



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO – UFRJ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA

RELATÓRIO
ESTÁGIO DE CAMPO IV-A
2000

Deformação e Mineralizações de Zn-Pb da
Mina Morro Agudo, Paracatu, MG

AUTOR: Marcelo dos Santos F. Ferreira

ORIENTADOR: Fernando R. M. Pires

EXAMINADORES: Antônio Carlos Jacome de Castro
Henrique Dayan

M
GL
F 383 D

ÍNDICE

Resumo	2
Abstract	3
Agradecimentos	4
Introdução	5
Localização e vias de acesso	6
Objetivos	7
Metodologia de trabalho	7
Histórico	8
Trabalhos anteriores	9
Nomenclatura utilizada	9
Geologia regional	10
Geologia da mina	11
Estratigrafia e petrologia	14
Metamorfismo	27
Geologia estrutural	27
Proposta anterior	28
Proposta atual	28
Mineralizações	46
Minério bandado	46
Minério tipo cimento	46
Minério venular e filoniano	47
Paragênese e sucessão	51
Dolomitização e silicificação	65
Discussões e interpretações	66
Conclusão	70
Bibliografia	71
Anexos	
Mapa da mina	
Perfil geral da mina	

RESUMO

A jazida de sulfetos de zinco-chumbo de Morro Agudo situada na região N-NW do Estado de Minas Gerais, está encaixada em rochas carbonáticas pertencentes ao Proterozóico Superior, Grupo Bambuí, Formação Vazante.

A mineralização está hospedada em dolarenitos calcíticos finos a grossos e em brechas intraformacionais, constituídas por clastos angulosos de dolomito e matriz dolarenítica calcítica. O minério compõe o cimento dessas rochas, substituindo a matriz carbonática anterior. Um minério posterior também é encontrado, preenchendo veios, fraturas e cavidades na rocha.

As feições texturais e estruturais encontradas nas rochas hospedeiras, evidenciam ambiente recifal, tipo recife de barreira, onde a mineralização está associada à zona *back reef* ou pós-recife.

Trata-se de um depósito bandado, tipo estratiforme com bandas de minério de alto teor intercaladas com níveis de baixo teor. Nesta feição encontram-se, às vezes, finas bandas de pirita e dolomita associadas, além de veios concordantes com esse bandamento composicional.

A jazida de Morro Agudo é classificada como sendo do tipo hidrotermal epigenética formada em zona de baixo grau metamórfico especificamente da clorita. A esfalerita e a galena foram depositadas em condições de baixa temperatura, não superior a 200 °C durante o anquimetamorfismo dessas rochas.

A estrutura geológica anteriormente considerava os estratos e o minério deslocados por sistemas de falhas gravitacionais. Na proposta atual são levados em conta dobras recumbentes associadas a empurrões com vergência para E, zonas de cisalhamento de baixo ângulo associadas seguida pelo falhamento acima descrito.

ABSTRACT

Morro Agudo Zn-Pb deposit is a typical stratabound, Upper Proterozoic Mineralization hosted in reef greyish dolarenite and dolomitic breccia (DAR), intercalated with greyish green dolomitic slate (SAD). It is located at the western border of the São Francisco craton, covered by the Bambuí platform basin. The general structure correspond to low angle eastward thrust associated with displaying three types of texture: disseminated, as a massive cement and narrow veins. The dark grey color of the sediments, presence of the carbonaceous matter and sulfides suggest a strongly reducing environment of deposition. The sulfides, which follow the main banding, are deformed and constitute a sequence of recumbent folds with eastward vergence. The relations between the S-banding and S-axial fold cleavages in the dolomitic slate, the existence of numerous recumbent folds, recently discovered within the mine are the evidences for the present structural interpretation. Structure evolution can be described as the generation of the recumbent folds followed by the development of shear zones along the limbs. Continuing the deformation, normal chevron, open folds and kink, under a ductile-brittle regime, have been superimposed to the recumbent folds, culminating with the generation of normal, high angle, gravitational faults with net slip around 10m. At the flanks of the recumbent folds boudinage structure partly truncated the mineralized zone.

AGRADECIMENTOS

O autor do presente relatório agradece pela oportunidade da realização do Estágio de Campo IV na mina de Morro Agudo, visando enriquecer profissionalmente o meu conhecimento na área de geologia.

O apoio da referida empresa se deu em diversas formas: transporte de ida e volta para a cidade de Paracatu, alimentação completa, hospedagem, acesso aos relatórios, mapas e perfis sobre a mineralização, cópias de todo o material, o livre acesso à mina, respeitando as normas de segurança etc.

Devo citar alguns nomes de pessoas que me ajudaram e que se colocaram a minha disposição no que fosse preciso. Dentre essas, o coordenador de geologia, Glacir Romagna; o engenheiro de minas, Francisco Assis de Oliveira; o técnico em geologia, Mauro Flávio Muniz; o Topógrafo, Jorge e sua equipe; o engenheiro da usina de beneficiamento, Osvando; o engenheiro de planejamento da mina, Dominginhos; os desenhistas e as secretárias.

Reservei este último parágrafo, como não podia deixar de ser, um agradecimento especial para o geólogo Celso Viviani, que me orientou durante a minha estadia na empresa, e que sempre se mostrou disposto a tirar dúvidas e a oferecer as melhores condições para que o trabalho se desenvolvesse da melhor maneira possível. E também não poderia deixar de falar da participação do professor Fernando R. M. Pires como orientador, que além de ter me indicado para o estágio, dedicou boa parte de seu tempo para esclarecer dúvidas e ensinar geologia, desde a fase de campo, onde estive presente, até a fase final de conclusão deste trabalho. Agradeço também ao Sr. Tarcisio de Abreu pelas excelentes lâminas polidas preparadas e ao amigo Marcelo Villela da Costa Braga, que “escaneou” algumas figuras de importância para o presente relatório.

INTRODUÇÃO

O presente relatório refere-se à disciplina Estágio de Campo IV-A (geologia econômica), oferecida no último ano do curso de Geologia da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Este estágio corresponde à monografia exigida nos setores profissionais do Departamento de Geologia. O conteúdo deste trabalho se resume: na confecção de um mapa de estruturas e de acessos na escala 1:2 000, modificado do fornecido pela MMA, um perfil geral EW na escala 1:1 000 e um relatório explicativo contendo todas as informações adquiridas durante o desenvolvimento deste trabalho.

A área em questão pertence ao Grupo Votorantim S/A., cujo mapeamento foi realizado na mina subterrânea de Morro Agudo, Paracatu, MG. O acesso à mina se faz através da rampa cuja boca é mostrada na foto 1. Trata-se de depósitos sulfetados de zinco e chumbo.

Um resumo sobre a mineralização sulfetada de Zn-Pb da mina Morro Agudo, com base no tema do presente trabalho, foi enviado para o Congresso Internacional de Geologia 2000, já aceito pela comissão examinadora. O texto encontra-se no capítulo abstract.



Foto 1 – Vista da entrada da mina de Morro Agudo.

LOCALIZAÇÃO E VIAS DE ACESSO

A jazida está situada na localidade denominada Morro Agudo a 38 km a Sudeste da cidade de Paracatu sede de município do extremo W-NW, do estado de Minas Gerais. Suas coordenadas geográficas aproximadas são: $17^{\circ}19'25''$ S e $46^{\circ}48'7''$ W. Esta cidade é cortada pela rodovia BR-040 que liga Belo Horizonte a Brasília, constituindo a principal via de acesso à região, distando 490 Km de Belo Horizonte e 230 Km de Brasília.

O acesso ao local é feito através da BR-040, até o Km 68, que dista 27 Km da cidade de Paracatu no sentido Belo Horizonte. A partir daí, segue-se uma estrada de terra encascalhada de 16 Km de extensão, até o local onde está estabelecida a Mineração Morro Agudo (fig. 1).

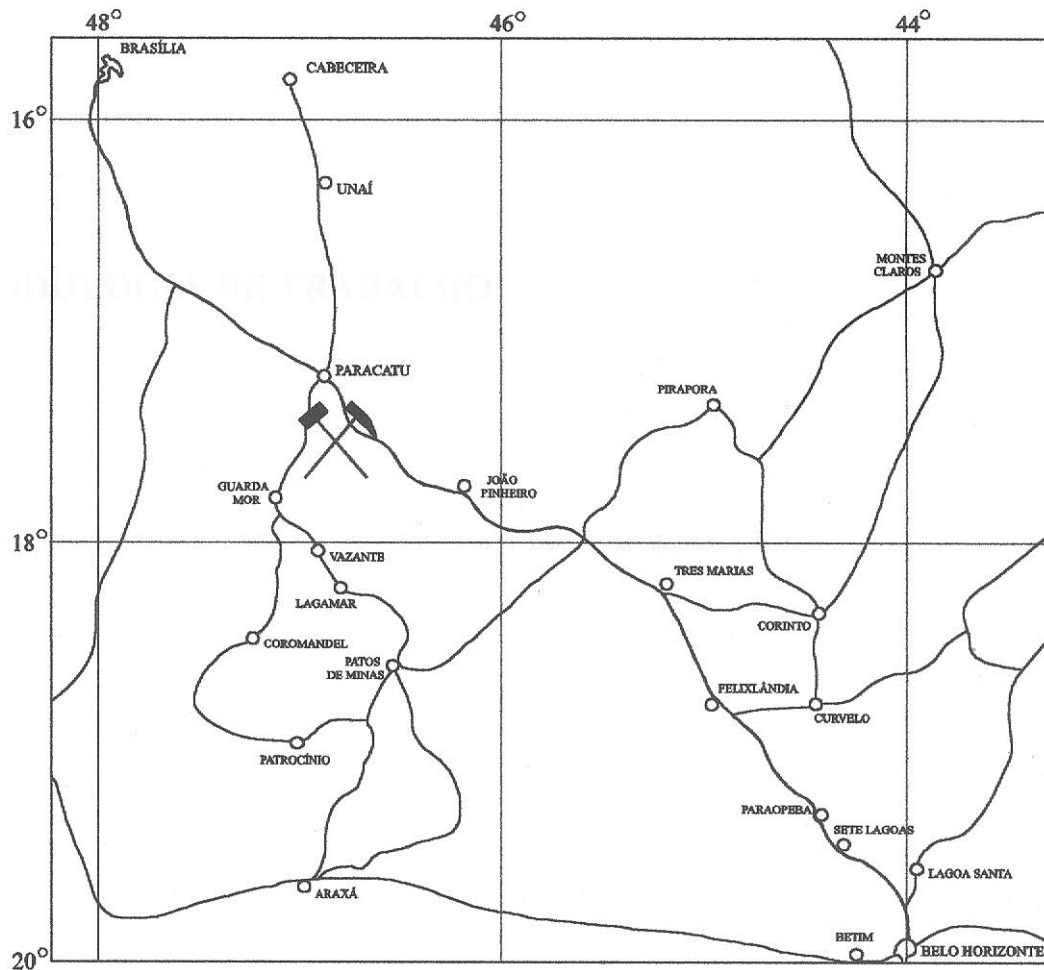


Fig. 1 – Mapa de localização da jazida de Morro Agudo.

OBJETIVOS

O estágio de campo IV tem por objetivo fazer com que o estudante desenvolva trabalho individual mais detalhado em área profissional de sua escolha, e com a ajuda do orientador, possa aplicar todo o seu conhecimento teórico e prático adquirido durante todo o curso de graduação.

Os motivos da escolha da área, foram a oportunidade oferecida pela Morro Agudo para a realização do estágio e o interesse do autor de ingressar na área econômica, especialmente na mineração.

O objetivo do presente relatório é o de estudar a paragénesese do minério, sua evolução e relação com a estrutura atualmente proposta. Acredita-se que o minério esteja fortemente deformado e que seu controle esteja subordinado à estrutura. Com isso, espera-se que este trabalho possa acrescentar novos conceitos a respeito do controle da mineralização de Zn-Pb. Várias evidências deste contexto geológico podem ser acompanhadas no decorrer deste relatório.

METODOLOGIA DE TRABALHO

O trabalho foi realizado em três etapas: uma fase de campo, uma de laboratório e outra de escritório.

A fase de campo foi desenvolvida no período de 20 de janeiro a 26 de fevereiro de 1998. Na 1ª e 2ª semanas foi seguido um cronograma de estágio oferecido pela empresa, que consistia na visita as suas instalações e no acompanhamento das diversas atividades desenvolvidas pela mineradora, como por exemplo: trabalhos de topografia na mina e no escritório, sondagens, frentes de lavra, atualização diária do mapa da mina etc. Ainda dentro da programação, foram feitos perfis de galerias e descrições de testemunhos de sondagens. O restante do tempo que contou em seu início com a participação do meu orientador, foi reservado para desenvolver as atividades de campo referente ao Estágio de Campo IV. Este período envolveu o mapeamento geológico estrutural de subsuperfície. Foi usado como base para o mapeamento um croqui geral da mina na escala 1:500 com todos os acessos. Nesta base foram localizados 32 pontos, onde foi possível observar e descrever a geologia do local. Em todos os pontos foram coletadas amostras, perfazendo um total de 90 amostras, sendo 30 orientadas.

A fase de laboratório consistiu na descrição de 33 seções delgadas polidas selecionadas entre as 90 amostras de campo. Das 33 seções, vinte estão

presentes neste relatório. O material foi analisado em microscópio petrográfico, de luz refletida e transmitida.

A fase final, trabalhos de escritório, consistiu na confecção deste relatório bastante ilustrado, contendo todas as informações obtidas no campo e na análise de laboratório, além do mapa obtido e de um perfil geral interpretativo, ambos editados no Coreldraw 9. Como complemento, foi desenvolvida pesquisa bibliográfica sobre trabalhos anteriores realizados na área, como também, brevemente em regiões semelhantes de outras localidades, a fim de buscar comparações com o que foi visto na área de trabalho.

HISTÓRICO

A ocorrência de sulfetos metálicos foi descoberta em 1952 na Fazenda Traíras, junto à localidade de Morro Agudo pelo prospector Sr. Ângelo Custódio Solis.

A primeira empresa a realizar pesquisa geológica sistemática na área foi a Companhia Auxiliar de Empresas de Mineração S/A. – AEMSA – ligada ao grupo Penarroya.

Em 1973 ocorreu um projeto de pesquisa financiado pela METAMIG, através de mapeamento geológico na escala 1:10 000, geoquímica, geofísica e sondagens; que definiram que a mineralização é do tipo estratiforme.

Em 1974 foi fundada a mineração Morro Agudo.

Em 1987 iniciou-se a lavra, sem usina de beneficiamento, a produção era vendida para a Cia. Paraibuna de metais para beneficiar o concentrado.

Alguns anos depois o controle acionário da empresa passou a ser exercido por três grandes empresas do mercado de zinco: Companhia Mineira de Metais S/A (CMM), Companhia Mercantil e Industrial Ingá S/A e Companhia Paraibuna de Metais S/A.

Em junho de 1995 foi inaugurada a usina de beneficiamento do concentrado.

Atualmente a CMM detém o total controle acionário da mina. Daí então, a unidade Morro Agudo foi extinta.

Neste trabalho a denominação Morro Agudo vai continuar sendo utilizada, por se tratar de uma mineração bastante conhecida por vários profissionais da área, desde 1974, quando foi fundada.

TRABALHOS ANTERIORES

A primeira contribuição para a área em estudo foi dada por Cassedanne e Cassedanne (1971), que descreveram a ocorrência de dolomito pseudoolítico mineralizado com galena, esfalerita e pirita da Fazenda Trairas. Após, Dardenne (1972) sugeriu os tipos de mineralização de sulfeto de chumbo e zinco encontrados na região de Morro Agudo, ao sul de Paracatu. Beurlen (1974) atribui origem singenética-sinsedimentar para o minério de Morro Agudo, com base em estudos petrográficos e calcográficos de algumas mineralizações de chumbo, zinco e fluorita no Grupo Bambuí. O mesmo autor afirmou, também, que a dispersão geoquímica primária dos elementos mineralizantes não é um bom método exploratório. Moraes (1975 a, b) apresentou alguns dados sobre a jazida, obtidos pela METAMIG durante a execução do Projeto Zinco, a partir de 1972, e, posteriormente, pela Mineração Morro Agudo S/A, a partir de 1974. Suszczynski (1975) fez referências aos jazimentos de sulfetos de zinco e chumbo, relacionando-os a um tipo genético sedimentar-estratiforme. Posteriormente, Bez (1980) descreveu essa jazida do ponto de vista mineralógico e geoquímico e determinou sua paragênese.

NOMENCLATURA

No presente trabalho foi utilizada a terminologia empregada pela Morro Agudo para a identificação e localização das amostras e das lâminas no mapa da mina em anexo. Desta forma permiti associá-las a uma determinada região da mina, com base na profundidade, nome do corpo mineralizado, local (rampa, galeria etc) e no ponto estudado. Este critério foi usado para que os profissionais da Morro Agudo e geólogos que conhecem bem a jazida, possam associar o ponto estudado a um determinado local da mina. Os termos usados são:

- 183, 150, 116, ... nível subterrâneo
- SAD seqüência argilo-dolomítica
- N corpo de minério N
- M corpo de minério M
- L corpo de minério L
- K corpo de minério K
- J corpo de minério J
- BAS corpo de minério basal (corpos G, H, I)
- A, B e C blocos separados por falhamentos normais (rejeito ~ 8m)
- APM acesso à passagem de minério

- RA rampa
- G galeria
- TR travessa
- N, S, E, W direção norte, sul, leste e oeste
- 5, 6, 7, 8, ... câmaras
- 1a, 1b, 2a, 2b, 2c, 3a, ... número do ponto e da amostra estudada

Exemplos:

183.GSW.L9a nível 183 galeria sudoeste corpo L ponto 9 1ª amostra
 150.22JKB.17b nível 150 corpo JK bloco B câmara 22 ponto 22 2ª amostra
 150.RAJKB.6c nível 150 rampa corpo JK bloco B ponto 6 3ª amostra
 50-83.6N.12c entre o nível 50 e 83 corpo N câmara 6 ponto 12 3ª amostra

GEOLOGIA REGIONAL

As rochas da região de Paracatu e Vazante são consideradas como pertencentes ao Pré-Cambriano Superior, Grupo Bambuí, com base em datações radiométricas realizadas em diversas rochas da região.

As tentativas de datação do Grupo Bambuí englobaram o método radiométrico Rb/Sr (Amaral e Kawashita, 1967; Bonhomme, 1976) e paleontológico com estromatólitos (Cloud e Dardenne, 1973; Marchese, 1974), cujas idades, determinadas entre 600 e 1350 MA., colocaram o Grupo no Proterozóico Superior. Parenti Couto e col. (1981) determinaram uma idade de 680 MA. obtidas pelo método Rb/Sr em dolomitos da região de Vazante e Paracatu, evidenciando um condicionamento estratigráfico regional da mineralização. Para estes autores, a idade radiométrica não representa o evento deposicional da unidade, mas uma época de re-homogeneização associada ao evento tectônico/metamórfico regional.

A datação isotópica da galena pelo método do chumbo foram realizadas por Cassedanne et al. (1972) e Parenti Couto et al. (1981). Os primeiros autores obtiveram a idade de 786 MA. para a galena da Jazida de Morro Agudo, sugerindo a *mise en place* da mineralização ligada à orogenia assíntica, enquanto os últimos determinaram uma idade modelo média, da ordem de 650 MA., para as galenas da região de Vazante e Paracatu. De acordo com Parenti Couto e col. (1981), tal idade corresponde à incorporação definitiva do chumbo nas galenas durante a tectogênese, desenvolvida há cerca de 600 MA. em um ou mais episódios do Ciclo Brasileiro.

O Grupo Bambuí na região de Paracatu foi subdividido nas formações Vazante e Paracatu:

- Formação Vazante – é composta por rochas carbonáticas/terrígenas, desenvolvidas em ambientes de águas rasas, das quais se destacam dolomitos estromatolíticos recifais, em cujas fácies laterais, se encontram importantes depósitos de zinco e chumbo.
- Formação Paracatu – é composta por uma espessa sequência de filitos grafitosos, pretos e piritosos com intercalações de camadas e lentes de metarenitos quartzosos impuros, que se sobrepõem à sequência das rochas da Formação Vazante, seja por falhamentos inversos e escorregamentos ou através de contato normal e transicional. Quanto ao ambiente deposicional dessas rochas, ainda há controvérsias. Madalosso e Valle (1978) supuseram que esta formação foi depositada em um ambiente caracterizado por mangues salobros, freqüentemente, cortados por canais fluviais, onde originaram-se as lentes arenosas. Segundo os mesmos autores, parte dessa unidade formou-se em uma planície aluvial costeira.

Atualmente a divisão estratigráfica mais aceita pelos geólogos que trabalham na região, foi adotada por Madalosso, 1980a), onde este autor subdividiu a Formação Vazante em sete fácies (Tab. 1). Segundo Dardenne (1978b), Madalosso e Valle (1978) e Madalosso (1980a), essas fácies caracterizam, essencialmente, ambientes de deposição, onde cada uma representa um evento de transgressão ou regressão marinha. Os contatos dessas fácies são interdigitados. Neste trabalho, os dolarenitos reconhecidos na Formação Vazante por estes autores, são denominados como dolarenitos calcíticos, devido a grande quantidade de calcita observada nas lâminas.

GEOLOGIA DA MINA

Os dados obtidos a partir dos trabalhos de campo e de acordo com os resultados apresentados por Dardenne (1967a, 1979), Madalosso e Valle (1978), Campos Neto (1979) e Madalosso (1980a) sobre a geologia da região de Morro Agudo, permitem concluir que as litologias encontradas na área estudada pertencem à Formação Vazante. Segundo esses autores, as rochas dessa área estão representadas pelas seguintes fácies:

- **Fácies Serra do Garrote**

Caracteriza-se por uma espessa sequência de ardósias, de cor cinza claro e vermelho rosado, localmente intercaladas por lentes de metagrauvacas, metarcóseos e metassiltitos.

As ardósias dessa fácies são isentas de estruturas sedimentares, indicativas de condições subaéreas ou de marcas de ondas (Madalosso e Valle, 1978; Madalosso, 1980a). Para estes autores, tais evidências sugerem uma deposição destas rochas em mar aberto, isto é, ambiente subaquoso de baixa energia, com raros períodos de agitação nesse ambiente, responsáveis pela deposição dos metarenitos impuros e metassiltitos, segundo Madalosso e Valle (1978).

		Fácies	Litologias
Grupo Bambuí	Formação Paracatu		Filitos grafitosos pretos com intercalações Lenticulares de quartzitos.
	Formação Vazante	Morro Agudo	Dolomitos carbonosos, metassiltitos, metarritmitos areno-filitosos, filitos grafitosos.
		Serra do Landim	Carbonato-filito verde com intercalações de calcários, dolomitos filitosos e filitos ardoseanos, metassiltitos.
		Serra da Lapa	Metarritmitos, metassiltitos localmente carbonatados, dolomitos carbonosos laminados cinza-escuros.
		Serra do Velosinho Superior	Filito ardoseano grafito-carbonoso preto.
		Serra do Velosinho Inferior	Metarritmito areno-filitoso-carbonático, mais arenoso a leste e mais carbonático a oeste.
		Morro do Calcário	Dolomitos com estruturais algais, dolomitos maciços, dolarenitos e brechas.
		Serra do Garrote	Ardósias com intercalações lenticulares de arenitos impuros e de metassiltitos.

