- v) Ouro incluso em silicatos (quartzo ou micas).

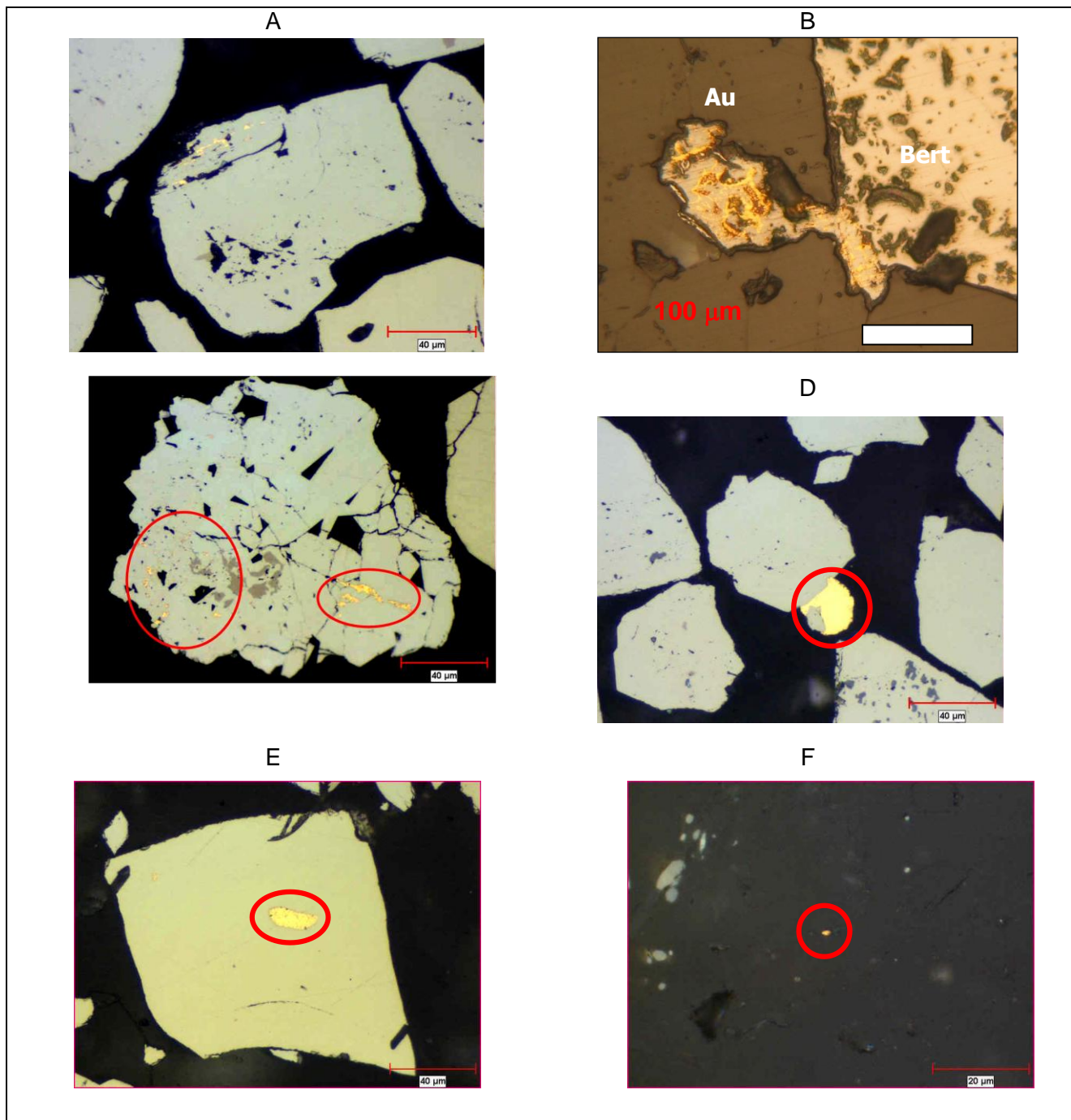


FIGURA 5.10:

- A: Ouro incluído em fraturas de arsenopirita;
- B: Ouro incluído em berthierita;
- C: Ouro em partículas submicroscópicas incluído em fraturas de arsenopirita;
- D: Ouro em partícula microscópica na borda de arsenopirita;
- E: Ouro incluído em pirita;
- F- Ouro incluído em quartzo.

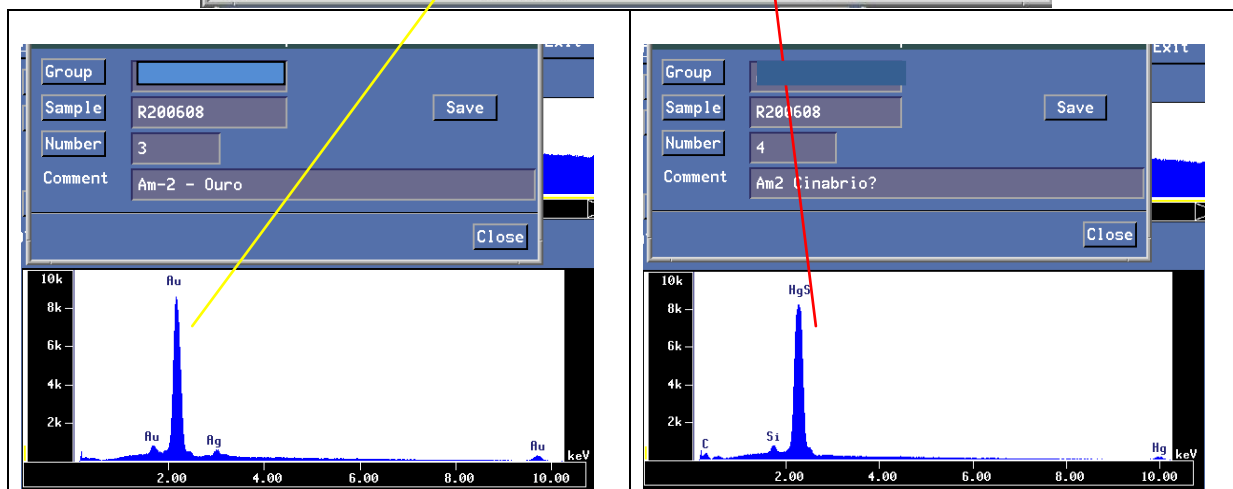
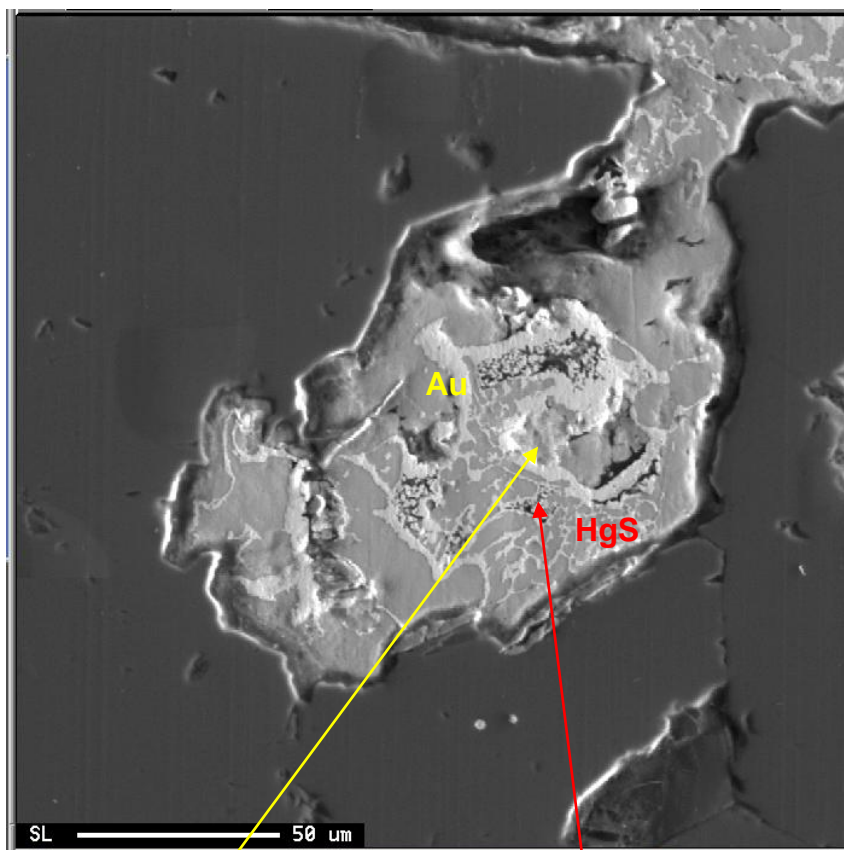


FIGURA 5.11: Resultado de análise qualitativa por EDS de testemunhos do FCS978A com cristal de bertierita contendo inclusões de cinábrio e ouro.

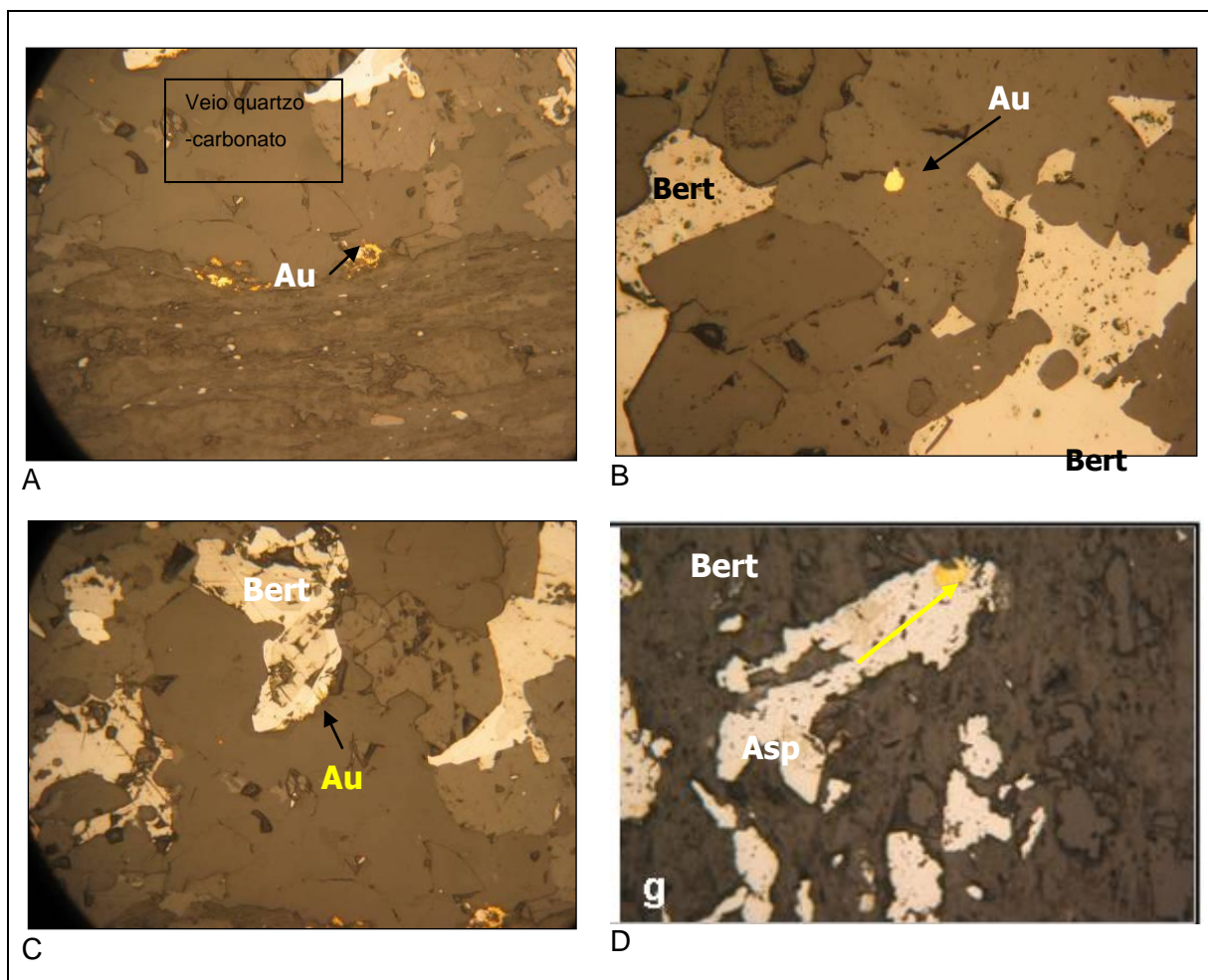


FIGURA 5.12:

- A - Amostra FCS1234-301,60 m – Partículas de ouro livre no contato banda sericítica-veio quartzo-carbonático. Luz refletida (200X);
 B = Amostra FCS1234-P302,70 m – Partícula de ouro ($\pm 0,02$ mm) livre em luz refletida (200X) em veio de quartzo;
 C= Amostra FCS1234 - 303.50 m: Amostra FCS1234 - 306.70: Partícula de ouro na borda de berthierita. luz refletida;
 D= Amostra FCS1234:307.30 - Partícula de ouro na borda de arsenopirita. Luz refletida. (200X), ..

5.6.2 Pirita (FeS_2)

A pirita no Lineamento Córrego do Sítio é o sulfeto mais comum e caracteriza-se pela diversidade textural, com variações na forma e tamanho dos grãos, aparecendo disseminado em todas as litologias. A inclusão de ouro na pirita é muito rara, mas onde ocorre na pirita (II), de hábito xenoblástico e superfície porosa.

- Pirita I Alguns cristais xenomórficos de pirita, com tamanhos de até 3 cm, ocorrem isolados e disseminados nos xistos carbonosos distantes das zonas mineralizadas e apresentando uma textura flamboidal, com formato radial e parcialmente desagregada.(FIG. 5.13 A). Ocorre ainda em massas xenoblásticas orientadas, algumas vezes boudinadas ou dobradas, comumente associadas as camadas de xistos carbonosos; (FIG. 5. 13 B);
- Pirita (II) em cristais subdioblásticos entre 25 a 200 µm, isolados, porosos ou formando agregados de até 20 mm de comprimento. Alguns cristais têm inclusões de ouro e exibem substituição para pirrotita, arsenopirita, berthierita, ullmanita, estibnita (FIG. 5.13 C);
- Pirita euédrica (III) que ocorre isolada ou em agregados de dimensões por vezes centimétricas (FIG. 5.13 D).

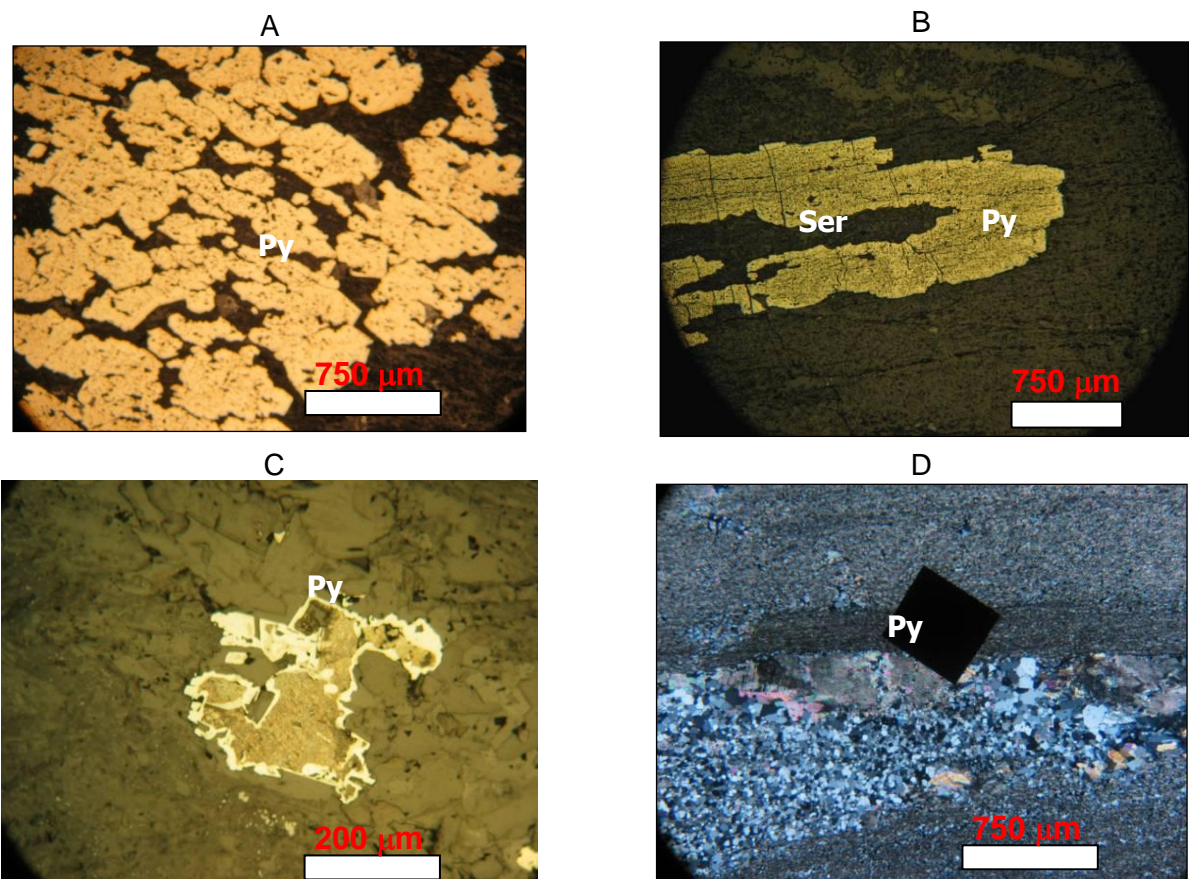


FIGURA 5.13:

- A - Amostra FCS910-319.15 – Cristais de pirita (I) subédricos orientados na foliação. Luz refletida (25X).
 B - Amostra FCS865-211,15 m– pirita (I) em agregado dobrado de cristais de pirita. Luz transmitida, nicóis descruzado (25X);
 C - Amostra FCS926-196,40 pirita porosa (II) envolta em berthierita (FeSb_2S_4), ullmanita (NiSbS), estibnita(SbS). Luz refletida (100X);
 D- Amostra FCS1019 – Pirita (III) euédrica cúbica . Luz refletida (25X).

A pirita porosa (II), ocorre no núcleo de aglomerados polimetálicos em cristais poiquiloblásticos com inclusões de ouro e substituições para pirrotita, arsenopirita, berthierita, ullmanita, estibnita, conserva o hábito e textura original da pirita.

Estes cristais quando analisados por Microsonda Eletrônica de Varredura (MEV: WDS) não apresentam boa qualidade no fechamento estequiométrico (73,36 %) devido à porosidade que provavelmente absorve parte da energia do raios-X, provocando perdas de energia e a subestimativa dos teores dos elementos químicos presentes.

Os cristais de pirita euédrica (II) provavelmente pertencem a uma geração posterior a estes cristais de hábito subdioblásticos.

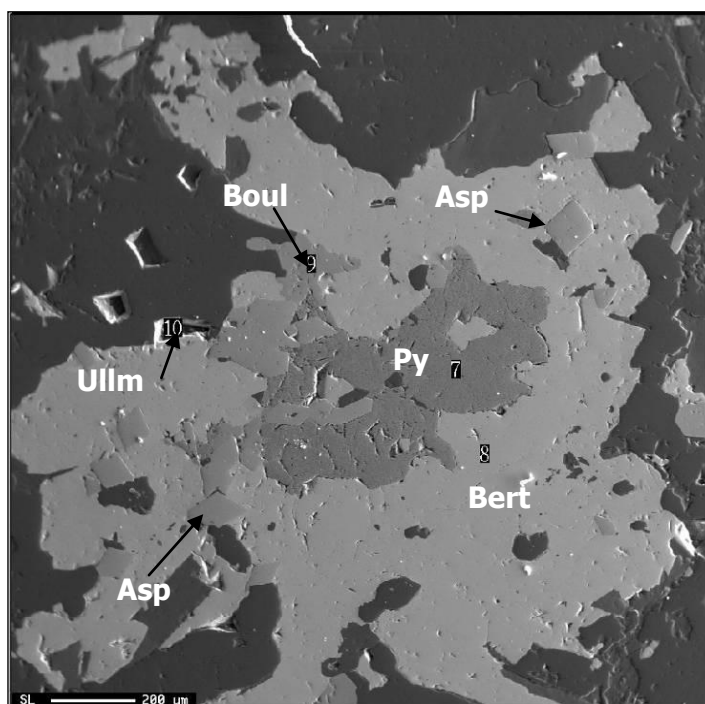


FIGURA 5.14: Cristal de pirita porosa no centro de aglomerado de minerais metálicos (berthierita, ullmanita, boulangerita, arsenopirita e esfalerita).

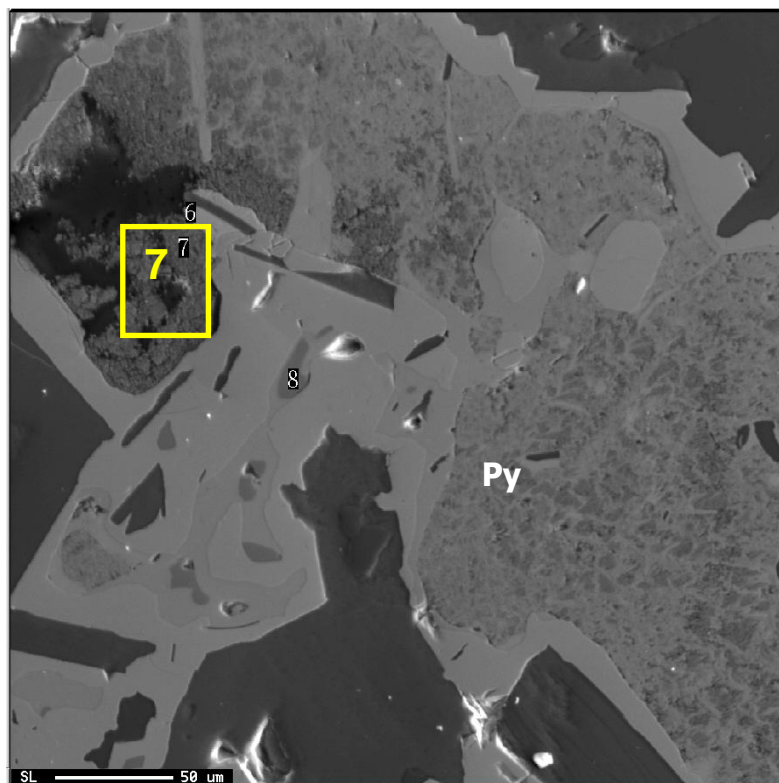


FIGURA 5.15: Imagem MEV / EDS com Pirita porosa (I) envolvida por boulangerita e pirrotita, na lâmina FCS926 – 196.40.

TABELA 5.3:

Resultado de análise por WDS no Ponto 7 da lâmina FCS926 – 196.40- Pirita porosa .Amostra 196.40 (7) ; (*) Análises (1) Elba, Italia; (2) *Mill Close Mine*, Derbyshire, Inglaterra.(3) Gladhammar, Suécia;. (4) Amostra padrão ideal (FeS₂).

"Pirita" porosa					
Elementos	Pirita porosa FCS926 196,40 m:ponto 7	(1)	(2)	(3)	(4)
S	39.04	53.49	53.40	52.45	53.45
Fe	31.35	46.49	29.30	33.32	46.55
Co	0.03		tr	13.90	
Ni	0.08		16.69	0.19	
Cu	0.05				
Zn	0.00				
As	0.12				
Sb	2.42				
Pb	0.27				
Total	73.36	99.98	99.39	99.86	100.00

5.6.3 Pirrotita

A pirrotita I (Po) ocorre como cristais xenoblásticos de até $\pm 2,8$ mm e também em grãos subédricos de até $\pm 1,5$ mm, alongados segundo a foliação, com superfícies porosas, ou em agregados associados à pirita porosa, calcopirita, esfalerita, gersdorfita, pentlandita, cubanita e ullmanita.

A pirrotita apresenta raras inclusões de pentlandita, na forma de exsolução em “chama”.

A pirrotita II (Po) é lisa, tem hábitos xenomórficos e extinção ondulante, associa-se com arsenopirita I e berthierita e orienta-se preferencialmente segundo a foliação principal (FIG. 5.16 D).

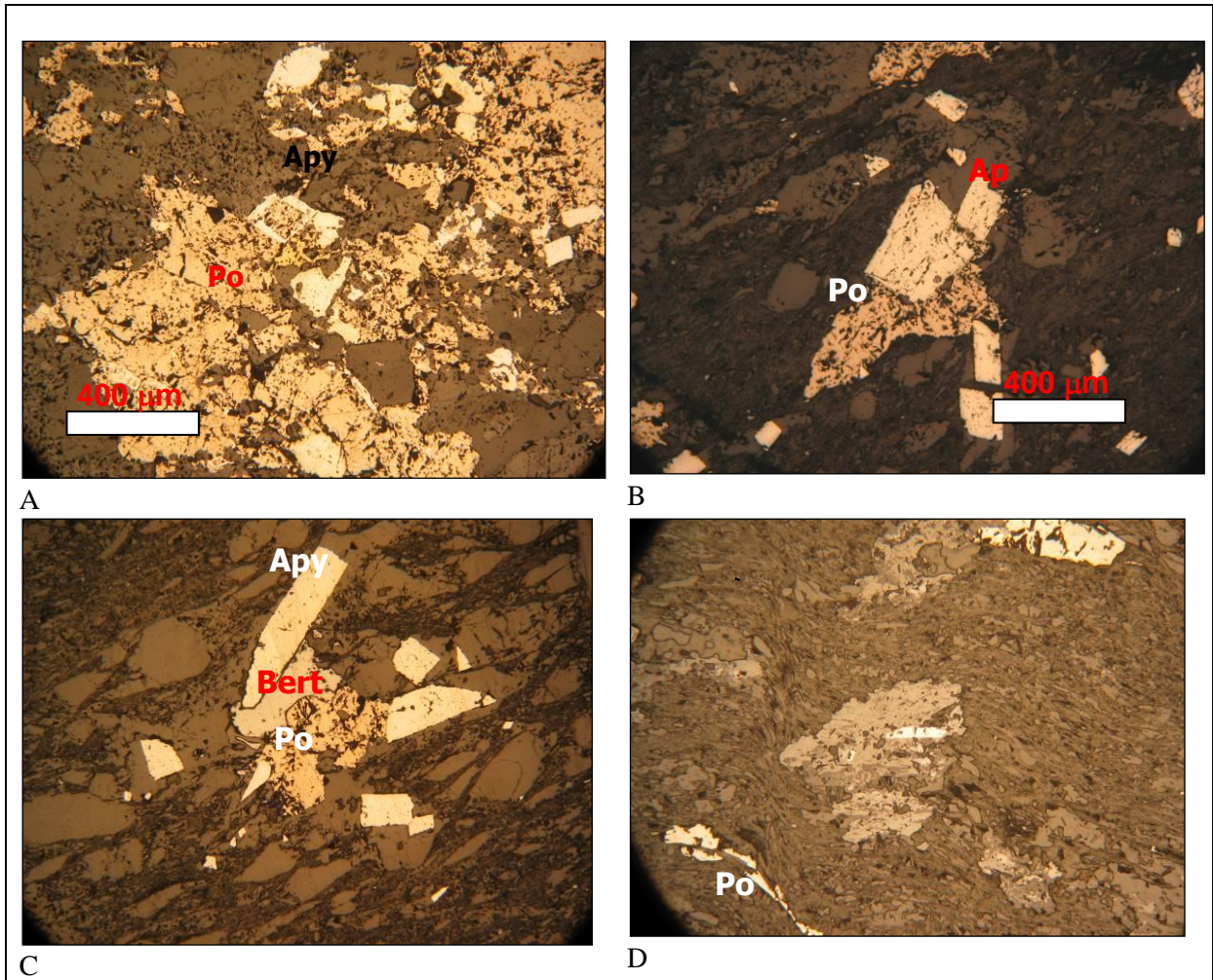


FIGURA 5.16: Amostra FCS1019

A Arsenopirita e pirita crescendo à custa de pirrotita, calcopirita anédrica associada à pirrotita em aparente equilíbrio textural. Luz refletida (50X);

B- Amostra FCS971 – Pirrotita anédrica parcialmente substituída por arsenopirita. Luz refletida (50X).;

C- Amostra FCS1020 –Pirrotita em massas porosas substituída por bertierita e arsenopirita. Luz refletida (50X).

D- Amostra FCS 1231 177,60 – Cristais alongados de pirrotita, blastos de titanita com pirrotita associada. Luz refletida (100X).

TABELA 5.4:

Tabela com resultado de análise por WDS da amostra 196.40- (8) na imagem VII e VIII ; e outros resultados de análise de pirrotita de outras minas (*) (1) Homestake mine, Lead, Lawrence Co., South Dakota, USA; corresponde a $Fe_{0.87}S_{1.00}$. (2) Kongsberg, Noruega. Média de duas análises corresponde a $Fe_{0.87}S_{1.00}$. (3) Setregruben, Østfold, Noruega corresponde a $Fe_{0.92}S_{1.00}$.

"Pirrotita" porosa				
Elementos	196,40-(8)	(1)	(2)	(3)
S	39.83	39.82	39.55	38.53
Fe	55.91	60.18	59.83	61.57
Co	0.00			
Ni	0.71			
Cu	0.01			
Zn	0.00			
As	0.08			
Sb	0.27			
Pb	0.05			
Total	96.86	100.00	99.93	100.10

5.6.4 Arsenopirita

A arsenopirita (Asp) apresenta-se em dois tipos diferentes (FIG. 4.16).