Tab. 1 – Divisão estratigráfica do Grupo Bambuí na região de Paracatu, segundo Madalosso (1980a).

• Fácies Morro do Calcário

É uma unidade estritamente carbonatada, que constitui o recife algal de barreira Morro do Calcário (Madalosso e Valle, 1978; Madalosso, 1980a)

localizado à leste da jazida. Suas rochas são dolomitos com estruturas algais, dolomitos maciços, dolarenitos e brechas intraformacionais.

As diversas feições texturais e estruturais das rochas dessa fácies, evidenciam um ambiente de recife de barreira. Tais feições são responsáveis pela subdivisão dessa fácies em três unidades:

Subfácies *Fore Reef* ou Ante-recife

ocorre no flanco leste do Morro do Calcário e está representada por brecha intraformacional cinza escura com matriz dolomítica, contendo grãos de quartzo arredondado e dolomito cinza com estromatólitos algais. Essas estruturas são indicativas de ambiente intertidal.

Subfácies *Reef* ou Recife

situa-se, predominantemente, na porção central do Morro do Calcário entre as subfácies Ante e Pós-recife. Seus contatos com essas subfácies são transicionais e gradacionais.

A subfácies Recife é composta de dolomito cinza médio a escuro com estromatólitos algais, dolomito maciço cinza médio a claro e brecha intraformacional com matriz dolomítica de cor cinza.

Os estromatólitos dessa subfácies são estruturas laminadas e arqueadas, que refletem áreas elevadas da zona intertidal onde a ação das ondas é menor.

Subfácies *Back Reef* ou Pós-recife

Aflora no flanco oeste do Morro do Calcário e é constituída de dolarenito cinza claro a médio, brecha intraformacional com matriz dolarenítica e dolomitos cinza médio a escuro.

O dolarenito é, predominantemente, composto de intraclastos e oólitos com algum chert. Os aloquímicos apresentam-se cimentados pela dolomita, esfalerita e/ou galena. Neste caso a rocha exibe tonalidade amarelada e cinza chumbo.

Essa subfácies foi depositada em ambiente de águas rasas com alta energia.

• **Fácies Morro Agudo**

Foi caracterizada por Madalosso e Valle (1978) e Madalosso (1980a) como uma seqüência argilo-carbonatada. Compõem-se de dolomitos carbonosos, metassiltitos, metarritmitos e filitos grafitosos. Segundo Madalosso e Valle (1978) e Madalosso (1980a), tais litologias representam ambiente de planície intertidal terrígena e carbonatada e, também, subtidal lagunar.

Essa fácies ocorre a oeste do Morro do Calcário e faz contato com a Fácies Morro do Calcário. O contato é interdigitado e nitidamente faciológico.

ESTRATIGRAFIA E PETROLOGIA DA MINA

De acordo com os dados obtidos do estudo e caracterização das litologias observadas na área mapeada durante o período de campo e da análise das lâminas, foi possível elaborar um perfil estratigráfico da base para o topo, para a área estudada. Esse perfil é apresentado na figura 2. As litologias foram identificadas com base na mineralogia, granulometria e aspectos físicos.

Dentre as litologias observadas na mina, foi dado maior interesse às que são representadas pela fácies Morro do Calcário, pois é ela que, diretamente, se relaciona com a mineralização. Essas rochas estão descritas a seguir:

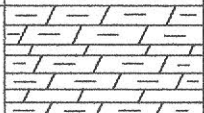
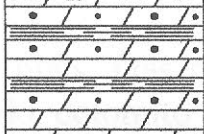
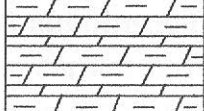
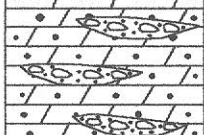
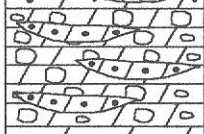
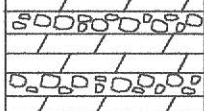
		COLUNA	ESPESSURAS MÉDIAS APROXIMADAS	LITOLOGIAS OBSERVADAS
PRÉ-CAMBRIANO SUPERIOR - GRUPO BAMBUÍ	FORMAÇÃO VAZANTE		?	ARDÓSIAS CARBONATADAS CINZA MÉDIO COM FINOS NÍVEIS DE DOLOMITO
			25 metros	DOLARENITO CALCÍTICO BANDADO INTERCALADO COM FINAS BANDAS DE CHERT, PIRITA E DOLOMITA
			35 metros	ARDÓSIAS CARBONATADAS CINZA MÉDIO COM FINOS NÍVEIS DE DOLOMITO
			30 metros	DOLARENITO CALCÍTICO COM INTERCALAÇÕES DE BRECHAS INTRAFORMACIONAIS DE MATRIZ DOLARENÍTICA CALCÍTICA E NÍVEIS DE DOLOMITO NEGRO MACIÇO E LAMINADO
			40 metros	DOLOMITOS BRECHADOS COM NÍVEIS DE DOLARENITO CALCÍTICO
			?	DOLOMITOS CINZA COM BANDAS DE CHERT NEGRO E PIRITA INTERCALADOS COM NÍVEIS DE BRECHAS INTRAFORMACIONAIS, CONSTITUÍDAS POR CLASTOS ANGULOSOS DE DOLOMITO E MATRIZ DOLOMÍTICA

Fig. 2 – Coluna estratigráfica observada na mina.

• Brechas dolomíticas

Essas rochas são encontradas no nível -50 no extremo sul da mina e são constituídas por fragmentos em sua maioria arredondados de tamanhos variados, desde milimétricos a centimétricos, de dolomito maciço, de cores cinza clara a cinza escuro (foto 2). Subordinadamente ocorrem alguns níveis de dolarenito calcítico pouco brechados.

Os fragmentos dessa rocha estão cimentados por carbonato branco, esfalerita, galena e pirita principalmente. Esse carbonato representa um produto

de remobilização do dolomito. Também ocorrem veios e bolsões, que por sua vez, são formados pelo mesmo material do cimento. Neste caso, os cristais de esfalerita, galena e pirita são maiores e bem formados (foto 2). A distinção da esfalerita de veio em relação à pirita através das fotos, pode ser difícil devido a semelhança na cor e a proximidade com que estes minerais ocorrem entre si. Muitas vezes, a pirita ocorre maciça dentro dos bolsões (foto 2), e às vezes, como cristais em cubos bem formados dentro de veios e bolsões de carbonato branco (foto 3), indicando pressão de fluido mais alta.

Em alguns pontos dessa rocha foi observado bandamento composicional, formado por bandas de dolarenito calcítico mineralizado dentro do dolomito, concordante com as atitudes medidas em outros pontos da mina. Veios mineralizados por esfalerita, galena, pirita e carbonato ocorrem subparalelos às bandas de dolarenito calcítico.

O dolarenito apresenta um grau de porosidade e permeabilidade mais elevado do que o dolomito, favorecendo o transporte das soluções. Isto explica o fato de se encontrar o dolarenito calcítico raramente brechado (fotos 2 e 3).

Aparentemente, com base no que foi visto, esta brecha foi formada por dissolução do carbonato durante a passagem de soluções mais ácidas, em condições mais altas de pressão parcial de fluido. Fraturamentos e zonas de fraqueza do dolomito podem ter contribuído no processo. A foto 4 mostra fragmentos angulosos de dolomito contido dentro de veios de carbonato branco, indicando o caráter hidráulico.

Foi encontrado também, na parte sul da mina no nível -150, uma rocha fracamente mineralizada de aspecto bandado formada por bandas de pirita, dolomito cinza escuro silicoso e dolarenitos calcíticos finos, localmente arqueadas (foto 5) e intercaladas por níveis de brecha dolomítica com características semelhantes às descritas acima. Essas rochas correspondem ao nível mais basal da estratigrafia observada na mina.

A brecha apresenta clastos de dolomito em tons de cinza médio a escuro e em diversas formas com bordas pouco arredondadas. Esses fragmentos – provavelmente intraclastos – estão envolvidos por uma matriz dolomítica cinza escuro e, às vezes, cimentados por pirita e esfalerita. Esse material parece ter tido inicialmente uma origem sedimentar, responsável pela formação da brecha. Posteriormente, soluções que depositaram pirita, esfalerita e rara galena percolaram a rocha, cimentando clastos e dissolvendo o carbonato, tanto da matriz, como o do próprio clasto, formando nova brecha por dissolução. Este processo é idêntico ao ocorrido na rocha anteriormente descrita. Vênulas de carbonato branco oblíquos ocorrem paralelas a veios de pirita + esfalerita, que cortam os intraclastos. Estas observações podem ser vistas na foto 6.



Foto 2 – 50.GE.BAS.5. Veio de pirita, galena e carbonato com fragmentos de dolomito. A pirita ocorre maciça em algumas partes do veio. Vênulas de pirita e galena formando a estrutura brechada no dolomito. Porções de dolarenito calcítico não brechado (canto direito inferior da foto).



Foto 3 – 50.GE.BAS.5. Bolsão e vênulas de pirita e carbonato cortando o dolomito no contato com um nível dolarenito calcítico pouco brechado. Notar no centro da foto concentrações de cubos de pirita envolvidos por carbonato branco.



Foto 4 – 50.GE.BAS.5. Fragmentos angulosos de dolomito cinza escuro circundados por carbonato branco de veio. A tira branca embaixo na foto tem aproximadamente 7,0 cm.

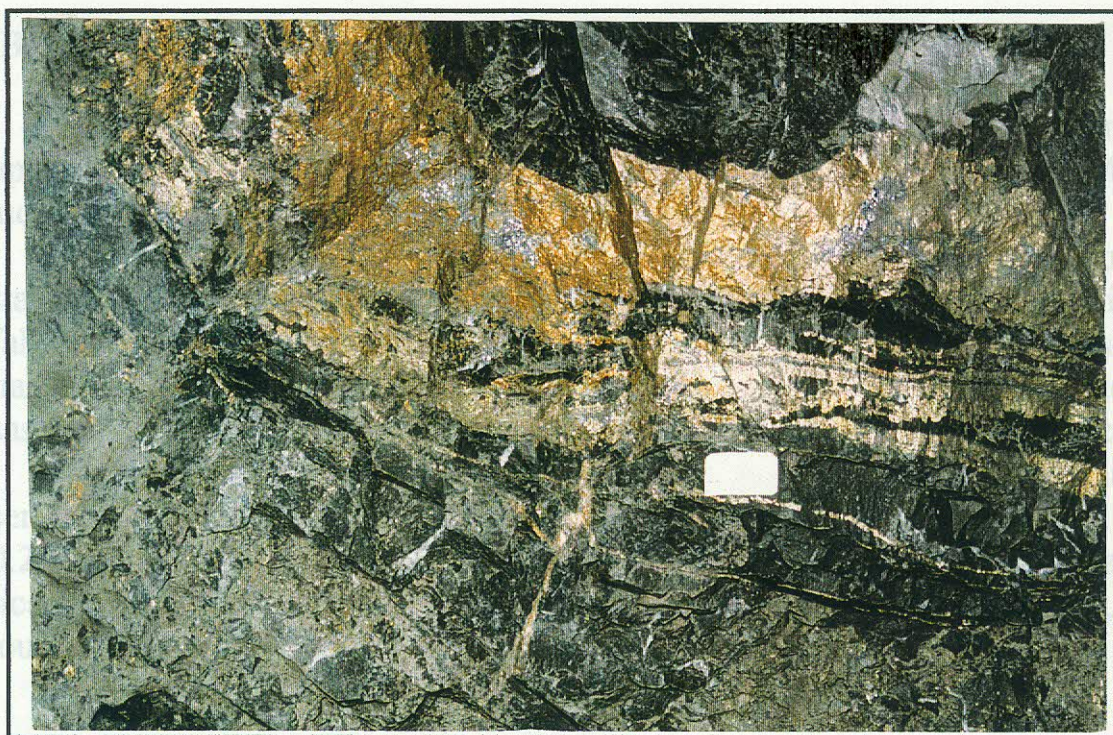


Foto 5 – 150.APM.21. Dolomito negro silicoso interdigitado por bandas de pirita. A galena ocorre mais como bolsões dentro das bandas mais espessas de pirita. A tira branca na foto tem aproximadamente 3,5 cm.



Foto 6 – 116.APM.21. Brecha constituída por intraclastos em tons de cinza médio e de vários tamanhos. Veios e vênulas de pirita + esfalerita cimentando os intraclastos e dissolvendo localmente o dolomito, formando estrutura brechada. Notar no centro da foto, um dos veios mencionados cortando um intraclasto. A tira branca tem aproximadamente 7,0 cm.

• Brechas dolareníticas-calcíticas

As brechas dolareníticas-calcíticas foram consideradas durante muito tempo, como sendo a rocha hospedeira das mineralizações mais ricas em Morro Agudo.

A rocha é constituída por fragmentos angulosos de carbonato branco e cinza claro a escuro, imersos numa matriz calco-dolarenítica e dolomítica. Esfalerita, galena e pirita estão presentes nesta matriz. O tamanho dos clastos varia de 4 a 6 centímetros, chegando a 20 centímetros em alguns locais (foto 7). Essas brechas ocorrem como lentes intercaladas dentro do dolarenito calcítico.

A figura 3 mostra uma seqüência granulométrica esquemática observada em dois pilares da mina referentes aos pontos 116-150.19JKB.14 e 150.22JKA.24. Infelizmente não foi possível fotografá-las. Esta feição parece indicar que houve brusca variação de energia num curto intervalo de tempo, que atuou na bacia.

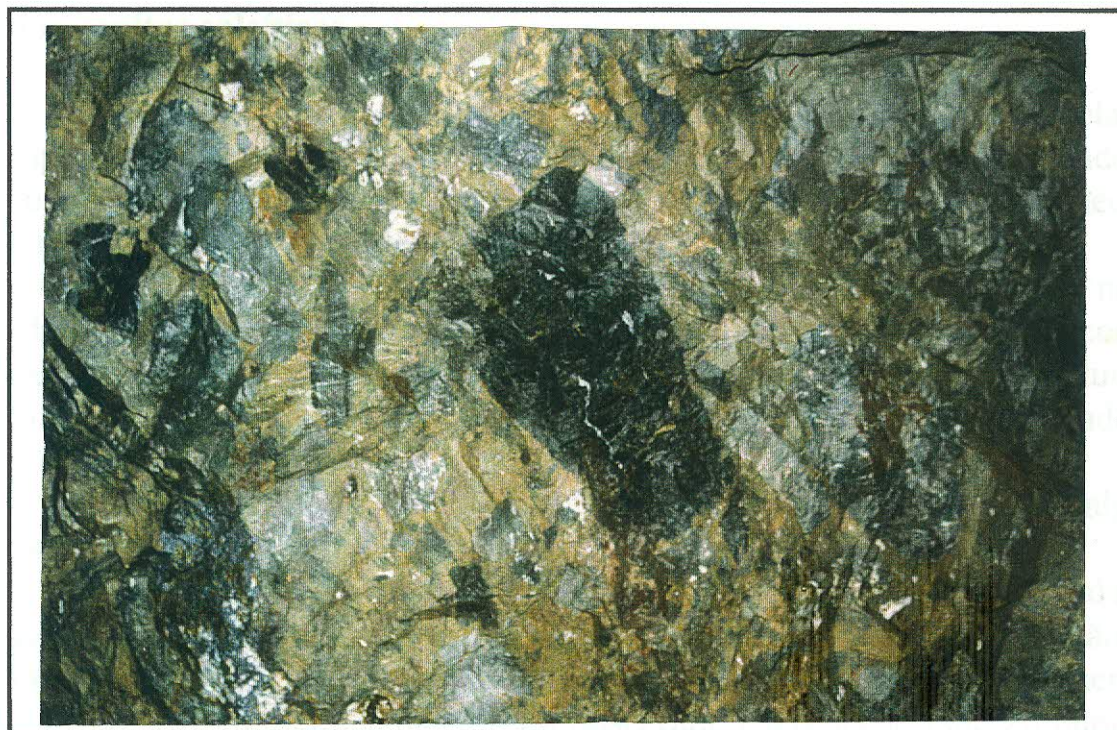


Foto 7 – 150.23JKA.26. Brecha intraformacional constituída por intraclastos angulosos e matriz dolarenítica fortemente mineralizada por esfalerita (cor amarela). A foto se encontra sem escala, mas para se ter uma idéia, o clasto maior de cor cinza escuro no centro da foto, tem aproximadamente 20 centímetros em seu eixo maior.

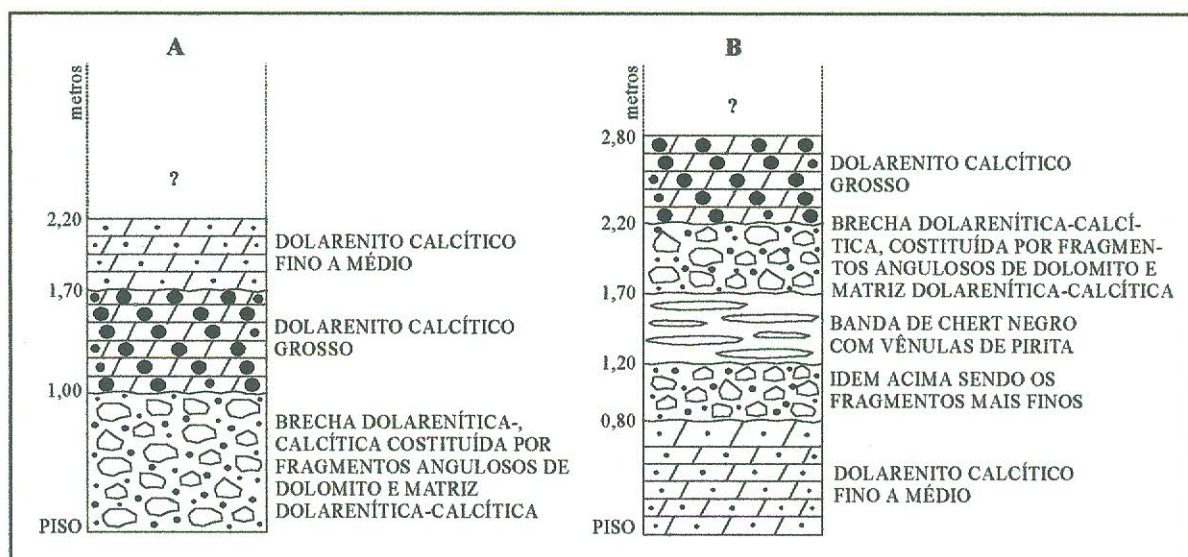


Fig. 3 – Perfis esquemáticos observados em dois pontos da mina. A- realizado em um dos pilares da câmara 19, ponto 116-150.19JKB.14. B- realizado em um dos pilares da câmara 22, ponto 150.22JKA.24.

• Dolarenitos calcíticos

São rochas de cor cinza claro a médio, e muitas vezes, amareladas, que apresentam textura sacaróide, formada por intraclastos bem arredondados em sua maioria, e subordinadamente oólitos, com dimensões entre areia média e areia muito grossa, localmente atingindo dimensões de seixo (foto 8).

É comum a presença de bandas lenticulares de chert negro interdigitado dentro do dolarenito calcítico. O limite dessas bandas com o dolarenito calcítico é gradacional (foto 9) e apresenta um caráter de substituição, tendo uma espessura média na mina em torno de 12 centímetros, ocorrendo na mina como lentes, paralelas e próximas entre si.

Dentro do pacote de dolarenito calcítico foi observado também, alguns níveis de dolomito negro maciço e laminado, provavelmente lenticulares.

A textura dos dolarenitos calcíticos ao microscópio é caracterizada por intraclastos que são constituídos por calcita micrítica e em menor proporção por dolomita fina a grossa bem formada, que substitui parcialmente ou totalmente a calcita (foto 10). Subordinadamente foi observado chert substituindo totalmente ou parcialmente esses clastos (foto 11). Alguns intraclastos mostram estruturas primárias, como laminação, clastos menores e oólitos envolvidos por um clasto maior (foto 10).

Os oólitos são grãos esféricos, que exibem estruturas de crescimento radiais e/ou concêntricas (foto 10). Os seus núcleos não estão bem evidentes, e provavelmente sua composição é carbonática.

Ao microscópio, o cimento é constituído de esfalerita, dolomita, quartzo, chert, galena, e subordinadamente, barita. Às vezes, o quartzo exhibe mosaico em torno dos clastos (foto 11). Em algumas lâminas foi encontrado possíveis vestígios de matriz de calcita micrítica preservada que não foi substituída pelos minerais acima mencionados.

O critério usado para a identificação da calcita nas lâminas foi o teste do HCl. Escolheu-se alguns pontos nas lâminas contendo carbonato micrítico, fino e grosso e nesses pontos aplicou-se pequenas gotas de HCl a frio sobre a lamina, em seguida observou-se ao microscópio com a objetiva devidamente protegida, que apenas o micrito fora consumido pela reação. Conclui-se, então, que os grãos de carbonato fino a grosso são de dolomita.

Foi encontrado uma rocha que se apresenta composicionalmente semelhante aos dolarenitos calcíticos descritos acima, mas com características físicas diferentes. A rocha é formada por diversas bandas milimétricas a centimétricas de dolarenito calcítico, dolomita, chert (negro, vermelho e verde) e pirita. Em alguns locais da mina, estas bandas são lenticulares, e às vezes, tem espessura de 1 a 2 milímetros (foto 12). Já em outros locais, as bandas são mais espessas e irregulares, mas paralelas entre si, sendo formadas por pirita e dolomita com lentes de calco-dolarenito (foto 13), onde a esfalerita e a galena estão associadas. Essas lentes, por vez, mostram-se mais espessas e intercaladas

com dolomitos. Neste caso, é comum encontrar a esfalerita formando finas faixas amarelas descontínuas dentro do dolarenito calcítico. Essas faixas são concordantes com o bandamento composicional observado em diversos pontos na mina. O teor do minério nestes locais é elevado (foto 14).

Ardósia

São rochas de cor cinza médio, foliadas e de granulação muito fina, sem nenhum mineral observado macroscopicamente.

Dentro do pacote de ardósias ocorrem alguns níveis milimétricos e centimétricos de dolomito cinza escuro a negro

Ao microscópio, a mineralogia é composta por dolomita, em maioria, quartzo e muito pouco presentes sericita e pirita, ambos bem pequenos (foto 15). A esfalerita é praticamente ausente, ocorrendo mais nas proximidades do contato com os dolarenitos, mesmo assim, não desperta nenhum interesse econômico.

Essas rochas são conhecidas na mina de Morro Agudo como Sequência-Argilo- Dolomítica (SAD). Essa denominação é usada apenas nos códigos de localização dos pontos, ou quando, referidas por outros autores.