Arsenopirita I forma cristais subidiomórficos, dispostos em arranjos subparalelos à foliação principal, disseminados preferencialmente nas bandas mais micáceas de metapelitos. Localmente forma cristais que crescem no entorno de cristais relictos de pirita e pirrotita. (FIG. 5.17 A)

A arsenopirita II desenvolve-se no entorno dos cristais de arsenopirita I e tem hábito euédrico com formas losangulares perfeitas (FIG. 5.17 D).

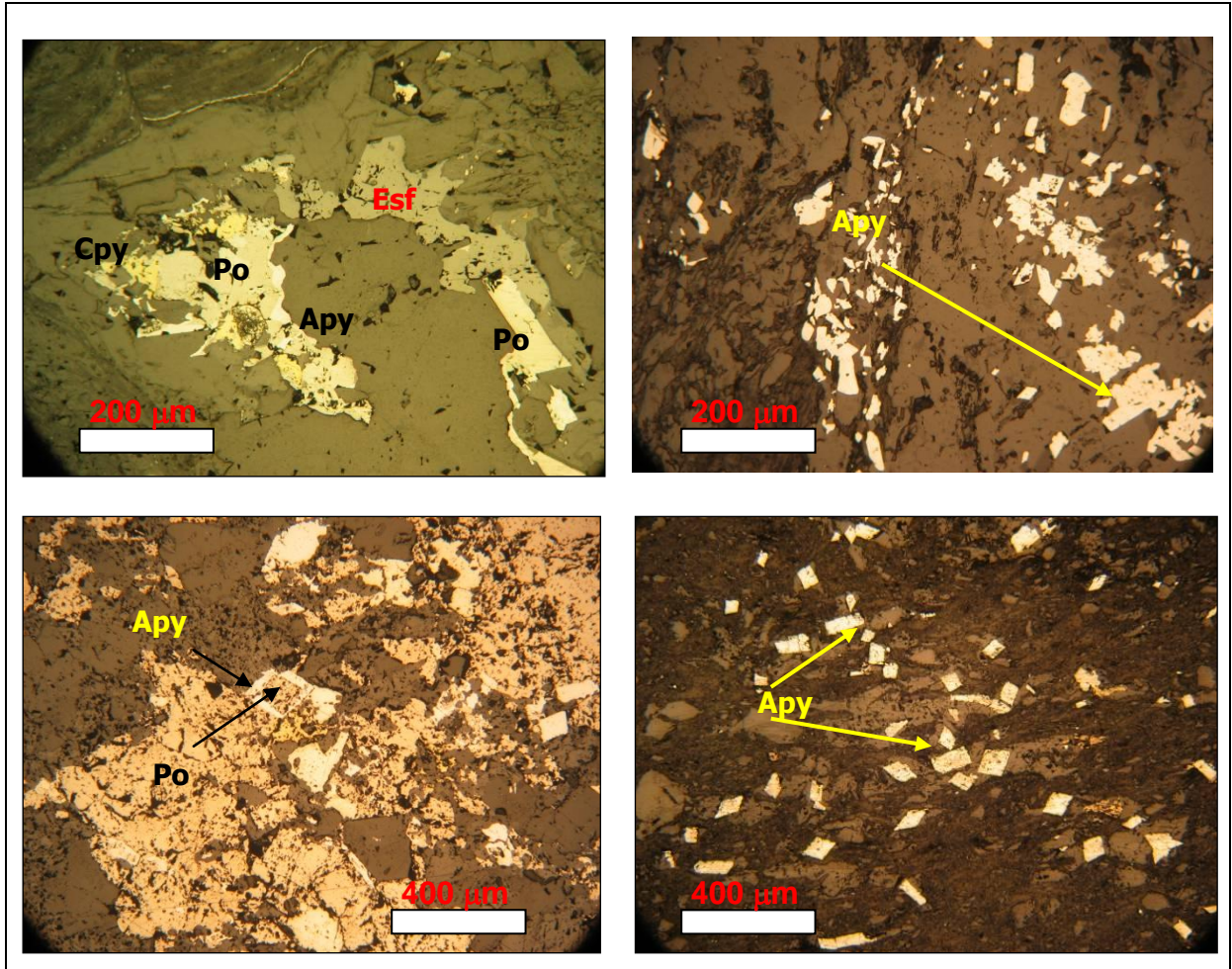


FIGURA 5.17:

A- Amostra FCS926-196,40 – Finos cristais de arsenopirita (I) e calcopirita crescidos em borda de pirrotita; pirrotita associada a esfalerita na mesma lâmina petrográfica. Luz refletida (100X);

B- Amostra FCS926 – Finos cristais losangulares ou microlamelares ,de formas euédricas de arsenopirita (Apy) de até±0,08 mm associados a faixas de sericita xistos. Também são observados cristais com hábito losangular em núcleos de pirita (100X).

C- Amostra FCS926 com arsenopirita sobrecrecida na borda de pirrotita;

D- Amostra FCS971 Arsenopirita, em cristais euédricos (hábito losangular) finos (±0,2-0,4 mm) associados às porções de veios de quartzo. Arsenopirita sobrecrece pirrotita anédrica e porosa.

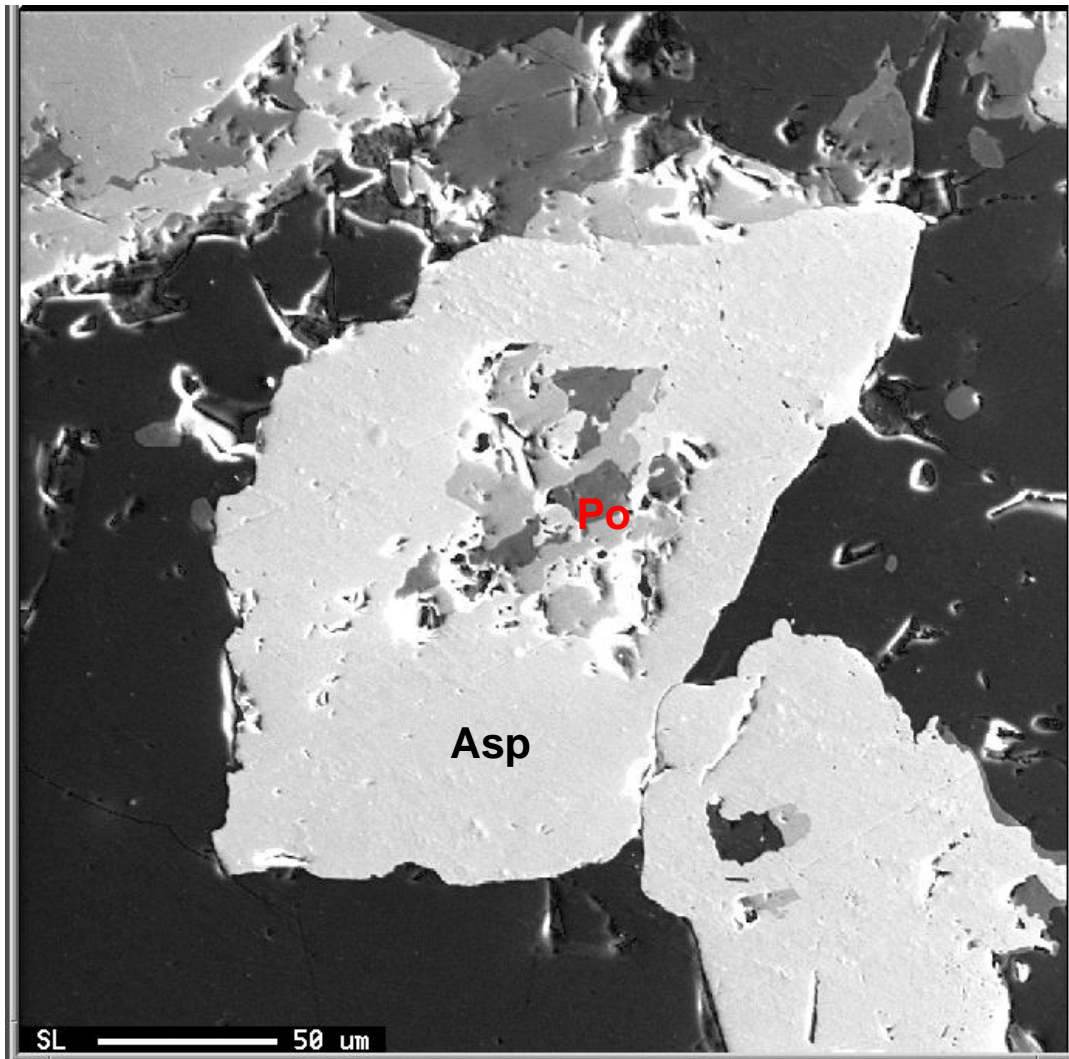


FIGURA 5.18: Imagem 4 MEV/ EDS – Arsenopirita I (Apy) envolvendo pirrotita (Po) e siderita no núcleo do agregado.

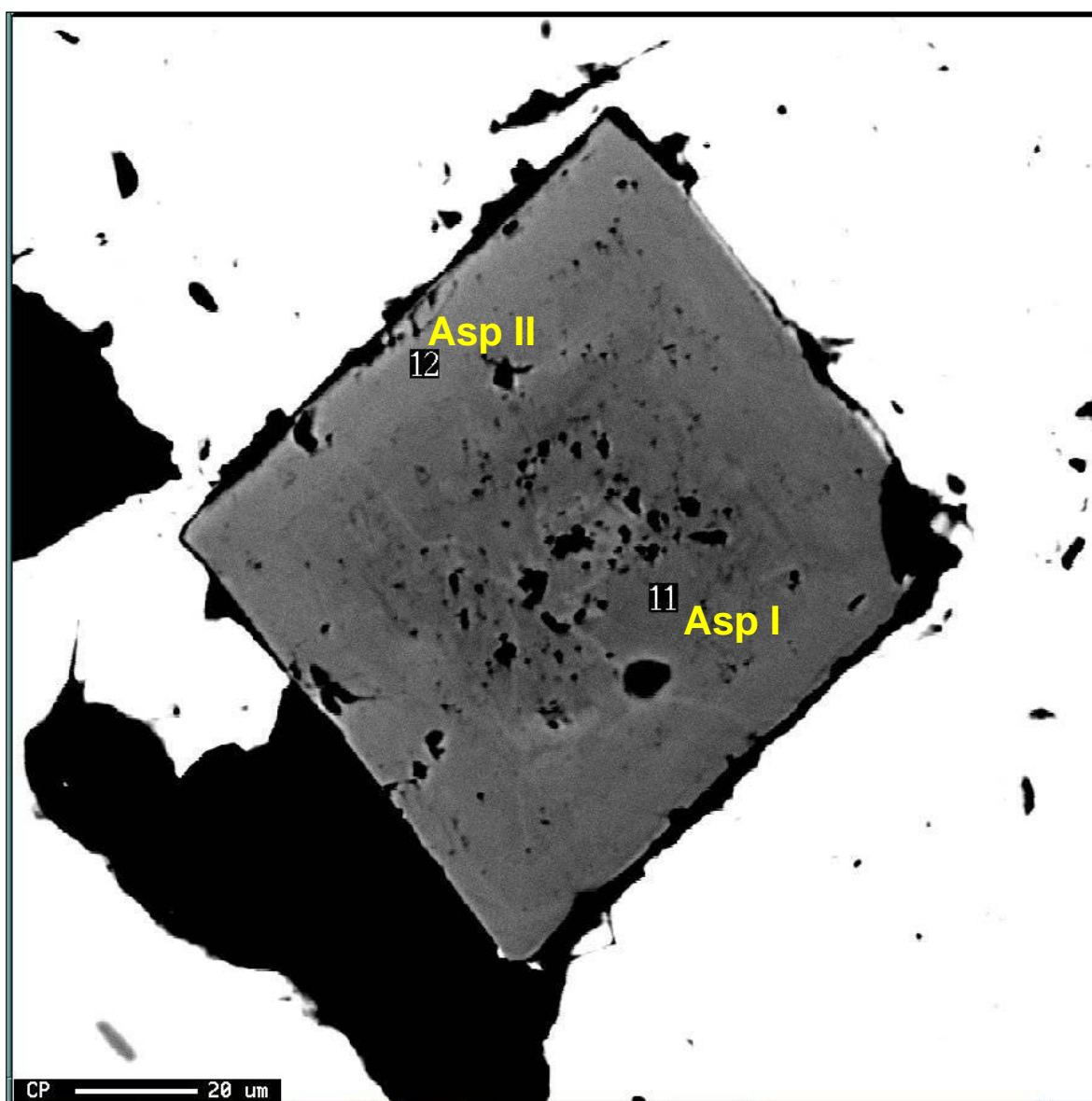


FIGURA 5.19: Amostra FCS926 – 239.80 Cristal de arsenopirita (I e II) com núcleo contendo inclusões e imperfeições e nas bordas cristal limpo e zonado Análises dos pontos 11 (centro) e 12 (borda) com imagem EDS.

Análises de arsenopirita por MEV/WDS mostram que os cristais euédricos são zonados, tendo bordas enriquecidas em As, Ni e empobrecidas em S, Fe em relação ao centro do cristal.

TABELA 5.5

Resultados de análise por WDS das amostras FCS928- 239.80 nos cristais (1) nos pontos (11), (12), e no cristal (2) nos pontos (13) e (14); Análises de referência da literatura (*) (1) O'Brien mine, Cobalt, Canada. (2) Franklin, New Jersey, USA. (3) Amostra padrão de Arsenopirita (FeAsS).

Arsenopirita centro e borda de cristais zonados							
Comentário	239.80-(11)	239.80-(12)	239.80-(13)	239.80-(14)	(1)	(2)	(3)
	nucleo cristal -1	Borda cristal:1	nucleo cristal:2	borda cristal:2	*	*	
S	23.17	21.48	22.67	21.43	20.22	18.80	19.69
Fe	36.18	35.31	36.13	35.28	34.53	32.48	34.30
Co	0.00	0.00	0.02	0.83	0.09	1.16	
Ni	0.06	0.02	0.05	0.13			
Bi	0.00	0.00	0.02	0.00	0.79		
Zn	0.00	0.00	0.00	0.00			
As	41.12	43.48	41.56	43.47	44.34	48.72	46.01
Sb	0.00	0.00	0.00	0.00			
Pb	0.00	0.00	0.00	0.07			
Total	100.53	100.30	100.46	101.22	99.97	101.16	100.00

Extraídas de www.handbookofmineralogy.org/
© 2001-2005 Mineral Data Publishing, version 1

5.6.5 Berthierita

Nos veios de quartzo com carbonato do minério da série 300 a berthierita (FeSb_2S_4) é o opaco mais abundante e ocorre em cristais de até ± 4 mm de comprimento, subédricos a euédricos, contendo inclusões de pirrotita I (FeS_{1-x}), pirita I (FeS_2), arsenopirita I (FeAsS), calcopirita (CuFeS_2), esfalerita (ZnS), cinábrio (HgS), eletrum (Ag-Au) e ouro (Au). (FIG. 5.20 A, B, C e D).

Os minerais do grupo da boulangerita (fórmula genérica $\text{Pb}_5\text{Sb}_4\text{S}_{11}$), ullmanita (NiSbS), estibnita (Sb_2S_3) e gersdorffita (NiAsS) ocorrem sobrecrescidos nas bordas da berthierita (FeSb_2S_4).

Berthierita ocorre em agregados de cristais granoblásticos na porção central de veios de quartzo com carbonato em textura *vuggy* (FIG. 5.21 B).

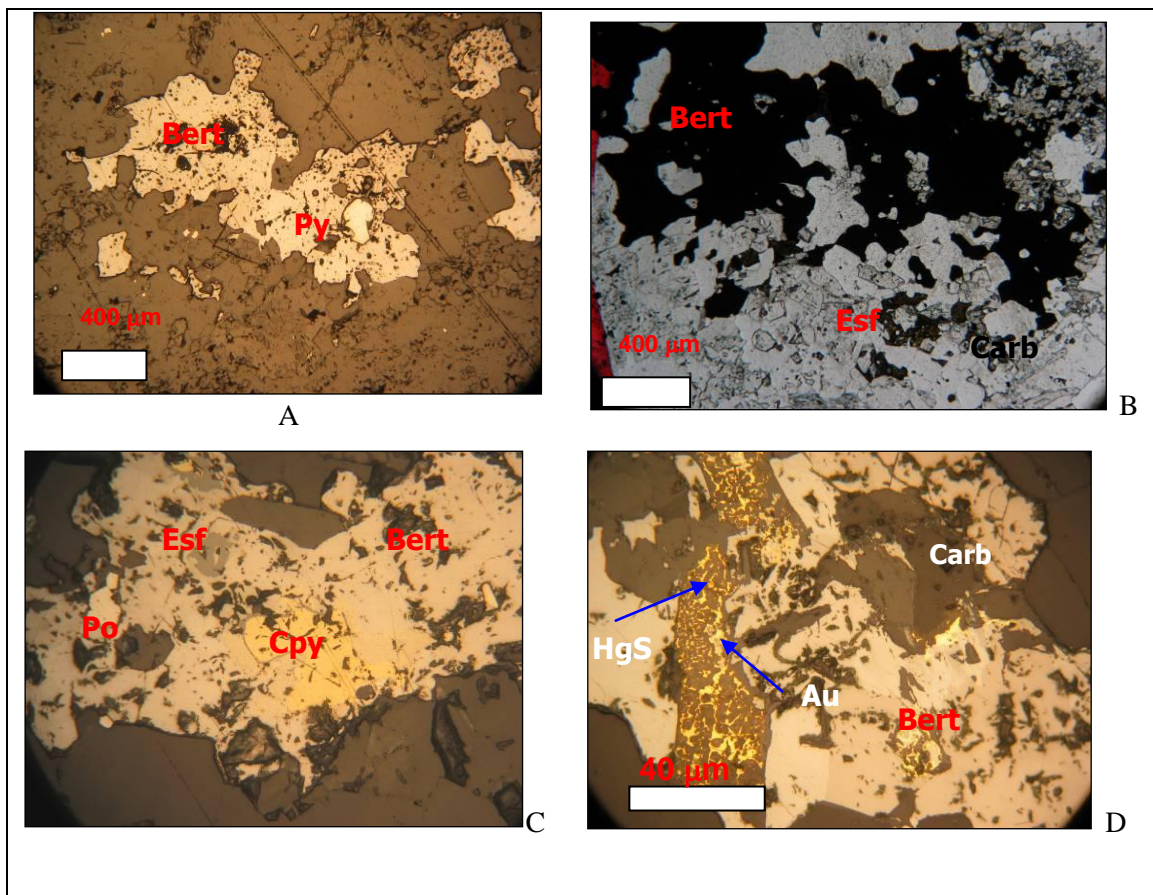


FIGURA 5.20:

A- Amostra FCS926 – Agregado de cristais poligonizados de bertierita, com rara pirita (Py) associada. Luz refletida, nicóis descruzados (50X).

B Amostra FCS-928-269,95 – Agregado de cristais granulares de bertierita com calcopirita e esfalerita associadas, em veio Qtz - Carb. Luz transmitida, nicóis descruzados (50X).

C: Amostra FCS1234-P301,60 – Finos cristais de esfalerita em núcleos de bertierita, com rara pirrotita associada. Notar calcopirita em equilíbrio textural com bertierita. Luz refletida (200X).

D- Amostra FCS928 – Partículas granulares de ouro associadas à cinábrio entre cristais de bertierita que substituem carbonato. Luz refletida, nicóis descruzados (100X).

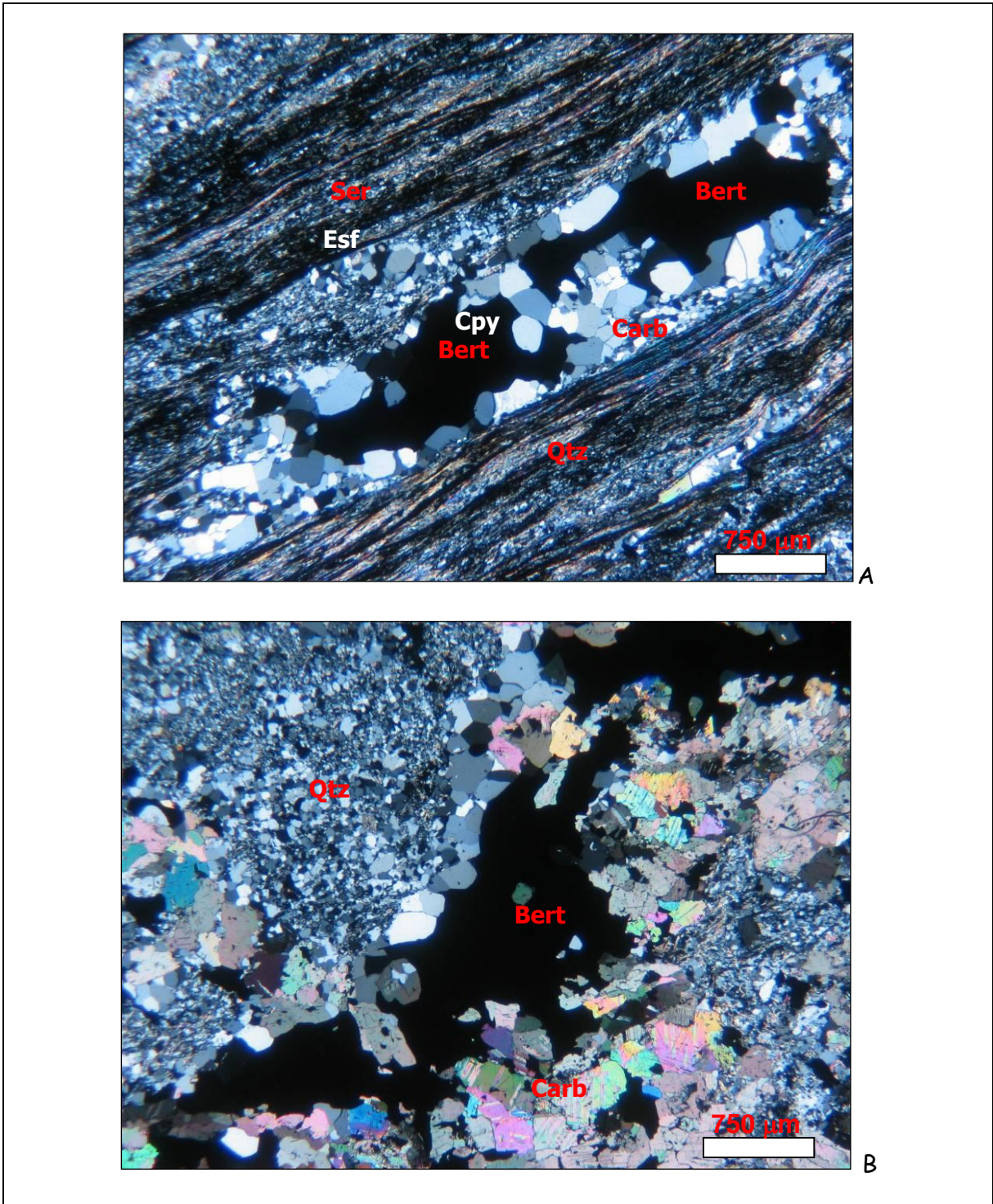


FIGURA 5.21:

A: Amostra FCS1234-P303,65 – Faixas de mica branca(Ser)-matéria carbonosa, intercaladas por veio (*vuggy-textured*) de quartzo (Qtz)-berthierita (Bert) ± carbonato (Carb). Luz transmitida, nicóis cruzados e luz refletida (25X).

B: Amostra FCS1234-P308,30 – Quartzo poligonal na borda de veio de quartzo com carbonato com berthierita (Bert). Luz transmitida (25X).

As análises de berthierita (FeSb_2S_4) por MEV / WDS obtiveram valores compatíveis com os descritos na literatura, conforme apresentado na tabela 4. abaixo:

TABELA 5.6
Resultados de análise por WDS da amostra FCS 926 / 167.20 m leituras WDS (2), (3) e 4) , (*) Análises da literatura em berthierita (1) Herja, Romênia; corresponde a ($\text{Fe}_{1.05}\text{Sb}_{2.01}\text{S}_{4.00}$); Análise (2) padrão FeSb_2S_4 .

Elementos	Berthierita (FeSb_2S_4)				
	167,20-(2)	167,20-(3)	167,20-(4)	(1)	(2)- FeSb_2S_4
S	29.74	29.99	30.07	29.46	29.99
Fe	12.57	12.36	12.58	13.43	13.06
Co	0.01	0.00	0.00		
Ni	0.02	0.04	0.03		
Cu	0.00	0.00	0.00		
Zn	0.03	0.00	0.00		
As	0.40	0.09	0.15		
Sb	56.72	57.38	57.71	56.06	56.95
Pb	1.07	0.61	0.27		
				tr	
Total	100.56	100.46	100.81	99.28	100.00

Fonte: (1) e (2) FeSb_2S_4 extraídas de www.handbookofmineralogy.org/ © 2001-2005 Mineral Data Publishing, version 1

5.6.6 Calcopirita

Calcopirita é rara e ocorre sob a forma de cristais finos ou ocupando o núcleo de agregados com pirritita, pirita, esfalerita, arsenopirita e berthierita, geralmente inclusos em porções de veio de quartzo com carbonato.

Localmente, filetes de esfalerita e calcopirita atravessam os cristais de pirrotita. Calcopirita e esfalerita associam-se comumente à berthierita, em agregados de aproximadamente 1 mm por 0,5 mm e esta última, localmente, contém inclusões de carbonato. Calcopirita apresenta ainda bordas com crescimento de tetraedrita ((Cu,Fe) $_{12}\text{Sb}_4\text{S}_{13}$) e Cubanita (CuFe_2S_3) (FIG 5.22 A e B).

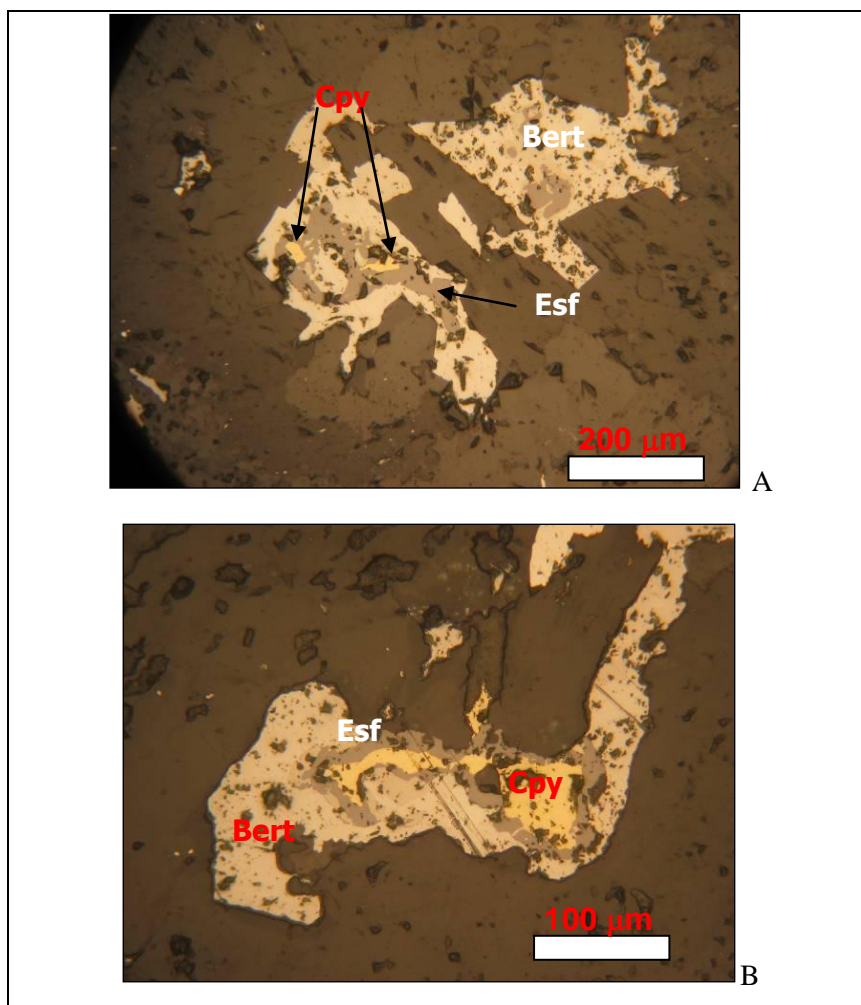


FIGURA 5.22: Fotomicrografia

A Amostra FCS910-323,90 – Agregado de opacos: pirrotita, calcopirita e esfalerita. Luz refletida (100X).,

B- Amostra FCS1234-P303,65: Núcleos de calcopirita e esfalerita e em cristal de berthierita. Luz refletida (200X).

5.6.7 Esfalerita

A esfalerita (ZnS) ocorre com finos cristais (FIG. 5.23. A) ou em agregados (FIG. 5.23 B) que variam de 0,5 a 1 mm, em nos núcleos de pirrotita ou berthierita e em aparente equilíbrio textural com calcopirita e arsenopirita em veios de quartzo associados com clorita.