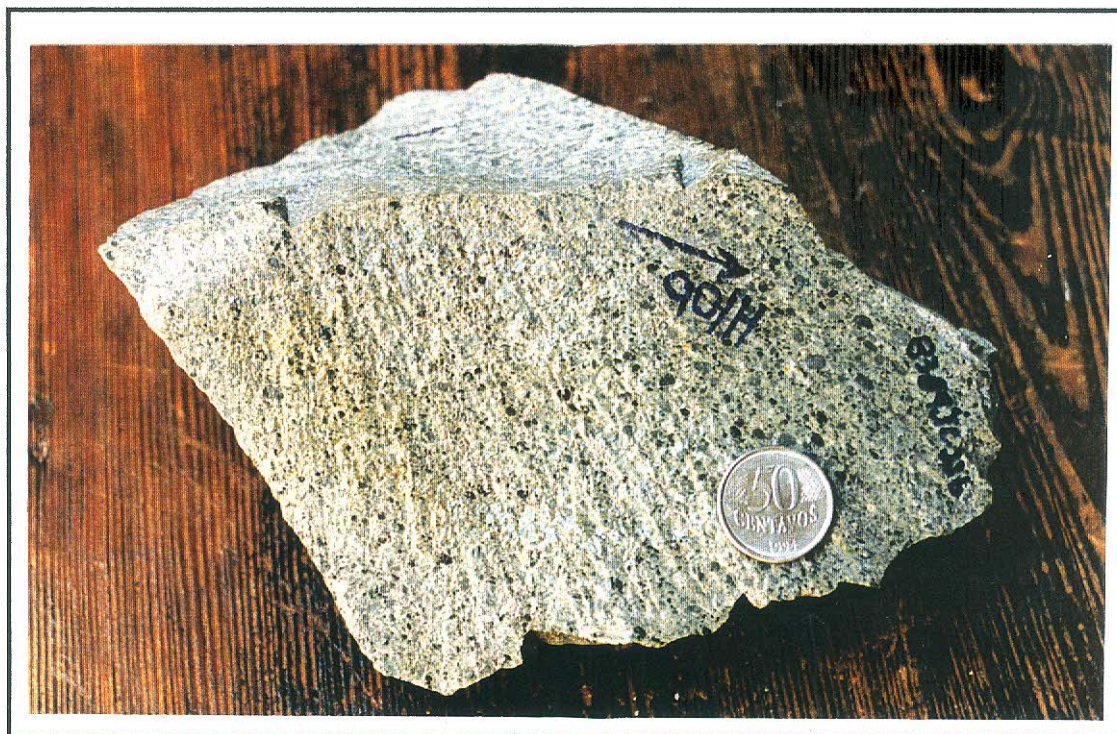


Foto 8 – Amostra 83-116.9JC.22b. Rocha composta por intraclastos de cor cinza, arredondados de dimensões milimétricas, alguns chegando em torno de 6 mm (porção direita da foto). A esfalerita de cor amarela muito clara está presente no cimento.

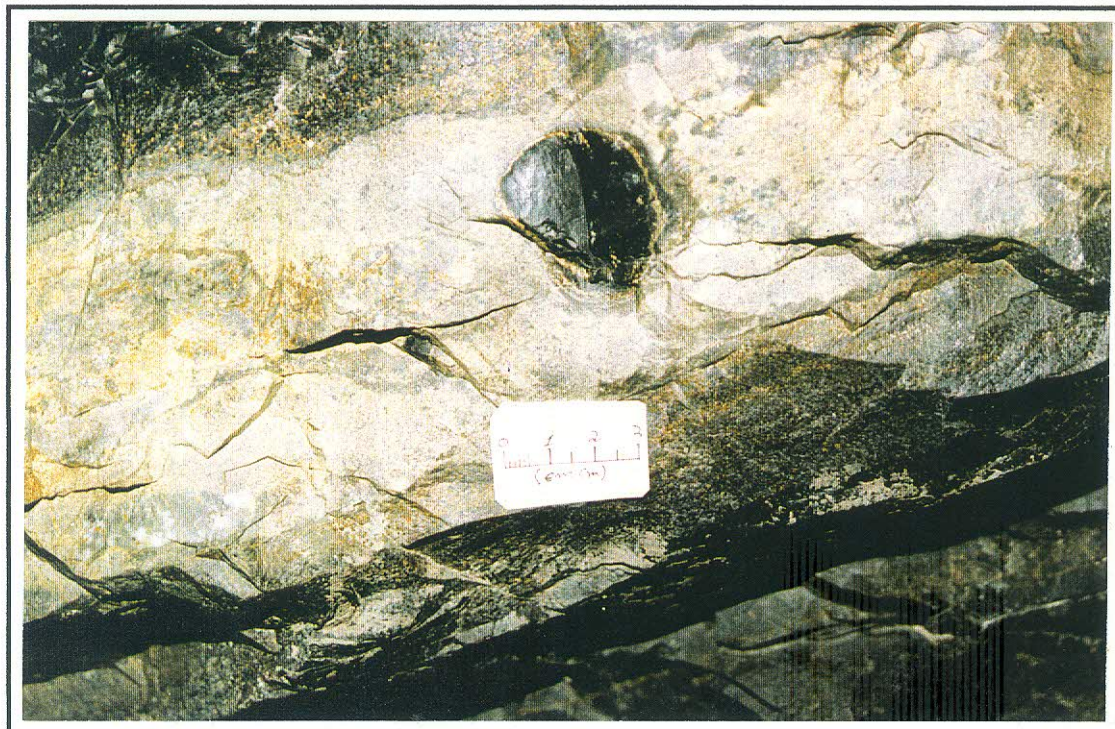
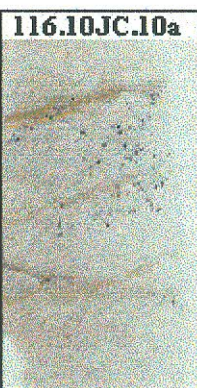


Foto 9 – 183.GSW.L.9. Duas bandas de chert negro separadas por uma banda de dolarenito calcítico amarelo claro mineralizado. Notar que a passagem entre o chert e o dolarenito calcítico é gradacional.



Rocha formada por intraclastos de calcita micrítica + dolomita, e oólitos, cimentados por dolomita, galena e esfalerita, onde os dois últimos dissolvem parcialmente o micrito, exibindo textura dendrítica e esquelética. Alguns clastos preservam estruturas primárias. Finas faixas ricas em esfalerita com alguma galena paralelas entre si, de atitude 150/25 cortam os litoclastos. Vênulas de galena cortam a esfalerita, indicando uma deposição posterior à esfalerita.

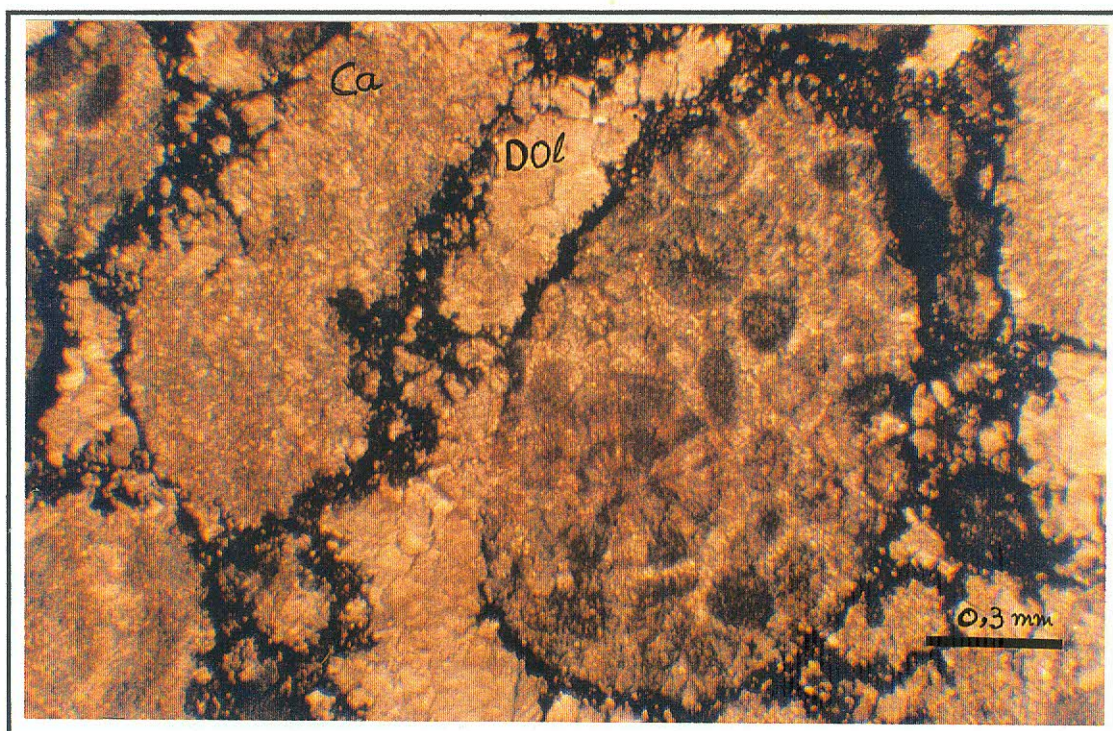
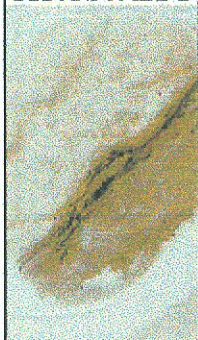


Foto 10 – Lamina 116.10JC.10a. Foto tirada com luz transmitida, nicóis paralelos e objetiva 3.5/0.10 P. Litoclastos constituídos por calcita micrítica e calcita micrítica + dolomita cimentados por dolomita e esfalerita. A esfalerita (cor escura) reage com todo o carbonato presente, invadindo e dissolvendo-o parcialmente. Notar intraclasto composto por calcita micrítica, oólitos e pequenos clastos.

183.GSW.L.9a



Rocha formada por intraclastos de calcita micrítica, substituídos em sua maioria por dolomita e chert. Nos grãos de chert, observa-se algum carbonato preservado mais ao centro dos grãos. A esfalerita, a galena, o chert e a dolomita compõem o cimento. Alguns grãos de chert com vestígios de micrito, são envolvidos por quartzo recristalizado com extinção ondulante e por esfalerita e galena, onde os dois últimos dissolvem parcialmente a sílica. Foi observado também, grãos de chert substituídos parcialmente por dolomita tardia de birrefringência baixa. Veio assimétrico composto por sericita, esfalerita e quartzo aparentemente deformados. Nota-se, às vezes, crescimento do quartzo das paredes para o centro do veio (quartzo “dentilhado”). A pirita ocorre em finos cristais espaçados na rocha e também em vênulas associada à esfalerita, dolomita e quartzo concordante com a foliação principal. Notou-se nos cristais maiores, fraturas preenchidas por material do cimento.

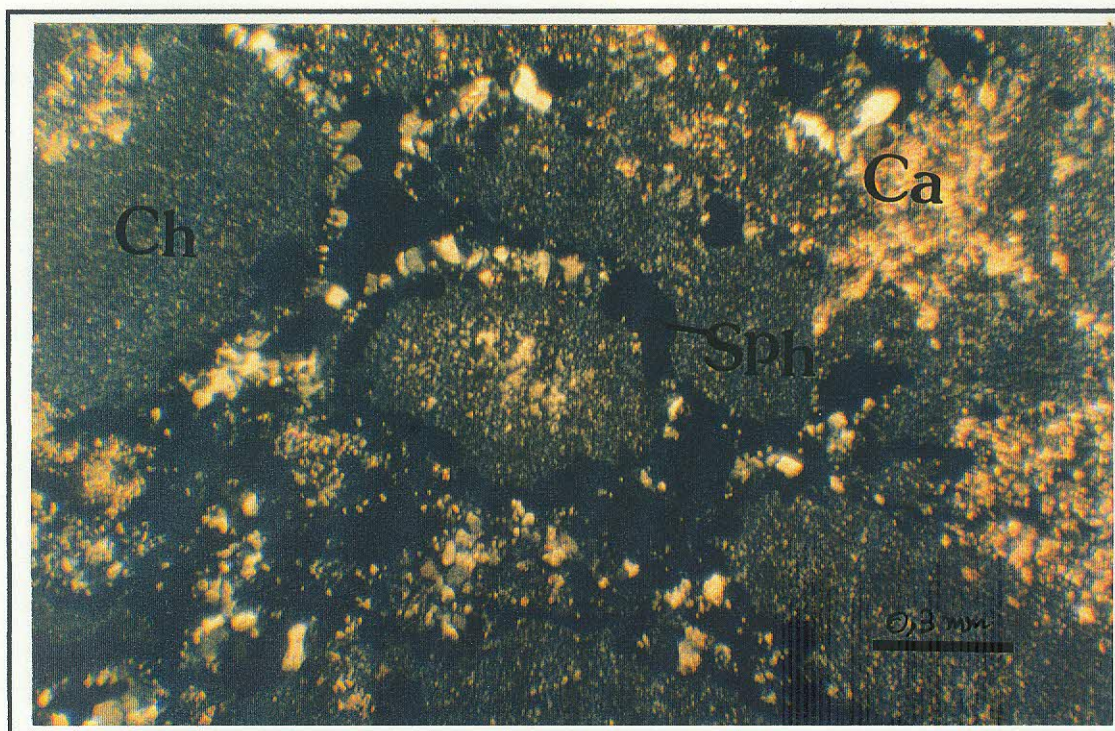


Foto 11 – Lâmina 183.GSW.L.9a. Foto tirada com luz transmitida, nicóis cruzados e objetiva 3.5/0.10 P. Chert de grã fina substitui totalmente e parcialmente os litoclastos de calcita micrítica. O quartzo e a esfalerita compõem o cimento neste ponto da rocha.

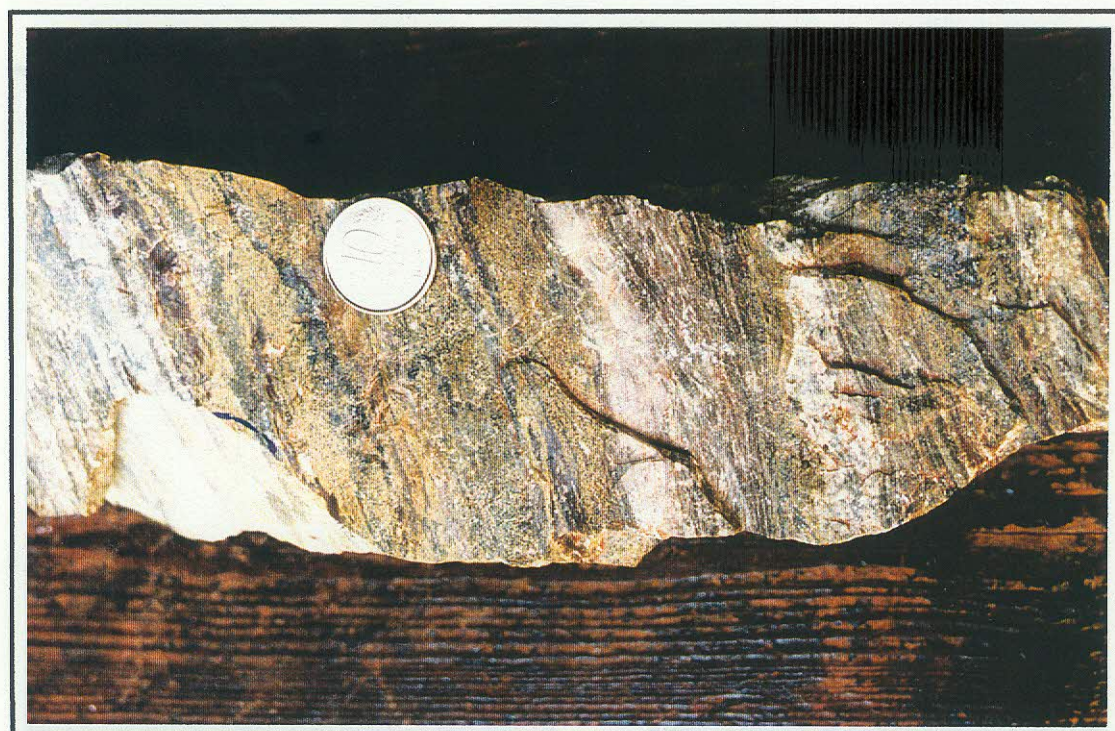


Foto 12 – Amostra 83.10N.16c. Alternância de bandas com lâminas muito finas de chert (negro, verde e vermelho), carbonato, quartzo e dolarenito calcítico. A esfalerita está presente nos níveis de dolarenito calcítico, de cor amarela. A galena ocorre em menos quantidade, associada à esfalerita.

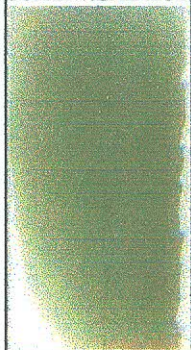


Foto 13 – Amostra 50-83.6N.12a. Alternância de bandas de pirita e de dolomito, cortadas por venulações de dolomita. Lentes de dolarenito calcítico mineralizado estão fracamente presentes.



Foto 14 – 50-83.6N.12. Faixas de dolarenito calcítico fortemente mineralizado por esfalerita (cor amarela) interdigitado por níveis de dolomito cinza.

50.TRW.SAD.28a



Rocha exibe clivagem ardosiária fraca em domínios subparalela ao S_0 . Domínios constituídos por um material escuro, possivelmente matéria orgânica oxidada e os micrólitos por quartzo + dolomita. A pirita e a sericita (extremamente rara) ocorrem muito finas disseminada na rocha. A sericita apresenta birrefringência alta.

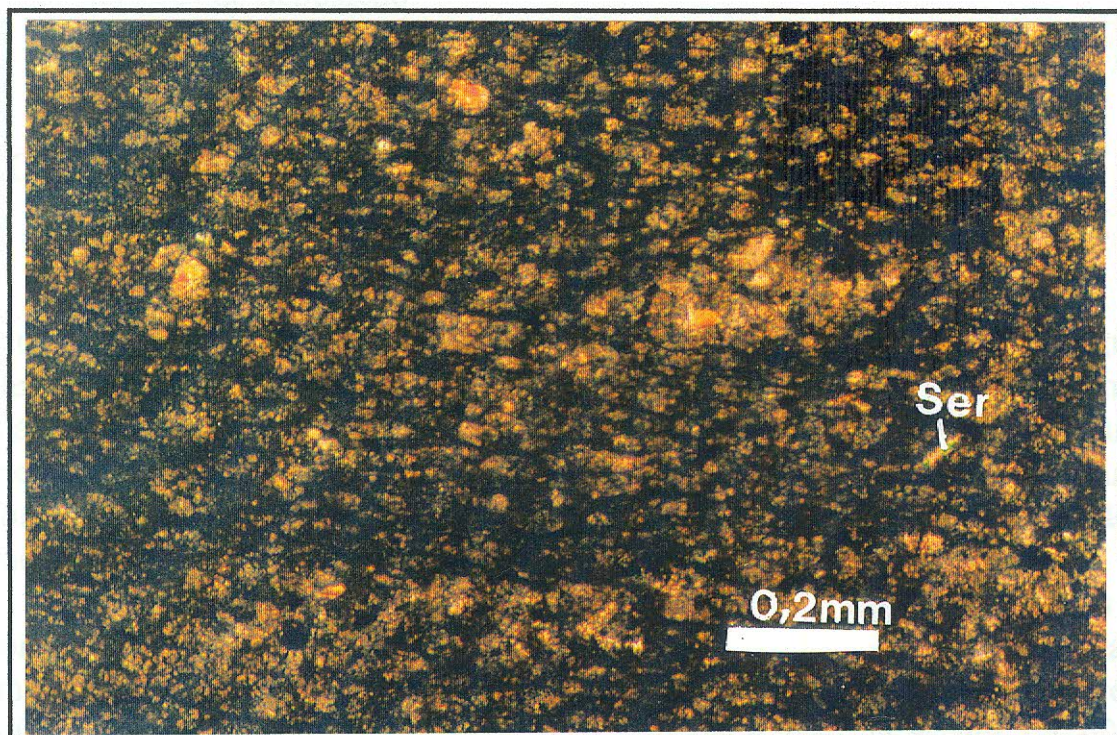


Foto 15 – Lâmina 50.TRW.SAD.28a. Foto tirada com luz transmitida, nicóis cruzados e objetiva 6.3/0.20 P. Ardósia formada por grande quantidade de dolomita. A fração escura de baixa cristalinidade é formada por óxidos de ferro.

METAMORFISMO

As rochas da mina de Morro Agudo são caracterizadas por um metamorfismo de grau muito baixo. Isto é indicado pela paragênese formada por sericita e grãos xenomórficos de esfalerita, galena e barita, como também, pelas evidências de textura primária observada em alguns intraclastos de carbonato. Dardenne (1978a), propôs um ciclo crescente de metamorfismo de leste para oeste, através de zonas isópicas e zoneamento mineral, onde o autor colocou a Formação Vazante como pertencente à fácies xisto-verde baixo.

A sericita representa o único mineral metamórfico encontrado nas rochas estudadas, indicando zonas de metamorfismo muito baixo, especificamente a da clorita.

Dolomitização, considerada como consequência de metamorfismo em outros casos, na mina Morro Agudo, devido a textura das rochas dolomíticas, é difícil a sua caracterização temporal e genética.

A dolomita ocorre como cimento, substituindo a calcita, e também, em veios, vênulas, bolsões e fraturas. Esta última relaciona-se à fases posteriores de deposição.

GEOLOGIA ESTRUTURAL

Nas últimas décadas, muitos trabalhos foram apresentados por diversos pesquisadores, inclusive pela Morro Agudo, sobre a geologia e mineralização de zinco e chumbo da região de Vazante (Mina de Vazante e Mina de Morro Agudo). Nesses trabalhos notou-se um consenso comum a respeito da estrutura da mina, onde não foi considerado a existência de estrutura deformacional dúctil significativa, evidenciada em âmbito regional na região de Paracatu e no interior da mina.

Os dados estruturais, obtidos pelo autor sugerem padrões de deformação diferentes àqueles descritos anteriormente para a região de Vazante. Com base nas evidências encontradas a partir dos trabalhos de campo e da análise das lâminas, desenvolveu-se um perfil geral EW na escala 1:1 000, a partir do perfil EW preparado pela Mineração Morro Agudo na escala 1: 500. Os dados obtidos pelo autor, adicionados neste perfil, permitiu-se propor uma provável estrutura para a mina de Morro Agudo.

As atitudes das rochas estão representadas por direção de mergulho e ângulo de mergulho. Os elementos mesoscópicos estruturais observados foram

identificados como acamamento original (S_o), bandamento principal ou composicional (S_b), clivagem axial (S_x) e zonas de cisalhamento (S_c).

O acamamento original e a clivagem axial foram considerados nos contatos entre as camadas de dolomito maciço e laminado intercalados nas ardósias carbonatadas. Entretanto, devido a forte deformação nesses planos (S_o) podem constituir S_b , S_x ou mesmo S_c . Dessa forma as atitudes medidas como provável S_o nas ardósias, estão representadas no mapa em anexo como S_b . Nas demais litologias, ou seja, nas rochas hospedeiras da mineralização, não foi possível identificar o S_o por se tratarem de rochas com estrutura maciça.

O bandamento principal ou composicional é denominado neste trabalho como termo genérico. Está melhor representado nas rochas hospedeiras da mineralização, que exibem uma estrutura maciça bandada. Essas bandas são compostas por dolarenitos calcíticos, ora fortemente mineralizados, ora fracamente e chert negro. As bandas são paralelas entre si, e o contato dessas, é nitidamente gradacional. O chert apresenta caráter substitucional. A atitude dessas bandas são muito parecidas com àquelas medidas para o S_o e S_x das ardósias, sendo assim, optou-se em não relacionar essas bandas geneticamente, considerando-as como S_b .

Com base nas análises das lâminas, observou-se intensas zonas de cisalhamento associadas às bandas fortemente mineralizadas e concordantes as mesmas.

Proposta Anterior:

São considerados à nível regional 4 a 5 fases deformacionais, melhor reconhecidas e identificadas no domínio da Formação Paracatu. De um modo geral, as primeiras fases são caracterizadas principalmente por movimentos compressivos tangenciais que atuaram de oeste para leste, responsáveis pela formação de dobras isoclinais recumbentes. Extensas falhas de empurrão, regionalmente orientadas NS aproximadamente, iniciaram-se com estes esforços.

Na região de Vazante, que abrange a mina de Morro Agudo, alguns autores como Dardenne (1978a, 1979), admitem que as rochas carbonáticas da sequência de Vazante atuaram como blocos rígidos durante os dobramentos, e em resposta a este processo foi desenvolvido um complexo sistemas de falhas e fraturas nessas rochas. Vestígios de deformação plástica são encontrados nas ardósias desta sequência.

Proposta atual:

Nesta proposta são considerados que os esforços tangenciais compressivos mencionados anteriormente, ocorreram intensivamente na mina de

Morro Agudo, onde todas as rochas atuaram inicialmente de forma dúctil em resposta à deformação.

A jazida de Morro Agudo se alonga na direção NS, sendo delimitada a leste por uma falha, com direção aproximadamente NS, evidenciada na superfície e com preenchimento de galena.

A direção das rochas (bandamento composicional ou principal) medidas no campo oscila entre N e E com mergulhos entre 15 e 50 graus para noroeste, predominando direções entre N10W e N40E com mergulho entre 20 e 35 graus para oeste.

Nas ardósias foi observado clivagem axial com formação de sericita. Quando vistas ao microscópio, essas rochas mostram clivagem do tipo ardosiana em domínios. Os domínios são constituídos, provavelmente, por uma fina película de óxido de ferro e os micrólitos por carbonato e quartzo. A presença da sericita é muito rara nessas rochas. Nas zonas de charneira, foi observado interseção entre o S_0 e S_x . O S_0 apresenta-se crenulado e cortado pela clivagem (foto 16). No campo foram encontrados planos de “kink bands” ou “chevron” em escala megascópica, comprovando o enrugamento do S_0 (foto 17). Esses planos são cortados por planos de foliação disjuntiva (termo antigo - clivagem de fratura).

Várias medições feitas no campo e, posteriormente, nas amostras orientadas, encerraram atitudes concordantes entre o S_0 e S_1 , com pequenas variações no mergulho, indicando charneiras com vergência para leste.

Megadobras tipo “duplex” foram observadas nessas ardósias localmente intercaladas por níveis centimétricos de dolomito silicoso (foto 18). O “strike” das camadas nestes locais, apresentam-se rotacionados variando de norte a leste. Por sua vez, os eixos dos dobramentos seguem o mesmo padrão.

Megadobras recumbentes com eixos subhorizontais de direção NS, foram observadas em lentes espessas de dolomitos negros laminados, que intercalam nos dolarenitos calcíticos. Não foi possível fotografar, devido o eixo dessas dobras serem paralelos à galeria onde foram encontradas, não podendo visualizá-las em perfil. Aparentemente, esses dobramentos referem-se aos mesmos tipos de dobras em “duplex” observadas nas ardósias. De modo geral, as dobras observadas no campo exibem duas direções principais : A primeira – mais importante – com charneiras entre N e N40E, mergulhando entre 5 e 16 graus e a outra com charneiras entre N70W e S70W, mergulhando entre 10 e 25 graus.

Este padrão de dobramento não foi encontrado nas rochas hospedeiras da mineralização. Isto se deve ao fato dessas rochas apresentarem uma estrutura maciça. Por outro lado, outras evidências de deformação foram observadas em lâmina.

50.GS.SAD.01a



Rocha coletada em zona de charneira ardósias carbonatadas. Clivagem ardosiana em domínios corta o S_0 crenulado. Os micrólitos são formados por dolomita + quartzo e os domínios por um material escuro, possivelmente matéria orgânica oxidada. A pirita e a sericita (extremamente rara) ocorrem muito finas disseminada na rocha. Finos grãos de óxido (?) com forte pleocroísmo de birrefletância foram observados nos domínios.

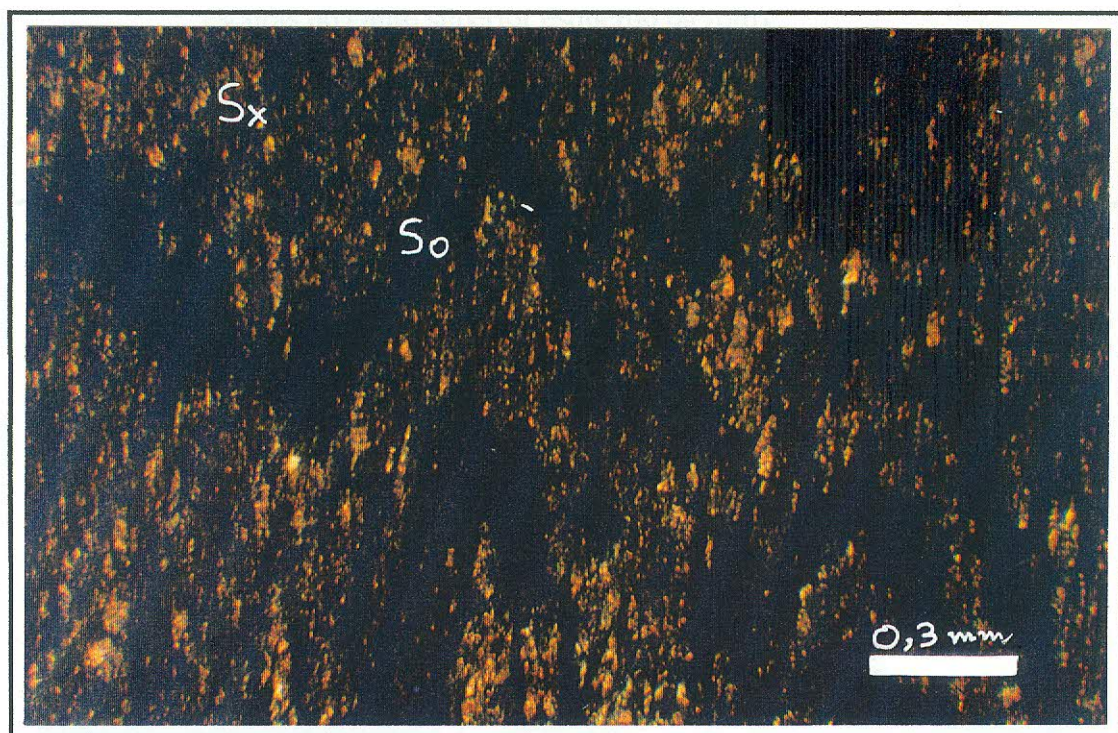


Foto 16 – Lâmina 50.GS.SAD.01a. Foto tirada com luz transmitida, nicóis cruzados e objetiva 3.5/0.10P. Zona de charneira com clivagem ardosiana em domínios, cortando o S_0 crenulado.



Foto 17 – 50.GS.SAD.04. Foto tirado do teto da galeria mostrando os “kink bands” ou “chevron”, cortados pela clivagem de fratura (linhas escuras no canto superior esquerdo da foto).

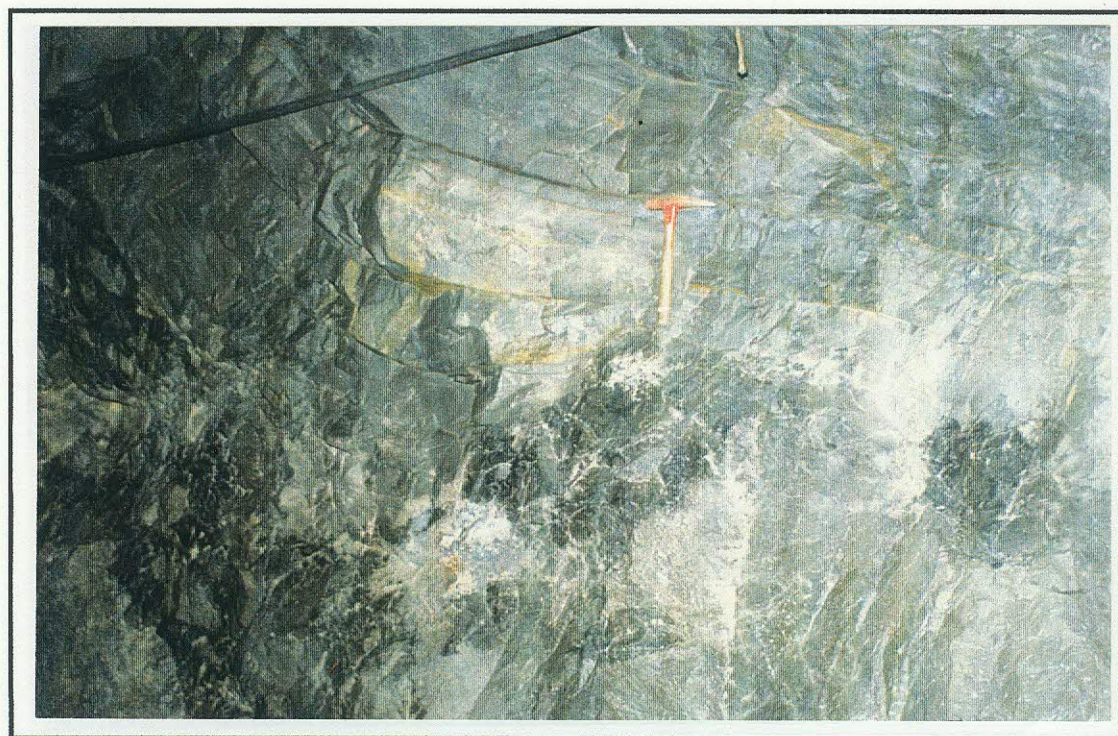


Foto 18 – 50.GS.SAD.04. Visão da dobra em “duplex” próximo ao contato com o dolarenito calcítico.

Durante os trabalhos de campo, observou-se que o minério exibe faixas de cor amarela intensa, concordantes com o bandamento composicional medido em outros pontos da mina. A cor amarela é dada pelo elevado teor de esfalerita. Essas faixas estão associadas à zonas de cisalhamento anastomosadas/entrelaçadas, onde se encontram evidências de sigmóides e budinagens do material amarelo no interior de vênulas de galena (fotos 19 e 20). Às vezes, se encontram vênulas de galena formando sigmóides, onde se observa fraturas distensivas preenchidas pelo material das vênulas (foto 21). Os planos de cisalhamento estão orientados aproximadamente na direção N-S, mergulhando para W.

Veios de quartzo boudinado, foram encontrados paralelo às faixas mineralizadas (de cor amarela intensa), intercaladas em lentes de dolomito cinza. Aparentemente todo o conjunto exibe enrugamento e estiramento na mesma direção. Estas evidências são observadas na foto 22. O estiramento também é observado em veios e bolsões, que ocorrem concordantes e no interior das faixas mineralizadas (foto 41, pág. 50). Localmente observou-se diferença de competência entre esses materiais, onde bolsões constituídos de barita e quartzo principalmente, estão estirados seguido de pequenos rompimentos ortogonais, que deslocam finas faixas de esfalerita amarela (foto 23). As fissuras estão preenchidas por galena.



Foto 19 – Amostra 150.23JKA.26a. Duas bandas piritizadas nas partes externas, separadas por faixas de material amarelo claro rico em esfalerita com vênulas negras subconcordantes de galena.



Foto 20 – Bandas de material amarelo claro rico em esfalerita com vênulas subconcordantes de galena.



Foto 21 – 150.23JKA.26b. Faixas de material amarelo rico em esfalerita. Vênula de galena formando sigmóide.

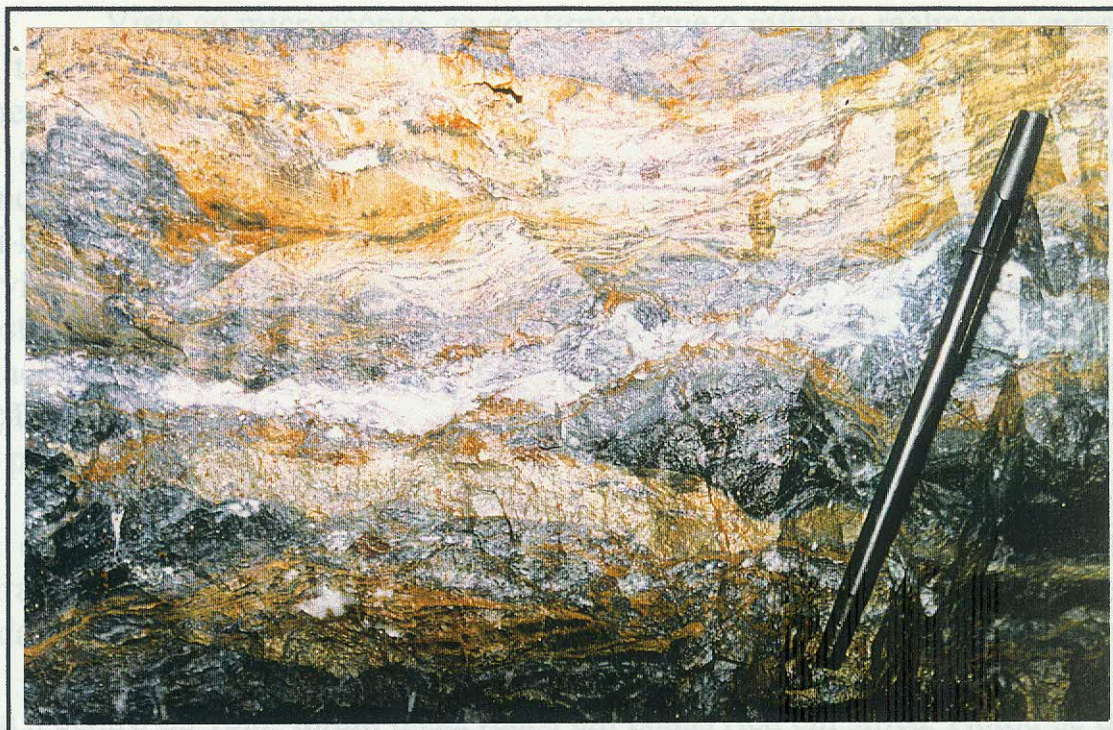


Foto 22 – 50-83.6N.12. O afloramento mostra forte foliação de estiramento formando bandas e lâminas composicionais bastante retorcidas. O material amarelo é composto por esfalerita. Notar no centro da foto a boudinagem em veio de quartzo, como também, na encaixante dolomítica de cor negra.



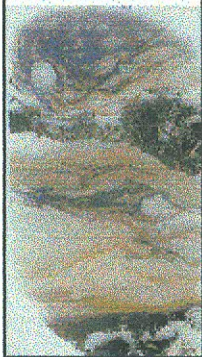
Foto 23 – 150.RA.JKB.06. Bolsão de quartzo + barita estirado, concordante com bandas de cor amarela rica em esfalerita. Notar uma fina banda amarela rompida ortogonalmente e preenchida por galena.

Vista ao microscópio, se confirmou ^{Ad?} que o minério realmente apresenta um teor elevado de Zn nas faixas amarelas em relação ao restante da rocha mineralizada. Observou-se vários clastos de carbonato estirados e cimentados por esfalerita, que forma finas faixas contínuas concordante com a direção mencionada (foto 24) e, mais raramente, clastos deformados e girados no sentido anti-horário (foto 25). Muitas vezes, a galena e a esfalerita exibem foliação, que desvia em antigos litoclastos fortemente estirados, alguns totalmente substituídos pela própria esfalerita (foto 26). Tal evidência indica que esta foliação foi formada durante a deformação. Uma outra evidência a respeito desta feição, é observada na foto 27, onde a esfalerita desvia nitidamente ao redor de um porfiroclasto de pirita muito fraturado.

Estrutura tipo *crack & sill* preenchidas por esfalerita foram observadas nas extremidades de litoclastos carbonáticos (foto 28), evidenciando o forte estiramento nesses clastos. Nessas regiões de forte estiramento, pôde se observar ainda vênulas de esfalerita formando "fitas" (foto 29).

Veios de quartzo exibindo crescimento lateral dos cristais das paredes para o centro do veio, foram observados em zonas rica em sílica. Notou-se que o crescimento dos cristais não se deu ortogonalmente às paredes (foto 30), sugerindo que esses veios se formaram durante a deformação. A esfalerita é comum nesses veios.

150.23JKA.26a



Litoclastos de micrito fortemente estirados e, às vezes craqueados preenchidos por esfalerita e galena. Às vezes, o micrito se encontra substituído por esfalerita, também estirado. Veios zonados com esfalerita no centro e galena nas bordas estão estirados e budinados. Bandas de pirita craqueadas, preenchida por esfalerita e dolomita tardia. Os veios e as bandas de pirita são concordante ou subconcordante com a foliação principal.

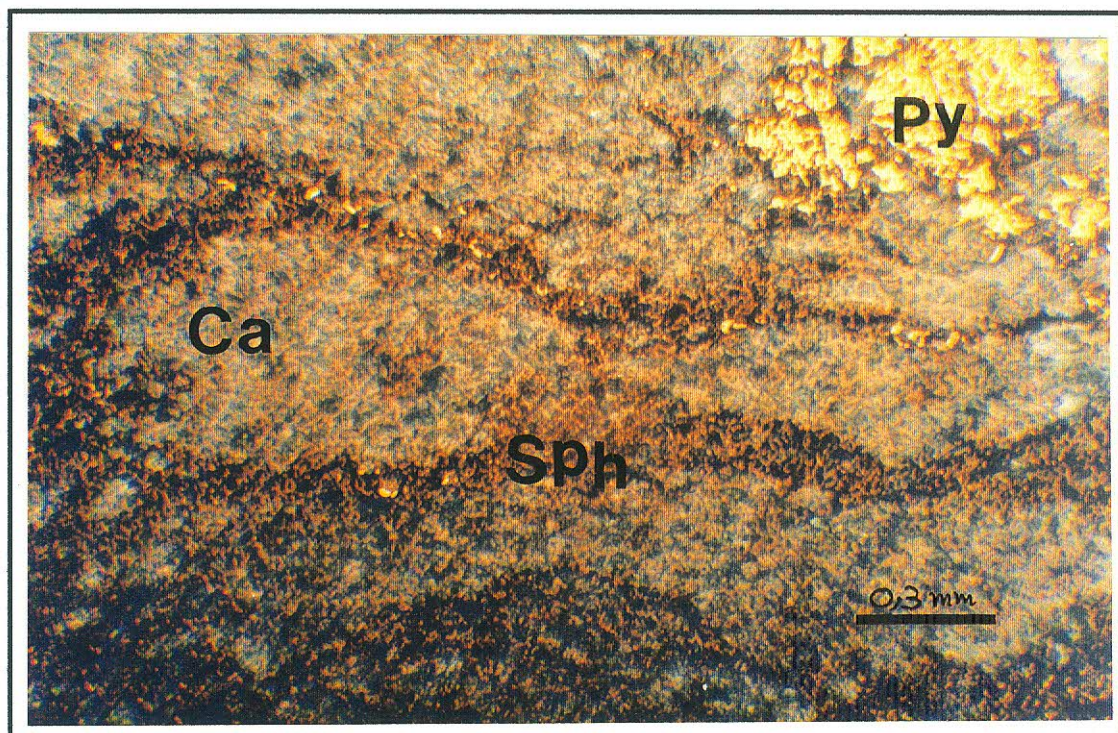
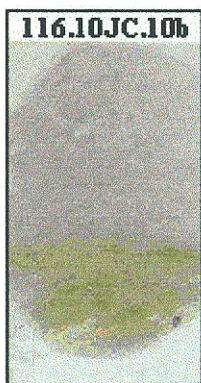


Foto 24 – Lâmina 150.23JKA.26a. Foto tirada com luz transmitida e refletida combinadas, nicóis paralelos e objetiva 3.5/0.10 P. Intraclastos de micrito boudinados e cimentados por esfalerita.



A lâmina exhibe contato entre uma zona fortemente mineralizada (parte inferior) e uma zona fracamente mineralizada (parte superior). Nesta última contém litoclastos de calcita micrítica cimentados por dolomita e esfalerita. Finas falhas de rejeito muito pequeno cortam os clastos. Na parte inferior encontra-se esfalerita como cimento e substituindo clastos de micrito, alguns deformados e girados. Veios zonados com esfalerita ao centro e dolomita tardia nas bordas. A dolomita reage com a encaixante e dissolve parcialmente a esfalerita. Esses veios estão budinados e a direção de distensão é concordante com o bandamento principal. Finos e raros veios de fluorita ocorrem nesta zona.