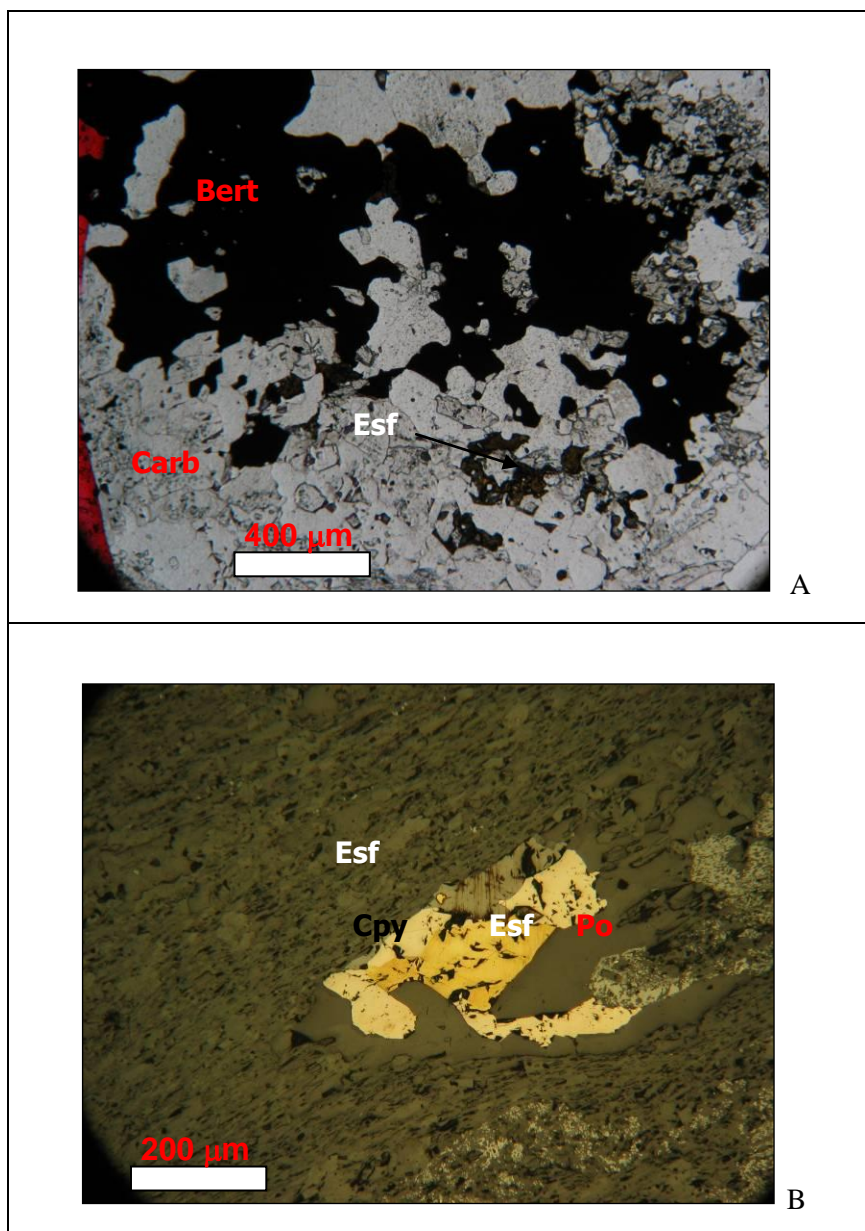


FIGURA 5.23:

A – Amostra FCS-928-269,95 – Agregado de cristais granulares de berthierita, com calcopirita e esfalerita associadas, em veio Qtz-Carb. Luz transmitida, nicóis descruzados (50X).

B Amostra FCS910-323,90 – Agregado de opacos: pirrotita, calcopirita e esfalerita. Luz refletida (100X)

5.6.8 Cobaltita (CoAsS)

Cobaltita ocorre como finos e raros cristais euédricos hexagonais associados à veios de quartzo com carbonato. Sua composição, estabelecida por MEV / WDS mostra um teor superior em Ni em relação a outros cristais consultados na literatura (FIG. 5.24e TAB. 5.7).

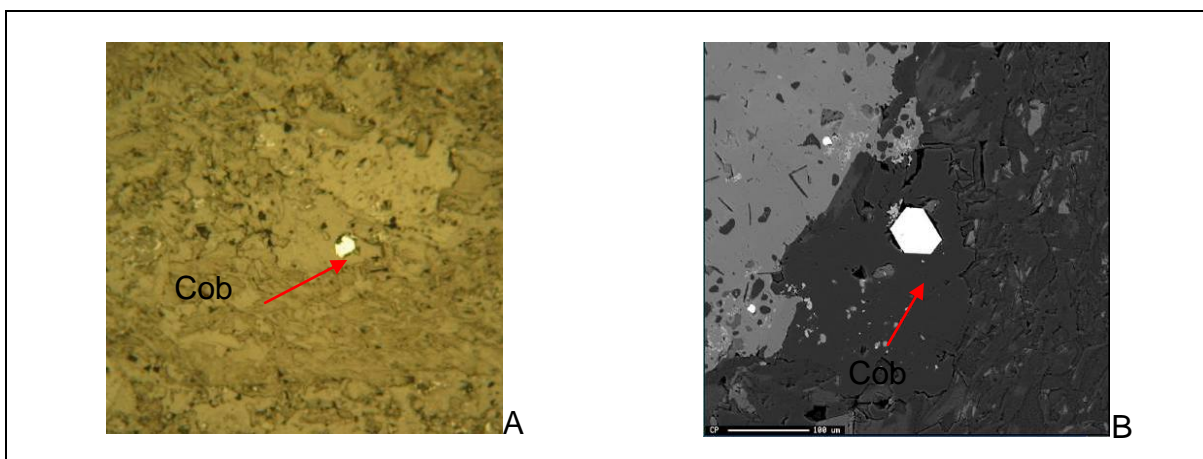


FIGURA 5.24:

A: Fotomicrografias da amostra FCS-928-270,80 – Cristal euédrico de cobaltita incluído em quartzo; notar grânulos de rutilo pintalgados em carbonato, luz refletida (100X).
B: Imagem MEV / EDS – Detalhe de cristal euédrico de Cobaltita incluído em quartzo

TABELA 5.7

Resultados de análise por WDS em Cobaltita da amostra FCS926-270.90 nos pontos 270,90(1) e (2) ; Análises de Cobaltita da literatura. (1) *Cobalt, Canadá; corresponde a $(Co_{0.80}Fe_{0.12}Ni_{0.09})_{1.01}As_{0.99}S_{1.00}$* ; (2) *Tunaberg, Sweden; corresponde a $(Co_{0.88}Fe_{0.08}Ni_{0.02})_{0.98}As_{0.90}S_{1.00}$* . (3) Amostra padrão $CoAsS$.

Elementos	Cobaltita:CoAsS				
	270,90-(1)	270,90-(2)	(1)	(2)	(3)
S	20.35	20.54	19.34	20.6	19.32
Fe	5.22	4.52	4.11	2.8	
Co	25.19	25.70	28.64	33.20	35.53
Ni	5.75	5.58	3.06	0.60	
Cu	0.02	0.00			
Zn	0.00	0.02			
As	43.53	43.53	44.77	43.4	45.15
Sb	0.11	0.14			
Pb	0.00	0.00			
Total	100.16	100.03	99.92	100.60	100.00

Fonte: análises (1); (2); (3) extraído de: www.handbookofmineralogy.org/ ©2001-2005 Mineral Data Publishing

5.6.9 Cinábrio

Cinábrio é raro e ocorre na forma de finos fios associados com ouro (Au), na borda de agregados de berthierita (FeSb_2S_4) no interior de veios de quartzo com carbonato (FIG. 5.25 e 5.26).

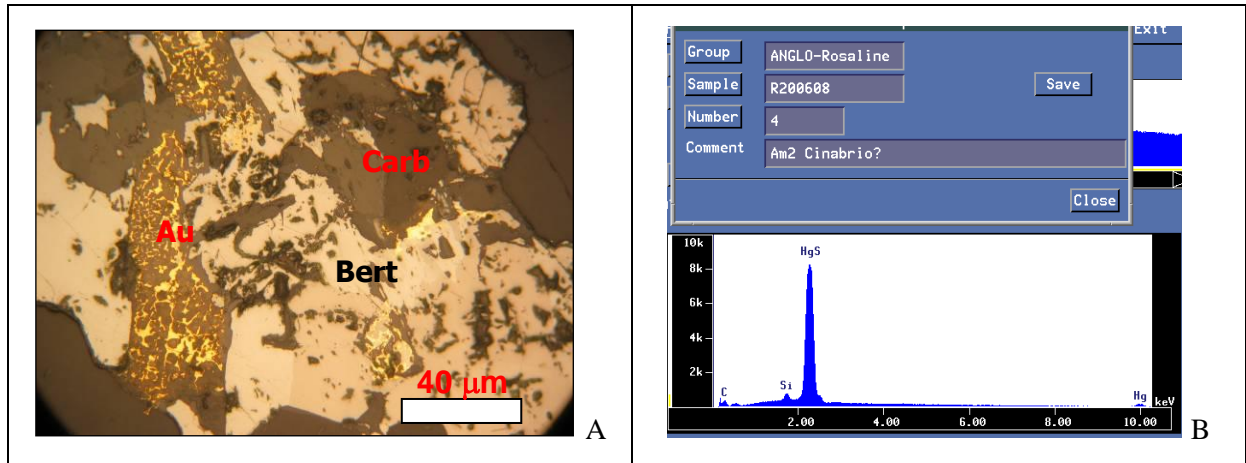


FIGURA 5.25:

A Amostra FCS928 – Detalhe da Fotomicrografia anterior mostrando partículas de ouro (Au) em borda de berthierita (Bert) e associadas a Carbonato (Carb), luz refletida (500X);

B: Espectro quantitativo em MEV / EDS confirmando presença de cinábrio (HgS) associado com fios de ouro (Au) que ocorre preenchendo uma faixa entre cristais de berthierita dentro de veios de quartzo e carbonato.

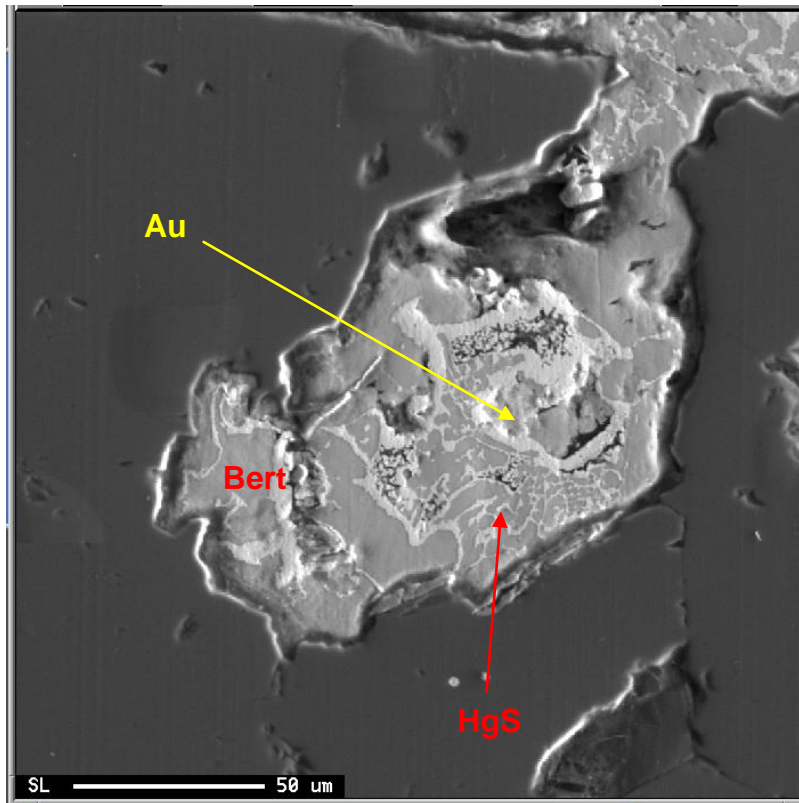


FIGURA 5.26: Fios de ouro (Au) associado com cinábrio (HgS) hospedados em berthierita (Bert - FeSb_2S_4) Imagem em EDS/WDS.

5.6.10 Tetraedrita $[(\text{Cu},\text{Fe})_{12}\text{Sb}_4\text{S}_{13}]$

Este mineral foi identificado apenas por espectro de MEV / WDS, provavelmente por apresentar-se apenas na forma de diminutos cristais que ocorrem na borda de calcopirita (CuFeS_2) e que não puderam ser identificados por microscopia óptica convencional.

Foi realizada uma análise por MEV/WDS na amostra FCS928 / 239,80 m, e tendo sido encontrados os seguintes resultados:

TABELA 5.8

Resultado de análise por WDS da amostra FCS928-239.80 (1) no ponto (1) com Tetraedrita (1) na borda de Calcopirita (2), inclusos em Pirita porosa (pontos 5 e 7). Análise de referência da literatura (1) Bourg d'Oisans, França (2) Val del Frigido, Toscana Italia; (3) Amostra padrão de Tetraedrita ($\text{Cu}_{12}\text{Sb}_4\text{S}_{13}$).

Elemento	Tetraedrita			
	239.80-(1)	(1)	(2)	(3)
No.	26	*	*	*
S	25.33	24.48	24.90	25.01
Fe	5.95	1.32	5.5	
Ag		0.4		
Co	0.01			
Ni	0.03			
Cu	35.56	45.39	37.70	45.77
Zn	2.11		1.8	
As	0.00	tr	0.8	
Sb	29.77	28.85	29.30	29.22
Pb	0.00	0.11		
Total	98.77	100.15	100.4	100.00

Extraídas de www.handbookofmineralogy.org/ © 2001-2005 Mineral Data Publishing, version 1

5.6.11 Minerais do grupo da boulangerita

Sob o nome genérico “minerais do grupo da boulangerita” foram agrupados os sulfossais portadores de chumbo (Pb), em que não foi possível a distinção exata de sua composição estequiométrica por meio do espectro de MEV/WDS. São minerais que ocorrem como diminutos cristais intercrescidos nas bordas da berthierita presentes apenas em veios de quartzo com carbonato. Há uma série de minerais portadores de chumbo, antimônio e enxôfre, TABELA 5.9.

TABELA 5.9
Minerais do grupo da boulangerita

Mineral	Formula
ARDAITE	Pb ₁₉ Sb ₁₃ S ₃₅ Cl ₇
BOULANGERITE	Pb ₅ Sb ₄ S ₁₁
DADSONITE	Pb ₂₃ Sb ₂₅ S ₆₀ Cl
FALKMANITE	Pb ₅ Sb ₄ S ₁₁
FULOPHITE	Pb ₃ Sb ₈ S ₁₅
HETEROMORPHITE	Pb ₇ Sb ₈ S ₁₉
JAMESONITE	Pb ₄ FeSb ₆ S ₁₄
LAUNAYITE	Pb ₂₂ Sb ₂₆ S ₆₁
MARRUCCIITE	Pb ₁₆ Hg ₃ Sb ₁₈ S ₄₆
MOELOITE	Pb ₆ Sb ₆ S ₁₄ (S ₃)
PARAJAMESONITE = Mixture JAMESONITE and other sulfosalts	Pb ₄ FeSb ₆ S ₁₄
PARAJAMESONITE = Mixture JAMESONITE, TETRAHEDRITE, RAMDOHRITE	Pb ₄ FeSb ₆ S ₁₄ (?)
PILLAITE	Pb ₉ Sb ₁₀ S ₂₃ Cl _{100,5}
PLAGIONITE	Pb ₅ Sb ₈ S ₁₇
PLAYFAIRITE	Pb ₁₆ Sb ₁₈ S ₄₃
PLUMOSITE = BOULANGERITE	Pb ₂ Sb ₂ S ₅
ROBINSONITE	Pb ₄ Sb ₆ S ₁₃
SCAINITE	Pb ₁₄ Sb ₃₀ S ₅₄ O ₅
SEMSEYITE	Pb ₉ Sb ₈ S ₂₁
ZINKENITE	Pb ₉ Sb ₂₂ S ₄₂

Fonte: Athena. (<http://irsdev.intute.ac.uk:8104/>)

5.6.12 Estibnita

Estibnita (Sb₂S₃) ocorre na forma de diminutos cristais na borda de berthierita (FeSb₂S₄), ou como cristais aciculares euédricos em *vugs* nos veios de quartzo-carbonato branco tardios (1 a 5 cm) (FIG. 5.27).



FIGURA 5.27: Fotografia de amostra de mão coletada em veios de quartzo da Mina Cachorro Bravo, nível 628, galeria 200S.

5.6.13 Ullmanita

Ullmanita (NiSbS) é raro, submicroscópico e se apresenta-se na forma de microcristais nas bordas de cristais de berthierita (FeSb₂S₄) (FIG 5.28 e TABELA 5.10).

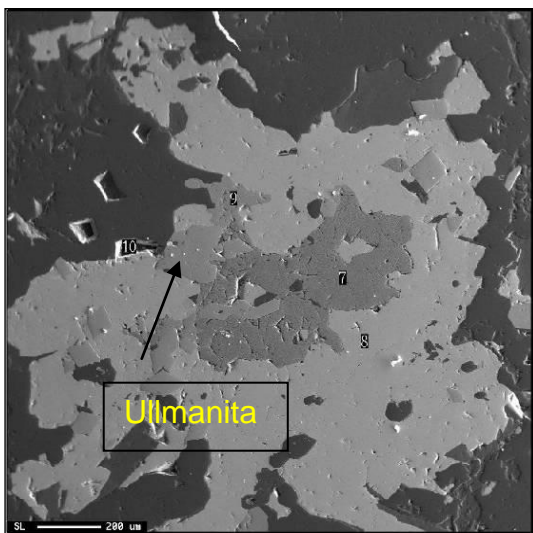


FIGURA 5.28: Ullmanita identificada por MEV / EDS no ponto 10

TABELA 5.10:

Tabela com resultados de análise por WDS da amostra FCS926:239.80- (10). Parâmetros de Ullmanita da literatura (1) Gosenbach, Alemanha (2) Petersbach mine, Alemanha; por EDS (3) Broken Hill, Austrália, por EDS (4) NiSbS. Obs : análises 1,2,3 e NiSbS extraídas de www.handbookofmineralogy.org/ c 2001-2005 Mineral Data Publishing, versão 1s.

Elemento	Ullmanita				
	239.80-(10)	(1)	(2)	(3)	NiSbS
No.	35	*	*	*	*
S	15.12	16.22	15.1	14.8	15.09
Fe	0.10	0.40	0.00	0.00	0.00
Co	1.11	1.13	0.8	3.8	0.00
Ni	27.37	28.91	27.3	23.3	27.62
Cu	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Zn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
As	0.36	10.28	1.00	0.40	0.00
Sb	57.03	42.93	52.8	58.9	57.29
Pb	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	101.09	0.68	1.00	0.00	0.00



FIGURA 5.29: Amostra FCS928 – 239.80 Pirita porosa no centro com inclusões de tetraedrita, calcopirita, arsenopirita envolvida em aglomerado de Berthierita com esfalerita e arsenopirita euédrica, ullmanita e boulangerita na borda de Berthierita. Cristais euédricos de arsenopirita sobre berthierita e pirrotita. Imagem retro espalhada em MEV..

5.7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O ouro está associado a uma paragénese de minerais metálicos em que predominam os elementos As, Sb, S, Pb, Fe, Co, Cu, Ni e Zn. Estes elementos por acompanharem o ouro provavelmente representam importantes farejadores geoquímicos da mineralização aurífera e, portanto, devem ser utilizados como indicadores nas atividades exploratórias das mineralizações desta região (TAB. 5.11).

As principais fases metálicas no Depósito Aurífero Laranjeiras correspondem a pirita, arsenopirita, pirrotita e berthierita, que juntas totalizam em torno de 95% da mineralogia do minério. Os minerais metálicos de aspecto poroso (pirita I, pirrotita I e arsenopirita I) de composição química zonada do centro para a borda, envolto e corroído por outros minerais metálicos, apontam para a existência de pelo menos duas fases de crescimento mineral.

A arsenopirita II, das bordas, apresenta um empobrecimento em S e Fe e enriquecimento em As em relação a arsenopirita I, do centro do grão, refletindo mudanças das condições físico-químicas do fluido, representadas por flutuações rítmicas da razão $a(S_2):a(As_2)$. Segundo Kretschmar & Scott (1976) este padrão de zonação evidencia um ambiente submetido a condições de alta fugacidade de S_2 , durante o crescimento do mineral.

TABELA 5.11
Teores de As, S, Fe e razões As/S e As/Fe de arsenopirita em pontos na borda e no centro do grão.

#Asp	As	S	Razão As/S	Fe	Razão As/Fe
nucleo 1	41.12	23.17	1.77	36.18	1.14
borda 1	43.48	21.48	2.02	35.31	1.23
nucleo 2	41.56	22.67	1.83	36.13	1.15
borda 2	43.47	21.43	2.03	35.28	1.23

Canale (1999) reporta a ocorrência de arsenopirita zonada nos Depósito Aurífero Cachorro Bravo.

A íntima associação do ouro com os cristais xenomórficos, porosos e fraturados de arsenopirita (Asp I), pode indicar uma relação direta entre a deposição do ouro e a deformação cataclástica da arsenopirita. A ausência de grãos de ouro associados aos cristais indeformados e euédricos de arsenopirita (Asp II), corrobora esta possibilidade.

A comum associação de mineral metálico rico em níquel (ullmanita) com as bordas de berthierita, arsenopirita e pirita sugere uma maior disponibilidade de Ni em uma fase tardia à mineralização.

6 GEOQUÍMICA

6.1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo são apresentadas as principais características geoquímicas do minério, suas rochas hospedeiras e respectivas encaixantes, com relação aos Elementos Terras Raras (ETR), elementos maiores, elementos traços calcófilos e de transição, elementos traços de grande raio iônico (*Large Ion Lithophile Element - LILE*) e elementos de alto campo (High Field Strength Element -HFSE).

As assinaturas em elementos terras raras, que são menos susceptíveis à remobilização e a processos de alteração, permitem estabelecer identidades e comparações entre as diferentes rochas da área e de outras regiões.

As análises dos elementos maiores (Si, Al, Fe, Ca, Mg, Na, K, Cr, Ti e Mn) são amplamente utilizadas na classificação de rochas através da construção de diagramas de variações e das comparações com composições de rochas determinadas experimentalmente, através da análise por diagramas de Harker (1980).

As classificações geoquímicas para rochas sedimentares não são tão bem desenvolvidas quanto para as rochas ígneas. Pettijohn et al (1972) propõe a construção de diagrama $\log (Na_2O/K_2O) \times \log (SiO_2/Al_2O_3)$ para classificação apenas dos arenitos terrígenos. Bjorlykke (1989) propõe a construção de diagramas $((Al_2O_3 + K_2O) / (MgO + Na_2O))$ como indicadores da proveniência vulcânica dos sedimentos pelíticos.

6.2 ESTUDOS GEOQUÍMICOS DE ELEMENTOS TERRAS RARAS (ETR)

6.2.1 Fundamentos

Os ETR são dos mais úteis elementos traços na análise de dados de petrologia ígnea, sedimentar e metamórfica, por serem elementos relativamente imóveis durante o metamorfismo de baixo grau, alteração hidrotermal e intemperismo (MICHARD, 1989).

Os ETR compreendem a série de metais com números atômicos de 57 a 71, La a Lu (TAB. 6.1). Os membros de números atômicos iguais ou inferiores ao do európio são denominados ETR leves (ETRL) e os de número atômico acima do európio denominam-se como ETR pesados (ETRP). Os elementos Sm e Ho são referidos por alguns autores como pertencentes ao grupo intermediário e denominados elementos terras raras médios (ETRM).

Os ETR têm propriedades físicas e químicas similares, por formarem íons estáveis de carga 3^+ . As diferenças no raio iônico são responsáveis por um número de processos petrogenéticos que fracionam os ETR em relação a outros elementos.

Alguns ETR apresentam diferentes estados de oxidação, mas apenas Ce^{+4} e Eu^{+2} são importantes para o estudo de fenômenos geológicos.

TABELA. 6.1
 Lista dos elementos terras raras (ETR), separados por grupos de elementos terras raras leves (ETRL), médios (ETRM) e pesados (ETRP), Shanon (1976) em Ângstroms (10^{-10} m)

NOME	SÍMBOLO	NÚMERO ATÔMICO	VALÊNCIA	RAIO IÔNICO Angstrom (10^{-10} m)	
Lantânio	La	57	La ⁺³	1.160	ETRL
Cerio	Ce	58	Ce ⁺³	1.143	
			Ce ⁺⁴	0.970	
Praseodímio	Pr	59	Pr ⁺³	1.126	
Neodímio	Nd	60	Nd ⁺³	1.109	
Promécio	Pm	61	Não ocorre naturalmente		
Samário	Sm	62	Sm ⁺³	1.079	
Európio	Eu	63	Eu ⁺³	1.066	
			Eu ⁺²	1.250	
Gadolínio	Gd	64	Gd ⁺³	1.053	ETRP
Térbio	Tb	65	Tb ⁺³	1.040	
Disprósio	Dy	66	Dy ⁺³	1.027	
Hólmio	Ho	67	Ho ⁺³	1.015	
Érbio	Er	68	Er ⁺³	1.004	
Túlio	Tm	69	Tm ⁺³	0.994	
Ítérbio	Yb	70	Yb ⁺³	0.985	
Lutécio	Lu	71	Lu ⁺³	0.977	

Obs: Os elementos Samário e Hólmio integram o grupo dos elementos terras raras médios (ETRM).

6.2.2 Tratamento dos dados e interpretações

O estudo geoquímico dos ETR foi realizado em 104 amostras do Lineamento Córrego do Sítio, sendo 07 de metagrauvaca, 59 de xisto carbonoso, 20 de metabásica com alteração carbonática, 11 metabásica com alteração clorítica e 07 rocha metabásica com alteração incipiente e portadora de relictos de piroxênio.

Para normalização das rochas são construídos diagramas com o software Minpet 2.02 (RICHARD, 1998) com o padrão de referência de análise do condrito segundo Nakamura (1974). Para as rochas metassedimentares foram construídos diagramas de normalização segundo o padrão *North American Shale Composition: NASC*

(GROMET *et al.*, 1984), que são amplamente utilizados na análise geoquímica de rochas clásticas de idade arqueana (FIG. 5.1).

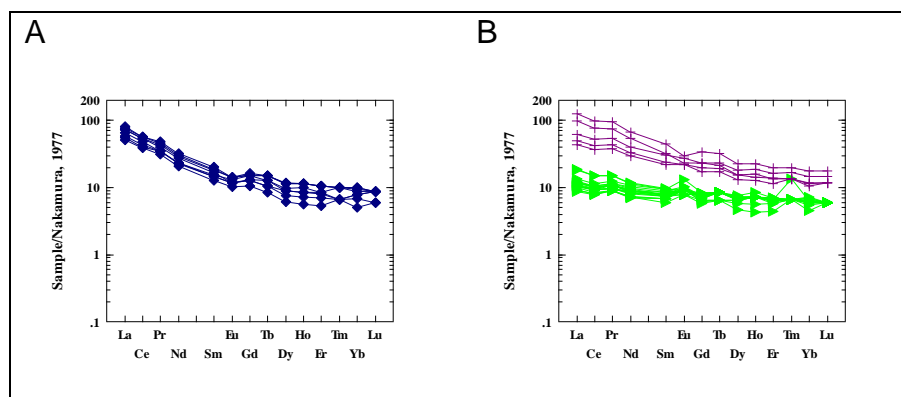


FIGURA 6.1: Exemplos de diagrama de distribuição de ETR normalizados ao condrito (NAKAMURA, 1977) em rochas do Lineamento Córrego do Sítio, com a utilização de diferentes símbolos e cores para identificação dos diferentes tipos de rochas. O estudo geoquímico das amostras será apresentado por litologia para permitir a caracterização e comparação entre as rochas metabásicas e metavulcanoclásticas.

Os resultados de análise geoquímica estão sintetizados em tabelas juntamente com os cálculos de razões e fórmulas para a avaliação das informações:

- $(La/Sm)_N$. estudo do fracionamento dos ETR leves;
- $(Gd/Lu)_N$. estudo do fracionamento dos ETR pesados;
- Eu/Eu^* , calculado pela fórmula $Eu_N / ((Sm_N + Gd_N)/2)$; Identificação das anomalias de Európio;
- Desvio padrão, para avaliação da dispersão dos dados;
- Somatório dos elementos terras raras (ΣETR);
- Somatório dos elementos terras raras leves ($\Sigma ETRL$);
- Somatório dos elementos terras raras pesados ($\Sigma ETRP$).

6.2.3. Rochas metassedimentares

As rochas metassedimentares do Lineamento Aurífero Córrego do Sítio compreendem uma sequência de metagrauvacas e xistos carbonosos, contendo quantidades variáveis de vênulas e veios de quartzo-carbonato-sulfetos-sulfossais.

Estas rochas apresentam maior fracionamento em ETRL ($(La/Sm)_N = 3.05$ a 4.00) do que em ETRP ($(Gd/Lu)_N = 1.31$ a 2.16) (TAB. 6.2). As concentrações totais de ETR variam de 77.30 a 160.70 ppm (TAB. 6.2).

Há uma discreta anomalia negativa de Eu/Eu^* , normalizado pelo condrito (NAKAMURA, 1974), variando entre 0.71 e 0.92 . Há uma alta razão La/Yb , variando de 8.52 a 16.90 .

Em termos comparativos, as metagrauvas e xistos carbonosos mostram grandes similaridades quanto aos conteúdos de ETR, no entanto os xistos carbonosos apresentam maiores quantidades tanto em ETRL quanto em ETRP.

As rochas metassedimentares analisadas apresentam quantidades de ETRL e ETRP inferiores aos do padrão NASC (GROMET *et al.*, 1984) (FIG. 6.2 A' e B').

TABELA 6.2
Tabela comparativa entre dados geoquímicos de ETR de metagrauva e xisto carbonoso do Depósito Aurífero Laranjeiras.