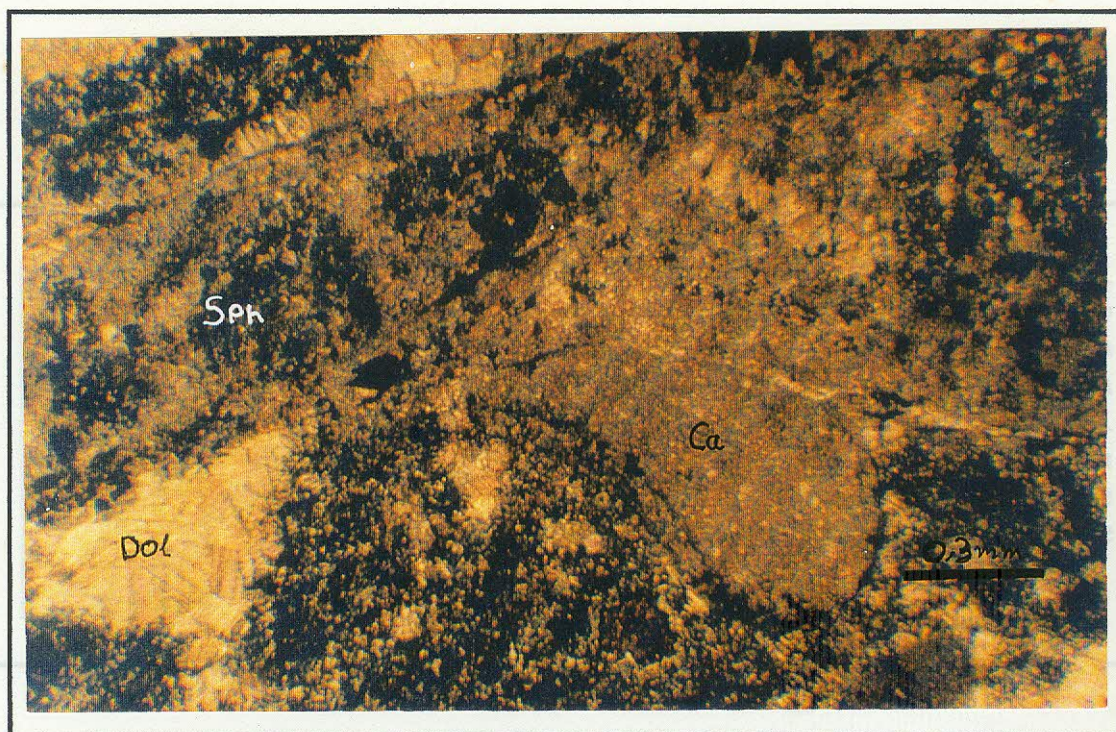


Foto 25 – Lâmina 116.10JC.10b. Foto tirada com luz transmitida, nicóis cruzados e objetiva 3.5/0.10 P. Intraclasto de calcita micrítica recurvado e girado no sentido anti-horário.

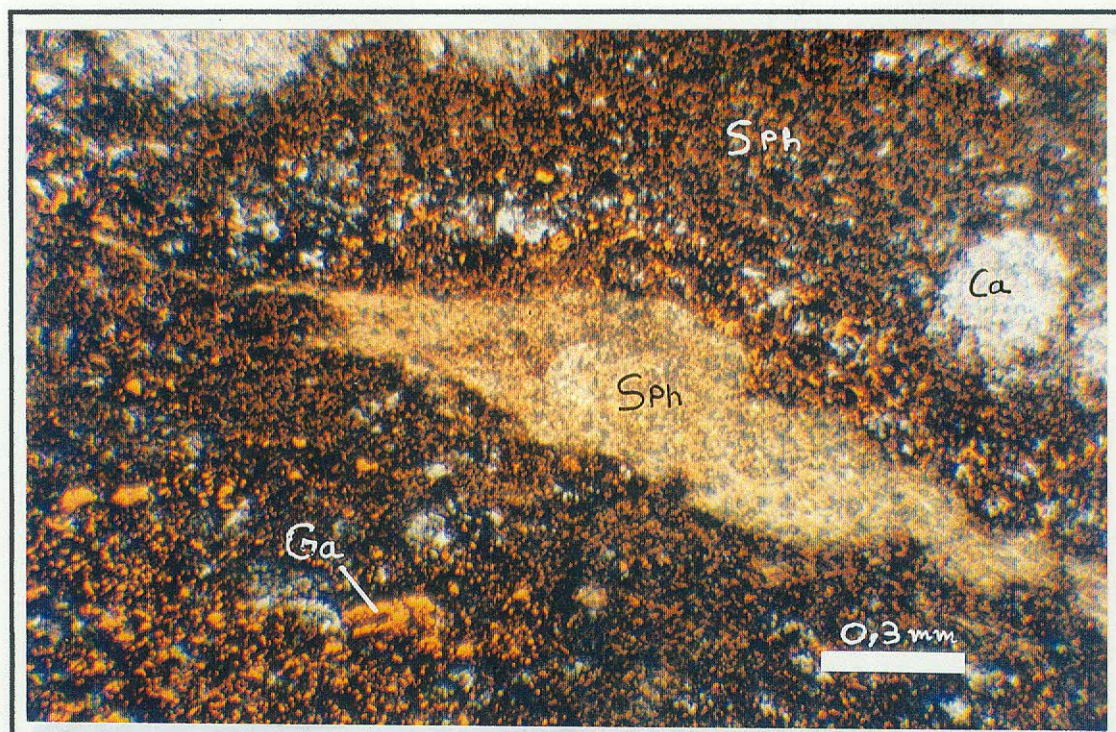


Foto 26 – Lâmina 150.23JKA.26a. Foto tirada com luz transmitida e refletida combinadas, nicóis paralelos e objetiva 3.5/0.10 P. Intraclasto de micrito substituído por esfalerita, achatado e estirado. A galena está depositada em torno da esfalerita.

183.GN.JKB.18b



A rocha apresenta intraclastos de calcita micrítica preservados, sendo que a maioria encontra-se substituídos por dolomita. Não há evidências de estrutura primária. A galena e a esfalerita dissolvem o carbonato. Planos de cisalhamento Sc foram observados concordantes com o bandamento composicional. A galena, a esfalerita e a pirita estão presentes nos planos e na clivagem. Veio de pirita deformado e craqueado. A foliação de deformação desvia de porfiroclastos de pirita. Veios de fluorita e de dolomita + esfalerita, também, exibem deformação.

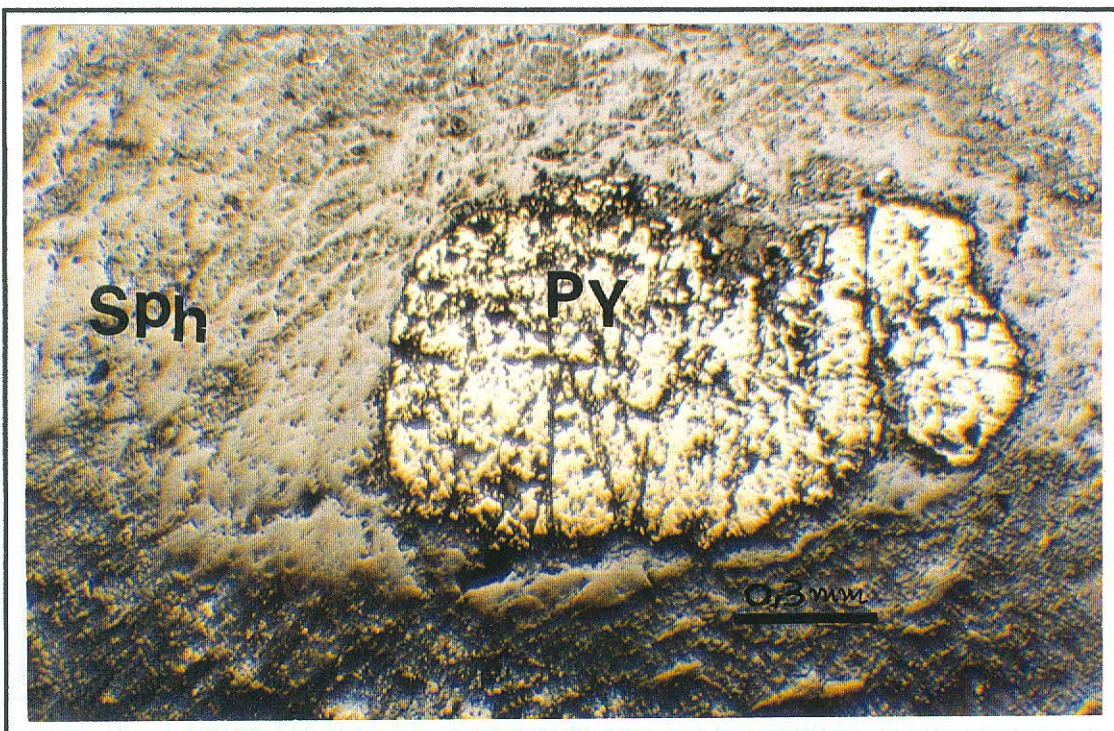


Foto 27 – Lâmina 183.GN.JKB.18b. Foto tirada com luz transmitida e refletida combinadas, nicóis paralelos e objetiva 3.5/0.10 P. Foliação formada por esfalerita é desviada ao redor da pirita.

116.9JC.22a



A lâmina exhibe uma faixa central fortemente mineralizada bordeada por uma zonas de fraca mineralização. Nesta última nota-se a presença de oólitos e intraclastos compostos, ou seja, vários clastos menores envolvidos por um maior. A dolomita bem formada, cimenta estes clastos. A faixa central parece se tratar de uma zona de cisalhamento restrita com planos anastomosados/entrelaçados. Planos Sc dessa rocha são vistos em amostra de mão, A clivagem deformacional penetra na zona adjacente, cortando a rocha, inclusive os clastos micríticos. A esfalerita está presente nesta clivagem. Clastos de carbonato e cristais de dolomita cimento estão deformados e estirados formando sigmóides. Às vezes ocorre fraturas tipo *crack & fill* preenchidas por esfalerita, devido ao forte fissuramento extensional no carbonato. O estiramento presente nesta faixa, também é observado na esfalerita, que se apresenta na forma de “fitas” descontínuas e paralelas entre si.

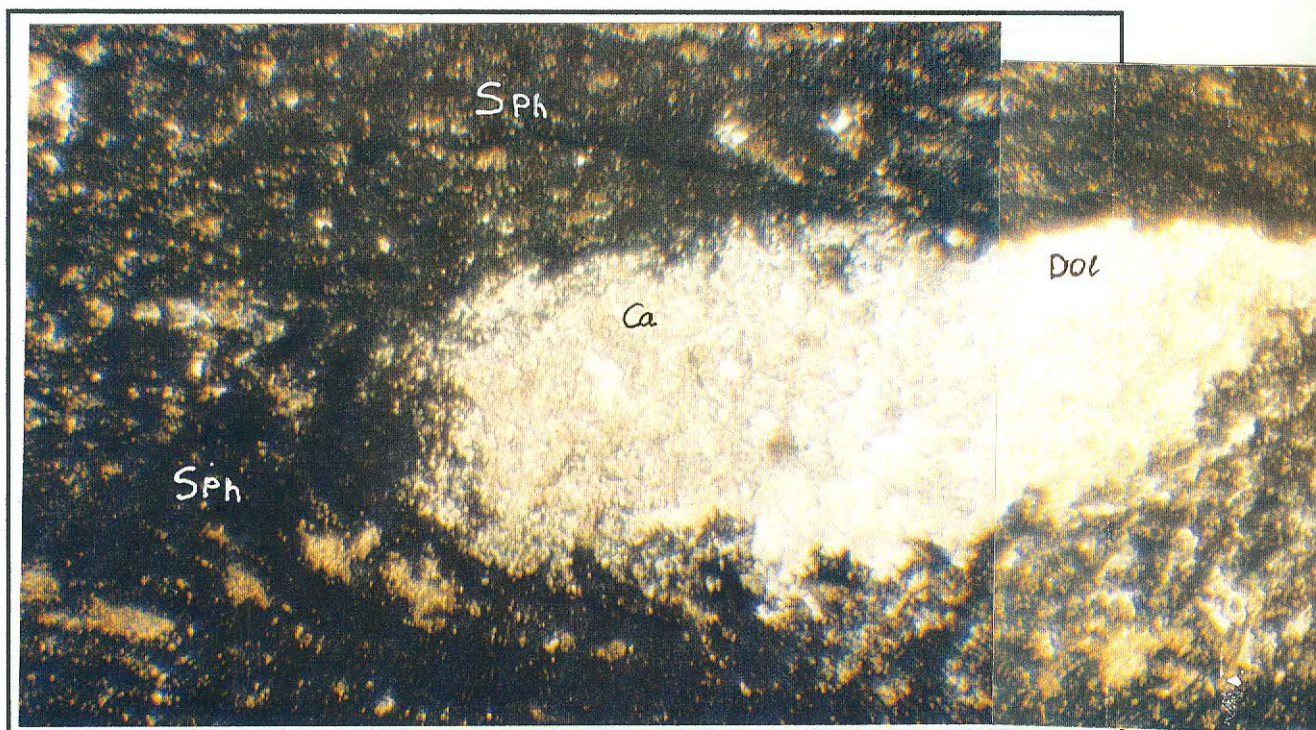
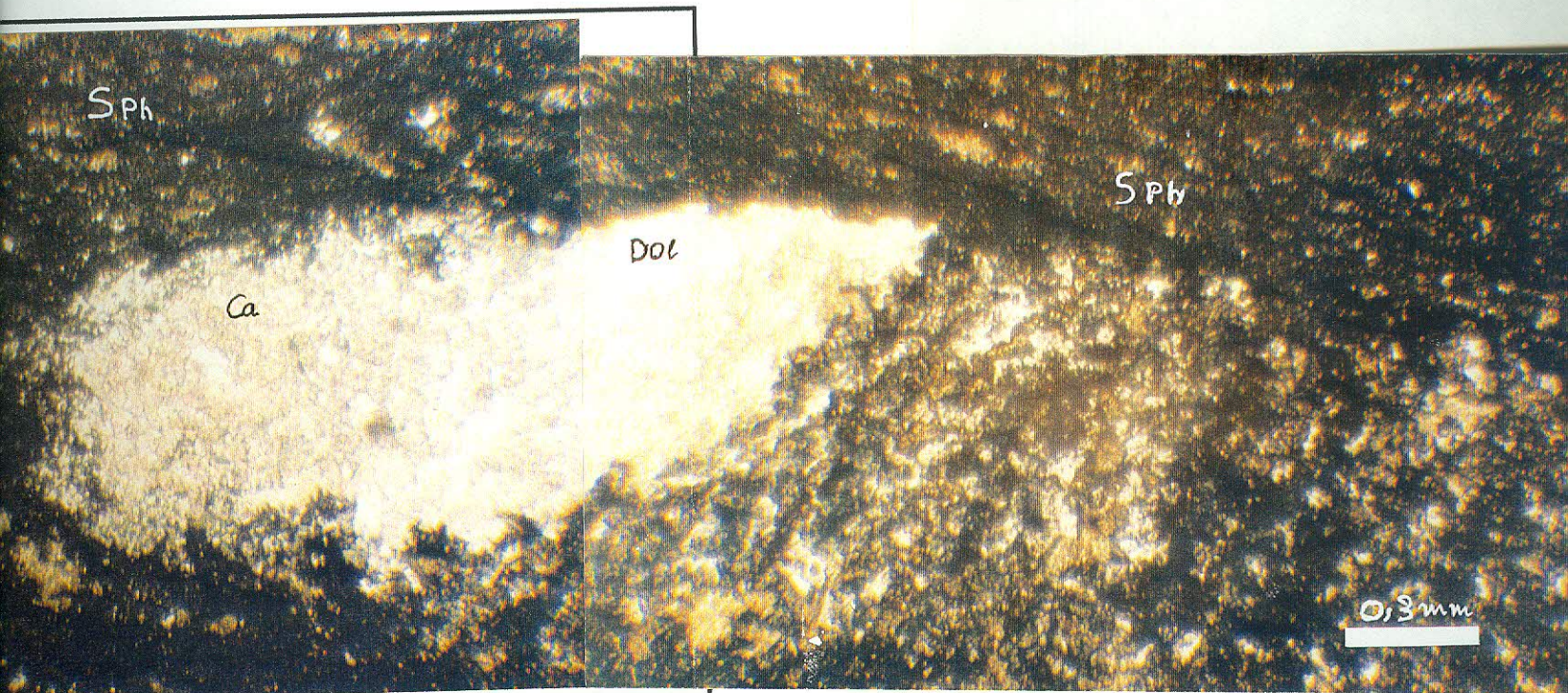


Foto 28 – Lâmina 116.9JC.22a. Foto tirada com luz transmitida, nicóis cruzados e objetiva 3.5/0.10 P. Intraclasto de calcita micrítica + dolomita deformado com estiramento. Notar o craqueamento na extremidade direita do clasto, onde a esfalerita e a galena dissolvem o carbonato.

exibe uma faixa central fortemente mineralizada por uma zona de fraca mineralização. Nesta última presença de oólitos e intraclastos compostos, ou seja, os menores envolvidos por um maior. A dolomita bem cimentada estes clastos. A faixa central parece se tratar de uma zona de cisalhamento restrita com planos foliados/entrelaçados. Planos *Sc* dessa rocha são vistos em campo. A clivagem deformacional penetra na zona cortando a rocha, inclusive os clastos micríticos. A mesma está presente nesta clivagem. Clastos de carbonato e de dolomita cimentada estão deformados e estirados sigmoidalmente. Às vezes ocorre fraturas tipo *crack & fill* preenchidas por esfalerita, devido ao forte fissuramento presente no carbonato. O estiramento presente nesta faixa, observado na esfalerita, que se apresenta na forma de lamelas contínuas e paralelas entre si.



C.22a. Foto tirada com luz transmitida, nicóis cruzados e 0.10 P. Intraclasto de calcita micrítica + dolomita com estiramento. Notar o craqueamento na extremidade do clasto, onde a esfalerita e a galena dissolvem o carbonato.

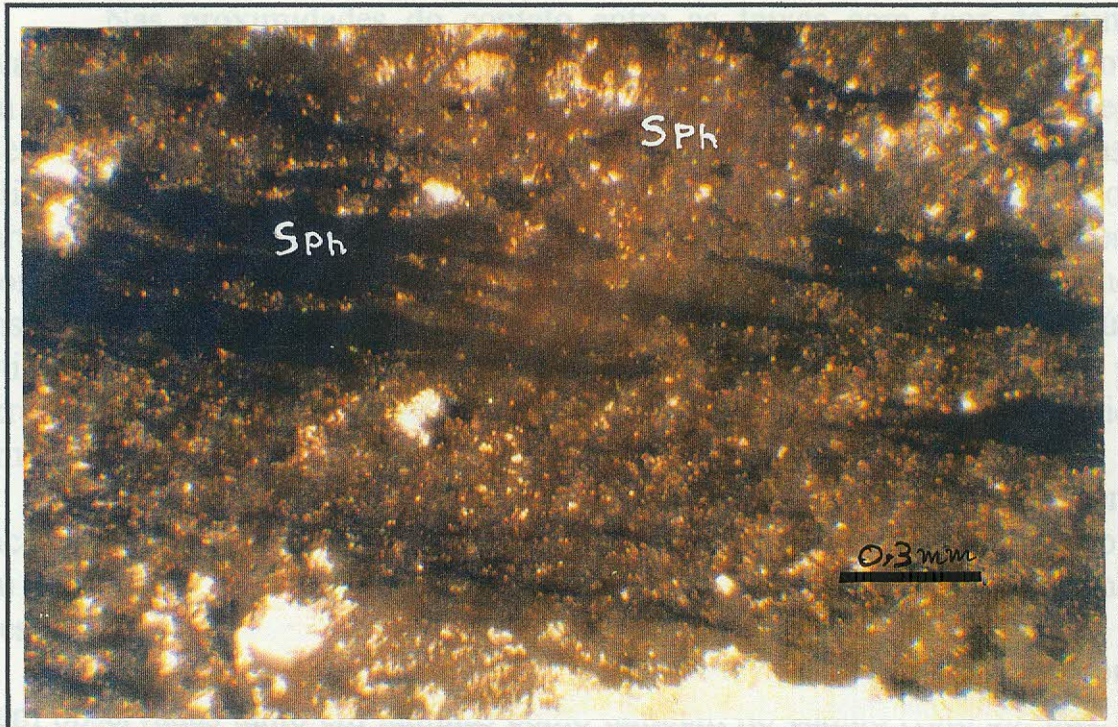


Foto 29 – Lâmina 116.9JC.22a. Foto tirada com luz transmitida e refletida combinadas e objetiva 3.5/0.10 P. Esfalerita fortemente estirada, formando “fitas” de cor negra.

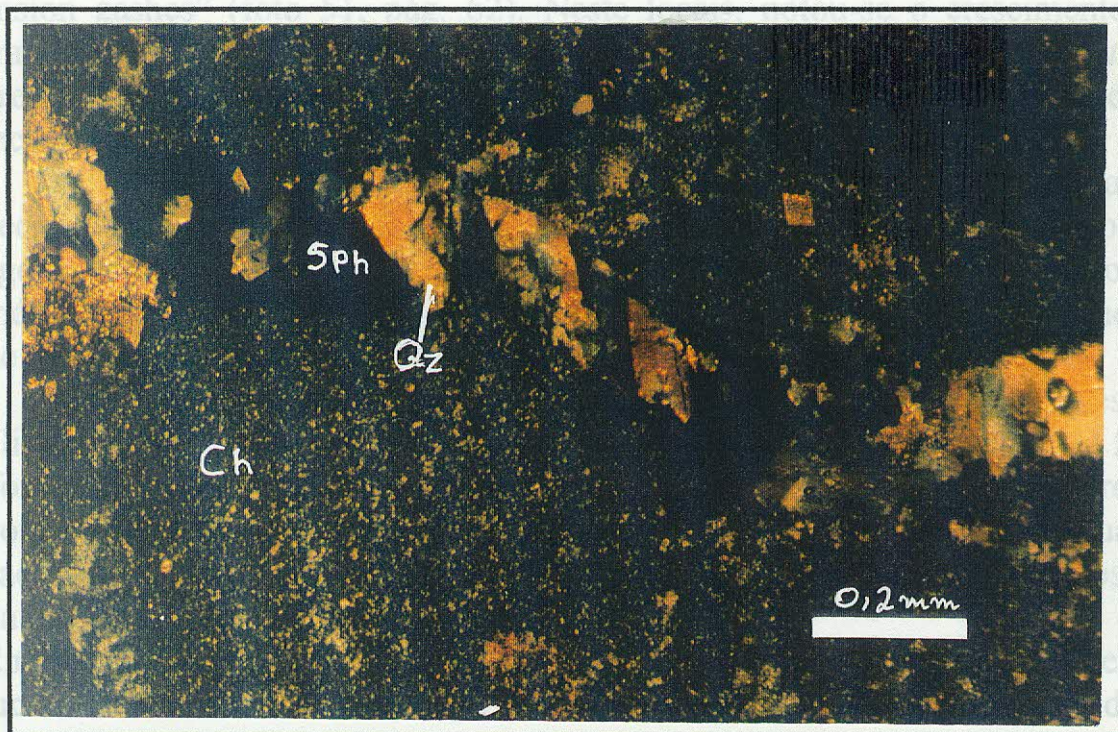


Foto 30 – Lâmina 183.GSW.L.9a. Foto tirada com luz transmitida, nicóis cruzados e objetiva 6.3/0.20 P. Veio de quartzo e esfalerita aparentemente deformados. O quartzo exibe crescimento lateral, não ortogonal às paredes do veio, estando portanto, reorientado segundo Sx.

Nas proximidades do contato entre as faixas com teor de minério elevado (cor amarela) e as zonas de menor teor, menos perturbadas, observou-se com mais clareza estruturas tipo *Sc* em estado dúctil e rúptil. Nesta região observou-se vênulas de quartzo e esfalerita associadas à possíveis zonas de deslizamentos. Notou-se um estiramento neste local, melhor evidenciado no quartzo (foto 31), sugerindo deposição posterior da esfalerita. Finos veios de dolomita boudinados, são encontrados em planos de cisalhamento, localmente transpostos pela foliação deformacional (foto 32), evidenciando estágio dúctil-rúptil. Por outro lado, a rocha exhibe planos de cisalhamento evoluídos para microfalhas de empurrão, que cortam e deslocam a foliação deformacional formada por esfalerita (foto 33).

Veios de quartzo recristalizado com forte extinção ondulante, ocorrem concordantes com o bandamento composicional. Esses veios são interrompidos e/ou desviados, quando em contato com a pirita (foto 34), que normalmente apresenta fraturas preenchidas pelo mesmo quartzo do veio.

Inúmeras “tension gashes” constituídas por quartzo e/ou dolomita foram observadas tanto em lâminas como também no campo (foto 36, pág. 48). O quartzo quando presente exhibe crescimento lateral e forte extinção ondulante (foto 52, pág. 63). Essa estrutura ocorre como veios sem raiz orientadas quase ortogonalmente ao bandamento composicional, mergulhando em torno de 80° W-NW. Comumente observou-se sistema de fraturas paralelas entre si oblíquas às bandas de pirita, preenchidas por quartzo e/ou dolomita, associadas às “tension gashes” (foto 51, pág. 62). Neste locais, notou-se o crescimento de fibras de quartzo, que localmente aparecem arqueadas denotando o *strain* incremental (foto 35). Acredita-se que a formação das “tension gashes” estejam relacionadas aos estágios finais da deformação.

Com base nas observações e evidências descritas acima, o autor acredita que intensa zonas de cizalhamento, desenvolvidas durante os esforços tangenciais de oeste para leste, foram responsáveis pela reconcentração do minério nesta região, formando bandas amareladas com altos teores de minério. Este assunto será melhor tratado nos próximos capítulos.

O complexo sistema de falhas e fraturas descrito em detalhes na bibliografia e parcialmente observado pelo autor, revela estágio final deformacional, onde a mineralização é cortada por falhas normais de direção aproximada NS e, secundariamente, EW. Estes falhamentos compõem o quadro característico de falhas de gravidade por acomodação das rochas em resposta à uma distensão da crosta ou a um desequilíbrio de forças causadas pela sedimentação sobrejacente ao embasamento. Tendo em vista que os falhamentos pouco contribuíram ao condicionamento do teor de minério e a dificuldade de se chegar nesses locais da mina, por motivos de segurança, o autor optou em não dar ênfase ao estudo dessas estruturas. Apenas visitas e algumas medidas, quando possível, foram realizadas.

50.GE.BAS.5b



Litoclastos substituídos quase totalmente por dolomita, com ausência de estruturas primárias. Dolomita e esfalerita cimentam os clastos. Bolsões zonados com quartzo e dolomita ao centro e esfalerita nas bordas, orientados na direção preferencial do bandamento composicional. Os contatos desses veios com a encaixante é irregular, a esfalerita penetra lateralmente para dentro da encaixante, reagindo com o carbonato presente. A dolomita de veio parece estar em equilíbrio com a esfalerita. Micro zonas de cisalhamento com alta concentração de esfalerita. Quartzo deformado e recrystalizado, exibindo lamelas de deformação.

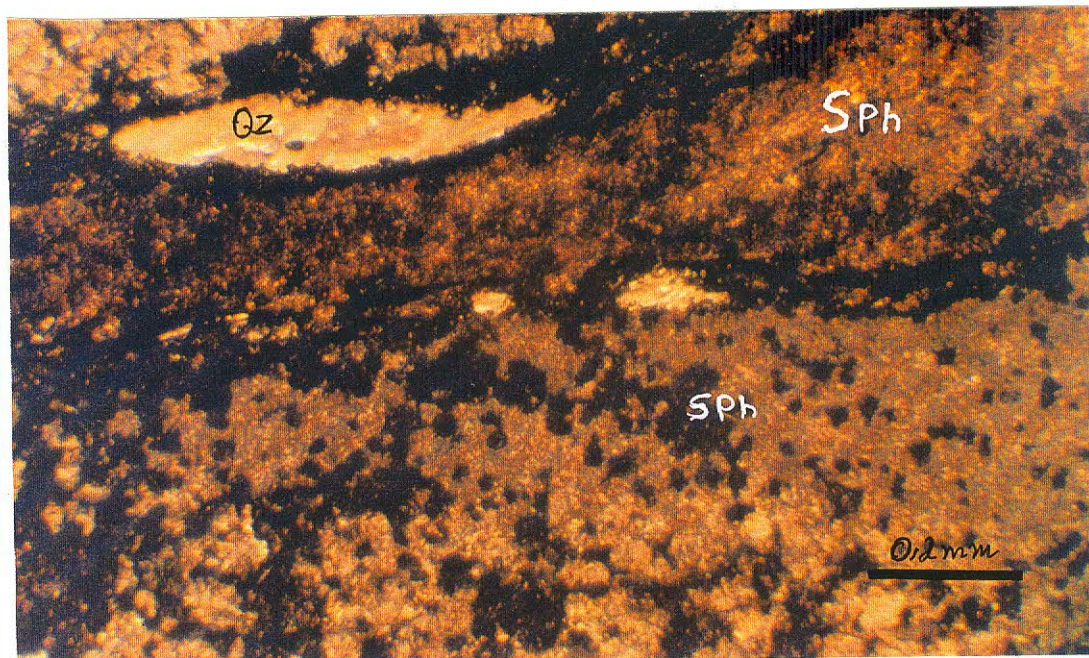


Foto 31 – Lâmina 50.GE.BAS.5b. Foto tirada com luz transmitida, nicóis paralelos e objetiva 5.6/0.15 P. Vênula de quartzo achatado e boudinado concordante com faixa de esfalerita de cor caramelada, paralela ao bandamento principal.

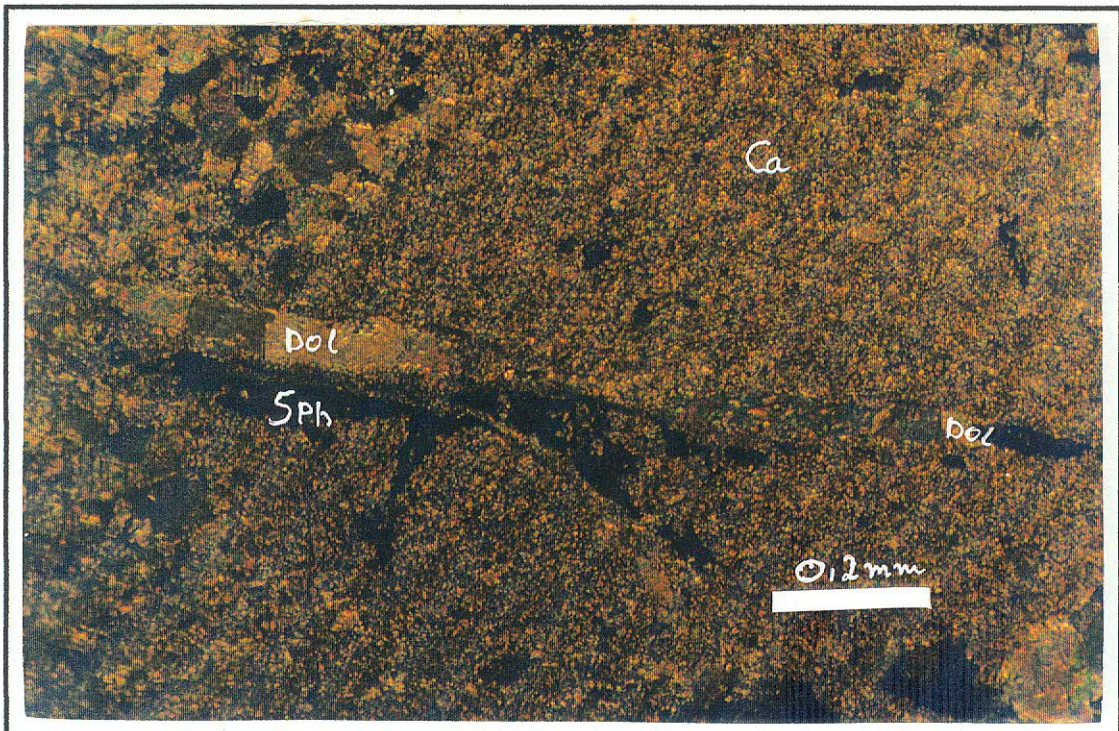
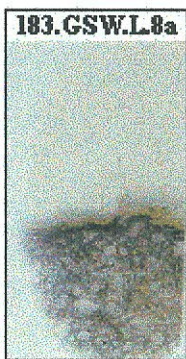


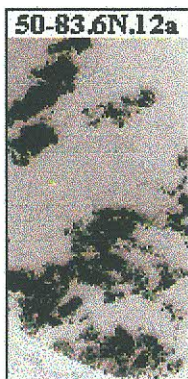
Foto 32 – Lâmina 116.10.JC.10b. Foto tirada com luz transmitida, nicóis cruzados e objetiva 6.3/0.20 P. Veio de dolomita boudinado, associado à zona de cisalhamento.



A lâmina é formada por duas faixas distintas. Na parte superior foi observado intraclastos de calcita micrítica substituídos parcialmente por dolomita. A esfalerita cimenta e dissolve o carbonato. Próximo ao contato com a faixa inferior, observou-se falhas de baixo ângulo com planos concordante com a foliação principal. Na faixa inferior, o teor de esfalerita e de galena é mais elevado do que na faixa anterior, ocorrendo da mesma forma citada anteriormente. Veios assimétricos com dolomita em uma das bordas do veio e fluorita na outra, também foram observados nesta faixa. A zona de contato é evidenciada por planos de cisalhamento, onde clastos de micrito estão estirados e a esfalerita presente na clivagem deformacional.



Foto 33 – Lâmina 183.GSW.L.8a. Foto tirada com luz transmitida, nicóis cruzados e objetiva 3.5/0.10 P. Zonas de cisalhamento com falhas de baixo ângulo deslocando a foliação Sx formada por esfalerita.



Rocha constituída por dolomita, pirita e esfalerita. A esfalerita está presente em pequenas quantidades, cimentando os cristais de dolomita e dissolvendo-os. Bandas de pirita irregulares (manchas escuras na figura) subconcordantes com a foliação principal. Fraturas sem raiz (“tension gashes”) ortogonais à foliação principal cortam o carbonato e a pirita. Estas estão preenchidas por dolomita tardia e mais raramente por esfalerita. A dolomita tardia quando em contato com a pirita exhibe bordas de reação.

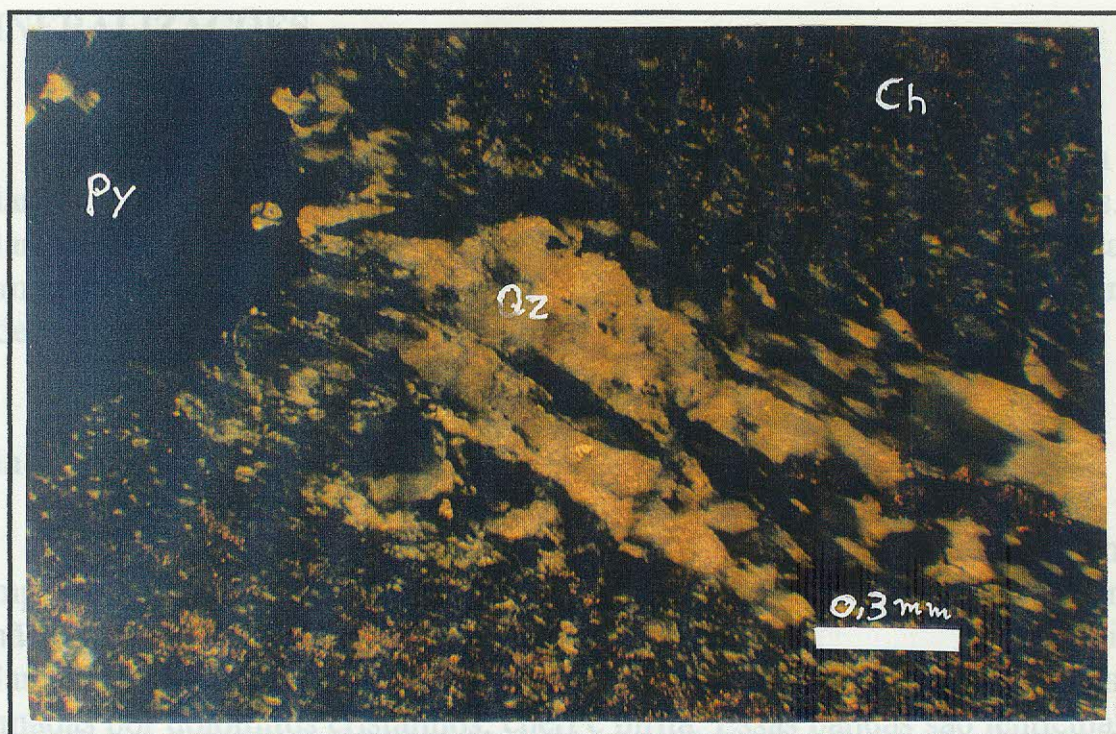


Foto 34 – Lâmina 50-83.6N.12c. Foto tirada com luz transmitida, nicóis cruzados e objetiva 3.5/0.10 P. Veio de quartzo com forte extinção ondulante. Fraturas na pirita (canto superior esquerdo da foto) são preenchidas por este tipo de quartzo.

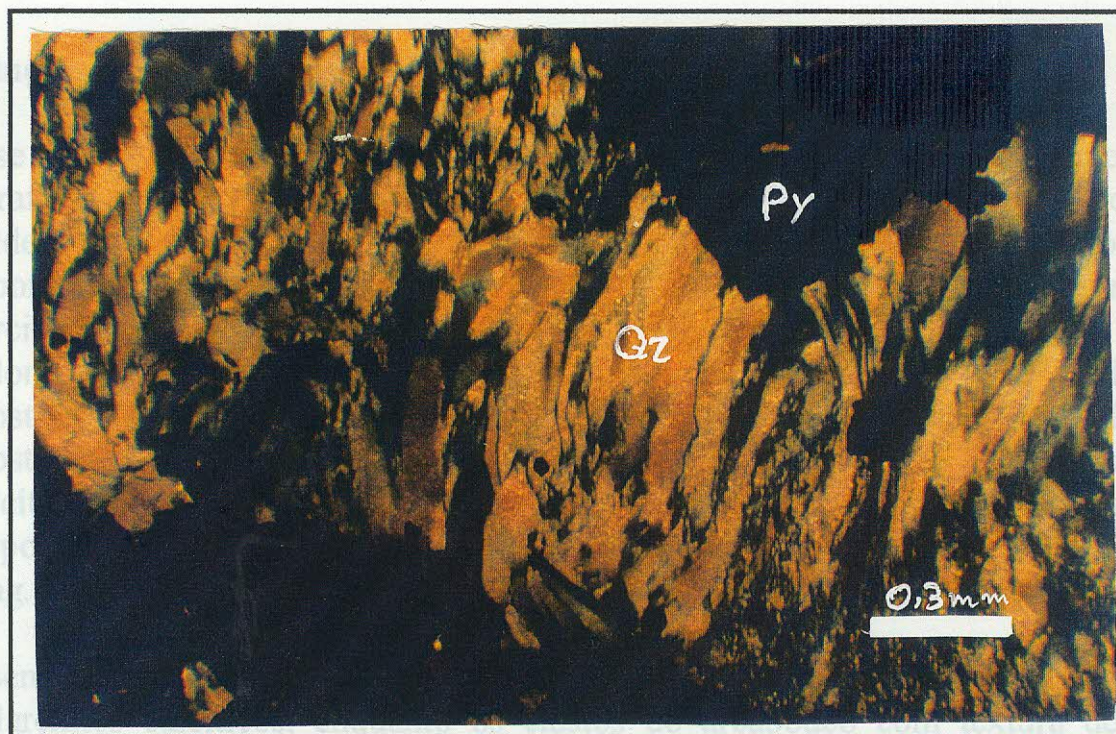


Foto 35 – Lâmina 50-83.6N.12c. Foto tirada com luz transmitida, nicóis cruzados e objetiva 3.5/0.10 P. Quartzo fibroso exibindo crescimento lateral e com forte extinção ondulante, preenchendo fratura da galena. Notar arqueamento em algumas fibras (porção centro-direita da foto).

MINERALIZAÇÕES

A mineralização da jazida de Morro Agudo está hospedada nos dolarenitos calcíticos, nas brechas dolareníticas-calcíticas e dolomíticas. Os dolarenitos calcíticos constituem a principal rocha hospedeira da mineralização. Com base no seu modo de ocorrência, obedecendo critérios físicos, o minério pode ser dividido nas seguintes categorias:

Minério bandado

O minério bandado caracteriza-se pelo fino bandamento composicional, paralelo e não homogêneo com alternância de bandas de minério e não mineralizadas. As bandas mineralizadas estão associadas aos níveis de dolarenitos calcíticos, que exibem forte cor amarela. Já as bandas estéreis são formadas por dolomitos cristalinos, chert e pirita. Essas bandas são lenticulares e nem sempre podem ser observadas ocorrendo juntas num determinado ponto da rocha. Nas fotos 36, 12 (pág. 24), 13 e 14 (pag. 25), pode-se observar bem a variedade com que as bandas mineralizadas e não mineralizadas estão distribuídas na rocha.

Minério tipo cimento (por substituição)

Esse tipo de mineralização está associado aos dolarenitos calcíticos e as brechas intraformacionais de matriz dolarenítica-calcítica. A mineralização é evidenciada pelo entremeio dos minerais de minério nos intraclastos, e subordinadamente, oólitos. O minério ocorre como cimento substituindo parcialmente e totalmente a “matriz” e os clastos de calcita micrítica e/ou dolomita exibindo textura dendrítica e esquelética. Em alguns pontos da rocha, a substituição é completa. É comum observar, principalmente a esfalerita substituindo os clastos de textura sacaróide. Desse modo, os dolarenitos calcíticos e o cimento exibem tonalidade amarela e/ou cinza chumbo, responsável pela presença da esfalerita e da galena, respectivamente. As fotos 10 (pag. 23) e 37 mostram como este tipo de mineralização se apresenta na rocha.

Nas brechas intraformacionais, a mineralização situa-se na “matriz” essencialmente dolarenítica-calcítica, com as mesmas características dos dolarenitos calcíticos, enquanto os clastos do arcabouço com textura de grã muito fina mantém-se praticamente estéreis.

O chert associado a essas mineralizações, mostra-se também substituindo, tanto a matriz carbonática micrítica como os intraclastos de micrito. Muitas vezes, este chert ocorre recristalizado na forma de quartzo fino

cimentando os grãos de micrito substituídos. O chert e o quartzo disputa espaço com a esfalerita, que reage e substitui esses parcialmente (foto 11, pag 24).

Minério venular e filoniano (preenchimento)

Esse tipo pode ser encontrado em todas as rochas mineralizadas pelos tipos anteriores.

A mineralização ocorre em vênulas, bolsões e veios subconcordantes e discordantes com o bandamento principal. O material é constituído de esfalerita, galena, pirita, dolomita, quartzo e barita. O minério nestes locais exhibe cristais maiores do que os tipos anteriores. O tamanho médio desses cristais é da ordem de 0,5 cm. A esfalerita aparece de cor acastanhada, que herdada do ferro presente na estrutura cristalina da esfalerita.

Foi notado zoneamento típico nos veios e bolsões subconcordantes com o bandamento composicional, com a galena cristalizada nas bordas, a esfalerita na zona de intermediária e ao centro quartzo, dolomita e barita, estes variando de local para local na rocha. O quartzo e a dolomita ocorrem sempre de cor branca, já a barita, normalmente exhibe uma tonalidade rosada. A esfalerita e a galena, às vezes, também ocorrem associadas à zona central. A pirita quando ocorre está cristalizada na zona intermediária e central. Este material filoniano está associado ao dolarenito calcítico que exhibe faixas amareladas com alto teor de esfalerita. A origem dessa mineralização parece estar relacionada a uma fase tardia de deposição do minério de substituição, onde as soluções mineralizantes desta fase preencheram espaços na rocha formados durante a deformação, responsável pelo estiramento e pela boudinagem, produzindo lenticularização nesses veios. A espessura máxima encontrada para esses veios, não ultrapassa 8 cm. Já nos bolsões que apresentam formas circulares irregulares, torna-se difícil a observação de indicativos de deformação. A espessura média desse material é da ordem de 15 a 20 cm. As fotos 38, 39, 40 e 41 mostram a diversidade com que esses veios e bolsões se encontram na rocha.

Quanto aos veios e bolsões discordantes com o bandamento composicional, pôde se observar um caráter mais rúptil que os demais descritos anteriormente. Na mina eles ocorrem de duas maneiras: associados às brechas dolomíticas, responsáveis pelo brechamento da rocha (fotos 2 a 6, págs. 16 a 18) e um segundo caso, como veios subverticais com espessura de 1 m ou mais nas partes mais altas, cortando rocha dolomítica fracamente arenosa e não mineralizada. Estes estão associados a grandes “tension gashes” que neste caso, infelizmente, tiveram suas reservas totalmente lavradas, impossibilitando o estudo desses veios e a coleta de boas amostras. Na foto 42 pode se observar vestígios da mineralização junto ao dolomito que representava a encaixante desses veios.



Foto 36 – Amostra 83.10N.16a. Rocha formada por bandas de chert, pirita e esfalerita. A galena é pouco observável nesta foto, ocorre em menor quantidade associada à esfalerita (canto superior esquerdo da foto). Todo conjunto é cortado por “tension gashes”, preenchidas por quartzo e dolomita.

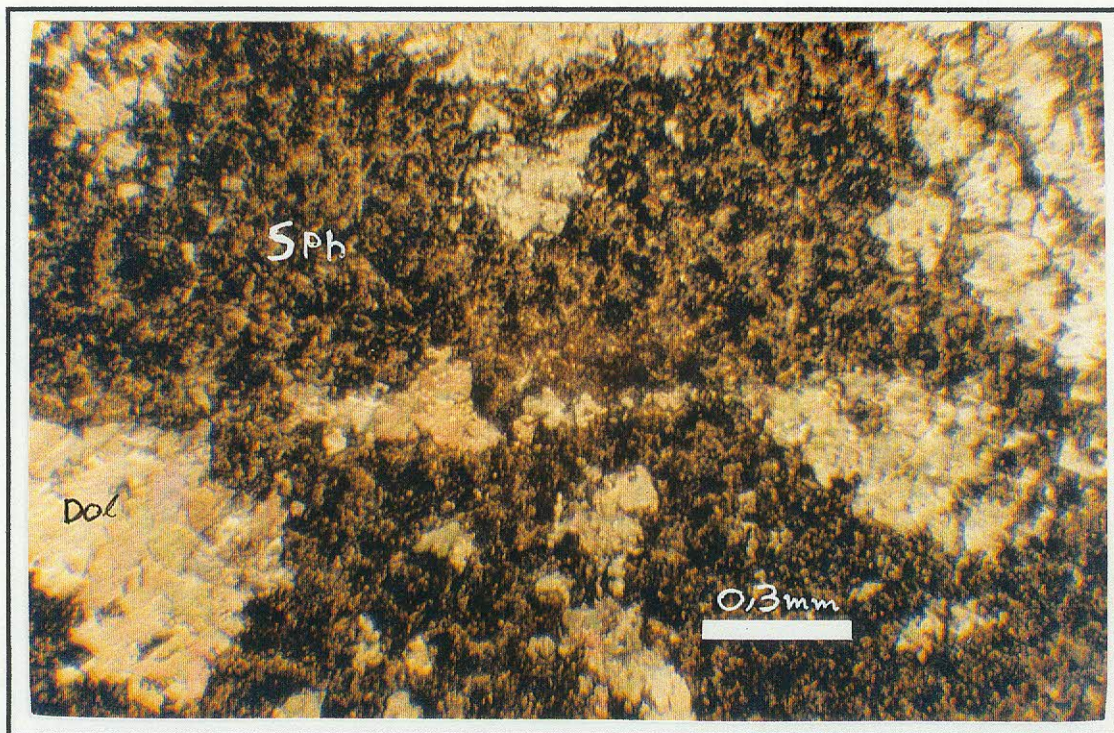


Foto 37 – Lâmina 50.GE.BAS.5b. Foto tirada com luz transmitida e refletida combinadas, nicóis paralelos, objetiva 3.5/0.10 P. Antigos litoclastos totalmente substituídos por dolomita. A esfalerita de cor marrom, faz o cimento da rocha. Notar que a esfalerita reage e dissolve a dolomita, entremeando os cristais. branca na foto tem 7 cm de comprimento.