	Eu/Eu*		$(La/Sm)_N$		$(Gd/Lu)_N$		$\Sigma ETRL$		$\Sigma ETRP$		ΣETR		La/Yb	
	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min
Meta-grauva	0.89	0.78	4.00	3.55	2.16	1.44	107.50	68.80	15.10	8.50	122.60	77.3	15.36	8.52
Xisto carbonosos	0.92	0.71	4.13	3.05	2.03	1.31	142.00	74.90	19.00	10.50	160.70	86.50	16.90	8.88

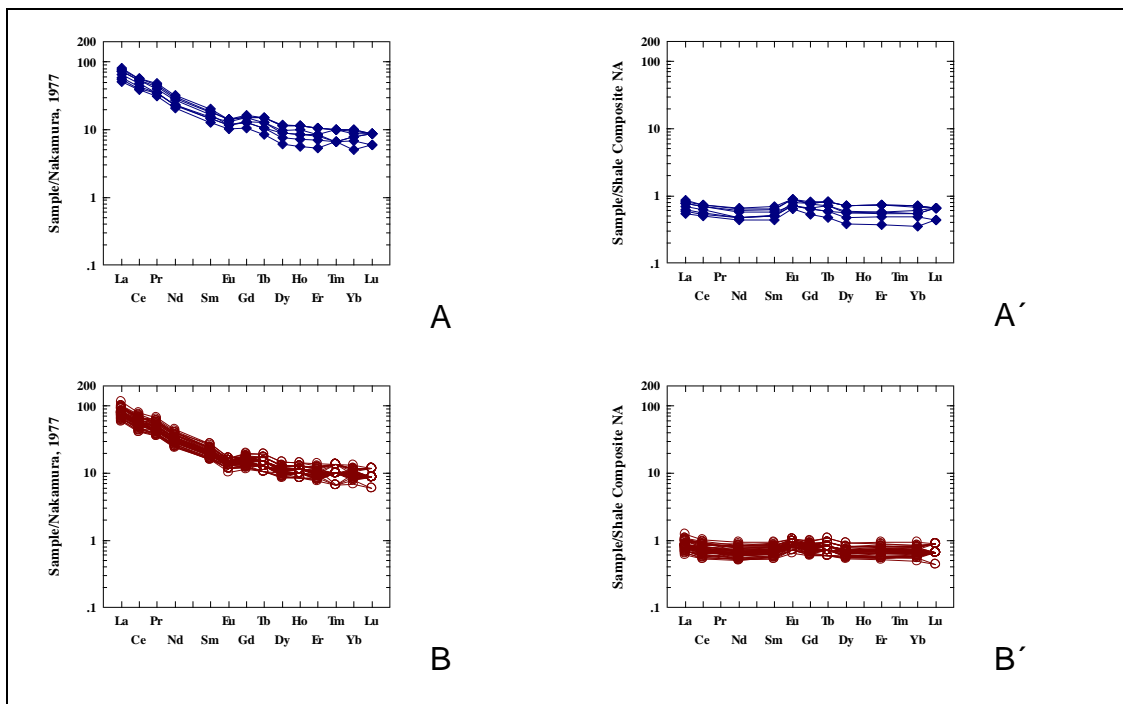


FIGURA. 6.2: Diagrama de distribuição de ETR, A e B normalizado ao condrito (NAKAMURA, 1974) e em A' e B' normalizados ao NASC (GROMET *et al.*, 1984). Metagrauvacas com símbolos em losango azul escuro e xistos carbonosos em círculos marrons.

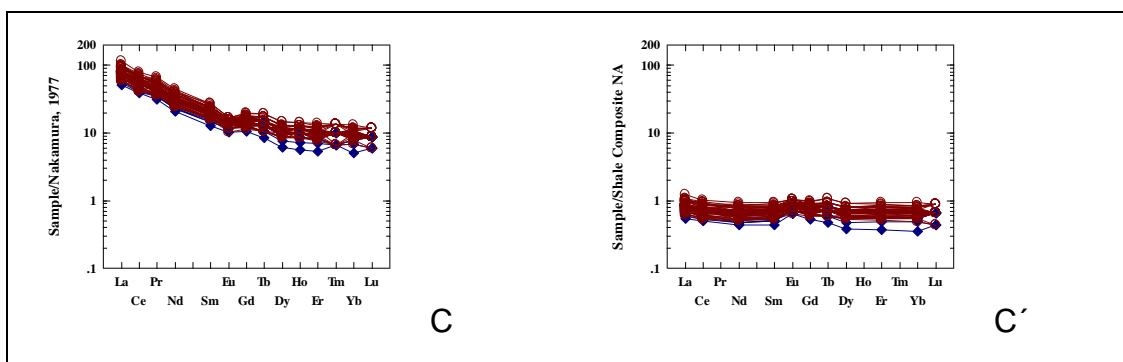


FIGURA. 6.3: Diagrama comparativo da distribuição de ETR, entre metagrauva e xisto carbonoso normalizados ao condrito (NAKAMURA, 1974) (FIG. 6.3C) e normalizados ao NASC (GROMET *et al.*, 1984) (FIG. 6.3C'). Metagrauvacas com símbolos em losango azul escuro e xistos carbonosos em círculos marrons.

6.3. CONSIDERAÇÕES PRELIMINARES

As elevadas razões La/Yb, variando de 8.52 a 16.90, em relação ao NASC (GROMET *et al.*, 1984), fundamentam a interpretação de que os parte dos sedimentos constituintes das rochas do Lineamento Córrego do Sítio, são derivados da erosão de rochas vulcânicas máficas (TAB. 6.2, 6.3 e 6.4), conforme proposição de Taylor & McLennan (1981).

Segundo Taylor (1987), uma característica dos sedimentos Arqueanos é a ausência de anomalia negativa de Eu/Eu^* , às vezes, apresentando leve anomalia positiva, ao contrário dos sedimentos Fanerozóicos, que tipicamente apresentam pronunciada anomalia negativa de Eu^{+3} .

As metagrauvacas e xistos carbonosos do Depósito Laranjeiras apresentam discretas anomalias negativas de Eu/Eu^* , o que não seria esperado para rochas arqueanas pertencentes ao Grupo Nova Lima. São relacionadas as seguintes hipóteses para discutir estes resultados:

- Ausência de minerais capazes de fixação de ETR;

As anomalias positivas de Eu^* geralmente são associadas à concentração de plagioclásio (RAGLAND, 1989; ROLLINSON, 1993). Uma anomalia negativa pode indicar que a rocha não contém cristais de plagioclásio, ou que, quando presentes, não foram formados nas primeiras fases de diferenciação do magma.

As rochas metassedimentares estudadas apresentam porfiroclastos de plagioclásio, que devem, portanto, estar empobrecidos em Eu, e neste caso foram formados nas fases mais tardias da cristalização da rocha-fonte, caso não tenha, este elemento, sido afetado por remobilização posterior.

- Redução do Eu^{+3} por influência da água do mar ou de fluidos hidrotermais;

Os ETR são considerados por Michard (1989) como elementos imóveis e que não são afetados por soluções hidrotermais ou pela água do mar. Exceto se a razão água/rocha for muito elevada ($>10^2$), se o fluido for ácido e apresentar temperatura acima de 230°C . Apesar destas restrições os ETR são dos mais utilizados para o estudo de processos de cristalização magmática e do ambiente tectônico, principalmente em rochas arqueanas.

A abundância de venulações quartzo-carbonato-sulfeto presentes nas rochas metassedimentares amostradas indica que houve uma grande razão fluido/rocha

durante a sua formação. Os estudos de inclusões fluidas de Rios *et al.* (2009), em veios de quartzo do Depósito Cachorro Bravo, indicam que foram formados a temperaturas variáveis entre 270° e 300°C.

Portanto não é possível descartar a hipótese de modificações nas concentrações de Eu^{+3} presentes nas rochas analisadas.

- Contribuição de intrusões graníticas ricas em K e pobres em minerais fixadores de Eu^{+3} , tais como plagioclásio.

As rochas metassedimentares estudadas não apresentam feldspato potássico em sua composição e, portanto, esta hipótese é descartada.

- Estas rochas não são arqueanas.

Não há estudos geocronológicos robustos, o bastante, que indiquem uma idade absoluta inquestionável para as rochas estudadas e, portanto, este assunto não pode ser por enquanto definitivamente esclarecido.

- Erro analítico

A possibilidade de erro analítico não será considerada, pois os resultados de análise dos padrões do laboratório ALSCEMEX (Anexo 5.1) estão acordo com a margem de erro do método.

TABELA 6.3
 Conteúdos dos ETR (ppm) em metagrauvaca (MG).

ELEMENTOS (ppm)	AMOSTRAS							desvio padrão	condrito	NASC
	608307	599007	599008	599043	599028	599029	599013		Nakamura	Gromet <i>et al.</i>
									1974	1984
La	26.40	18.40	23.70	17.90	21.20	16.90	23.40	3.54	0.330	31.100
Ce	50.30	35.20	45.10	34.60	40.10	31.80	45.40	6.83	0.865	67.033
Pr	5.40	3.90	4.90	3.90	4.50	3.50	5.10	0.71	0.112	
Nd	20.20	14.60	18.20	14.50	17.30	13.20	19.20	2.66	0.630	30.400
Sm	4.10	3.00	3.70	3.10	3.40	2.60	3.80	0.52	0.203	5.980
Eu	1.10	0.90	1.10	1.00	0.90	0.80	1.10	0.12	0.077	1.253
Gd	4.50	3.50	4.30	4.20	3.50	2.90	4.10	0.57	0.276	5.500
Tb	0.70	0.50	0.70	0.70	0.50	0.40	0.60	0.12	0.047	0.850
Dy	3.90	3.10	3.90	4.00	2.60	2.10	3.30	0.73	0.343	5.540
Ho	0.80	0.60	0.80	0.80	0.50	0.40	0.70	0.16	0.070	
Er	2.40	1.80	2.40	2.40	1.60	1.20	1.90	0.47	0.225	3.275
Tm	0.30	0.20	0.30	0.30	0.20	0.20	0.30	0.05	0.103	
Yb	2.20	1.70	2.20	2.10	1.50	1.10	1.90	0.41	0.220	3.113
Lu	0.30	0.30	0.30	0.30	0.20	0.20	0.30	0.05	0.034	0.456
Razão La/Yb	12.00	10.82	10.77	8.52	14.13	15.36	12.32		1.50	9.99
Condrito	Eu/Eu*	0.78	0.85	0.85	0.85	0.79	0.89	0.85	1	
Nakamura	(La/Sm) _N	3.96	3.77	3.94	3.55	3.84	4.00	3.79	1	
1974	(Gd/Lu) _N	1.85	1.44	1.77	1.72	2.16	1.79	1.68	1	
NASC	Eu/Eu*	1.17	1.26	1.25	1.25	1.19	1.33	1.27		1
Gromet <i>et al.</i>	(La/Sm) _N	1.24	1.18	1.23	1.11	1.20	1.25	1.18		1
1984	(Gd/Lu) _N	1.24	0.97	1.19	1.16	1.45	1.20	1.13		1
ΣETRL		107.50	76.00	96.70	75.00	87.40	68.80	98.00	2.22	
ΣETRP		15.10	11.70	14.90	14.80	10.60	8.50	13.10	1.32	
ΣETR		122.60	87.70	111.60	89.80	98.00	77.30	111.10	3.54	

TABELA 6.4
 Conteúdos dos ETR (ppm) em xisto carbonoso (RP).

		AMOSTRA							
	Elemento ppm	608293	608294	608295	608296	608298	608299	608300	608301
	La	26.90	30.90	29.80	27.10	26.50	25.80	26.40	27.30
	Ce	51.40	58.00	57.10	51.60	51.30	49.30	50.20	52.10
	Pr	5.70	6.30	6.30	5.70	5.60	5.30	5.50	5.70
	Nd	21.20	23.30	23.00	21.20	21.20	20.00	20.50	21.20
	Sm	4.30	4.60	4.70	4.40	4.30	4.10	4.20	4.10
	Eu	1.40	1.30	1.30	1.20	1.20	1.20	1.10	1.20
	Gd	5.10	4.90	5.10	4.70	4.80	4.50	4.50	4.30
	Tb	0.80	0.80	0.70	0.80	0.70	0.70	0.70	0.70
	Dy	4.60	4.50	4.20	4.20	4.30	4.10	4.00	3.70
	Ho	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.80	0.80	0.80
	Er	2.60	2.60	2.40	2.50	2.40	2.40	2.30	2.10
	Tm	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.30
	Yb	2.50	2.50	2.30	2.30	2.40	2.30	2.10	2.10
	Lu	0.40	0.40	0.40	0.30	0.40	0.40	0.30	0.30
<hr/>									
Condrito	Eu/Eu*	0.92	0.84	0.81	0.81	0.81	0.85	0.77	0.87
NAKAMURA ,	(La/Sm)N	3.85	4.13	3.90	3.79	3.79	3.87	3.87	4.10
1974	(Gd/Lu)N	1.57	1.51	1.57	1.93	1.48	1.39	1.85	1.77
<hr/>									
NASC	Eu/Eu*	1.36	1.25	1.21	1.20	1.20	1.27	1.15	1.31
Gromet <i>et al.</i> ,	(La/Sm)N	1.20	1.29	1.22	1.18	1.18	1.21	1.21	1.28
1984	(Gd/Lu)N	1.06	1.02	1.06	1.30	0.99	0.93	1.24	1.19
<hr/>									
	ΣETR	128.20	141.40	138.60	127.30	126.40	121.30	123.00	125.90
	ΣETRL	110.90	124.40	122.20	111.20	110.10	105.70	107.90	111.60
	ΣETRP	17.30	17.00	16.40	16.10	16.30	15.60	15.10	14.30

TABELA 6.4
 Conteúdos dos ETR (ppm) em xisto carbonoso (RP)

(cont.)

ELEMENTO		AMOSTRA							
	ppm	608302	608303	608304	608305	608306	599015	599211	599216
	La	24.50	24.40	22.80	21.10	20.80	31.00	22.70	22.90
	Ce	46.00	46.50	44.10	40.60	39.80	59.10	43.00	42.90
	Pr	5.00	5.10	4.80	4.40	4.30	6.80	5.00	5.10
	Nd	18.80	18.60	18.00	16.90	15.70	25.30	19.20	19.10
	Sm	3.80	3.80	3.70	3.50	3.40	5.00	4.00	3.90
	Eu	1.00	1.10	1.10	1.10	1.00	1.20	1.10	1.00
	Gd	4.10	4.00	4.00	3.80	3.70	5.00	4.40	3.80
	Tb	0.70	0.60	0.60	0.60	0.60	0.70	0.70	0.60
	Dy	4.10	3.60	3.80	3.50	3.80	4.10	4.00	3.40
	Ho	0.80	0.70	0.80	0.70	0.80	0.80	0.80	0.60
	Er	2.40	2.20	2.20	2.10	2.20	2.50	2.50	1.90
	Tm	0.40	0.30	0.40	0.30	0.30	0.30	0.20	0.20
	Yb	2.40	2.10	2.10	2.00	2.10	2.40	2.20	1.70
	Lu	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.20
Condrito	Eu/Eu*	0.77	0.86	0.87	0.92	0.86	0.73	0.80	0.79
NAKAMURA	(La/Sm)N	3.97	3.95	3.79	3.71	3.76	3.81	3.49	3.61
1974	(Gd/Lu)N	1.68	1.64	1.64	1.56	1.52	2.05	1.81	2.34
NASC	Eu/Eu*	1.16	1.29	1.30	1.38	1.29	1.10	1.20	1.19
Gromet <i>et al.</i>	(La/Sm)N	1.24	1.23	1.18	1.16	1.18	1.19	1.09	1.13
1984	(Gd/Lu)N	1.13	1.11	1.11	1.05	1.02	1.38	1.22	1.58
	ΣETR	114.30	113.30	108.70	100.90	98.80	144.50	110.10	107.30
	ΣETRL	99.10	99.50	94.50	87.60	85.00	128.40	95.00	94.90
	ΣETRP	15.20	13.80	14.20	13.30	13.80	16.10	15.10	12.40

TABELA 6.4
 Conteúdos dos ETR (ppm) em xisto carbonoso (RP)

(cont.)

	ELEMENTO	AMOSTRA							
		599016	599025	599032	599038	599039	599041	599042	599044
	ppm								
	La	25.7	22.9	22.4	24.9	28.1	25.3	22.4	20
	Ce	48.8	42.7	41	47.6	55.7	48	41.9	38.1
	Pr	5.6	4.9	4.7	5.5	6.4	5.5	4.9	4.4
	Nd	20.3	18.6	18.1	20.9	24.9	20.6	18.8	16
	Sm	4.2	3.8	3.8	4.3	4.9	4.2	4	3.1
	Eu	1.1	1	1	1.2	1.3	1.2	1.2	0.9
	Gd	4.7	4.3	4.2	4.9	4.9	4.9	4.5	3.3
	Tb	0.7	0.6	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.5
	Dy	3.8	3.6	3.5	4	3.9	4.1	4	2.7
	Ho	0.8	0.8	0.7	0.8	0.8	0.9	0.8	0.5
	Er	2.2	2.1	2.1	2.4	2.4	2.6	2.4	1.7
	Tm	0.3	0.3	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.1
	Yb	2	2.1	1.9	2.4	2.1	2.5	2.2	1.5
	Lu	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.4	0.3	0.2
Condrito	Eu/Eu*	0.76	0.76	0.77	0.80	0.81	0.81	0.87	0.86
NAKAMURA	(La/Sm)N	3.76	3.71	3.63	3.56	3.53	3.71	3.44	3.97
1974	(Gd/Lu)N	1.93	1.77	1.72	2.01	2.01	1.51	1.85	2.03
NASC	Eu/Eu*	1.13	1.13	1.14	1.19	1.21	1.20	1.29	1.28
Gromet <i>et al.</i>	(La/Sm)N	1.18	1.16	1.13	1.11	1.10	1.16	1.08	1.24
1984	(Gd/Lu)N	1.30	1.19	1.16	1.35	1.35	1.02	1.24	1.37
	Σ ETR	120.50	108.00	104.60	120.20	136.70	121.20	108.40	93.00
	Σ ETRL	105.70	93.90	91.00	104.40	121.30	104.80	93.20	82.50
	Σ ETRP	14.80	14.10	13.60	15.80	15.40	16.40	15.20	10.50

TABELA 6.4
 Conteúdos dos ETR (ppm) em xisto carbonoso (RP)

(cont.)

ELEMENTO	AMOSTRA								
	ppm	567218	574256	554816	574263	581997	411373	555517	608308
La	23.1	18.7	23.4	25.3	19.4	32	25.2	24.1	
Ce	43.6	34.9	43	49.1	37.3	61.8	49.2	44.5	
Pr	5	4	4.9	5.6	4.3	7.1	5.6	4.8	
Nd	19.3	15.5	18.5	21.5	16.7	26.6	21.5	17.8	
Sm	4.1	3.2	3.7	4.4	3.3	5.2	4.5	3.8	
Eu	1	0.9	1	1.2	1	1.2	1.2	1.1	
Gd	4.4	3.4	3.9	4.5	3.5	4.8	4.3	3.6	
Tb	0.8	0.6	0.6	0.7	0.6	0.7	0.7	0.5	
Dy	4.4	3.2	3.3	3.9	3.3	3.9	3.8	3.4	
Ho	0.9	0.7	0.7	0.8	0.7	0.8	0.8	0.7	
Er	2.8	2.1	1.9	2.3	1.9	2.3	2.3	1.8	
Tm	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	
Yb	2.6	2.1	1.8	2.2	1.8	2	2.1	1.8	
Lu	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	
Condrito	Eu/Eu*	0.72	0.83	0.80	0.82	0.90	0.72	0.83	0.90
NAKAMURA	(La/Sm)N	3.47	3.59	3.89	3.54	3.62	3.79	3.44	3.90
1974	(Gd/Lu)N	1.36	1.40	1.60	1.85	1.44	1.97	1.77	1.48
NASC	Eu/Eu*	1.07	1.25	1.20	1.23	1.34	1.10	1.25	1.36
Gromet <i>et al.</i>	(La/Sm)N	1.08	1.12	1.22	1.11	1.13	1.18	1.08	1.22
1984	(Gd/Lu)N	0.91	0.94	1.08	1.24	0.97	1.33	1.19	0.99
	ΣETR	112.80	89.90	107.30	122.10	94.40	149.00	121.80	108.50
	ΣETRL	96.10	77.20	94.50	107.10	82.00	133.90	107.20	96.10
	ΣETRP	16.70	12.70	12.80	15.00	12.40	15.10	14.60	12.40

TABELA 6.4
 Conteúdos dos ETR (ppm) em xisto carbonoso (RP)

(cont.)

ELEMENTO	AMOSTRA								
	ppm	608309	608311	608312	608314	608315	608316	608317	608318
La	16.9	31.2	22	30.1	25.3	22.2	28	23.9	
Ce	24.6	60.7	43.2	58.3	50.2	42.9	55	46.7	
Pr	2.8	6.7	4.6	6.4	5.7	4.8	6	5.4	
Nd	10.3	25.4	17.8	23.9	21.2	18	23.1	20.3	
Sm	2.1	4.9	3.7	4.8	4.3	3.7	4.4	4.3	
Eu	0.5	1.3	1	1.2	1.2	1	1.2	1.2	
Gd	2.1	4.9	4	5	4.7	4	4.6	4.1	
Tb	0.3	0.8	0.7	0.8	0.8	0.6	0.7	0.7	
Dy	1.8	4.4	3.7	4.4	4.4	3.4	3.8	3.8	
Ho	0.3	0.9	0.7	0.9	0.9	0.7	0.8	0.8	
Er	1	2.7	2.2	2.7	2.6	2	2.2	2.3	
Tm	0.2	0.4	0.3	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	
Yb	1	2.5	2.1	2.5	2.5	1.9	2.2	2.1	
Lu	0.1	0.4	0.3	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	
Condrito	Eu/Eu*	0.72	0.81	0.79	0.75	0.82	0.79	0.81	0.86
NAKAMURA	(La/Sm)N	4.95	3.92	3.66	3.86	3.62	3.69	3.91	3.42
1974	(Gd/Lu)N	2.59	1.51	1.64	1.54	1.45	1.64	1.89	1.68
NASC	Eu/Eu*	1.09	1.21	1.19	1.12	1.22	1.19	1.22	1.31
Gromet <i>et al.</i>	(La/Sm)N	1.55	1.22	1.14	1.21	1.13	1.15	1.22	1.07
1984	(Gd/Lu)N	1.74	1.02	1.11	1.04	0.97	1.11	1.27	1.13
	ΣETR	64.00	147.20	106.30	141.80	124.60	105.80	132.60	116.20
	ΣETRL	57.20	130.20	92.30	124.70	107.90	92.60	117.70	101.80
	ΣETRP	6.80	17.00	14.00	17.10	16.70	13.20	14.90	14.40

TABELA 6.4
 Conteúdos dos ETR (ppm) em xisto carbonoso (RP)

(cont.)

ELEMENTO		AMOSTRA							
ppm		608322	608323	608324	608325	608326	608327	608328	608329
La		22.9	27.4	20.7	28.6	17.2	19.3	20	26.2
Ce		44.8	52.9	41.1	55.8	34.4	36.9	38	51.4
Pr		5.2	6	4.7	6.4	4	4.3	4.4	6
Nd		19.5	22.4	17.7	23.4	15.1	16.1	16.6	23.1
Sm		4.1	4.6	3.7	4.7	3.3	3.3	3.5	4.8
Eu		1.1	1.1	1	1.1	0.9	0.9	0.9	1.2
Gd		4	4.5	3.4	4.4	3.3	3.3	3.7	4.7
Tb		0.6	0.7	0.5	0.7	0.5	0.5	0.6	0.8
Dy		3.6	3.9	3.1	3.9	3	2.9	3.2	4.5
Ho		0.8	0.8	0.6	0.8	0.6	0.6	0.7	0.9
Er		2.2	2.3	1.8	2.4	1.8	1.7	1.9	2.7
Tm		0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.3	0.4
Yb		2.1	2.2	1.7	2.3	1.8	1.5	1.9	2.5
Lu		0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.3	0.4
Condrito	Eu/Eu*	0.82	0.73	0.85	0.73	0.83	0.83	0.76	0.77
NAKAMURA	(La/Sm)N	3.44	3.66	3.44	3.74	3.21	3.60	3.52	3.36
1974	(Gd/Lu)N	1.64	1.85	1.40	1.81	1.36	2.03	1.52	1.45
NASC	Eu/Eu*	1.24	1.11	1.29	1.11	1.25	1.25	1.14	1.16
Gromet <i>et al.</i>	(La/Sm)N	1.07	1.15	1.08	1.17	1.00	1.12	1.10	1.05
1984	(Gd/Lu)N	1.11	1.24	0.94	1.22	0.91	1.37	1.02	0.97
	ΣETR	111.50	129.40	100.60	135.10	86.50	91.70	96.00	129.60
	ΣETRL	97.60	114.40	88.90	120.00	74.90	80.80	83.40	112.70
	ΣETRP	13.90	15.00	11.70	15.10	11.60	10.90	12.60	16.90

TABELA 6.4
 Conteúdos dos ETR (ppm) em xisto carbonoso (RP)

(cont.)

	ELEMENTO	AMOSTRA							
		608330	608331	608332	608333	608334	608335	608337	608338
	ppm								
	La	28.70	18.00	22.70	25.50	22.20	21.10	22.30	23.20
	Ce	58.00	35.40	45.30	50.40	43.40	39.20	43.90	45.10
	Pr	6.70	4.10	5.20	5.80	5.00	4.60	5.10	5.10
	Nd	25.30	15.80	19.70	21.40	18.50	18.00	19.90	19.00
	Sm	5.50	3.20	4.30	4.40	4.00	3.90	4.50	4.10
	Eu	1.30	0.80	1.10	1.10	1.00	0.90	1.20	1.10
	Gd	5.30	3.20	4.20	4.30	4.00	3.60	4.20	4.10
	Tb	0.90	0.50	0.60	0.70	0.70	0.60	0.70	0.60
	Dy	5.00	3.10	3.70	3.90	3.80	3.20	3.80	3.70
	Ho	1.00	0.60	0.80	0.80	0.80	0.70	0.80	0.80
	Er	3.10	1.80	2.20	2.40	2.30	1.80	2.30	2.20
	Tm	0.40	0.30	0.30	0.40	0.30	0.30	0.30	0.30
	Yb	2.90	1.80	2.20	2.30	2.30	1.80	2.10	2.10
	Lu	0.40	0.30	0.30	0.40	0.30	0.30	0.30	0.30
Condrito	Eu/Eu*	0.73	0.76	0.78	0.77	0.76	0.72	0.83	0.82
NAKAMURA	(La/Sm)N	3.21	3.46	3.25	3.57	3.41	3.33	3.05	3.48
1974	(Gd/Lu)N	1.63	1.31	1.72	1.32	1.64	1.48	1.72	1.68
NASC	Eu/Eu*	1.10	1.14	1.18	1.16	1.14	1.10	1.26	1.23
Gromet <i>et al.</i>	(La/Sm)N	1.00	1.08	1.02	1.11	1.07	1.04	0.95	1.09
1984	(Gd/Lu)N	1.10	0.88	1.16	0.89	1.11	0.99	1.16	1.13
	ΣETR	144.50	88.90	112.60	123.80	108.60	100.00	111.40	111.70
	ΣETRL	125.50	77.30	98.30	108.60	94.10	87.70	96.90	97.60
	ΣETRP	19.00	11.60	14.30	15.20	14.50	12.30	14.50	14.10

TABELA 6.4
 Conteúdos dos ETR (ppm) em xisto carbonoso (RP)

(cont.)

	ELEMENTO	AMOSTRA							
		608330	608331	608332	608333	608334	608335	608337	608338
	ppm								
	La	28.70	18.00	22.70	25.50	22.20	21.10	22.30	23.20
	Ce	58.00	35.40	45.30	50.40	43.40	39.20	43.90	45.10
	Pr	6.70	4.10	5.20	5.80	5.00	4.60	5.10	5.10
	Nd	25.30	15.80	19.70	21.40	18.50	18.00	19.90	19.00
	Sm	5.50	3.20	4.30	4.40	4.00	3.90	4.50	4.10
	Eu	1.30	0.80	1.10	1.10	1.00	0.90	1.20	1.10
	Gd	5.30	3.20	4.20	4.30	4.00	3.60	4.20	4.10
	Tb	0.90	0.50	0.60	0.70	0.70	0.60	0.70	0.60
	Dy	5.00	3.10	3.70	3.90	3.80	3.20	3.80	3.70
	Ho	1.00	0.60	0.80	0.80	0.80	0.70	0.80	0.80
	Er	3.10	1.80	2.20	2.40	2.30	1.80	2.30	2.20
	Tm	0.40	0.30	0.30	0.40	0.30	0.30	0.30	0.30
	Yb	2.90	1.80	2.20	2.30	2.30	1.80	2.10	2.10
	Lu	0.40	0.30	0.30	0.40	0.30	0.30	0.30	0.30
Condrito	Eu/Eu*	0.73	0.76	0.78	0.77	0.76	0.72	0.83	0.82
NAKAMURA	(La/Sm)N	3.21	3.46	3.25	3.57	3.41	3.33	3.05	3.48
1974	(Gd/Lu)N	1.63	1.31	1.72	1.32	1.64	1.48	1.72	1.68
NASC	Eu/Eu*	1.10	1.14	1.18	1.16	1.14	1.10	1.26	1.23
Gromet <i>et al.</i>	(La/Sm)N	1.00	1.08	1.02	1.11	1.07	1.04	0.95	1.09
1984	(Gd/Lu)N	1.10	0.88	1.16	0.89	1.11	0.99	1.16	1.13
	ΣETR	144.50	88.90	112.60	123.80	108.60	100.00	111.40	111.70
	ΣETRL	125.50	77.30	98.30	108.60	94.10	87.70	96.90	97.60
	ΣETRP	19.00	11.60	14.30	15.20	14.50	12.30	14.50	14.10

TABELA 6.4
 Conteúdos dos ETR (ppm) em xisto carbonoso (RP)

(cont.)

	ELEMENTO	AMOSTRA			desvio padrao	Condrito	NASC
		608339	608340	608341		Nakamura	Gromet <i>et al.</i>
	ppm					1974	1984
	La	25.30	23.00	33.10	3.74	0.330	31.100
	Ce	49.70	45.10	66.30	7.79	0.865	67.033
	Pr	5.70	5.10	7.60	0.86	0.112	
	Nd	20.70	19.20	28.10	3.19	0.630	30.400
	Sm	4.20	4.10	5.60	0.61	0.203	5.980
	Eu	1.10	1.10	1.30	0.15	0.077	1.253
	Gd	4.10	4.10	5.50	0.62	0.276	5.500
	Tb	0.70	0.60	0.90	0.11	0.047	0.850
	Dy	3.60	3.70	5.00	0.54	0.343	5.540
	Ho	0.70	0.80	1.00	0.12	0.070	
	Er	2.10	2.20	2.90	0.34	0.225	3.275
	Tm	0.30	0.30	0.40	0.06	0.103	
	Yb	2.00	2.20	2.60	0.32	0.220	3.113
	Lu	0.30	0.30	0.40	0.06	0.034	0.456
<hr/>							
Condrito	Eu/Eu*	0.80	0.82	0.71	0.05	1	
NAKAMURA	(La/Sm)N	3.71	3.45	3.64	0.28	1	
1974	(Gd/Lu)N	1.68	1.68	1.69	0.25	1	
<hr/>							
NASC	Eu/Eu*	1.21	1.23	1.07	0.08		1
Gromet <i>et al.</i>	(La/Sm)N	1.16	1.08	1.14	0.09		1
1984	(Gd/Lu)N	1.13	1.13	1.14	0.17		1
<hr/>							
	ΣETR	120.50	111.80	160.70	17.95	3.54	154.50
	ΣETRL	106.70	97.60	142.00	16.17	2.22	135.77
	ΣETRP	13.80	14.20	18.70	2.08	1.32	18.73

6.2.4 Rochas metabásicas

Os diferentes padrões de fracionamento em elementos terras raras das rochas metabásicas, fornecem critérios geoquímicos que as caracterizam como rochas distintas, cada qual com uma composição e evolução em particular.

As 20 amostras de metabásica com alteração carbonática, em sua maioria, têm anomalia de Eu/Eu^* fracamente positiva, variando de 0,86 a 1,47, à exceção de duas que mostram anomalia negativa. O diagrama de distribuição dos ETR tende a horizontalidade com um discreto enriquecimento em ETRL, com um $(\text{La}/\text{Sm})_N$ entre 1,27 a 1,94, e um leve enriquecimento em ETRP, que tem $(\text{Gd}/\text{Lu})_N = 0,99$ a 1,42. As concentrações totais de ETR variam no estreito intervalo entre 24,90 e 40,10 ppm. (TAB 6.5).

A metabásica com alteração clorítica, também exibe discreto fracionamento tanto em ETRL ($(\text{La}/\text{Sm})_N = 1.43$ a 1.75) quanto em ETRP ($(\text{Gd}/\text{Lu})_N = 1.09$ a 1.31) (FIG. 6.4). A maioria, dentre as 11 amostras analisadas, exibe anomalia (Eu/Eu^*) levemente negativa ou positiva, entre 0.90 e 1.10, normalizado pelo condrito (Nakamura, 1974), com a exceção de apenas uma que tem anomalia francamente negativa, de 0,78.

O diagrama de distribuição dos ETR da metabásica com alteração clorítica mostra um padrão quase horizontalizado, com concentrações totais de ETR distribuídos no intervalo entre 72.10 e 112.80. Esta rocha tem maior concentração de ETR do que as metabásicas com alteração carbonática (FIG. 6.4).

A metabásica com relicto de piroxênio apresenta uma maior concentração de ETR, com um mais acentuado fracionamento em ETRL ($(\text{La}/\text{Sm})_N = 1,97$ a 2,08) em relação ao ETRP ($(\text{Gd}/\text{Lu})_N = 1,45$ a 1,69).

A razão Eu/Eu^* , normalizado ao condrito (Nakamura, 1974), varia de 1,00 a 1,13, (TAB. 6.7), indicando uma anomalia positiva.

As concentrações totais de ETR variam de 92,10 a 128.90 ppm, o de ETRL, varia de 75,50 a 105.90 ppm e o de ETRP varia de 16,60 a 23,00 ppm. O diagrama de distribuição das concentrações ETR mostra um padrão com maior gradiente de fracionamento dos ETRL e tendência de horizontalidade em ETRP. Esta rocha difere das anteriormente descritas pela maior concentração de ETR, principalmente em ETRL.

TABELA 6.5
Sinopse dos dados de ETR (ppm) das rochas metabásicas.

	Eu/Eu*		(La/Sm) _N		(Gd/Lu) _N		ΣETRL		ΣETRP		ΣETR	
	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min
Metabásica com piroxênio (MBpx)	1.13	1.00	2.08	1.97	1.69	1.45	105.90	75.50	23.00	16.60	128.90	92.10
Metabásica com alteração Clorítica (MBcl)	1.10	0.78	1.75	1.43	1.31	1.09	82.50	51.70	30.30	20.40	112.80	72.10
Metabásicas com alteração carbonática (MBcb)	1.47	0.86	1.94	1.27	1.42	1.05	30.60	17.20	9.50	7.00	40.10	24.90

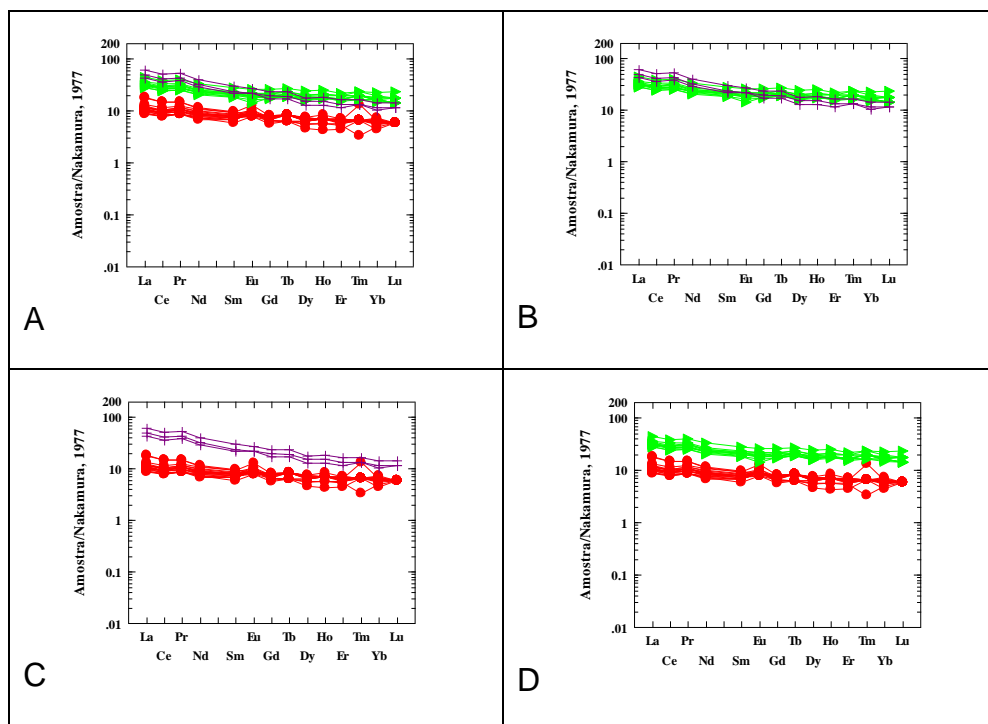


FIGURA. 6.4: Diagrama comparativos da distribuição de ETR normalizados segundo Nakamura (1974), entre os tipos de metabásicas. MBcb em círculos vermelhos, MBcl em triângulos verdes e MBpx em cruzes púrpura

TABELA 6.6
Conteúdos dos ETR (ppm) em metabásica com alteração carbonática (MBcb)

ELEMENTO	AMOSTRA											
	ppm	608819	608822	608823	608824	608826	608827	608828	608829	608830	608831	608832
La	6.10	3.90	3.40	3.50	3.60	3.30	3.90	4.10	3.50	2.90	3.00	3.00
Ce	12.90	8.70	8.00	8.30	7.90	7.40	9.20	9.20	8.10	6.80	6.90	7.00
Pr	1.70	1.20	1.10	1.20	1.10	1.00	1.30	1.30	1.10	1.00	1.00	1.00
Nd	7.40	5.60	5.50	5.60	5.00	4.60	6.10	6.40	5.20	4.40	4.60	4.70
Sm	2.00	1.60	1.60	1.70	1.50	1.20	1.70	1.80	1.60	1.40	1.40	1.40
Eu	0.60	0.70	0.70	0.70	0.60	0.60	0.70	0.80	0.80	0.70	0.70	0.70
Gd	2.30	2.00	1.90	2.00	1.80	1.60	2.10	2.10	1.90	1.80	1.70	2.00
Tb	0.40	0.40	0.40	0.40	0.30	0.30	0.40	0.40	0.40	0.30	0.30	0.40
Dy	2.50	2.30	2.40	2.40	2.20	1.60	2.50	2.30	2.20	2.20	2.00	2.30
Ho	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.30	0.50	0.50	0.50	0.50	0.40	0.50
Er	1.60	1.40	1.50	1.50	1.40	1.00	1.50	1.40	1.40	1.40	1.30	1.40
Tm	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
Yb	1.50	1.40	1.40	1.50	1.30	1.00	1.40	1.40	1.30	1.30	1.20	1.30
Lu	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
La/Yb	4.07	2.79	2.43	2.33	2.77	3.30	2.79	2.93	2.69	2.23	2.50	2.31
Eu/Eu*	0.86	1.20	1.23	1.16	1.12	1.33	1.14	1.26	1.41	1.36	1.39	1.29
(La/Sm)N	1.88	1.50	1.31	1.27	1.48	1.69	1.41	1.40	1.35	1.27	1.32	1.32
(Gd/Lu)N	1.42	1.23	1.17	1.23	1.11	0.99	1.29	1.29	1.17	1.11	1.05	1.23
ΣETRL	30.70	21.70	20.30	21.00	19.70	18.10	22.90	23.60	20.30	17.20	17.60	17.80
ΣETRP	9.20	8.40	8.50	8.70	7.90	6.20	8.80	8.50	8.10	7.90	7.30	8.30
ΣETR	39.90	30.10	28.80	29.70	27.60	24.30	31.70	32.10	28.40	25.10	24.90	26.10

TABELA 6.6
 Conteúdos dos ETR (ppm) em metabásica com alteração carbonática (MBcb)

(cont.)

ELEMENTO	AMOSTRA								desvio	Nakamura
	ppm	608834	608835	608836	608837	599018	599019	599020	599040	padrao
La	3.50	3.70	3.90	6.00	4.00	3.20	4.40	3.60	0.85	0.33
Ce	8.00	8.30	8.80	13.10	8.90	7.30	10.00	7.90	1.71	0.87
Pr	1.20	1.20	1.20	1.70	1.20	1.00	1.40	1.10	0.21	0.11
Nd	5.30	5.60	5.90	7.20	5.70	5.00	6.80	5.30	0.84	0.63
Sm	1.50	1.60	1.60	1.90	1.60	1.40	1.90	1.50	0.20	0.20
Eu	0.70	0.70	0.70	0.70	0.60	0.70	1.00	0.70	0.09	0.08
Gd	2.10	2.10	2.10	2.30	2.20	1.80	2.30	2.10	0.20	0.28
Tb	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.30	0.40	0.40	0.04	0.05
Dy	2.50	2.40	2.50	2.60	2.50	1.90	2.30	2.40	0.24	0.34
Ho	0.50	0.50	0.50	0.60	0.50	0.40	0.50	0.50	0.06	0.07
Er	1.50	1.50	1.50	1.60	1.60	1.20	1.30	1.50	0.14	0.23
Tm	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.10	0.20	0.40	0.05	0.10
Yb	1.40	1.40	1.40	1.60	1.50	1.10	1.30	1.40	0.14	0.22
Lu	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.00	0.03
La/Yb	2.50	2.64	2.79	3.75	2.67	2.91	3.38	2.57		1.50
Eu/Eu*	1.21	1.17	1.17	1.03	0.98	1.36	1.47	1.21	0.15	1.00
(La/Sm)N	1.44	1.42	1.50	1.94	1.54	1.41	1.42	1.48	0.18	1.00
(Gd/Lu)N	1.29	1.29	1.29	1.42	1.36	1.11	1.42	1.29	0.12	1.00
ΣETRL	20.20	21.10	22.10	30.60	22.00	18.60	25.50	20.10	3.76	3.54
ΣETRP	8.80	8.70	8.80	9.50	9.10	7.00	8.50	8.90	0.79	2.22
ΣETR	29.00	29.80	30.90	40.10	31.10	25.60	34.00	29.00	4.32	1.32

TABELA 6.7
 Conteúdo de ETR (ppm) em metabásica com alteração clorítica.(MBcl)

ELEMENTO	AMOSTRA											desvio	Nakamura
	ppm	608279	608281	608282	608283	608284	608285	599011	599012	599022	599023	599030	padrão
La	12.10	10.70	10.40	9.30	9.20	10.30	15.00	10.20	10.70	10.80	11.70	1.60	0.33
Ce	28.90	25.10	24.40	21.50	21.40	23.70	34.00	23.00	25.00	24.00	26.20	3.60	0.87
Pr	3.80	3.40	3.20	2.90	2.90	3.10	4.60	3.10	3.50	3.20	3.60	0.49	0.11
Nd	17.20	15.30	14.80	13.50	13.20	14.60	21.20	14.80	15.90	14.40	16.30	2.20	0.63
Sm	4.90	4.30	4.30	4.00	3.70	4.20	5.70	4.30	4.60	3.80	4.50	0.55	0.20
Eu	1.70	1.50	1.60	1.50	1.30	1.40	2.00	1.70	1.70	1.10	1.50	0.24	0.08
Gd	6.10	5.30	5.30	4.90	4.80	5.30	7.30	5.20	5.90	4.90	5.80	0.73	0.28
Tb	1.10	1.00	0.90	0.90	0.90	1.00	1.30	1.00	1.10	0.90	1.00	0.12	0.05
Dy	7.10	6.00	6.00	5.90	5.60	6.30	8.30	6.00	6.80	5.60	6.70	0.80	0.34
Ho	1.50	1.30	1.30	1.30	1.30	1.30	1.80	1.30	1.50	1.20	1.40	0.17	0.07
Er	4.50	3.70	3.90	3.70	3.50	3.90	5.00	3.90	4.50	3.70	4.40	0.47	0.23
Tm	0.70	0.60	0.60	0.60	0.50	0.60	0.70	0.50	0.60	0.50	0.60	0.07	0.10
Yb	4.30	3.70	3.50	3.60	3.30	3.70	5.10	3.70	4.00	3.60	4.10	0.50	0.22
Lu	0.60	0.50	0.50	0.50	0.50	0.60	0.80	0.50	0.60	0.50	0.60	0.09	0.03
Eu/Eu*	0.95	0.96	1.03	1.04	0.95	0.91	0.95	1.10	1.00	0.78	0.90	1.15	1.00
(La/Sm)N	1.52	1.53	1.49	1.43	1.53	1.51	1.62	1.46	1.43	1.75	1.60	1.77	1.00
(Gd/Lu)N	1.25	1.31	1.31	1.21	1.18	1.09	1.12	1.28	1.21	1.21	1.19	0.97	1.00
Σ ETRL	68.60	60.30	58.70	52.70	51.70	57.30	82.50	57.10	61.40	57.30	63.80	8.68	2.22
Σ ETRP	25.90	22.10	22.00	21.40	20.40	22.70	30.30	22.10	25.00	20.90	24.60	2.94	1.32
Σ ETR	94.50	82.40	80.70	74.10	72.10	80.00	112.80	79.20	86.40	78.20	88.40	11.62	3.54

TABELA 6.8
 Conteúdo em ETR (ppm) em metabásicas com piroxênio (MBpx)

ELEMENTO ppm	AMOSTRA			desvio	Nakamura
	599045	599046	599047	padrão	1974
La	16.60	14.40	20.50	3.09	0.33
Ce	36.70	31.90	45.60	6.95	0.87
Pr	4.90	4.30	6.10	0.92	0.11
Nd	20.60	18.70	25.40	3.45	0.63
Sm	4.90	4.50	6.20	0.89	0.20
Eu	1.70	1.70	2.10	0.23	0.08
Gd	5.50	4.70	6.50	0.90	0.28
Tb	0.90	0.80	1.10	0.15	0.05
Dy	5.30	4.50	6.20	0.85	0.34
Ho	1.10	0.90	1.30	0.20	0.07
Er	3.00	2.60	3.70	0.56	0.23
Tm	0.40	0.40	0.50	0.06	0.10
Yb	2.60	2.30	3.20	0.46	0.22
Lu	0.40	0.40	0.50	0.06	0.03
<hr/>					
Eu/Eu*	1.00	1.13	1.01		1.00
(La/Sm)N	2.08	1.97	2.03		1.00
(Gd/Lu)N	1.69	1.45	1.60		1.00
<hr/>					
Σ ETRL	85.40	75.50	105.90	15.50	2.22
ΣETRP	19.20	16.60	23.00	3.22	1.32
ΣETR	104.60	92.10	128.90	18.71	3.54

6.3 ESTUDO DE ELEMENTOS MAIORES E TRAÇOS

6.3.1 Fundamentos

A determinação da assinatura geoquímica das rochas metassedimentares tem por objetivo auxiliar na identificação da proveniência dos sedimentos, do grau de alteração química, na modelagem da área-fonte, no estabelecimento do arcabouço tectônico e na avaliação dos efeitos dos processos dinâmicos e geoquímicos na composição química dos sedimentos.

6.3.2 Tratamento dos dados

O estudo geoquímico dos elementos maiores foi realizado em 164 amostras de testemunhos de sondagem do Lineamento Córrego do Sítio, sendo 08 de metagrauvaca, 122 de xistos carbonosos, 20 de metabásica com alteração carbonática, 11 metabásica com alteração clorítica e 03 rocha metabásicas com alteração incipiente e portadora de relictos de piroxênio.

6.3.2.1 *Metagrauvaca*

A média das análises das metagrauvas mostram teores superiores em SiO₂, MnO, MgO, Na₂O, **Cr**, **Ni**, Co e Sr e inferiores em TiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, CaO, K₂O, P₂O₅, V, Ba, Rb, Y, Nb e Zr, em relação ao padrão NASC. Destacam-se os elevados teores de Cr e Ni das amostras em relação ao padrão NASC.

Como o aumento, discreto, do teor de Au nas amostras analisadas, não há uma tendência direta de enriquecimento ou empobrecimento nos elementos apresentados na TAB. 6.9.

TABELA 6.9
Análise química dos elementos maiores (%) e traços (ppm)
de metagrauvas do Lineamento Córrego do Sítio.

	NASC	MÉDIA	mg1	mg2	mg3	mg4	mgc5	mgc6	mg17	mg18
elementos	N=60	N=7	599028	599013	608307	599007	599008	599043	599029	599021
Au	ND	0.13	0.992	0.078	0.028	-0.005	-0.005	-0.005	-0.005	-0.005
SiO ₂	64.8	66.46	66.4	64.3	65.3	68.9	63.5	66.2	69.5	67.6
TiO ₂	0.78	0.46	0.34	0.54	0.59	0.4	0.49	0.48	0.26	0.55
AlO ₃	16.9	12.21	13.85	13.1	12.55	8.72	10.05	11.05	15.25	13.1
Fe ₂ O ₃	6.33	5.37	3.94	7.67	6.31	5.34	5.56	6.09	1.71	6.36
MnO	0.06	0.09	0.04	0.05	0.1	0.16	0.13	0.13	0.04	0.04
MgO	2.85	3.33	2.06	4.37	3.35	3.77	3.84	3.97	1.28	3.97
CaO	3.56	2.04	2.36	0.22	1.18	3.62	3.64	2.64	2.4	0.23
Na ₂ O	1.15	1.45	1.06	3.74	0.8	1.32	0.74	0.62	1.59	1.73
K ₂ O	3.99	1.48	2	0.09	2.25	0.95	1.67	1.47	1.96	1.42
P ₂ O ₅	0.11	0.09	0.08	0.1	0.1	0.06	0.09	0.08	0.09	0.08
Cr ₂ O ₃	ND	0.04	0.02	0.06	0.06	0.04	0.05	0.04	0.01	0.05
SrO	ND	0.01	0.01	-0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	-0.01
BaO	ND	0.03	0.04	-0.01	0.04	0.02	0.04	0.03	0.04	0.05
%PF	N.D	5.86	5.43	2.75	6.69	6.87	9.36	7.39	5.53	2.88
Au	ND	0.13	0.992	0.078	0.028	-0.005	-0.005	-0.005	-0.005	-0.005
Cr	125	230.13	92	326	316	218	293	247	31	318
Ni	58	131.61	69.6	208	168.5	116.5	134	149	24.3	183
V	130	80.25	60	119	96	66	75	79	30	117
Co	26	24.86	21.7	30.7	27.4	19.1	30.6	28.3	7.3	33.8
Ba	636	291.25	360	30	310	190	300	280	380	480
Rb	125	60.63	84.7	3.3	83.1	40.8	71.5	63.7	77.6	60.3
Sr	142	93.8	123.5	20.7	89.8	108.5	121	92.3	173.5	21.1
Y	35	6.31	6.3	6.9	6.2	6.3	6.9	6.8	5.5	5.6
Nb	13	2.91	3.4	2.2	2.7	2.3	2.6	2.5	5	2.6
Zr	200	93.56	106.5	91.1	96.5	70.9	89.4	90.1	115.5	88.5
Cu		40.03	42.6	48.7	36.7	39.4	53.5	42.4	13.7	43.2
Zn		65	71	114	62	62	41	77	19	74

NASC= North American Shale Composition, Gromet *et al.*, 1984.

6.3.2.2 Xistos carbonosos

As rochas aqui denominadas como xistos carbonosos pertencem basicamente a Unidade Córrego do Sítio intermediária, que contém o grosso da mineralização aurífera no Lineamento Córrego do Sítio, e onde há uma expressiva intercalação com venulações de quartzo-carbonato-sulfeto e teores variáveis de Au entre 62.73 e 0.03 ppm de Au.

A tabela com os resultados de análise das 122 amostras analisadas estão reunidas no Anexo 5.1. Para estudo das principais características geoquímicas destas rochas é apresentado na TAB. 6.10. Uma síntese com as médias dos teores de elementos maiores (%), e alguns traços (ppm), separados por classes de teores de Au. (teores > 10 ppm Au; teores entre 10 e 5 ppm Au; teores entre 5 e 3 ppm Au; teores entre 3 e 1 ppm Au; teores entre 1 e 0,10 ppm Au e teores inferiores a 0.10 ppm Au).

Como o aumento do teor de Au há um aumento em SiO₂, CaO, MnO, Sr, Cu, Zn e nas razões SiO₂/Al₂O₃, Al₂O₃/Na₂O, SiO₂/MgO e Cr/Ni, e diminuição em TiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, MgO, Na₂O, K₂O, P₂O₅, LOI, Cr, Ni, V, Co, Ba, Rb, Y, Nb, Zr.

Com relação ao padrão NASC (GROMET *et al.*, 1984) observa-se que a média das amostras de xistos carbonosos mostra teores superiores nos analitos Fe₂O₃, MgO, MnO, CaO, **Cr**, **Ni**, **Co** e inferiores em SiO₂, TiO₂, Al₂O₃, Na₂O, K₂O, P₂O₅, V, Ba, Rb, Sr, Y, Nb, Zr.

TABELA 6.10

Varição das médias dos elementos maiores e traços (ppm) em relação ao teor de Au nas amostras de xistos carbonosos da zona mineralizada

elementos	NASC	MÉDIA	14	17	10	10	33	38
	N=60	N=122	>10 Au ppm	<10 e >5 Au ppm	<5 e >3 Au ppm	<3 e >1 Au ppm	<1 e >0.10 Au ppm	<0.10 Au ppm
Auppm	*	6.30	23.78	7.63	3.86	2.01	0.49	0.03
SiO2%	64.80	58.75	62.73	62.85	57.55	56.25	55.80	57.34
TiO2%	0.78	0.52	0.44	0.44	0.48	0.51	0.64	0.63
Al2O3%	16.90	12.19	10.14	10.34	10.74	12.40	14.99	14.53
Fe2O3%	6.33	6.54	5.78	5.71	6.68	6.85	6.84	7.38
MnO%	0.06	0.16	0.14	0.17	0.19	0.17	0.15	0.13
MgO%	2.85	3.44	2.42	2.99	3.74	3.69	3.63	4.18
CaO%	3.56	3.91	3.21	4.16	5.01	4.72	3.54	2.84
Na2O%	1.15	0.70	0.55	0.57	0.57	0.55	0.76	1.22
K2O%	3.99	2.19	1.87	1.89	1.80	2.53	2.84	2.20
P2O5%	0.11	0.08	0.05	0.06	0.07	0.08	0.10	0.10
Cr2O3%	*	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
SrO%	*	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01
BaO%	*	0.03	0.02	0.02	0.02	0.04	0.04	0.04
LOI%	*	7.88	7.11	7.16	8.41	8.48	8.08	8.04
Total%	100.53	96.46	94.53	96.41	95.33	96.32	97.48	98.68
Crppm	125.00	257.04	246.29	241.12	238.20	240.80	277.06	298.79
Nippm	58.00	148.43	125.96	129.49	119.77	150.96	177.54	186.86
Vppm	130.00	105.13	90.43	89.82	98.30	99.50	126.39	126.34
Coppm	26.00	29.87	28.69	29.88	26.86	28.06	31.53	34.18
Bappm	636.00	314.17	248.57	282.35	221.00	409.00	384.24	339.87
Rbppm	125.00	82.91	74.42	71.81	67.63	95.17	108.88	79.57
Srppm	142.00	123.93	114.54	124.95	132.50	144.80	129.15	97.64
Yppm	35.00	5.95	5.44	5.11	5.67	6.19	6.72	6.55
Nbppm	13.00	2.60	2.54	2.51	2.12	2.38	3.18	2.91
Zrppm	200.00	89.30	76.69	74.72	80.78	91.05	113.73	98.82
Cuppm	*	77.27	87.01	73.96	83.57	82.26	73.27	63.53
Znppm	*	214.87	243.86	298.65	236.70	258.50	143.94	107.58

6.3.2.3 *Interpretação dos resultados de análise de elementos maiores e traços das rochas metassedimentares*

O aumento significativo no teor de Au nas amostras de xisto carbonoso é acompanhado pelo aumento na porcentagem de SiO₂, CaO, MnO, Sr, Cu e Zn. Estes resultados corroboram com a descrição do minério, vide capítulo 4, que apresenta grande porcentagem de veios quartzo-carbonáticos-sulfetados.

Na medida em que há um enriquecimento em Au ocorre uma diminuição da porcentagem dos elementos incompatíveis e imóveis TiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, P₂O₅, Cr, Ni, V, Co, Ba, Rb, Y, Nb e Zr. A entrada de veios de quartzo-carbonato-sulfeto na rocha hospedeira pode induzir a uma diluição nos teores destes elementos, uma vez que os veios não são portadores destes elementos e nem os remobilizam.

A redução de MgO, Na₂O, K₂O e LOI é interpretado como resultante da mobilidade destes elementos e conseqüente redução de teor relativo na zona mais ricamente mineralizada.

O diagrama de normalização dos elementos traços das rochas metassedimentares, (FIG. 6.5) mostra que Cr e Ni estão enriquecidos em relação ao NASC (GROMET *et al.*, 1984). Resultado este que combinado com as elevadas razões La/Yb, descritas no item 6.5, reforçam a interpretação de que parte dos sedimentos, que constituem as rochas metassedimentares do Lineamento Córrego do Sítio, são derivados da erosão de rochas vulcânicas máficas a ultramáficas.

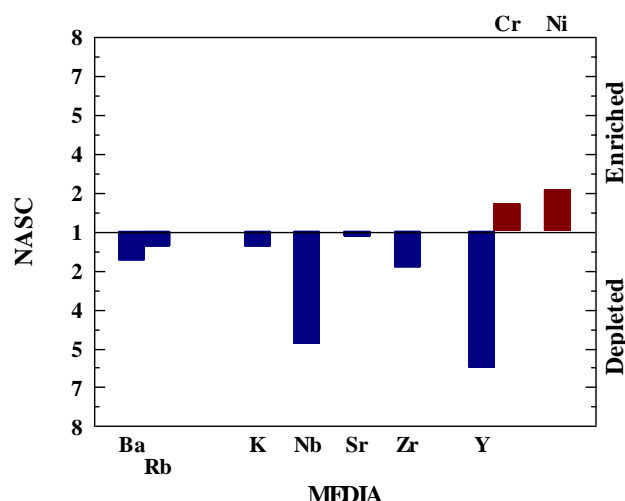


FIGURA 6.5: Diagrama Hildreth (RICHARD, 1988), de normalização das amostras de xisto carbonosos versus NASC (GROMET *et al.*, 1984).

6.3.2.4 Gráficos de correlação de Pearson para rochas metassedimentares e metabásicas

Para o cálculo da matriz de Correlação de Pearson, entre os 45 elementos traços analisados nas amostras de testemunhos de rochas metassedimentares e metabásicas é empregado o programa computadorizado *Geosof*, (Anexo 6 - Matriz de correlação de Pearson).

Para as rochas metassedimentares o elemento Au apresenta correlação com os seguintes elementos traços, a saber:

TABELA 6.11
Matriz de Pearson, com o resultado dos cálculos de correlação para os elementos traços em rochas metassedimentares.

Correlação	Intervalo	Elementos
Muito forte	>0.80	Sb.
Forte	0.65 e < 0.80	As, Ag, Cd, Se.
Moderada	>0.50 e < 0.65	Hg, P, Te, W e F.
Fraco	>0.30 e < 0.50	Bi, In, Sr, Sc.
Muito fraco	>0.20 e < 0.35	Cu, Pb, Zn, B, Ge, Mn, Mo, Re.
Nulo	<0.20	Cl, Rb, Sn, Tl.