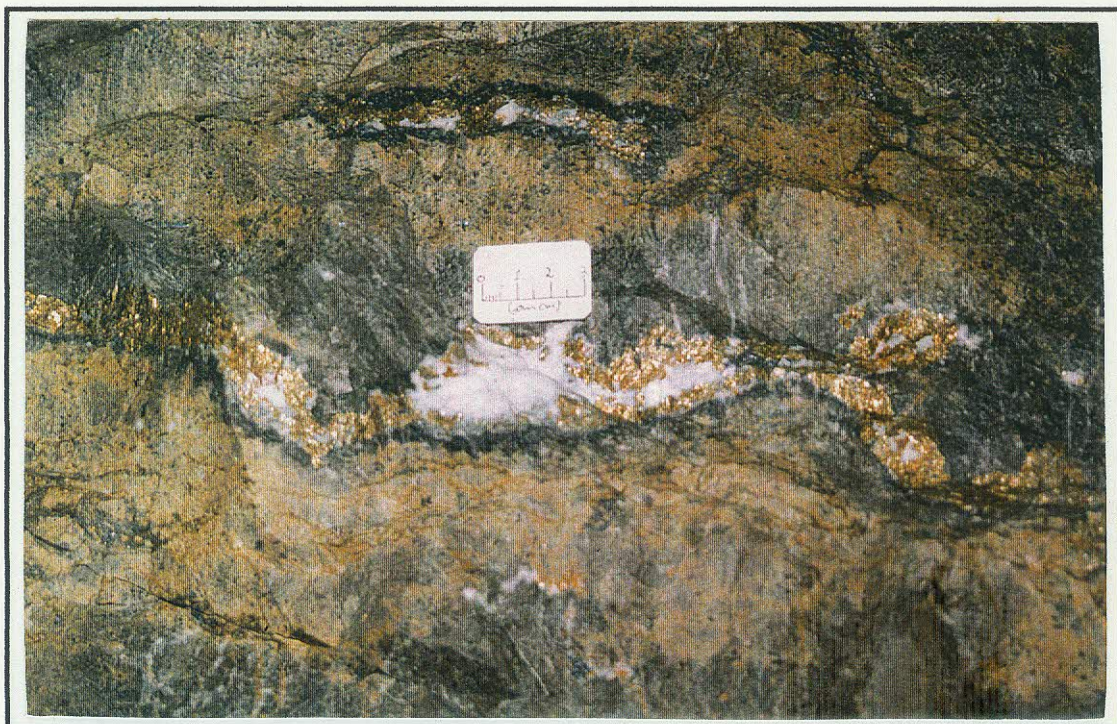


Foto 38 – 150.RA.JKB.6. Veios zonados formado por galena no contato com a encaixante, pirita na zona intermediária e ao centro dolomita, quartzo e barita. Estes veios são concordantes com o bandamento composicional.

bolsões. Notar ao lado da zona filoniana, zona lamirada constituída em esfalerita.

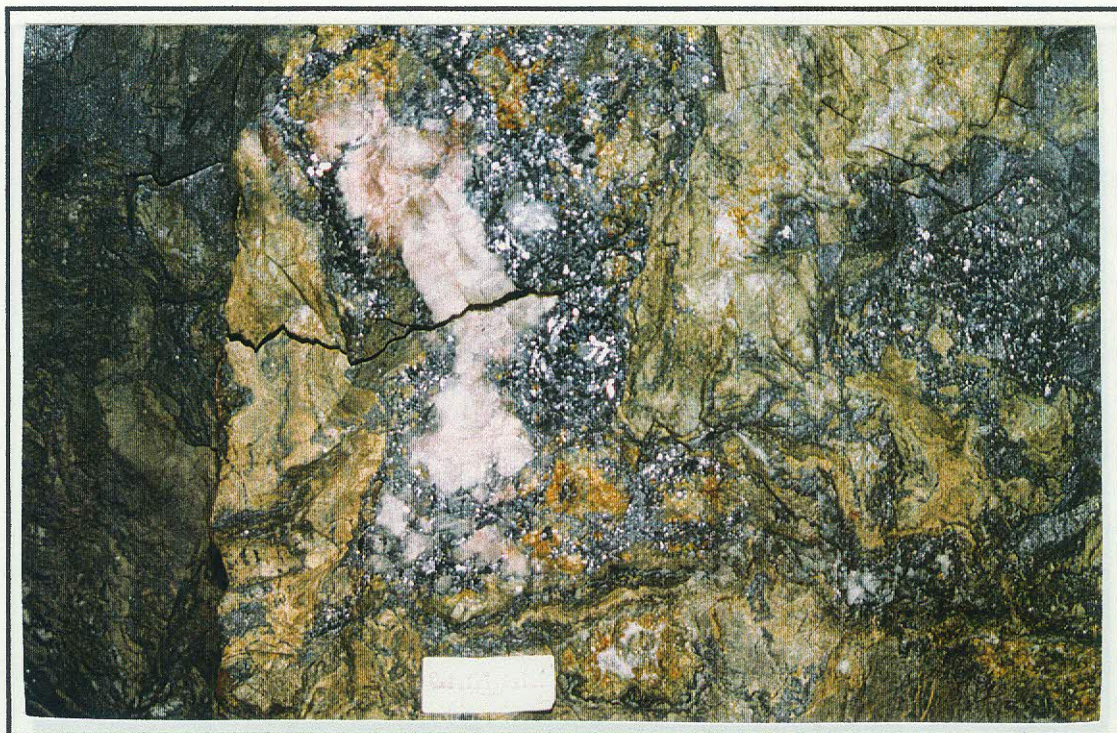


Foto 39 – 150.23JKA.26. Zona perturbada mostrando bolsão zonado. Galena maciça depositada em torno de material branco composto por dolomita, quartzo e barita. Esfalerita de cor caramelada ocorre em alguns pontos da zona perturbada. Notar à direita na foto, migração lateral da galena. A tira branca na foto tem 7 cm de comprimento.



Foto 40 – 150.23JKA.25. Zona perturbada mostrando bolsões alongados aparentemente estirados. A zona central é composta principalmente por barita. A galena ocorre maciça irregularmente em torno dos bolsões. Notar ao lado da zona filoniana, zona laminada constituída em esfalerita.

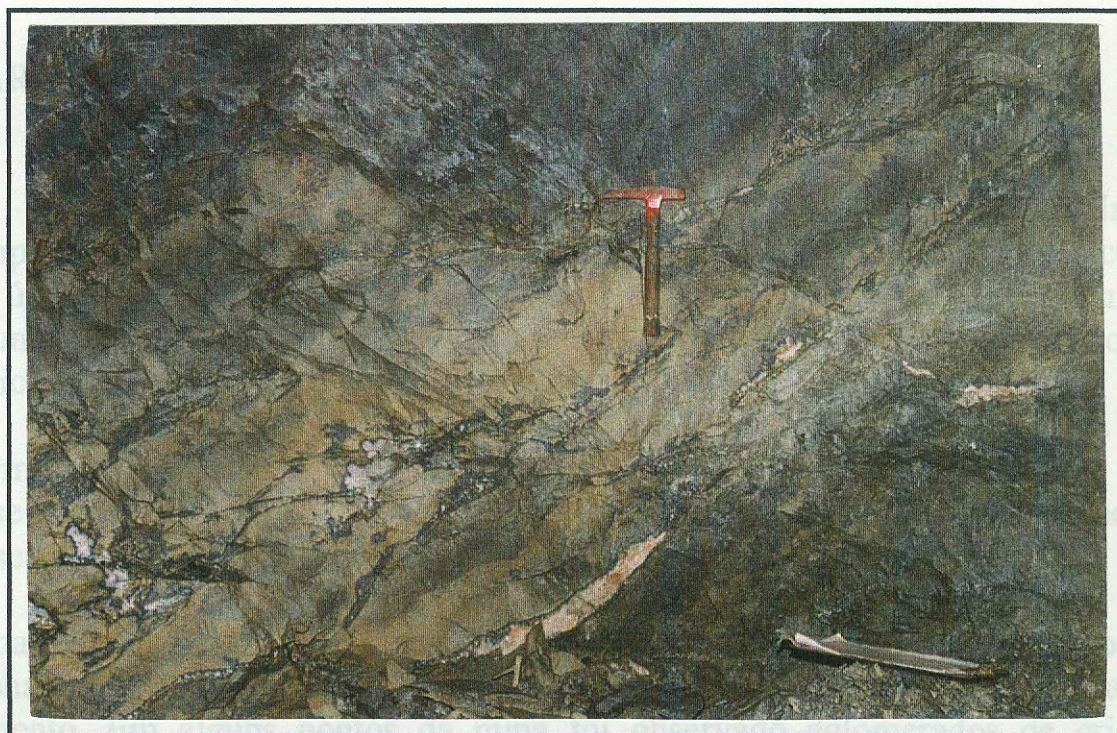


Foto 41 – 150.RA.JKB.6. Visão geral do material filoniano. Veios e bolsões mineralizados concordantes com o bandamento composicional, deformados e estirados. Notar intenso fraturamento. Localmente trunca bolsão (canto inferior esquerdo da foto).



Foto 42 – 83.RA.M.32. A foto mostra vestígios do minério de veio na zona de contato com a encaixante. Atualmente este minério já foi totalmente lavrado. A porção branca no alto da foto tem aproximadamente 1 m de altura.

PARAGÊNESE E SUCESSÃO

A paragéneze da jazida de Morro Agudo caracteriza-se por relativa simplicidade mineralógica. A esfalerita, a galena e a pirita apresentam-se como os únicos minerais de minério e os minerais de ganga incluem de maneira abundante calcita, dolomita, chert, quartzo e, mais raramente, barita, fluorita, sericita e goetita, sendo os dois últimos constituintes muito escassos.

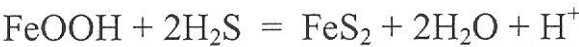
A análise microscópica do minério e dos minerais de ganga nos permite propor para este trabalho, ordem de deposição destes elementos com base nas suas relações físicas, texturais e estruturais. A sucessão paragenética observada nas rochas estudadas da mina, pode ser vista na figura 4.

A pirita apresenta-se como grãos subeuédricos a xenomórficos com tamanho inferior a 0,3 mm. Esses grãos ocorrem dispersos e disseminados na rocha, aparentemente inclusos ou “por cima” dos cristais de dolomita do cimento. Em alguns pontos da mina foi observado aglomerados de cristais maiores de pirita formando bandas irregulares da ordem de 1 cm de espessura. Nessas bandas alguns grãos de pirita exibem irregularidades no seu interior e espaços entre as faces do cristal, preenchidas por dolomita. Outros mostram suas

bordas substituídas por esfalerita (foto 43) e galena. Tais evidências sugerem que a pirita é mais antiga que a esfalerita e a galena.

Em uma das lâminas examinadas, na zona de contato entre dolarenito calcítico e ardósia carbonatada, observou-se a pirita substituindo a goethita (foto 44). A escassez dessa evidência, se deve ao fato, de que possíveis vestígios de goethita teriam sido consumidos pelo metamorfismo e hidrotermalismo, e o espaço deixado, preenchido por dolomita tardia (fotos 43, pág. 53 e 46, pág. 56).

As observações acima descritas, sugerem que a goethita é sinsedimentar e a substituição por pirita se deu provavelmente durante a diagênese dessas rochas, através da reação:



A esfalerita, quando em anéis nos limites dos intraclastos ou quando em formas esféricas a elipsóides constituindo o próprio intraclasto da rocha hospedeira, apresenta-se como um agregado cristalino. O tamanho dos seus cristais em geral é inferior a 0,1 mm. Suas ocorrências nessas formas derivam-se de substituições parciais ou totais da dolomita cimento, da calcita micrítica e da dolomita como constituintes dos intraclastos (foto 10, pág. 23) e, subordinadamente, oólitos. O caráter das substituições evidencia-se pela presença de remanescentes de carbonato, por vezes, euédricos nos agregados de esfalerita (foto 37, pág. 48). A textura “cárie”, observada nas bordas da ganga em relação à esfalerita, constitui outro indício de tais substituições.

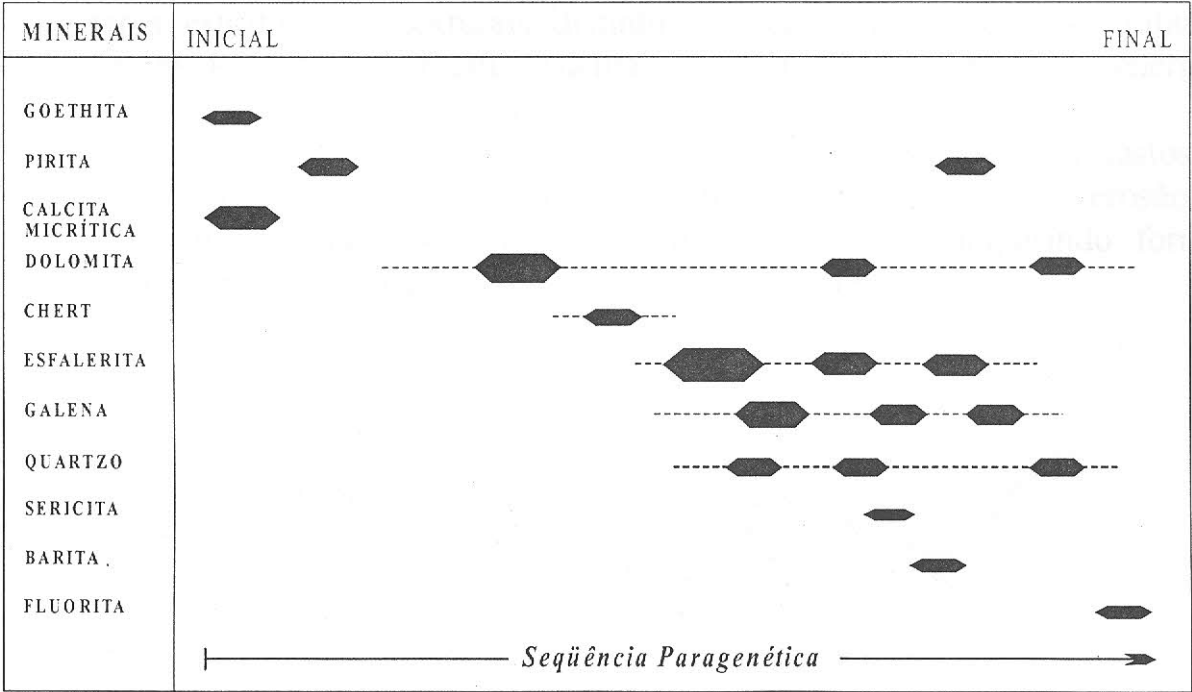
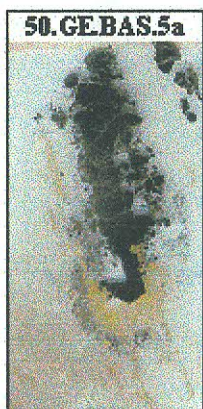


Fig. 4 – Sequência paragenética proposta para a mina de Morro Agudo.



Rocha formada por dolomita, esfalerita, galena e pirita. A esfalerita e a galena cimentam os grãos de dolomita, dissolvendo-os parcialmente. A mineralização exhibe faixas descontínuas e paralelas variando no teor de minério. A pirita ocorre em bandas irregulares paralelas às faixas de minério. Essa feição é concordante com a foliação principal. Fraturas sem raiz quase ortogonais à foliação principal, cortam principalmente a pirita, preenchidas por dolomita tardia. Observou-se esfalerita euédrica invadindo a pirita. As fraturas acima descritas, não cortam a esfalerita.

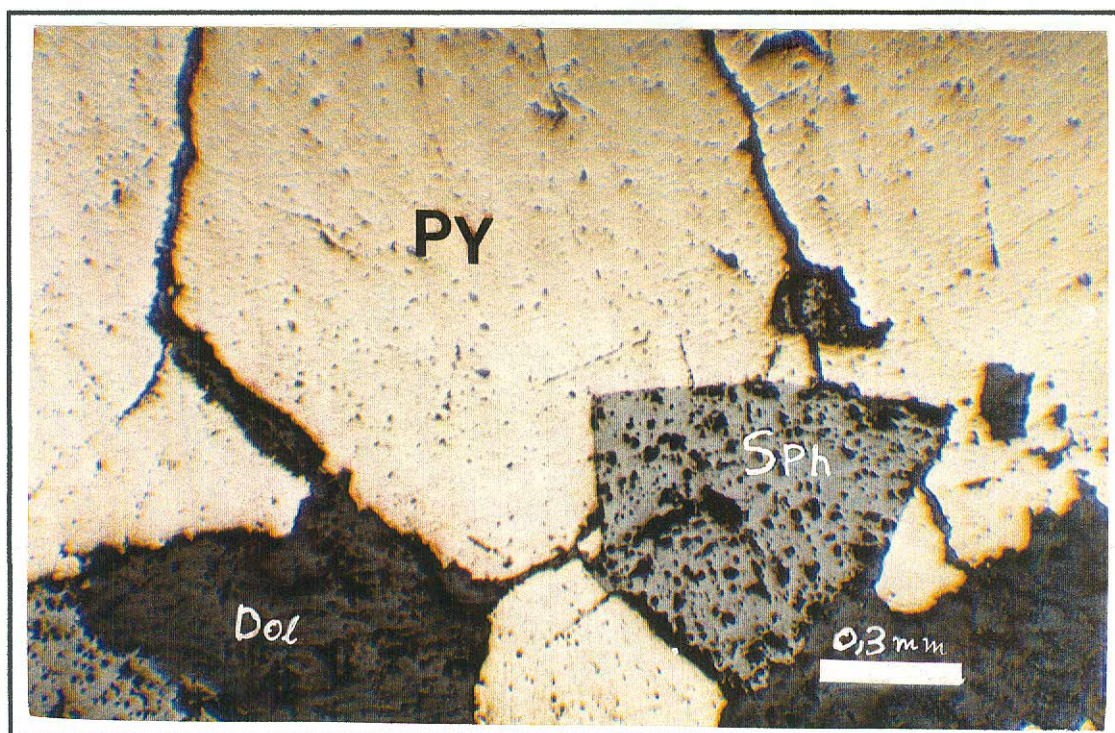


Foto 43 – Lâmina 50.BE.BAS.5a. Foto tirada com luz refletida, nicóis paralelos e objetiva 3.5/0.10 P. Pirita exibindo fraturas subparalelas entre si, preenchidas por carbonato. Esfalerita euédrica depositada na borda da pirita. Notar que a fratura à direita na foto não corta a esfalerita. Dolomita tardia preenche pequenas cavidades na pirita.

150.GN.L.27



Lâmina do contato entre calcita-dolarenito e lente de dolomito laminado carbonoso. Notou-se cristais de pirita substituindo a goethita. A goethita é envolvida pela pirita. A transformação se deu através da reação:

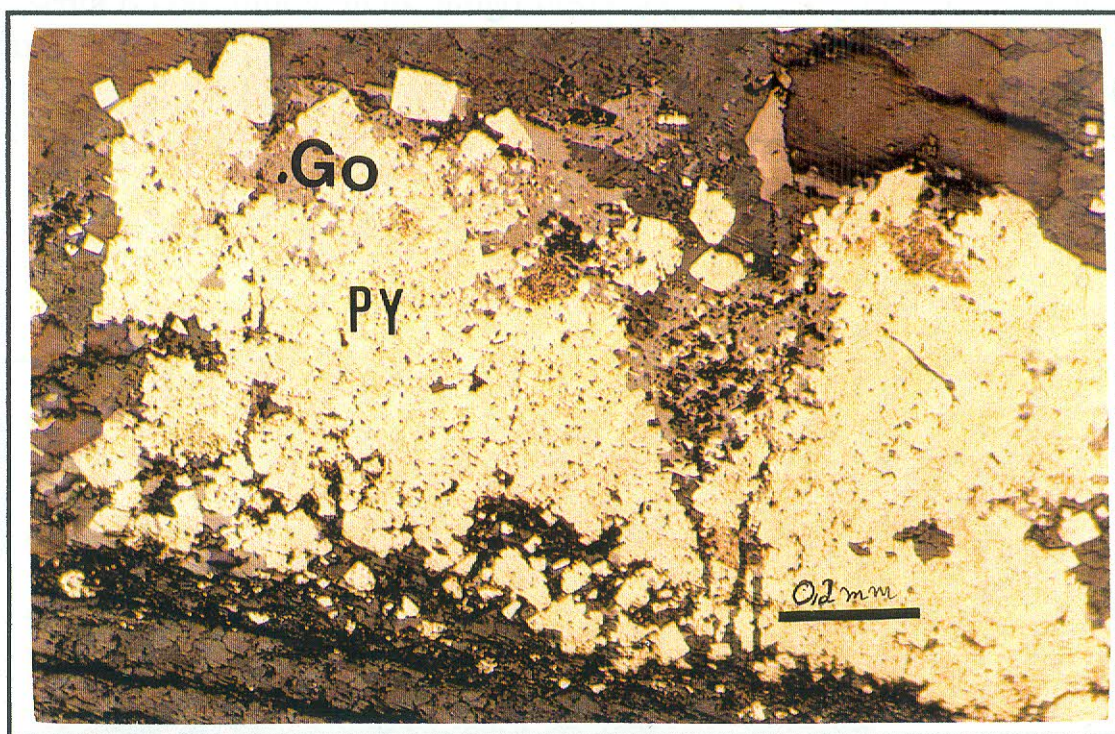
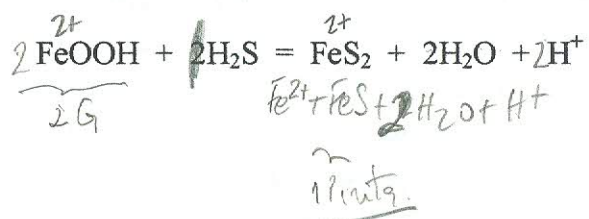


Foto 44 – Lâmina 150.GN.L.27a. Foto tirada com luz refletida, nicóis paralelos e objetiva 6.3/0.20 P. Cristais de goethita sendo substituídos por pirita.