Nas rochas metabásicas a correlação do Au com os demais elementos traços revela a seguinte variação:

TABELA 6.12
Matriz de Pearson, com o resultado dos cálculos de correlação para os elementos traços em rochas metabásicas

Correlação	Intervalo	Elementos
Muito forte	>0.80	NT
Forte	0.65 e < 0.80	NT
Moderada	>0.50 e < 0.65	As e Sb
Fraco	>0.35 e < 0.50	Ag, Cr, Cs, Tl, W, Zn
Muito fraco	>0.20 e < 0.35	Ba, Hg, Li, Ni, Rb.
Nulo	<0.20	Cd, F,

A matriz de correlação de Pearson para os elementos traços das rochas metabásicas com alteração carbonática, individualmente apresenta os seguintes valores:

TABELA 6.13
Matriz de Pearson, com o resultado dos cálculos de correlação para os elementos traços em rochas metabásicas com alteração carbonática.

Correlação	Intervalo	Elementos
Muito forte	>0.90	NT
Forte	0.80 e < 0.90	Cu, Nb,
Moderada	>0.65 e <0.80	Ta, W,
Fraco	>0.55 e < 0.65	Cs, F, Rb,
Muito fraco	0.45> e <0.55	Ag, Se, Y, Zr
Nulo	<0.45	As

TABELA 6.14

Quadro sinóptico da Matriz de Pearson, com o resultado dos cálculos de correlação para os elementos traços em rochas metabásicas com alteração clorítica.

Correlação	Intervalo	Elementos
Muito forte	>0.90	NT
Forte	0.80 e < 0.90	NT
Moderada	>0.65 e <0.80	NT
Fraco	>0.55 e < 0.65	NT
Muito fraco	0.45> e <0.55	NT
Nulo	<0.45	As, Sb, Li, Cu, Te,

O pequeno volume de análises geoquímicas de rochas metabásicas com piroxênio não permitem a construção da matriz de Pearson.

6.3.2.5 Comentários sobre os resultados da geoquímica dos elementos traços em rochas metassedimentares e metabásicas do Lineamento córrego do sítio

A mineralização aurífera apresenta correlação positiva com os seguintes elementos, segundo uma ordem decrescente: Sb > As > Ag > Cd > Se > Hg > P > Te > W > F > Bi > In > Sr > Sc > Cl > Rb > Sn > Tl > Cu > Pb > Zn > B > Ge > Mn > Mo > Re.

O Au tem correlação positiva nas metabásicas com os seguintes elementos, segundo uma ordem decrescente: As > Sb > Ag > Cr > Cs > Tl > W > Zn > Ba > Hg > Li > Ni > Rb > Cd > F.

A forte correlação do Au com elementos tais como As, Sb, Ag e Hg reintera a descrição da mineralogia do minério, vide item 4., que é caracterizado pela paragênese de arsenopirita (FeAsS), berthierita (FeSb₂S₄), eletrum (Au-Ag), Cinábrio (HgS), dentre outros.

Os elevados teores de Cr e Ni e a alta razão La/Y indicam que os sedimentos que constituem as rochas metassedimentares do Lineamento Córrego do Sítio são derivados da erosão de rochas máficas e ultramáficas.

As e Sb são os elementos traços com maior correlação com Au tanto nas rochas metassedimentares quanto nas metabásicas com alteração carbonática e clorítica, o que pode indicar que estas rochas já estavam instaladas em algum momento do processo de circulação de fluidos hidrotermais mineralizantes.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

7.1 DOS CONTROLES LITOESTRATIGRÁFICOS E ESTRUTURAIS DA MINERALIZAÇÃO.

- A Unidade Córrego do Sítio-CdS, subdividida em Superior, Intermediária e inferior, tem na INTERMEDIÁRIA um “corredor” onde predominam xistos carbonosos. O mesmo contém zonas heterogêneas de cisalhamento, de espessuras submétricas a decamétricas e que hospedam, obliquamente, faixas mineralizadas expressas como grandes zonas de veios tipo *tension gashes* de escala regional, e que constituem o grosso da mineralização aurífera.
- As rochas encaixantes da capa e da lapa da Unidade CdS Intermediária são as Unidades Córrego do Sítio Superior e Inferior, respectivamente, e que se caracterizam por uma composição essencialmente psamítica. Nestas se desenvolveram principalmente dobras assimétricas, como *kink folds*, mas que localmente podem ser abertas, fechadas e até isoclinais. A principal feição estrutural é a foliação plano axial S_n superimposta ao acamamento/bandamento sedimentar original.
- Os veios de quartzo auríferos estão hospedados em rochas metassedimentares e têm uma geometria *pinch and swell*, com formação de *boudins* e *pods*, equivalentes ao padrão do tipo 1B de Ramsay e Huber (1983) (FIG. 7.1). Este padrão, em que os eixos fazem um ângulo entre 0° e 90° , reflete corretamente a geometria da mineralização do Lineamento Córrego do Sítio (vide TAB. 4.10, Capítulo 4). Tal geometria é similar à da Jazida Lamego, conforme descrito por Martins (2011).
- Em macro escala, a zona de cisalhamento teve movimentação dextral, de ESE para WNW, correspondendo a uma frente de empurrões com direção NNE-SSW e vergência ascendente para WNW. (FIG. 7.2).

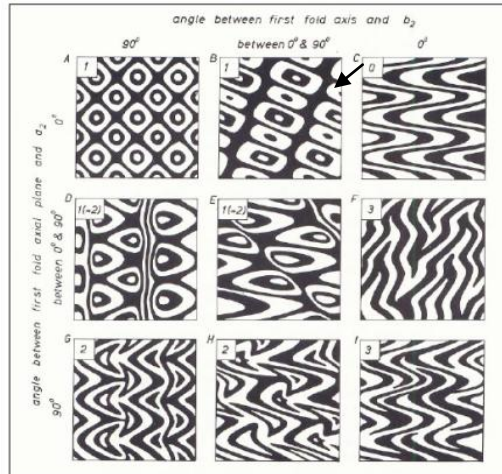


FIGURA 7.1: Quadro de Ramsay & Huber (1987) sintetizando os padrões de dobras de interferência gerados pela superimposição de sucessivas fases de deformação em um mesmo terreno, em mapa ou em perfil. O tipo 1B com ângulos entre 0 e 90° entre as fases seria a mais próxima das condições características do Lineamento Córrego do Sítio.

- A mineralização do Lineamento Córrego do Sítio concentra-se ao longo de um corredor de rochas metamórficas e em íntimo relacionamento com o desenvolvimento de uma zona de cisalhamento dúctil transpressivo. Tais características são apontadas em depósitos denominados de *lode gold* orogênico, no sentido de Groves *et al.* (1998).

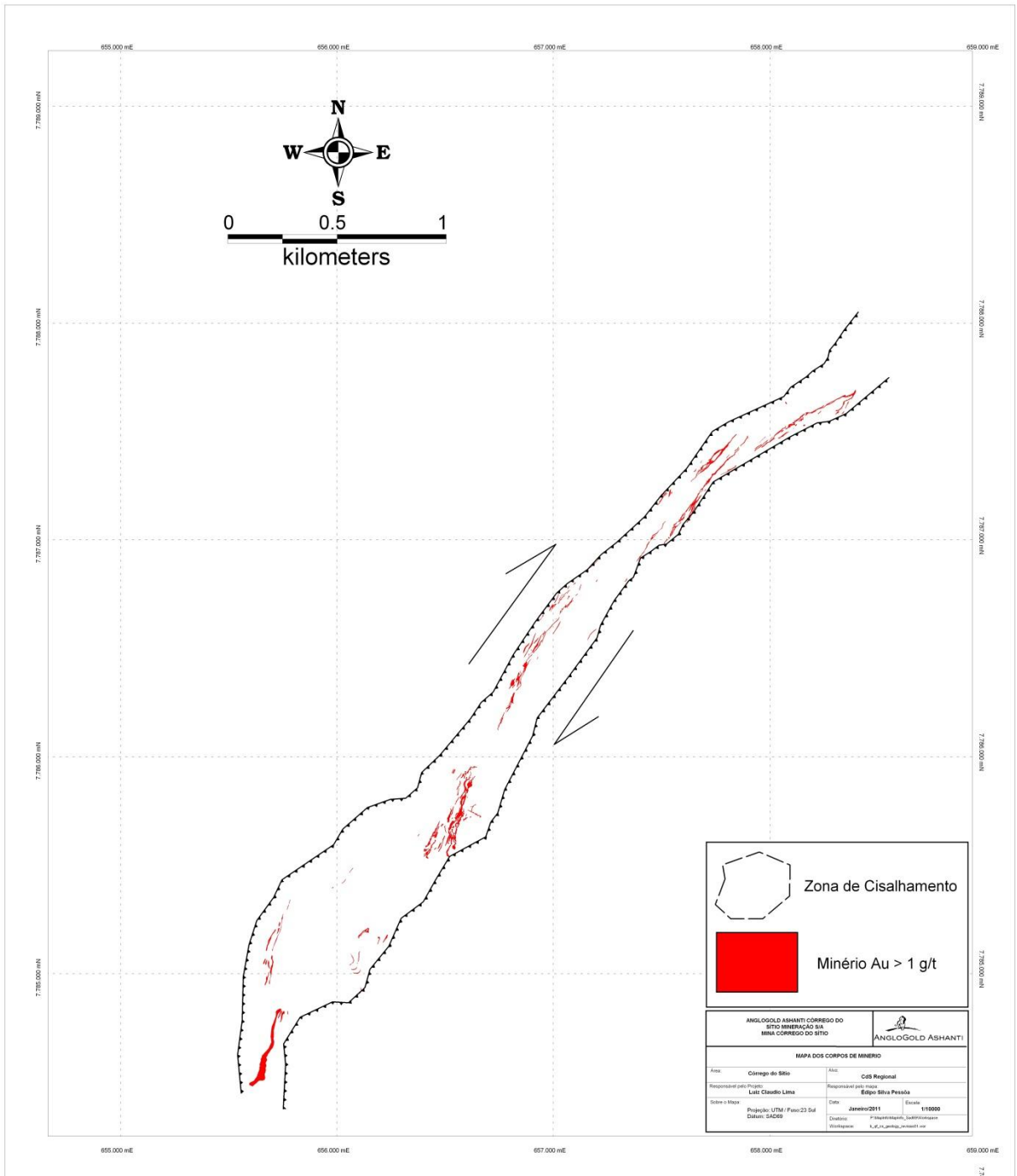


FIGURA 7.2: Mapa simplificado com o traçado dos corpos de minério do Lineamento Córrego do Sítio mostrando posicionamento oblíquo do minério em relação aos contatos litológicos da Unidade Córrego do Sítio Intmediária.

7.2 DAS ROCHAS METABÁSICAS

- Em todo o Lineamento Córrego do Sítio ocorrem intrusões de diques de rochas de composição básica a intermediária, metamorfisadas, e com distintos tipos de alteração metassomática, conforme discutido no Item 4.1 (FIG. 7.3);
- Os diques com alteração clorítica são os mais comuns e representados por nove (09) corpos de espessuras variáveis de 10 a 60 metros, e que cruzam toda área na direção NS, na porção sul, e que rotacionam para uma direção entre N05°E a N15° E, na porção nordeste (QUADRO 7.1 e FIG. 7.4). Estas rochas têm um caimento em torno de 45 a 60° para sudeste;
- O contato entre as metabásicas com alteração clorítica e as encaixantes localmente é brusco e reto, mas localmente se desenvolvem feições rúpteis com brechão da encaixante e preenchimento de fraturas com veios de quartzo leitoso estéril. As metabásicas com alteração clorítica apresentam uma foliação incipiente nas bordas, com a orientação de palhetas de clorita, quartzo e carbonato, conforme Item 4.1;
- No Depósito Laranjeiras, em subsolo, observa-se que o dique de metabásica com alteração clorítica corta a zona mineralizada exatamente no *neck* de um *boudin* decamétrico de veio de quartzo-carbonato-sulfeto.

QUADRO 7.1

Sinópsse com principais feições estruturais e composicionais das rochas metabásicas do Lineamento Córrego do Sítio.

	SUBTIPOS / SIGLAS	DESCRIÇÃO LITOLÓGICA	ESPESSUR A MÉDIA (M)	DIREÇÃO E MERGULHO	FOLIAÇÕES	ALTERAÇÃO NAS BORDAS
ROCHAS METABÁSICAS	MBpx (DB4)	Metabásica com alteração incipiente, com relictos de piroxênio	60 a 100	Norte - Sul Mergulho de 45 a 55 para sudeste.	Incipiente na borda	Contatos com preenchimento por veio de quartzo fraturado e milonítico, aflorante na Mina Bocaina. Contato brusco .
	MBcl (DB1)	Metabásica com alteração intermediária clorítica e carbonática-	10 a 60	-NS- ao sul da área -N05a 15 E à nordeste da área. Mergulhos de 45 a 60 para sudeste	Foliação proeminente nas bordas, subparalela a Sn.	Halos métricos de alteração metassomática nas bordas e nas encaixantes. Contato retos, fraturados, cisalhados .
	MBcb (DB2/3)	Metabásicas com alteração carbonática e muscovítica profunda	0,1 a 7	N30 45 E , Mergulhos de 65 a 75 para sudeste	Ausência de foliação ou incipiente nas bordas, subparalela a Sn na zona milonítica. Foliação superimposta por carbonatação tardia, com porfiroblastos euédricos.	Intensa alteração carbonática e sercítica na borda e no halo métrico ,próximo ao contato com as encaixantes

- Na seção geológica 4900 (FIG. 7.5) demonstra-se que em profundidade os diques cortam o minério e portanto sua geometria e localização independem da mineralização. É importante frisar que apesar da aparência do minério se represar contra os diques, em planta e em perfil, na terceira dimensão essa noção não tem procedência e a mineralização não é interrompida pelos diques;
- Os diques com alteração clorítica exibem foliação incipiente na borda, penetrativa alteração metassomática e associam-se a halos de alteração metassomática nas encaixantes de espessura métrica;

- Interpreta-se que os diques com alteração clorítica se instalaram em uma época posterior ao posicionamento dos veios quartzo-carbonato-sulfeto auríferos, mas em um momento em que ainda haviam resquícios de movimentação do orógeno e circulação de fluidos hidrotermais mineralizantes, capazes de produzir foliações e alterações metassomáticas;
- Os diques com alteração carbonática, no trecho entre o Depósito Laranjeiras e Bocaina, são representados por dois corpos estreitos e subparalelos com espessuras variáveis, da ordem de 1 a 5 metros, direção variável de N20E a N45E e caimento de 65 a 75 para sudeste. Tanto a direção quanto o mergulho destes diques de metabásicas é muito próximo ao das camadas mineralizadas;
- Na Cava Carvoaria observa-se que um dique de metabásica com alteração carbonática corta bruscamente o veio de quartzo-carbonato-sulfeto aurífero da Série 300 (FIG. 7.3 A), indicando que, portanto, pós-data a instalação da mineralização. A mesma relação de corte pode ser vista ainda na galeria do nível 711 do Depósito Laranjeiras (FIG. 7.3 B).

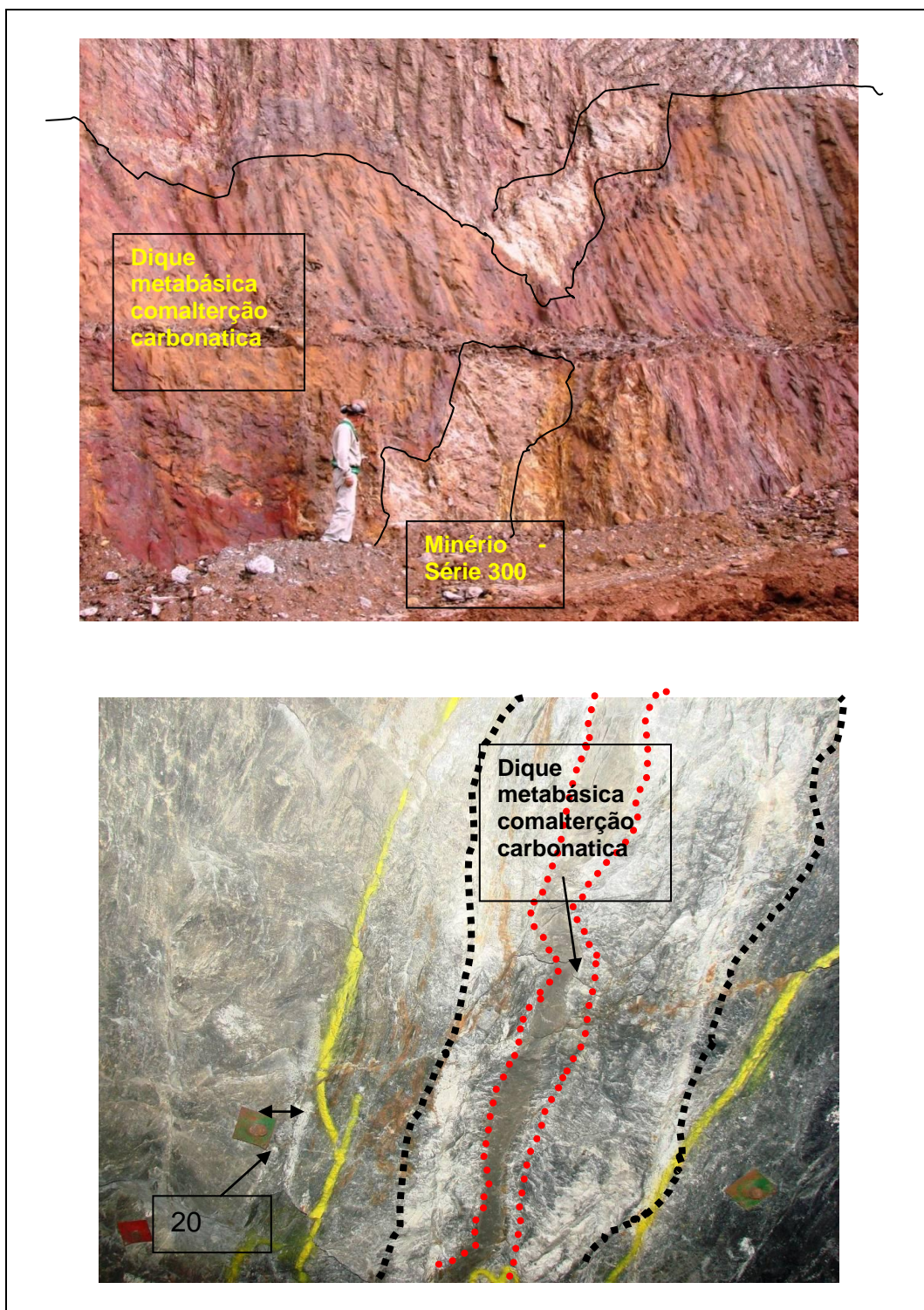


FIGURA 7.3:

A - Fotografia de um afloramento da Cava Carvoaria em que a metabásica com alteração carbonática corta o veio de quartzo-carbonato-sulfeto aurífero da Série 300.
B - Fotografia do teto da galeria Laranjeiras, Nível 711, em que um dique com alteração carbonática (pontilhado vermelho) cruza obliquamente o veio de quartzo-carbonato-sulfeto aurífero da Série 300 (pontilhado preto). Escala chapa verde com 20 cm.

- A metabásica com piroxênio é representada por apenas um dique, com espessura variável de 60 a 100 metros, localizado na extremidade nordeste da área. Esta rocha posiciona-se entre a Unidade Santa Quitéria e a Unidade Córrego do Sítio Superior e destas está separada por veios de quartzo estéreis intensamente cisalhados e em cujas fraturas cristalizam-se óxidos e hidróxidos secundários de ferro e manganês., conforme FIG. 7.4;
- Estes contatos de lapa e de capa são interpretados como zonas de falhas de empurrão da Unidade Santa Quitéria por sobre a Unidade Córrego do Sítio Superior, e que promovem uma inversão estratigráfica local. A movimentação ao longo da falha de empurrão ocorre de E para W, gerando um rejeito aparente da ordem de 1300 metros. Metabásica com piroxênio intercepta a mineralização , mas não há confirmação se a extingue ou apenas a desloca para além dos direitos minerais da empresa operadora da lavra;
- Na porção central das intrusões metabásicas com alteração clorítica, ocorre uma paragênese metamórfica melhor preservada, com quantidades variáveis de hornblenda, plagioclásio, ilmenita, magnetita, epidoto, clorita magnésiana e férrica, biotita, carbonato, sericita, quartzo, titanita, zircão e pirita. Nas bordas há uma transição para tipos com raros relictos de hornblenda e plagioclásio, e enriquecidos em epidoto, carbonato, clorita férrica, quartzo fino, muscovita, sericita, turmalina, *stockwork* de venulações a quartzo-carbonato-sulfeto, disseminações de sulfetos tais como pirrotita, pirita, calcopirita, esfalerita, calcocita/digenita, estibnita e rara arsenopirita. Há teores subeconômicos de Au associados com as bordas destas metabásicas.

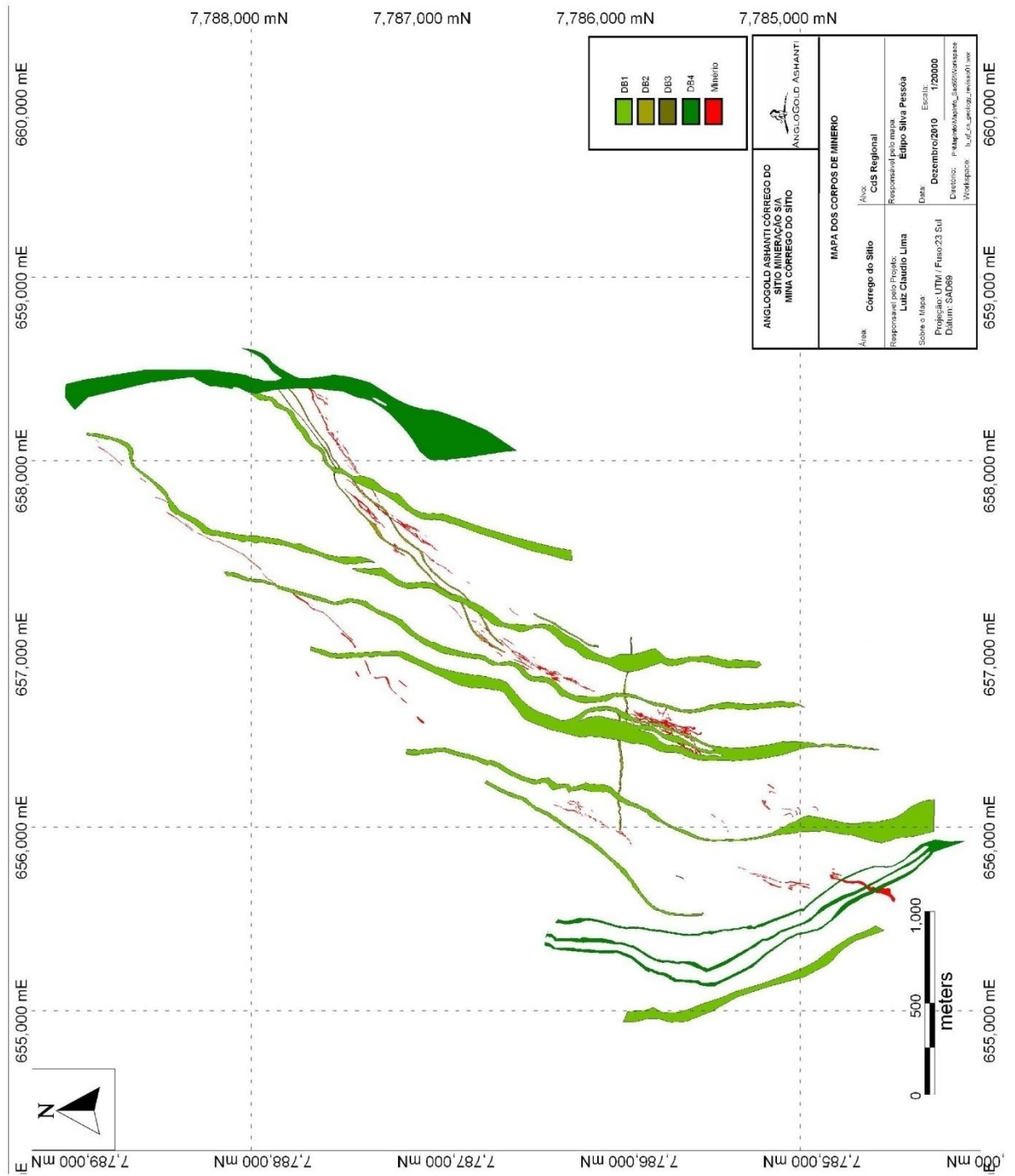


FIGURA 7.4: Seção 4900 com representação do posicionamento oblíquo dos diques com relação aos corpos de minério e contatos litológicos.

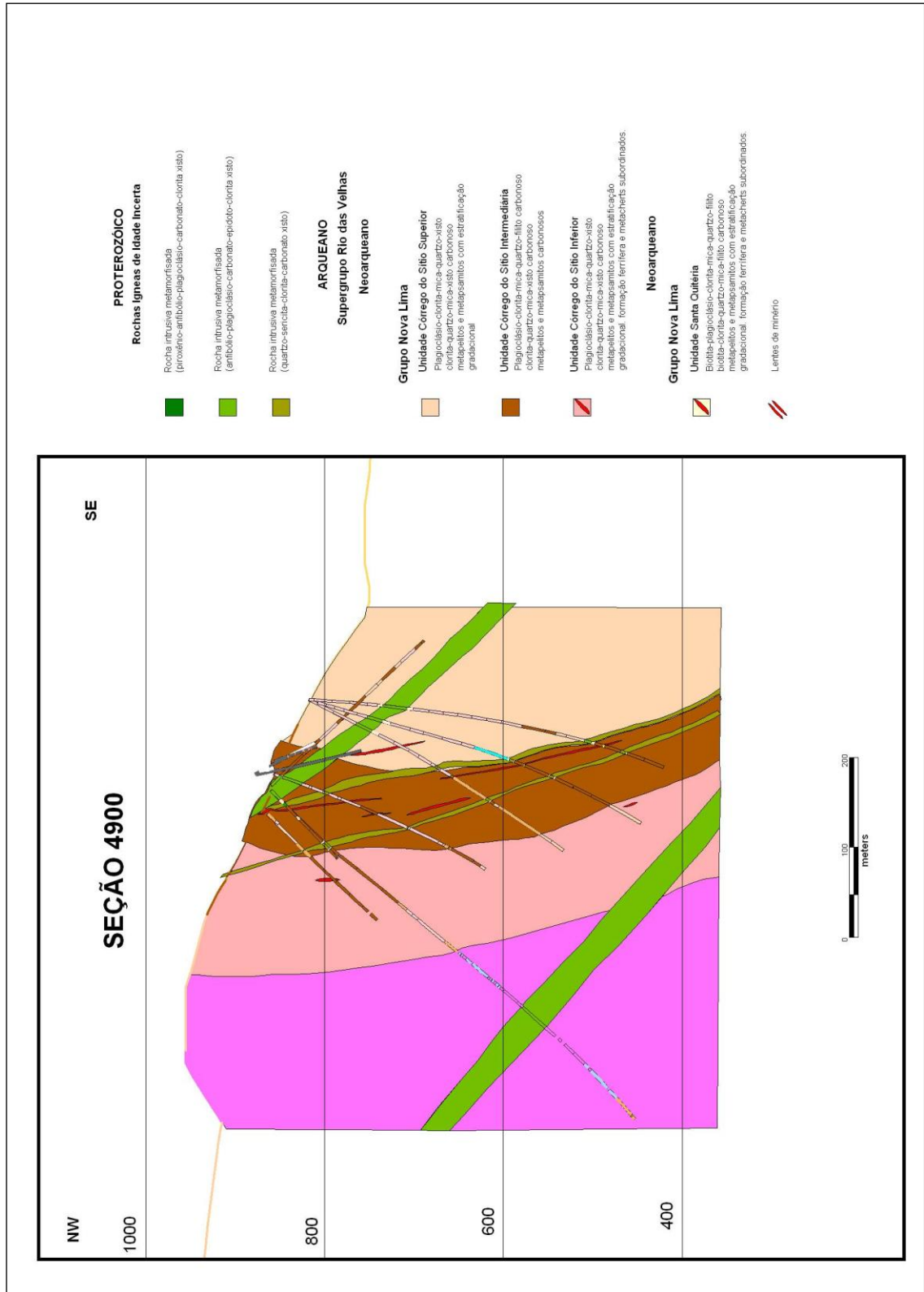


FIGURA 7.5: Seção 4900 com representação do posicionamento oblíquo dos diques com relação aos corpos de minério e contatos litológicos.

7.3 DOS ASPECTOS PETROGRÁFICOS

- As rochas metassedimentares da Unidade Córrego do Sítio-CdS são constituídas basicamente por porfiroclastos de quartzo e albita envoltos em finos cristais de quartzo, sericita, clorita magnésiana, pirita, zircão, titanita e rutilo, além de matéria carbonosa;
- Uma paragênese de minerais de alteração se somam e/ou modificam a paragênese metamórfica original, sendo constituída por quantidades variáveis de muscovita, clorita férrica, carbonatos, piritas, pirrotitas, arsenopirita, berthierita, calcopirita, esfalerita, cinábrio, cobaltita, eletrum, stibinita e ouro;
- As rochas metassedimentares exibem feições miloníticas em lâmina petrográfica tais com porfiroclastos de quartzo rotacionado em formas sigmoidais, *mica-fish* e cominuição de grãos de quartzo, plagioclásio e carbonato;
- Nas abundantes venulações a quartzo-carbonatos-sulfetos, típicas das zonas mineralizadas, há uma distinta paragênese de minerais metálicos: arsenopiritas (I e II), piritas (I, II e III), pirrotitas (I e II), berthierita, calcopirita, esfalerita, cinábrio, cobaltita, tetraedrita, ullmanita, estibnita, electrum e ouro;
- A anômala associação de minerais metálicos como cinábrio (HgS), cobaltita (CoS), berthierita (FeSb₂S₄), boulangerita (Pb₅Sb₄S₂), ullmanita (NiSbS) e tetraedrita ((Cu,Fe,Ag,Zn)₁₂Sb₄S₁₃), é típica de veios quartzo-carbonáticos derivados de soluções hidrotermais de baixo a média temperatura, hospedadas em rochas metamórficas, sedimentares ou ígneas ou em metamorfismo de contato (GROVES *et al.*, 2003). Esta associação é encontrada em depósitos de ouro orogênico em profundidades entre 3 e 7 km, na transição do ambiente mesozonal para epizonal, sem a contribuição de intrusões ígneas, conforme descrito no Capítulo 3.
- Os principais minerais metálicos pré-hidrotermais são classificados como pirita I, pirrotita I e arsenopirita I. Formam cristais poiquiloblásticos e de superfícies

rugosas e em suas bordas corroídas há o surgimento de minerais metálicos tardios. Fraturas são comuns e hospedam outros minerais, tais com fios de ouro;

- Tetraedrita, ullmanita, boulangerita são tardias e ocorrem nas bordas dos minerais cedo-hidrotermais como pirita I, pirrotita I, berthierita, calcopirita, esfalerita, arsenopirita;
- Minerais metálicos como cobaltita, arsenopirita II e pirita III são euédricos e exibem uma superfície límpida e sem inclusões, indicando que são formados em uma fase posterior ou menos ativa da deformação.

7.4 DA NATUREZA DA MINERALIZAÇÃO E ALTERAÇÕES NAS ENCAIXANTES

- Os veios de quartzo-carbonato fumê mineralizados, apresentam uma paragênese com ouro livre, electrum, berthierita, arsenopiritas, piritas, pirrotitas, calcopirita, esfalerita, cinábrio, ullmanita, tetraedrita, minerais do grupo da boulangerita (sulfossais de Pb), stibnita, calcocita e cobaltita, além de outros sulfetos e sulfossais em menores proporções que foram descritos por outros autores e não reconhecidos nas amostras estudadas, incluindo antimônio nativo, pentlandita, gerdorsfita.
- A mineralização extrapola os limites dos grandes veios e ocorre ainda em vênulas mili-centimétricas encaixadas subparalelas e anastomosadas em relação às unidades de xistos carbonosos e localmente metagrauvacas hospedeiras. As vênulas têm a mesma mineralogia dos grandes veios.
- Há ainda algum minério disseminado em porções das encaixantes, comumente onde essas são próximas a veios mineralizados, caracterizando substituição localizada das hospedeiras. Nesse caso, o ouro associa-se a arsenopirita fina, pirita e pirrotita disseminadas nas hospedeiras.
- A combinação de veios de quartzo fumê mineralizados, bordejados por faixas de xistos ou metagrauvacas com venulações e substituição da encaixante, produz faixas espessas mineralizadas, que podem atingir até quase uma dezena de

metros, fato este raro, mas que acontece principalmente em zonas de dobramento do conjunto mineralizado (*saddle reef*), a exemplo da feição descrita no Nível 696 do Depósito Cachorro Bravo, corpo 330.

- Mica sericítica, de tom verde pálido, comumente associa-se com as zonas mineralizadas. Confundida à primeira vista com fucsita, parece tratar-se de alguma variedade de sericita rica em ferro. Este mineral precisa ser melhor estudado para determinação exata da sua composição e denominação.
- Nas proximidades dos veios quartzo-carbonato-sulfeto mineralizados é comum que o xisto carbonoso apresente descoloração, assumindo tons de cinza ou verde pálido.
- A arsenopirita II, das bordas dos grãos, é empobrecida em S e Fe, e enriquecida em As em relação à arsenopirita I, do centro do grão. Isto pode refletir mudanças nas condições físico-químicas do fluido, representadas por flutuações rítmicas da razão $a(S_2): a(As_2)$. Segundo Kretschmar & Scott (1976), este padrão de zonação evidencia um ambiente submetido a variações na fugacidade de S, durante o crescimento do mineral.

7.5 DOS ASPECTOS GEOQUÍMICOS

- A mineralização aurífera do Lineamento Córrego do Sítio apresenta correlação positiva com os seguintes elementos, segundo uma ordem decrescente: Sb > As > Ag > Cd > Se > Hg > P > Te > W > F > Bi > In > Sr > Sc > Cl > Rb > Sn > Tl > Cu > Pb > Zn > B > Ge > Mn > Mo > Re.
- Apesar de não serem conhecidos corpos auríferos hospedados em rochas metabásicas, que sejam economicamente lavráveis, a análise geoquímica mostra que estas rochas possuem correlação positiva de Au com seguintes elementos, segundo uma ordem decrescente: As > Sb > Ag > Cr > Cs > Tl > W > Zn > Ba > Hg > Li > Ni > Rb > Cd > F.
- As correlações geoquímicas de Au com As, Sb e Ag, tanto nas rochas hospedeiras metassedimentares quanto nas metabásicas, mostram que estas

últimas foram, sim, afetadas pelos fluidos mineralizadores e, portanto, a colocação desses corpos na área deve ter ocorrido em estágio, pelo menos, tardi-mineralização.

- As rochas mineralizadas do Lineamento Córrego do Sítio mostram similaridades geoquímicas com aquelas de depósitos auríferos hospedados em sequências de metaturbiditos, caracterizados pela alta frequência da associação de Au com S, As, Sb, Ag, Cd, Pb, B, Hg, Te, W, Cu, Zn, Ca, Mg, Mn e Fe e baixa a muito baixa frequência da associação de Hg, In, Tl, Bi, Se, Te, Mo, F, e Co, segundo Boyle (1986), incluindo exemplos nos depósitos Bendigo e Ballarat (Austrália).
- Em 122 análises de testemunhos de sondagem de amostras mineralizadas em diversos teores, do Lineamento Córrego do Sítio, obteve-se uma razão Au/Ag média de 10,46:1, bastante próxima ao que é reportado para as mineralizações orogenéticas do tipo *gold-only*, em que predominam razões da ordem de 10:1 (GROVES *et al.*, 1998; vide TAB. 7.1).

TABELA 7.1
Teores médios de Au e Ag e razão Au/Ag em 122 amostras de rochas metassedimentares da Unidade Córrego do Sítio Intermediária

Razão Au/Ag em 122 amostras			
	Auppm	Agppm	Au/Ag
Média	4,36	0,36	10,56
Máxima	58,20	3,79	77,08
Mínima	0,01	0,01	0,04
Desvio padrão	9,07	0,57	14,12

Nas rochas metassedimentares do Lineamento Córrego do Sítio, há altos valores médios de Cr e Ni, 269 e 160 ppm, respectivamente (TAB. 7.2) e alta razão La/Yb (TAB. 7.3). Essas características sugerem marcante contribuição por sedimentos vulcanogênicos de origem máfica a ultramáfica, conforme proposição de Taylor & McLennan (1981).

TABELA 7.2
Teores de Cr e Ni (ppm), razão Cr/Ni da média, máximo e mínimo de 122 amostras de xistos carbonosos da Unidade Córrego do Sítio Intermediária. Comparativo com teores do padrão *NASC (North American Sediment Composite*, em média de 60 amostras)

Razão Cr/Ni em 122 amostras			
	Crppm	Nippm	Cr/Ni
Média	269,13	160,92	1,72
Máxima	525,00	280,0	3,56
Mínima	74,00	54,00	1,15
Desvio padrão	87,81	50,55	0,48

Fonte: Gromet *et al.* (1984).

TABELA 7.3
Teores médios de La e Yb (ppm), razão La/Yb para 81 amostras analisadas da Unidade Córrego do Sítio Intermediária. Comparativo com teores do padrão *NASC (North American Sediment Composite*, média de 60 amostras.

Razão La/Yb em 81 amostras			
	Lappm	Ybppm	La/Yb
Média #81	23,40	2,09	11,36
NASC (Gromet <i>et al.</i> , 1984)	31,10	3,06	10,16
Condrito (Nakamura, 1977)	0,33	0,22	1,50

Fonte: Gromet *et al.* (1984) e Condrito & Nakamura (1974).

- As rochas metassedimentares são tipicamente similares ao *NASC (GROMET et al., 1984)* com somatórios de ETR, ETRL e ETRP levemente empobrecidos em relação a este padrão. Apresentam anomalias negativas de Eu/Eu^* e proveniência mista variando desde fonte vulcanogênica máfica/ultramáfica a granítica continental, similar ao descrito por Baltazar & Zucchetti (1998) para as rochas sedimentares do Grupo Nova Lima no QF.
- O somatório de ETR, ETRL e ETRP das rochas metabásicas mostram que estas rochas são enriquecidas por 4 a 150 vezes em relação ao Condrito (NAKAMURA, 1974) e apresentam anomalias positivas de Eu/Eu^* , com discreta dispersão para valores negativos. Este dado mostra que estas rochas derivam de um magma mais diferenciado, talvez de composição intermediária.

- As metabásicas com alteração carbonática mostram os mais baixos teores de SiO_2 e o menor somatório de ETR. As metabásicas com alteração clorítica têm teores de SiO_2 e total de ETR intermediários. Já as metabásicas com piroxênio têm os maiores teores em SiO_2 e maiores somatórios de ETR, indicando um *trend* crescente de diferenciação e fracionamento do magma, o que pode indicar uma origem única.
- As anomalias positivas de Eu/Eu^* descritas para metabásicas geralmente estão associadas a concentrações de Eu^{+3} em plagioclásio (ROLLINSON, 1993), que é formado na fase final de cristalização fracionada, pois este mineral retém o Eu^{+3} . Com o avanço da cristalização fracionada, os termos mais diferenciados apresentam anomalia negativa ou inferior aos tipos menos diferenciados.
- As metabásicas com piroxênio têm valores máximos de Eu/Eu^* de 1,47, que são superiores ao valor máximo de 1,00 das metabásicas com alteração clorítica e 1,13 da metabásica com alteração carbonática. Isto sugere, portanto, que as metabásicas com piroxênio são as rochas menos primitivas do conjunto.

8 REFERÊNCIAS

ALKMIM, F.F., 1985. Sedimentologische lithostratigraphische und tektonische untersuchungen in den Serra de Ouro Branco, Minas Gerais, Brasilien. Ph. D. thesis, Technical University of Clausthal, Clausthal-Zellerfeld, Germany.

ALKMIN, F. F., Marshak, S. 1998. Transamazonian orogeny in the southern São Francisco Craton Region, Minas Gerais, Brazil: evidence for paleoproterozoic collision and collapse in the Quadrilátero Ferrífero. *Precambrian Research*, v. 90, p. 29-58.

ALKMIN, F.F., 1987. Modelo deposicional para a sequência de metassedimentos da Serra do Ouro Branco, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. *Bol. Soc. Bras. Geol., Núcleo Minas Gerais* 6, 47 - 68.

ALKMIN, F.F., Brito neves, B.B., Castro Alves, J.A., 1993. Arcabouço tectônico do Cráton do São Francisco. Uma revisão. In: DOMINGUEZ, J.M.L., MISI, A., (Eds.), O Cráton do São Francisco. *Soc. Bras. Geol., Núcleo Bahia/Sergipe. Soc. Bras. Geol., Vol 1*, PP. 337-340.

ALMEIDA, F. F. M. 1967. Origem e evolução da Plataforma brasileira. *Divisão de Geologia e Mineralogia. Boletim* 241, p. 36.

ALMEIDA, F. F. M. 1976. Estruturas do Pré-Cambriano Inferior Brasileiro. In: 29º Congresso Brasileiro De Geologia, 1976, Ouro Preto. *Resumos SBG*, p. 201-202.

ALMEIDA, F. F. M. 1977. O Cráton do São Francisco. *Rev. Bras. Geociências*, v. 7, n. 4, p. 349-364.

ALMEIDA-ABREU P.A., Renger F.E. 2002. Serra do Espinhaço Meridional: Um orógeno de colisão do mesoproterozóico - *Revista Brasileira de Geociências*, v 32 (1) : p 1 - 14: 14pp.

ALMEIDA-ABREU P.A., Renger F.E. 2007. Stratigraphy and fácies of the southern Serra do Espinhaço, Minas Gerais, Brazil. *Z.d.t. Ges. Geowiss.*, v.158/1. P 9 - 29. 22pp.

BABINSKI, M., Chemale, J. R., Van Schmus, W.R. 1991. Geocronologia Pb/Pb em rochas carbonáticas do Supergrupo Minas, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. In: 3º Congresso Brasileiro De Geoquímica. São Paulo. *Anais SBGq*, v. 1, p. 628-631.

BALTAZAR, O. F. 1998a. Geologia Estrutural. *apud* Zucchetti, M.; Baltazar, O. F (Eds.). Projeto Rio das Velhas: Texto explicativo do mapa geológico integrado, escala 1: 100.000. 2ª ed. Belo Horizonte: DNPM/CPRM, p. 47-51.

BALTAZAR, O. F.; Pedreira, A. J. 1998. Associações litofaciológicas. *Apud*. M. Zucchetti, O. F. Baltazar (Eds.), Projeto Rio das Velhas – Texto Explicativo do Mapa Geológico Integrado, escala 1: 100.000. Departamento Nacional de Produção Mineral/CPRM – Serviço Geológico do Brasil, Belo Horizonte, pp.43-47.

BALTAZAR, O. F.; Silva, S. L. 1998. Mapa Geológico Integrado do Supergrupo Rio das Velhas, escala 1: 100.000 APUD. . M. Zucchetti, O. F. Baltazar (Eds.), Projeto Rio das Velhas – Texto Explicativo do Mapa Geológico Integrado, escala 1: 100.000. Departamento Nacional de Produção Mineral/CPRM – Serviço Geológico do Brasil, Belo Horizonte, pp.43-47.

BALTAZAR, O. F.; Zucchetti, M. 2007. Lithofacies associations and structural evolution of the Archean Rio das Velhas greenstone belt, Quadrilátero Ferrífero, Brazil: A review of the setting of gold deposits. *Ore Geology Reviews*. 29 p.

BALTAZAR, O.F., Corrêa Neto, A.V., Silva, S.L., Zucchetti M., Carvalho, J.B., Raposo, F.O.; 1994. Uma tentativa preliminar de aplicação da estratigrafia de seqüências ao Greenstone Belt Rio das Velhas, Quadrilátero Ferrífero (MG). *Boletim de Resumos Expandidos do 38º Congr. Bras. Geol.*, 1, 82-83 p.SBG. Camboriú.

BARBOSA, A.L.M. 1968. Contribuições recentes à geologia do Quadrilátero Ferrífero. SBG-MG, reimpressão (1985): UFMG, Inst Geoc., Depto Geol., 44 p *Boletim do Departamento Nacional da Produção Mineral* 54. 9-54 p.1968.

BARBOSA, O. 1949. Contribuição à geologia do centro de Minas Gerais. *Mineração e Metallurgia*, 14 (79): p. 3-19.

BARBOSA, O. 1961. Tectônica do Quadrilátero Ferrífero de Minas Gerais. *In: Semana de Estudos Geológicos e Econômicos do Quadrilátero Ferrífero, Ouro Preto. Boletim...Ouro Preto, SICEG, v.1, p. 49-52.*

BAU, M.1991. Rare-earth element mobility during hydrothermal and metamorphic fluid rock interaction and the significance of the oxidation state of Europium. *Chem. Geol.*, 93: 219 - 230.

BENNEL, M. 2001. Report on geological modeling of the gold mineralization in the Corrego do Sitio Project, Santa Barbara Municipality, Minas Gerais, Brazil. p.60.

BIERLEIN, F.P.; Fuller, T.; Stüwe, K.; Arne, D.C., Keays, R.R. 1998. Wallrock alteration associated with turbidite hosted gold deposits. Examples from Paleozoic Lachlan Fold Belt in central Victoria, Australia. *Ore Geology Reviews*: 13, p. 345-380.

BJORLYKKE, K.O. 1989. Sandstone diagenesis and porosity during basin evolution. *Geologische Rundschau*, 78, 169-205.

BOYLE, R.W. 1986. Gold deposits in turbidite sequences: their geology, geochemistry and history of the theories of their origin: In *Turbidite-hosted gold deposits*, Editors: Keppie, J. Duru:an, Boyle, R.W. and Haynes, S.J., Geological Association of Canada Special Paper 32, 1986. p. 1-13.

CANALE, A. L.1999. Geologia do Depósito Córrego do Sitio, Quadrilátero Ferrífero (MG), e Caracterização Mineralógica do Minério Sulfetado. 1999. 142 f. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Rio Grande do Sul.

CANALE, A.L., Chemale Jr., F. 1997 b. Microtexturas do minério aurífero da Mina Córrego do Sítio, QF, MG: Implicações no controle da mineralização. VI SNET, SBG/Núcleo Brasília- UnB - IG. Pirenópolis, GO. Resumos expandidos: p. 189-192.

CANALE, A.L., Chemale Jr., F. 1997 c. Geologia, mineralogia e química mineral do depósito aurífero da Mina Córrego do Sítio, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. 9º Simpósio de Geologia de Minas Gerais. Ouro Preto. SBG, *Anais*: 125-126.

CANALE, A.L.; Chemale Jr., F. & PulZ, G.M. 1997 a. Caracterização do minério aurífero da Mina Córrego do Sítio, QF, MG. *In*: Marini, N.J. (Ed.) Caracterização de minérios e rejeitos de depósitos minerais brasileiros. Dnrm/Direx/Padct/Gtm. Brasília. DF. Resumos expandidos: p. 47-51.

CARNEIRO, M.A. 1992. O Complexo Metamórfico Bonfim Setentrional (Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais): Litoestratigrafia e Evolução Geológica de um Segmento de Crosta Continental do Arqueano. São Paulo, 233p. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo.

CASTRO E SOLLA, L. 1968. A influência portuguesa nas minas do Brasil (1500 - 1822). Bol. Minas. Lisboa v 5(2). pp. 69-81.

CHEMALE JR., Rosière, C. A.; Endo, I. 1994. The tectonic evolution of the Quadrilátero Ferrífero. Minas Gerais, Brazil. *Precambrian Research*, v. 65, p. 25-54.

CHEMALE, F., Rosière, C.A., Endo, I., 1991. Evolução Tectônica do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais—um modelo. *Pesquisas da Univ. Federal do Rio Grande do Sul* 18, 104–127.

COLVINE, A. C. 1989. An empirical model for the formation of Archean gold deposits: Products of final cratonization of the Superior Province, Canada *apud* KEAYS, R. R.; RAMSAY, W. R. H.; GROVES, D. I. (eds). *The geology of gold deposits: The perspective in 1988: Economic Geology Monograph*, v. 6, p. 37-53.

CONDIE, K.C. 1981. *Archean Greenstone Belts*. Amsterdam, Elsevier, 433p.

CORDANI, U.G.; Kawashita, K.; Mueller, G.; Quade, H.; Reimer, V.; Roeser, H.P. 1980. Interpretação tectônica e petrológica de dados geocronológicos do embasamento do bordo sudeste do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 52:785-799.

CORRÊA NETO, A. V. 2001. Análise estrutural nos setores sul e sudeste do sistema de cisalhamento Fundão – Cambotas, Quadrilátero Ferrífero, Brasil. 2001. 165 p. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio de Janeiro.

CORRÊA NETO, A.V.; Baltazar, O.F. 1995. Evolução estrutural do greenstone belt Rio das Velhas no interior do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brasil. Belo Horizonte, CPRM. 2p. (Relatório interno).

COSTA, M.T.da. 1961. Sedimentação e orogênese da Série de Minas. Ouro Preto, SICEG. p. 55-61 (Boletim 1). deformation history. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 79: 241-251.

COX, S.F., Sun, S.S.; Etheridge, M.A.; Wall, V.J. & Potter, T.F. 1995. Structural and Geochemical Controls on the Development of Turbidite-Hosted Gold Quartz Vein Deposits, Wattle Gully Mine, Central Victoria, Australia. *Economic Geology*, vol. 90, p. 1722-1746.

CROCCO-RODRIGUES, F.A. 1991. Sistemas de cavalgamento e geologia estrutural da Serra das Cambotas, Quadrilátero Ferrífero, MG. Dissertação de Mestrado, UnB.

DARDENNE, M.A. & Schobbenhaus, C. 2001. Metalogênese do Brasil. Brasília, Editora Universidade de Brasília, 329 p.

DAVID, M. E. V. 2006. Composição Isotópica de Pb, Sr e Nd da Mineralização de Ouro do Depósito Córrego do Sítio, Quadrilátero Ferrífero (MG): implicações na modelagem conceitual. 2006. 76 f. Dissertação de Mestrado, IGc-USP.

DAVIS, H. D. 1984. Structural Geology of Rocks and Regions. *John Wiley & Sons*, New York, 492 p.

DEER, W.A., Howie, R.A.; Zuzman, J. 1992. An Introduction to the Rock-Forming Minerals. 2ª ed., reimpressão 1996. Longman.

DELGADO, I.M.; Souza, J.D.; Silva, L.C.; Silveira Filho, N.C.; Santos, R.A.; Pedreira, A.J.; Guimarães, J.T.; Angelim, L.A.A.; Vasconcelos, A.M.; Gomes, I.P.; Lacerda Filho, J.V.; Valente, C.R.; Perrotta, M.M., Heineck, C.A. 2003. Geotectônica do Escudo Atlântico. In: L.A. Bizzi; C. Schobbenhaus; R.M. Vidotti & J.H. Gonçalves (eds.) Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil. CPRM, Brasília, p. 227-246

DERBY, O. A. 1906. *The Serra do Espinhaço, Brazil. J. Geol.*, v. 14, n. 5, p. 374-401.

DORR II, J. V. N. Physiographic, stratigraphic and structural development of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. U.S. Geological Survey. Professional Paper, v. 641-A, p. 110, 1969.

DORR II, J.V.N., Barbosa, O. 1963. Geology and ore deposits of the Itabira district, Minas Gerais, Brazil. - U.S.Geol. Survey Prof. Paper 341-C - Wahington.

Dorr II, J.V.N.; Gair, J.E.; Pomerene, J.G.; Ryneanson, G.A. 1957. Revisão da estratigrafia pré-cambriana do Quadrilátero Ferrífero. Departamento Nacional da Produção Mineral - Divisão de Fomento da Produção Mineral, 81: 1-31 (avulso).

DOSSIN I.A., Dossin T.M., Charvet J., Cocherie A., Rossi P.1993. 1992. Single-zircon dating by stepwise Pb-evaporation of Middle Proterozoic magmatism in the Espinhaço Range, Southeastern São Francisco Craton (Minas Gerais, Brazil). In: SBG, Simp. Cráton São Francisco, 2, Salvador, *Anais*, 39-42.

DUSSIN, I.A. & Dussin, T.M. 1995. Supergrupo Espinhaço: Modelo de evolução geodinâmica. - *Geonomos*. 3/1.

DUSSIN, T.M., Dussin, I.A., Rossi, P. & Charvet, J. 1994. Dating of the Mesoproterozoic tensional event in the Espinhaço Range, Southeastern of the São Francisco Craton (SE Brazil). in:Dussin, I.A.: Evolution structurale de la region de l'Espinhaço Meridional, bordure sud-est du craton São Francisco, Brésil. -Tese de Doutorado, Univ. Orléans, p. 105 - 133.

EILU, P.K.; Mathison, C.I.; Groves, D.I., Allardyce, W.J. 1999. Atlas of alteration assemblages, styles and zoning in orogenic lode-gold deposits in a variety of host rock and metamorphic settings. The University of Western Australia Publication No. 30 - 41 p.

ENDO, I., 1997. Regimes tectônicos do Arqueano e Proterozóico no interior da placa SanFranciscana: Quadrilátero Ferrífero e áreas adjacentes, Minas Gerais. Ph.D. Thesis, Universidade de São Paulo, 243 pp

ENDO, I., Fonseca, M.A., 1992. Sistema de cisalhamento Fundão-Cambotas no Quadrilátero Ferrífero, MG: Geometria e cinemática. Revista da Escola de Minas. Simpósio de Geologia de Minas Gerais, 6. Ouro Preto, SBG, Núcleo Minas Gerais, 1991. 56 (45):28-31.

ESCHWEGE, W.L. von. 1822. Geognostisches Gemälde von Brasilien und wahrscheinliches Muttergestein der Diamanten. Landes-Industrie-Comptoir, Weimar, 44 pp.

ESPADA, E. 2003a Geological and Structural mapping of the Corrego do Sitio Archaean lode gold mine District, Iron quadrangle, Minas Gerais, Brazil. Prepared for Anglogold Brazil, p. 60.

Espada,E. 2003b. Structural control and exploration potential of the AngloGold Corrego do Sitio gold mine District, Iron quadrangle, Minas Gerais, Brazil. XV Geological & mineral resource Conference Anglogold,Village Club,West Wits.p.1-8.

FERRAND, P. 1894. O Ouro em Minas Gerais.tradução Julio Castanon Guimaraes e João Henrique Grossi Sad. Coleção Mineiriana.

FERRARI, P.G. 1980. Considerações geológicas da faixa bordejante à Serra do Curral entre Ibirité e a Serra da Piedade. Ouro Preto, SICEG. p.80-98 (Boletim 21).

FERREIRA DA SILVA, L. C.2007. Depósito Pilar: Contexto geológico, alteração hidrotermal e mineralização aurífera. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Minas Gerais, 123 p.

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. (Ed.). 1984. Gold '82: The Geology, Geochemistry and Genesis of Gold Deposits. A.A. Balkema. Rotterdam: 753 p.

FREYBERG, B. 1932. Ergebnisse geologischer forschung in Minas Gerais (Brasilien) – Neves Jb. Min. Geol..U.Paleon. Sonderband II,XI, Stuttgart.

GAIR, J. E. 1962. Geology and ore deposits of the Nova Lima and Rio Acima Quadrangles, Minas Gerais, Brazil. Geological Survey Professional Paper, v. 341-A, p. 65.

GEBRE-MARIAM, M.; Hagemann, S. G.; Groves, D. I. 1995. A classification scheme for epigenetic Archean lode-gold deposits. *Mineralium Deposita*, v. 30, p. 408-410.

GORCEIX, H. 1884. Bacias terciárias d'água doce nos arredores de Ouro Preto (Gandarela e Fonseca), Minas Gerais, Brasil: Ouro Preto Escola de Minas Annaes, v.3. p. 95 - 114.

GROMET L. P., Dymek R. F., Haskin L. A., AND Korte R. L. 1984 The "North American shale composite" its compilation, major and trace element characteristics. *Geochim. Cosmochim. Acta* 48, 2469–2482.

GROVES, D.I., Goldfarb, R.J., 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 Geol. Rev.* 13, 7-27.

GROVES, D.I.; Goldfarb, R.J.; Robert, F.; Hart, C.J.R. 2003. Gold deposits in metamorphic belts: Overview of current understanding, outstanding problems, future research, and exploration significance. *Economic Geology*. v 98.p1 -20.

GUERRA, W.J.; 1979. Stratigraphie und Sedimentologie des proterozoischen Moeda-Quartzits der Minas Serie des Eisernen Vierecks, Minas Gerais Brasilien. Ph. D. Thesis. 271 pp.

GUIMARÃES, D. 1931. Contribuição à geologia do estado de Minas Gerais. *Boletim DNPM/SGMB*, 55, 36 p.

GUIMARÃES, D. 1966. Contribuição ao estudo do polimetamorfismo da Série Minas. *DNPM – Avulso*, v. 90, p. 54.

GUIMARÃES, D. 1970. Arqueogênese do ouro na região central de Minas Gerais. *Bol.* 139. *DNPM/DFPM*. 51 p.

HACKSPACKER, P.C. 1980. Análise estrutural na sequência proterozóica Minas na área de Águas Claras, Minas Gerais, In: Congresso Brasileiro de Geologia, 38. Camburiú, Anais...Camburiú, SBG. 5, 2604-2615 p.

HARDER, E. C., Chamberlain, R. T. A. 1915. The geology of central Minas Gerais, Brazil. *J. Geol.*, v. 23, n. 4, p. 341-378, n. 5, p. 385-424.

HARTMANN, L.A., Delgado, I.M. 2001. 2001. Cratons and orogenic belts of the Brazilian shield and their contained gold deposits. *Mineralium Deposita* (2001). V.36: 207 - 217. 11pp.

HEINECK, C.A. 1983. Programa de Ouro no Brasil: Minas e jazidas antigas de Ouro no Brasil - Parâmetros geológicos e mineiros. Minas Gerais. Brasil. 1983. SUREG-BH. 239.pp.

HERZ, N. 1970. Gneissic and igneous rocks of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. Washington, US Geol. Surv. 58p. (Prof. Pap. 641-B).

HERZ,N. 1978. Metamorphic rocks of the Quadrilátero ferrífero , Minas Gerais , Brazil. Geological Survey Professional paper 641-C. p.81.

HOBBS, B. E.; Means, W. D., Williams, P. F. 1976 – An outline of Structural Geology. *John Wiley & Sons*, New York, 571 p.

HODGSON, C.J., 1989, The structure of shear-related, vein-type gold deposits: A review: *Ore Geology Reviews*, v. 4, p. 231–273.

HOEFS, J.; Muller, G.; Schuster, A.K. 1982. Polymetamorphic relations in iron ores .Int. Symp. on Archean and Early Proterozoic. *Geol. Evol. and Metallogenesis (ISAP)*,Salvador. Excursion Annex, 44 p.

HOLCOMBE, R. 2005. Report on structural framework of Corrego do Sitio underground exploration workings. Prepared for Anglogold Brazil.p10.

JAMES, H.L. 1954. Sedimentary facies of iron-formation. *Economic Geology*. V. 49. Pp. 235-293.

JORDT-EVANGELISTA, H.; 1984. Petrologische Untersuchungen im Gebiete zwischen Mariana und Ponte Nova. Minas Gerais, Brasilien. Ph.D. Thesis. TU Clausthal. 183 pp.

JOST, H. 2005^a. Relatório de Resultados – Estudos Petrográficos – Lote 01: Diques. Relatório Interno da AGABM, p. 10.

JOST, H. 2005^b. Relatório de Resultados – Estudos Petrográficos de Veios e Alteração Hidrotermal. Relatório Interno da AGABM, p. 07.

JUNQUEIRA, P.A., 1997. Geologia do depósito de ouro da Mina de Raposos, Quadrilátero Ferrífero, com ênfase na alteração hidrotermal. MSc Thesis, Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Geociências, Belo Horizonte, Brazil, 141 pp.

JUNQUEIRA, P.A.; Lobato, L.M., Ladeira, E.A.; Simões, E.J.M. 2007. Structural control and hydrothermal alteration at the BIF-hosted Raposos lode-gold deposit, Quadrilátero Ferrífero, Brazil. *Ore Geology Reviews* v. 32- pp. 629-650. 22 p.

LADEIRA E.A. 1981^b. Observações microscópicas em luz refletida e transmitida sobre o modo de ocorrência de ouro em amostras de minério sulfetado aurífero e de filito grafitoso encaixante da mina de Cuiabá. *Mineração Morro Velho S.A.*, Nova Lima, 11 p.

LADEIRA E.A.; 1981^a. Observações geológicas em áreas de interesse mineral da Mineração Morro Velho S. A., nos Supergrupos Rio das Velhas e Minas, Minas Gerais. Relatório Inédito, *Mineração Morro Velho S.A.*, Nova Lima, 25 p.

LADEIRA, E. A. 1980. Metallogeneses of gold at the Morro Velho Mine and in the Nova Lima District, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. 1980. 272 f. Tese de Doutorado. University of Western Ontario.

LADEIRA, E. A., Roeser H.M.P., & Tobschall, H.J. 1983. Evolução petrogenética do cinturão de rochas verdes, Rio das Velhas, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. In: Simpósio de Geologia de Minas Gerais, 2. Belo Horizonte. Anais. Belo Horizonte, SBG/Núcleo Minas Gerais. 149-165 p.

LADEIRA, E. A.; 1985. Metalogênese do ouro na mina de Morro Velho e no distrito de Nova Lima, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brasil. Contribuições à Geologia e Petrologia, Núcleo Minas Gerais - SBG., 95 – 151 p.

LADEIRA, E. A.; Viveiros, J. F. M. 1984^a. Hipóteses sobre a reestruturação do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. *apud* SCHOBENHAUS, C.; COELHO, C. E. S. (Eds). Principais Depósitos Minerais do Brasil. Brasília: DNPM/CVRD, v. 3, p. 301-375.

LADEIRA, E.A. 1991. Genesis of gold in Quadrilátero Ferrífero: a remarkable case of permanency, recycling and inheritance - a tribute to Djalma Guimaraes, Pierre Routhier and Hans Ramberg. In: E.A. Ladeira (ed.) Proceedings of GOLD'91, the Economics, Geology, Geochemistry and Genesis of Gold Deposits. Rotterdam, A.A. Balkema, 11- 30p.

LADEIRA, E.A.; 1988. Metalogenia dos depósitos de ouro do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. In Schobenhau,C. & Coelho,.C.E.S., Principais Depósitos Minerais do Brasil, Brasília, DNPM – CVRD, p 301 – 376 p.

LOBATO, L. M; Ribeiro-Rodrigues, L. C.; Vieira, F. W. 2001b. Brazil's premier gold province. Part II: geology and genesis of gold deposits in the Archean Rio das Velhas greenstone belt, Quadrilátero Ferrífero. *Mineralium Deposita*, v. 36, p. 249-277.

LOBATO, L.M., Vieira, F.W.R., Ribeiro-Rodrigues, L.C., Pereira, L.M.M., Menezes, M.G., Junqueira, P.A., Martins-Pereira, S.L.1998. Styles of hydrothermal alteration and gold mineralization associated with the Nova Lima group of the QF: part I, Description of selected gold deposits. *Revista Brasileira de Geociências*. V. 28 (3): 339- 354.

LOBATO, L.M., Vieira, F.W.R.1998. Styles of hydrothermal alteration and gold mineralization associated with the Nova Lima group of the QF: part II, The Archean mesothermal gold-bearing hydrothermal system. *Revista Brasileira de Geociências*. V. 28 (3): 355- 366.

LOBATO, L.M.; Santos, J.O.S.; Mcnaughton, N.J.; Fletcher, I.R., Noce, C.M. 2007. U-Pb SHRIMP monazite ages of the giant Morro Velho and Cuiabá gold deposits, Rio das Velhas greenstone belt, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. *Ore Geology Reviews*:32. P. 674 - 680.

LOBATO, L.M.; Ribeiro-Rodrigues L.C.; Zucchetti. M.; Noce, C.M.; Baltazar, O.F.; silva, L.C., Pinto C.P. 2001a. Brazil's premier gold province. Part I: The tectonic, magmatic, and structural setting of the Archean Rio das Velhas greenstone belt, Quadrilátero Ferrífero. *Mineralium Deposita*: 36, p. 228-248.

LOCZY, L., Ladeira, E.A. 1976. *Geologia estrutural e introdução à Geotectônica*. Edgard Blucher. Rio de Janeiro. p.528.

LUCESI, I. 1991. *Evolução petrogenética e metalogenética da Serra da Boa Vista, Quadrilátero ferrífero – MG*. 127 p. Dissertação de mestrado. IG. USP.

MACDONALD, A.J. (Ed.), 1986. *Proceedings of Gold '86. An International Symposium on the Geology of Gold Deposits*. Toronto, 517 pp.

MACHADO N, Schrank A, Noce, CM, Gauthier G. 1996. Ages of detrital zircon from Archean-Paleoproterozoic sequences: implications for greenstone belt setting and evolution of a Transamazonian foreland basin in Quadrilátero Ferrífero, SE Brazil. *Earth Planet Sci Lett* 141:249 - 276.

MACHADO, N., Noce, C.M., Ladeira, E.A., Belo de Oliveira, O.A., 1992. U–Pb geochronology of Archean magmatism and Proterozoic metamorphism in the Quadrilátero Ferrífero, southern São Francisco Craton, Brazil. *Geol. Soc. Am. Bull.* 104, 1221–1227.

MACHADO, N., Schrank, A.; Abreu, F.R.; Knauer, L.G.; Abreu, P.A. 1989. Resultados preliminares da geocronologia U/Pb na Serra do Espinhaço Meridional. In: 5º Simpósio de Geologia de Minas Gerais. Belo Horizonte. SBG, Bol., v. 10, p. 171-174.

MACHADO, N.; Carneiro, M. A. 1992. U-Pb evidence of late Archean tecton-thermal activity in the southern São Francisco shield, Brazil. *Canadian Journal of Earth Science*, v. 29, p. 2341-2346.

MALOUF, R.F., Raposo, F.O. 1996. Projeto Rio das Velhas – Convênio DNPM/CPRM – Carta Geológica Catas Altas. SF 23-X-B-I-1-NO. 1:25.000.

MALOUF, R.F.; Corrêa Neto, A. V. 1996. Projeto Rio das Velhas – Convênio DNPM/CPRM – Carta Geológica Conceição do Rio Acima. SF 23-X-A-III-2-NE. 1:25.000.

MARTINS PEREIRA, S. L. 1995. *Controles Litoestruturais da Mineralização Aurífera no Distrito de Santa Bárbara, Quadrilátero Ferrífero, MG: Mina São Bento*. 1995. 158 f. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Minas Gerais.

MARTINS PEREIRA, S.L., Lobato, L.M., Ferreira, J.E., Jardim, E.C. 2007. Nature and origin of the BIF-hosted São Bento gold deposit, Quadrilátero Ferrífero, Brazil, with special emphasis on structural controls. *Ore Geology Reviews* (no prelo), 25 p.

MARTINS PEREIRA, S.L., Lobato, L.M., Rosière, C.A., Baars, F.J., Gradim, C., Silva, R.C.F., Ferreira, J.E., Alves, J.V., Rios, J.F., Lopes, L., Sobrinho, A.L.R. 2006. The interruption of the Au-Mineralisation in the São Bento Mine Orebodies (Minas Gerais, Brazil) and the impact of an archean mafic dyke-sill swarm. *Sessão Pôster –*

II Simpósio Brasileiro de Exploração Mineral – SIMEXMIN, Ouro Preto, CD-Rom, ADIMB.

MAXWELL, C. H. 1972. Geology and ore deposits of the Alegria District, Minas Gerais, Brazil. U.S. Geol. Survey; Prof. Paper, v. 341-J, p. 1-72.

MCCUAIG, T. C.; Kerrich, R. 1994, P-T-t-deformation-fluid characteristics of lode-gold deposits: Evidence from alteration systematics. *apud* LENTZ, D. R. (Ed.). Alteration and Alteration Processes Associated with Ore-forming Systems. Geol. Assoc. Can., Short Course Notes, v.11, p. 339-379.

MICHARD, A. 1989. Rare earth elements systematic in hydrothermal fluids. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 53:745-750.

MORAES, L.J. 1929. Geologia da região diamantina de Minas Geraes. Serviço Geológico Min., Rel Annual 1928.

MORAES, L.J. 1937. A industria extractiva do Ouro. SFPM/DNPM. Avulso 20. 23pp. separata n.07 da revista Mineração e Metalurgia.

MORAES, L.J., Barbosa, O. 1939. Ouro no centro de Minas Gerais- parte II- Petrologia da região aurífera de Caeté e Santa Bárbara.

MUELLER, A. G. 1991. The Savage lode magnesian skarn in the Marvel Loch gold-silver mine, Southern Cross greenstone belt, Western Australia: Part 1. Structural setting, petrography and geochemistry. *Canadian Journal of Earth Sciences*, v. 28, p. 659-685.

MUELLER, A. G.; Groves, D. L. 1991. The classification of Western Australian greenstone-hosted gold deposits according to wallrock alteration mineral assemblages. *Ore Geol. Rev.*, v. 6, p. 291-331.

NAKAMURA, N. 1974. Determination of REE, Ba, Fe, Mg, Na and K in carbonaceous and ordinary chondrites. *Geochem. Cosmochim. Acta*, 38:757-775.

NOCE, C. M., Pedrosa-Soares, A.C, Silva, L.C. Armstrong, R., Piuzana, D. 2007. Evolution of polycyclic basement complexes in the Araçuaí Orogen, based on U–Pb SHRIMP data: Implications for Brazil–Africa links in Paleoproterozoic time. *Precambrian Research*, v. 159, p. 060 -078.

NOCE, C. M.; Machado, N.; Teixeira, W. 1998. U-Pb geochronology of gneisses and granitoids in the Quadrilátero Ferrífero (southern São Francisco craton): age constraints for Achean and Paleoproterozoic magmatism and metamorphism. *Rev. Bras. Geociências*, v. 28, p. 95-102.

NOCE, C. M.; Tassinari, C.; Lobato, L. M. 2007. Geochronological framework of the Quadrilátero Ferrífero, with emphasis on the age of gold mineralization hosted in Archean greenstone belts. *Ore Geology Reviews*, v. 32, n. 2007, p. 500-510.

NOCE, C.M. 1995. *Geocronologia dos Eventos Magmáticos, Sedimentares e Metamórficos do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais*. São Paulo. 128p. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo.

NOCE, C.M. 2000. Geochronology of Quadrilátero Ferrífero: a review. *Geonomos, Revista de Geociências* 7: 15-23 p.

NOCE, C.M.; Zucchetti, M.; Baltazar, O.F.; Armstrong, R.; Dantas, E., Renger, F.E., Lobato, L.M. 2005. Age of felsic volcanism and the role of ancient continental crust in the evolution of the Neoproterozoic Rio das Velhas Greenstone belt (Quadrilátero Ferrífero, Brazil). U-Pb zircon dating of volcanoclastic graywackes. *Precambrian Research*: 141 (2005), p. 067-082.

O'ROURKE, J.E. 1957. The stratigraphy metamorphic rocks of the Rio das Pedras and Gandarela Quadrangles, Minas Gerais, Brazil. 106p. PhD Thesis- University of Wisconsin, EUA.

OLIVEIRA, A.J. 1938. Ouro no estado de Minas Gerais- Rel Dir. DNPM / SFPM. Bol 31.

OLIVEIRA, G.A.E., Clemente, P.L.C., Vial,D.S. 1983. Excursão à Mina de Morro Velho. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DE MINAS GERAIS, 2, Belo Horizonte, 1983. *Anais*, Belo Horizonte, SBG, *Boletim*, 3:497-505.

PASSOS, R.V. 1999. Caracterização da geometria de zonas de alteração hidrotermal – estudo de caso no depósito aurífero de Brumal, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. Universidade Estadual de Campinas – Unicamp. Dissertação de mestrado, 190p.

PEDROSA-SOARES, A.C., 1995. Potencial aurífero do Vale do Aracuaí, Minas Gerais: história da exploração, geologia e controle tectono-metamórfico. Ph.D. Thesis, Universidade de Brasília, Brazil.

PETTIJOHN, F. J. 1975. *Sedimentary Rocks*. Harpers & Row, Publishers, Inc. 3ª ed., p 100-126; 195-314.

PETTIJOHN, F.J., Potter, P.E., Siever, R. 1972. *Sand and Sandstone*. Springer-Verlag, New York.

PFLUG, 1965a. Die präkambrische Miogeosynklinale der Espinhaço-Kordilliere, Minas Gerais, Brasilien. - *Geol. Rundschau*, Bd. 56, p. 825 - 844.

PFLUG, 1965b. A geologia da parte meridional da Serra do Espinhaço e zonas adjacentes, Minas Gerais. DNPM/ DGM, 55 p. (Boletim 226).

PFLUG, R. 1968. Observações sobre a estratigrafia da Série Minas na região de Diamantina, Minas Gerais. - DNPM, DGM, Notas preliminares e estudos. Vol. 142, 20 p.

PFLUG, R., Renger, F. 1973. Estratigrafia e evolução geológica da margem do Craton Sanfranciscano. - 27. Congr. Bras. Geol.,Anais, vol. 2, p. 5 - 19.

POMERENE, J.B. 1964. Geology and ore deposits of the Belo Horizonte, Ibirité, and Macacos quadrangles, Minas Gerais, Brazil: U.S. Geol. Survey Prof. Paper 341-D, 84 p.

PORTO, C. G. 2008. A mineralização aurífera do depósito Córrego do Sítio e sua relação com o enxame de diques metamáficos no corpo Cachorro Bravo-Quadrilátero Ferrífero- Minas Gerais. 2008. 117 f. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Minas Gerais.

PORTO, C.G, Lima, L.C. 2006. Revisão do mapa geológico do depósito Córrego do Sítio. 1: 5.000. Mapa interno da AGABM.

PORTO, C.G.; Lobato, L.M., Massucatto, A.J. 2006. Caracterização da Mineralização Aurífera de Córrego do Sítio. Sessão Pôster – II Simpósio Brasileiro de Exploração Mineral – SIMEXMIN, Ouro Preto, maio 2006. CD-Rom, ADIMB

RAGLAND, P.C.1989. Basic Analytical Petrology. New York, Oxford University Press. 236p.

RAMSAY, J. G, Huber, M. I. 1983. The Techniques of Modern Structural Geology, Volume I: Strain Analysis. Academic Press, London.

RAMSAY, W. R. H, Bierlein, F.P., Arne, D.C., Vandenberg, A.H.M. 1998. Turbidite-hosted gold deposits of Central Victoria, Australia: their regional setting, mineralising styles, and some genetic constraints. Ore Geology Reviews, v. 13, p.131-151, 1998.

RANKIN, L.R. 2006. Quadrilátero Ferrífero Project Southern Brazil: Structural controls on gold mineralization and targeting. Geointerp Confidential report 2006/12. 67 p.

RENGER,F.S., Noce, C.M., Romano, A.W., Machado, N., 1994. Evolução sedimentar do Supergrupo Minas: 500 Ma. de registro geológico no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brasil. Geonomos, v 2 n. 1, p.1-11.

RIBEIRO-RODRIGUES L.C 1998, Gold mineralization in Archaean Banded Iron-Formation of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil - The Cuiabá Mine, . Augustinus Verlag, Aachener Geowissenschaftliche Beiträge Band 27. PhD Thesis, Aachen University of Technology, Aachen, Germany, 264 pp.

RIBEIRO-RODRIGUES, L. C.; Chemale Jr, F.; Jost, H. 1993. O sistema de falhas do Caraça. In: 4º SIMPOSIO NACIONAL DE ESTUDOS TECTÔNICOS.Belo Horizonte. Anais.

RIBEIRO-RODRIGUES, L.C.; Oliveira, C.G.; Gunther, F. 2007. The Archean BIF-hosted Cuiabá Gold deposit, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. Ore Geology Reviews. 28 p.

RICHARD, L.R.1988. MINPET - Mineralogical and Petrological data processing system.Version 2.2. ©1988-1995.

RIDLEY, J.; Groves, D. L.; Hagemann, S. G. 1995. Exploration and Deposit Models for Gold Deposits in Amphibolite/Granulite Facies Terrains. MERIWA Rep., v. 142, p. 126.

ROBERT, F.; Kelly, W. C. 1987. Ore-forming fluids in Archean gold-bearing quartz veins at the Sigma Mine, Abitibi greenstone belt, Quebec, Canada. Econ. Geol., v. 82, p. 1464-1482.

ROLLINSON, H. R. 1993. Using geochemical data: evaluation, presentation, interpretation. Longman Group UK Limited, p. 1-213.

ROSSI, G. 2010. Quartzitos e metaconglomerados auríferos da Sequência da Serra da Boa Vista, borda leste do Quadrilátero Ferrífero, MG, Brasil. p. 283 Dissertação de Mestrado. IG-USP.

RYNEARSON, G.A., Pomerene, J.B., Dorr II, J.V., 1954. Contato basal da Série Minas na parte ocidental do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais Brasil. Departamento Nacional da Produção Mineral, Divisão de Geologia e Mineralogia, Rio de Janeiro, Avulso, vol. 34, pp. 1-18.

SCHOBENHAUS, C. 1981. Geologia do Brasil. Mapa geológico do Brasil. MME/DNPM. Brasília. 1: 2.500.000.

SCHOBENHAUS, C. O 1978. Proterozóico Médio no Brasil com ênfase à Região Centro-Leste. - Tese de Doutorado, Univ. Freiburg / Alemanha, 166 p.

SCHÖLL, W.U., Fogaça, A.C.C. 1979. Estratigrafia da Serra do Espinhaço na região de Diamantina. - 1. Simp. Geol MG, SBG.

SCHÖLL, W.U., Fogaça, A.C.C. 1981. Mapeamento geológico das quadrículas Guinda e Gouveia (MG). - Projeto Mapeamento Espinhaço, Conv. DNPM/UFMG, Rel. inédito, 51 p.

SCHORSCHER, H. D. 1976. Polimetamorfismo do Pré-Cambriano na região de Itabira, Minas Gerais. In: 29º CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA. Belo Horizonte, 1976. Resumos SBG, p. 194-195.

SCHORSCHER, H. D. 1978. Komatiitos na estrutura *greenstone belt* Série Rio das Velhas, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brasil. 30º CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA. Recife, PE. Anais. v. 1, p. 292-293.

SCHORSCHER, H.D., 1979. Evolução geotectônica e petrogenética do embasamento arqueano do Quadrilátero Ferrífero. Anais Academia Brasileira de Ciências 51, 767-768.

SCHORSCHER, H.D., Guimarães, P.F.; 1976. Mina do Cauê. Estratigrafia e tectônica do Supergrupo Minas e Geologia do Distrito Ferrífero de Itabira. In: 29º Congresso Brasileiro de Geologia, 1976, Ouro Preto. Roteiro das Excursões, p. 75-86.

SCHORSCHER, H.D.; Santana, F.C., Polônia, J.C., Moreira, J.M.P., 1982. Quadrilátero Ferrífero - Minas Gerais State: Rio das Velhas Greenstone Belt and Proterozoic Rocks. Int. Symp. on Archean and Early Proterozoic. Geol. Evol. and Metallogenesis (ISAP), Salvador. Excursion Annex, 44 p.

SCHORSCHER, J. H. D. 1992. Arcabouço petrográficos e evolução crustal de terrenos pré-cambrianos do sudeste de Minas Gerais: Quadrilátero Ferrífero, Espinhaço Meridional e domínios granito-gnáissicos adjacentes. 394 f. 1992. Tese de livre-docência. Universidade de São Paulo.

SCHRANK, A., Machado, N., 1996. Idades U-Pb em monazitas e zircões do distrito aurífero de Caeté, da mina de Cuiabá e do depósito de Carrapato – Quadrilátero Ferrífero (MG). 39th Congresso Brasileiro de Geologia. SBG, Salvador, 6:473-475

SIBSON, R. H.; Robert, F.; Poulsen, K. H. 1988. High angle reverse faults, fluid-pressure cycling, and mesothermal gold-quartz deposits. *Geology*, v. 16, p. 551-555.

SIBSON, R.H., Scott, J, 1998. Stress and fault controls on the containment and release of overpressured fluids: Examples from gold–quartz vein systems in Juneau, Alaska; Victoria, Australia and Otago, New Zealand. *Ore Geology Reviews* 13, 293–306.

SICHEL, S.E., 1983. Geologia das rochas Pré-Cambrianas da região de Barão de Cocais e geoquímica preliminar dos komatiitos do Supergrupo Rio das Velhas, Quadrilátero Ferrífero, MG. MSc thesis, Departamento de Geologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, Brasil, 232 pp.

SICHEL, S.E., Valença, J.G.; 1983b. Geologia do Arqueano da região de Santa Bárbara, quadrilátero Ferrífero-MG. In: 2o Simpósio de Geologia de Minas Gerais, Soc. Bras.Geol., núcleo Minas Gerais, Belo Horizonte. ext. abstr.. vol., 197-208 p.

SILLITOE, R. H.; Thompson, J. F. H. 1998. Intrusion-related vein gold deposits: Types, tectono-magmatic settings and difficulties from Orogenic Gold deposits. *Resource Geology*, v. 48, p. 237-250.

SILVA, A. M. 1992. Geologia e Petroquímica dos Enxames de Diques Máficos do Quadrilátero Ferrífero e Espinhaço Meridional, MG. 117 f. 1992. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Brasília – UNB.

SILVA, A.M. 1995. Mafic Dike Swarms of Quadrilátero Ferrífero and Southern Espinhaço, Minas Gerais, Brazil. *Revista Brasileira de Geociências* 25 (2), p. 124-137.

SILVA, A.M.; Kuyumjian, R.M.; Chemale, JR. F. 1991. Mafic dykes swarms in the southern São Francisco Craton, Southeastern Brazil. In: International Symposium of Mafic Dykes, 3. São Paulo, 1991. Ext. abstract. São Paulo. P. 90-93.

SILVA, L.C. Petrologia e litogeoquímica. 1998. Apud Zucchetti, M. & Baltazar, O.F. (Eds). Projeto Rio das Velhas- *Texto explicativo do mapa geológico integrado, escala 1: 100.000, 2ª ed. Belo Horizonte*, DNPM/CPRM, 52-100. pp.

SILVA, S. L. 1996. Sinopse geológica da folha Santa Bárbara. Projeto Rio das Velhas. Mapeamento geológico 1: 25.000. p. 11 – 16.

SIMMONS, G. C.1968a. Geology and iron deposits of the Western Serra do Curral, Minas Gerais, Brazil. Geological Survey professional paper, v. 341-G, p. 57.

SIMMONS, G. C.1968b. Geology and mineral resources of the Barão de Cocais Area Minas Gerais, Brazil. Geological Survey Professional paper, v. 341-H, p. 46.

SMITH, T. J.; Cloke, P. L.; Kesler, S. E. 1984. Geochemistry of fluid inclusions from the McIntyre-Hollinger gold deposit, Timmins, Ontario. Canada. *Econ. Geol.*, v. 79, p. 1265-1285.

TAKAI, V.; Pinto, L. C.; Duchini JR., J.1991. Córrego do Sítio Gold Deposit. *apud* Ladeira, E. A. (Ed.) Brazil Gold'91 The economics, geology, geochemistry and gênesis of gold deposits. Balkema, Rotterdam: p. 811-816.

TAYLOR, S.R, Maclennan, M.1985. The continental crust: Its composition and evolution. *An Examination of the Geochemical Record Preserved in Sedimentary Rocks*. Blackwell Scientific Publications. Cap.7 – *The Archean Crust*, p. 143-190.

TEIXEIRA, W. 1985. A evolução geotectônica da porção meridional do Craton do São Francisco, com base em interpretações geocronológicas. (Tese de Doutorado, USP). 207 p.

TEIXEIRA, W., Carneiro, M.A., Noce, C.M., Machado, N., Sato,K., Taylor, P.N. 1996. Pb, Sr and Nd isotope constrains on the Archaean evolution of gneissic -granitoid complexes in São Francisco Craton, Brazil. *Precambrian Research*, 78:151-164.

THOMPSON, J. F. H. (Ed.).1995. Magmas, Fluids and Ore Deposits. Min. Assoc. Can., Short Course Ser., v. 23, p. 367-400.

THORMAN, C.H.; De Witt,E.; Maron, M.A.C.; Ladeira, E.A.2001.Major Brazilian gold deposits - 1982 to 1999.Mineralium Deposita (36) . p. 218 - 227

THORMAN, C.H.;Ladeira,E.A.,Schnabel.(Eds.). 1986. Gold deposits related to Greenstone belts in Brazil - Deposit Modeling workshop - part A - Excursions - Belo Horizonte , Brazil. p.87.

TOLBERT, G. E. 1964. Geology of the Raposos Gold Mine, Minas Gerais, Brazil. *Econ. Geol.*, v.59, p. 775-798.

TURNER, F. J., Weiss, L. E .1963 - Structural Analysis of Metamorphic Tectonites. *McGraw Hill*, New York, 545 p.

VARJÃO, 1991. A questão da correlação das superfícies de erosão do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. *Revista Brasileira de Geociências*, 21(2): 138-145.

VIAL, D. S, De Witt, E., Lobato, L.M., Thorman, C.H.2007a. The geology of the Morro Velho gold deposit in the Archean Rio das Velhas greenstone belt, Quadrilátero Ferrífero, Brazil. *Ore Geology Reviews* v. 32,p.511-542.

VIAL, D.S; Abreu, G.C., Schubert, G., Ribeiro-Rodrigues, L.C.2007b. *Smaller gold deposits in the Archean Rio das Velhas greenstone belt, Quadrilátero Ferrífero, Brazil*. Ore Geology Reviews, v.32.23 p. 651-673.

VIEIRA, F.W.R. 1991. Textures and processes of hydrothermal alteration and mineralization in the Nova Lima Group, Minas Gerais, Brazil. In: E.A. Ladeira (ed.) Brazil Gold'91: The economics, geology, geochemistry and genesis of gold deposits. Balkema, Rotterdam, p. 319-325.

VIEIRA, F.W.R., Oliveira, G.I. 1988. *Geologia do distrito aurífero de Nova Lima, Minas Gerais*. In: C. Schobenhau-Filho; C.E.S. Coelho (eds) Metais básicos não ferrosos, ouro e alumínio. Principais depósitos minerais do Brasil 3. DNPM/CVRD, Brasília, Brasil, p. 377-391.

VIEIRA, F.W.R. 1987. Gênese das mineralizações auríferas da mina de Raposos. 4th Simpósio de Geologia de Minas Gerais, SGB, Belo Horizonte, vol. 7, p. 358-368.

WILSON, J. 1999. Structure and mineralization within the Córrego do Sítio deposit, Minas Gerais, Brazil. Anglogold Brazil, p.15.

WOODALL, R. 1988. Gold in 1988. In: Goode A.D.T & Bosma L. 1a eds. Bicentennial Gold '88. Extended Abstracts and Oral Programme, pp. 1-12. Geological Society of Australia. Abstracts 22.

ZUCCHETTI, M. 1998. Geoquímica dos Metabasaltos do Grupo Nova Lima, Greenstone Belt Rio das Velhas, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. 97 f. 1998. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Minas Gerais.

ZUCCHETTI, M., Baltazar, O.F., Raposo, F.O., 1996. Estratigrafia. Apud: CPRM. Projeto Rio das Velhas – Texto explicativo do Mapa Geológico Integrado, escala 1:100.000. Belo Horizonte, Departamento Nacional de Produção Mineral/CPRM – Serviço Geológico do Brasil, pp. 13-42.

ZUCCHETTI, M., Baltazar, O.F., Raposo, F.O., 1998. Estratigrafia. Apud: M. Zucchetti and O. F. Baltazar (Eds.), Projeto Rio das Velhas – Texto explicativo do mapa geológico integrado, escala 1: 100.000. 2nd ed. Departamento Nacional de Produção Mineral / CPRM – Serviço Geológico do Brasil.

ZUCCHETTI, M.; Lobato, L. M., Baltazar, O.F. 2000a. Volcanic and volcanoclastic features in Archean rocks and their tectonic environment, Rio das Velhas Greenstone Belt, Quadrilátero Ferrífero, MG. Brazil. Rev. Bras. Geociências: 30, p. 388-392.

ZUCCHETTI, M.; Lobato, L.M, Baars, F. J. 2000b – Genetically diverse basalt geochemical signatures developed in the Rio das Velhas Greenstone Belt, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. Rev. Bras. Geociências: 30, p. 397-402.