A galena distribuída à semelhança da esfalerita, mostra os agregados cristalinos entremeados nos intraclastos. Desse modo, a galena encontra-se, substituindo o micrito e a dolomita dos intraclastos, a esfalerita, a pirita e a dolomita cimento (foto 45 e 46). Tais substituições são sugeridas pela presença

de várias texturas indicativas do processo. A textura reliquial da galena caracteriza-se pelos remanescentes de esfalerita, carbonato e, ocasionalmente, de pirita (foto 46). A textura “cárie” aparece com frequência tanto nas bordas da esfalerita como do carbonato.

A sílica na forma de chert e quartzo foi observada cimentando e substituindo grãos de dolomita (foto 47) e o micrito dos intraclastos. Observou-se intraclastos de micrito parcialmente e totalmente substituídos por chert. O quartzo recristalizado a partir desse chert, cimenta os clastos formando anéis descontínuos em torno dos mesmos. A esfalerita presente nesta situação, dissolve parcialmente o chert. Aparentemente o quartzo se formou após a deposição da esfalerita, notou-se grãos euédricos de quartzo “banhados” pela esfalerita. Estas relações podem ser observadas na foto 11 (pág. 22). As evidências descritas, sugerem que o chert é mais jovem do que os carbonatos e mais antigo do que a esfalerita, e o quartzo representa o constituinte mais jovem desta relação. Foi observado em partes mais silicosas da rocha, um entrelaçamento de cristais, que exibe ordem de deposição desses. O chert representa o constituinte mais antigo desta sequência, seguido pela esfalerita e galena. O quartzo ocorre como produto de recristalização do chert e é posterior a todos. Esta feição caracteriza a textura dendrítica e esquelética da galena e da esfalerita (foto 48).

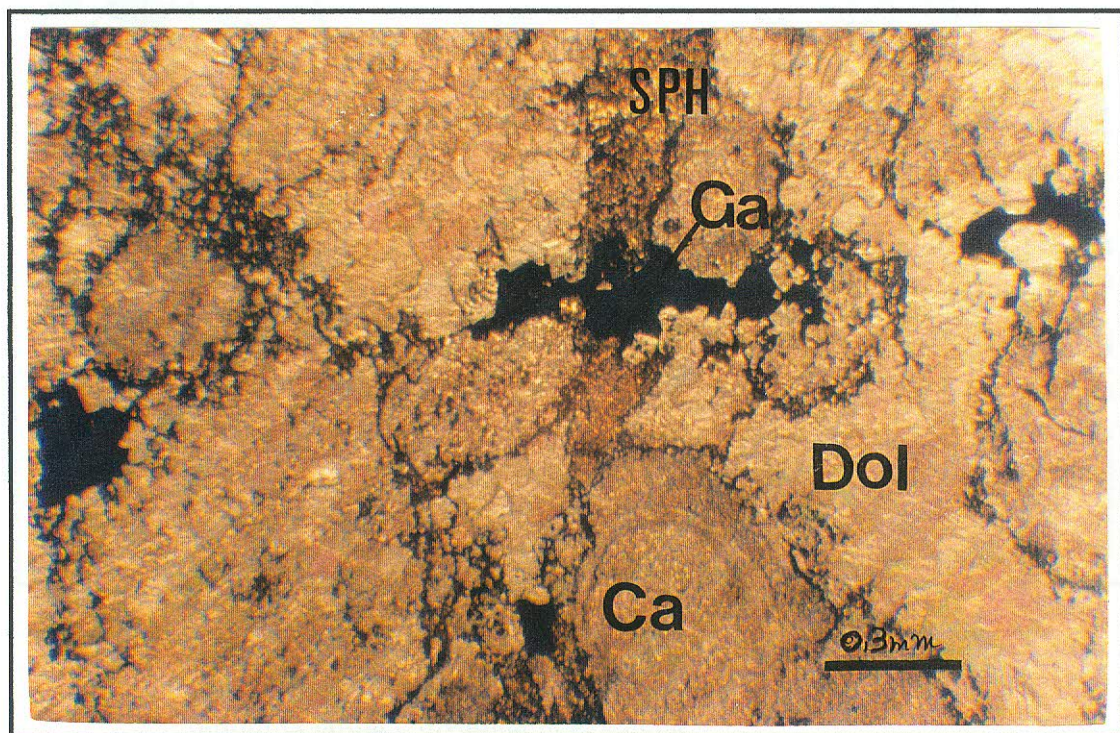


Foto 45 – Lâmina 116.10JC.10a. Foto tirado com luz transmitida, nicóis paralelos e objetiva 3.5/0.10 P. Galena cortando vênula de esfalerita.

116.GS.N.29a1



Litoclastos substituídos parcialmente por dolomita, preservando alguma estrutura primária como oólitos. Em alguns clastos a substituição foi completa. A esfalerita, a dolomita e a galena compõem o cimento dessa rocha. A esfalerita e a galena reagem e dissolvem o carbonato do cimento e dos clastos. A galena também dissolve a esfalerita, mas com menor intensidade do que no caso anterior. Às vezes, observa-se a formação de “ilhas” de esfalerita envolvidas pela galena. A pirita está presente principalmente formando uma banda concordante com o bandamento composicional (faixa escura da figura). Diversas fraturas ocorrem nesta banda orientadas ortogonalmente a mesma. Estas fraturas estão preenchidas por dolomita tardia, galena e esfalerita.

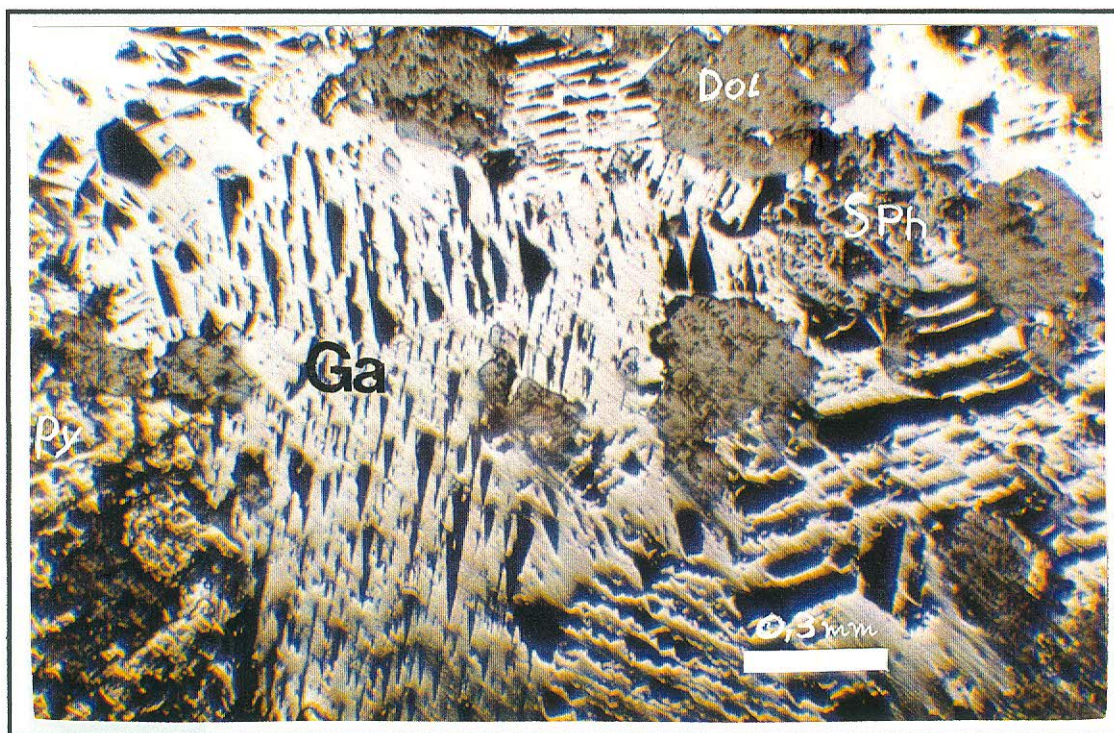


Foto 46 – Lâmina 116.GS.N.29a1. Foto tirada com luz transmitida e refletida combinadas, nicóis paralelos e objetiva 3.5/0.10 P. Galena cimentando a dolomita e a esfalerita. Pirita muito fraturada, preenchida por dolomita tardia e invadida pela galena.

50-83.5N.20a



A lâmina apresenta duas faixas: uma rica em sílica (quartzo e chert) e outra em carbonato. A faixa carbonática é ausente de estruturas primárias. Os grãos carbonáticos são constituídos na sua maioria por dolomita. A esfalerita reage e dissolve os grãos e o cimento carbonático. A faixa de sílica está associada a micro zonas de cisalhamento anastomosadas/entrelaçadas, onde a esfalerita ocorre em maior quantidade. Veios e bolsões zonados com esfalerita e dolomita ao centro e quartzo nas bordas. Esses veios estão estirados e boudinados. Pequenos bolsões de esfalerita ao centro e quartzo na borda foram observados, notou-se a esfalerita reagindo e invadindo este quartzo. O quartzo dessa rocha se encontra poligonizado com forte extinção ondulante, teria se formado a partir da recristalização do chert. A pirita ocorre em pequenos cristais disseminada por toda a rocha. É vista “por cima” dos demais minerais presentes, indicando ser mais antiga.

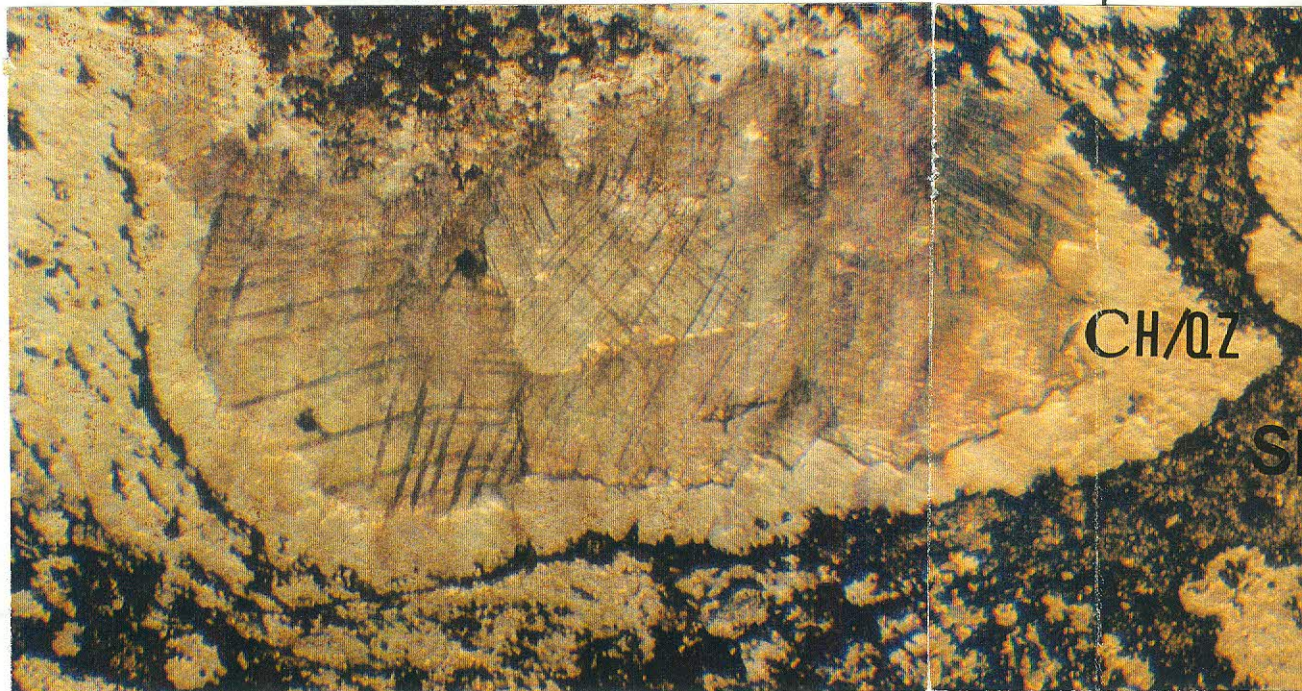
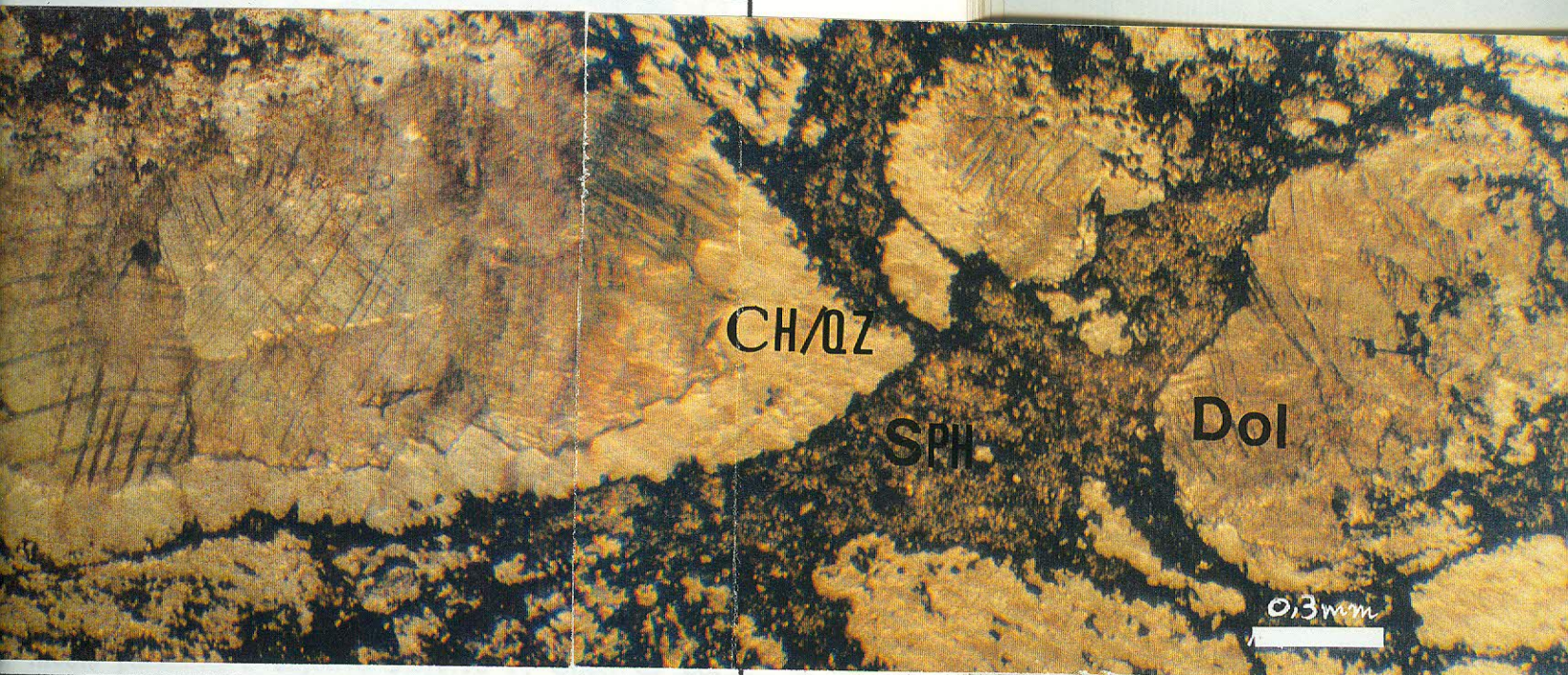


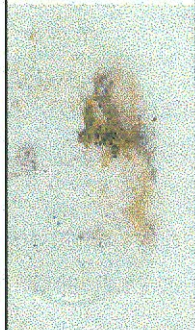
Foto 47 – Lâmina 50-83.5N.20a. Foto tirada com luz transmitida, nicóis paralelos e objetiva 3.5/0.10 P. Grão de dolomita levemente estirado cimentado por chert e quartzo. A esfalerita dissolve parcialmente a sílica.

lâmina apresenta duas faixas: uma rica em sílica (quartzo e chert) e outra em carbonato. A faixa carbonática é ausente de fraturas primárias. Os grãos carbonáticos são constituídos na maioria por dolomita. A esfalerita reage e dissolve os grãos e cimento carbonático. A faixa de sílica está associada a micro falhas de cisalhamento anastomosadas/entrelaçadas, onde a esfalerita ocorre em maior quantidade. Veios e bolsões zonados em esfalerita e dolomita ao centro e quartzo nas bordas. Esses veios estão estirados e boudinados. Pequenos bolsões de esfalerita ao centro e quartzo na borda foram observados, notou-se a esfalerita reagindo e invadindo este quartzo. O quartzo dessa zona se encontra poligonizado com forte extinção ondulante, formado a partir da recristalização do chert. A pirita ocorre em pequenos cristais disseminada por toda a rocha. É vista "no topo" dos demais minerais presentes, indicando ser mais recente.



3.5N.20a. Foto tirada com luz transmitida, nicóis paralelos 5/0.10 P. Grão de dolomita levemente estirado cimentado com quartzo. A esfalerita dissolve parcialmente a sílica.

50-83.6N.12d



Rocha formada por cristais de dolomita cimentados por sílica (chert e quartzo), esfalerita e galena. Esses minerais estão em desequilíbrio entre si, com bordas cristalinas bastante irregulares. Foi observado uma ordem de deposição desses minerais, onde a dolomita se formou primeiro, em seguida o chert e o quartzo, depois a esfalerita e por fim a galena. O quartzo se formou a partir da recristalização do chert e exibe forte extinção ondulante.

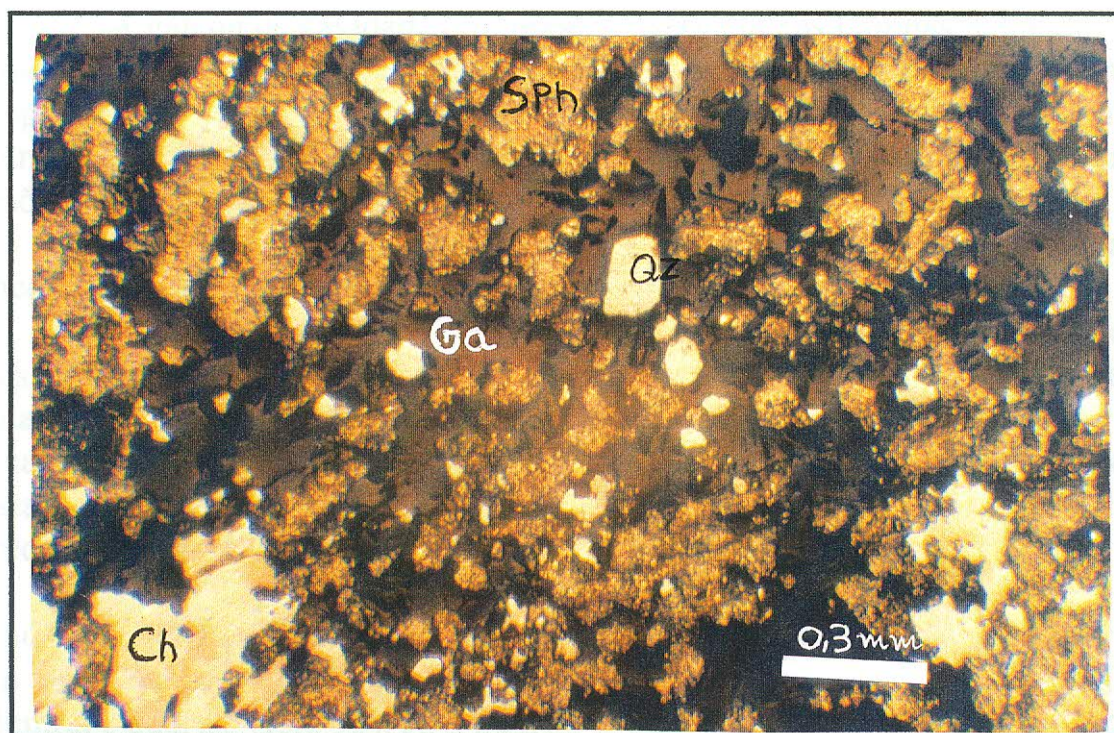


Foto 48 – Lâmina 50-83.6N.12d. Foto tirada com luz transmitida e refletida combinadas, nicóis paralelos e objetiva 3.5/0.10 P. Chert de cor esbranquiçada é cimentado e corroído pelo minério. A galena invade a esfalerita, reagindo com a mesma.

As relações texturais, vistas ao microscópio, revelam geração de minerais de minério e de ganga mais jovens, preenchendo cavidades na forma de veios e bolsões, concordantes com o bandamento composicional e a fraturas.

Do mesmo modo que no minério de substituição descrito anteriormente, a esfalerita é o sulfeto mais abundante em cavidades. Seguem-se a galena e, secundariamente, a pirita.

Esses sulfetos, principalmente, a pirita e a galena ocorrem muitas vezes, sob a forma maciça em cavidades, fraturas e zonas brechadas, talvez por fraturamento seguido por falhamento.

A esfalerita das cavidades caracteriza-se, microscopicamente como agregados granulares com grãos subédricos a anédricos, inferiores a 0,3 mm de diâmetro. Esses grãos estão distribuídos em veios zonados com dolomita em geral romboédricas ao centro e a esfalerita nas extremidades do veio. É comum observar esses veios se ramificando lateralmente para dentro da encaixante e a esfalerita reagindo e dissolvendo o carbonato (foto 49). Também foram observados outros veios zonados com dolomita + esfalerita ao centro, seguidos por pirita + quartzo nas extremidades do veio (foto 50). Tais evidências indicam que a pirita é um pouco mais antiga, ou talvez, contemporânea com o quartzo, e ambos mais jovens que a esfalerita e a dolomita. Aparentemente a sílica não está em equilíbrio com a dolomita. Finos veios e vênulas de esfalerita e galena associadas à zonas de cisalhamento ocorrem tardias à seqüência acima descrita.

A galena de cavidades foi pouco observada nas lâminas. Quando vista, a mesma ocorre em veios e vênulas concordantes com o bandamento composicional. Foram observados finos veios zonados com esfalerita ao centro e galena nas bordas. Esse tipo de mineralização é melhor observado nos veios e bolsões observados na mina.

A sericita ocorre muito raramente associada à veios de quartzo concordantes com camadas de chert.

Foram observadas gerações tardias de quartzo e dolomita preenchendo finas fraturas associadas à “tension gashes”. Comumente, observou-se bandas de pirita cortadas por estas fraturas. A dolomita quando depositada, se mostra com baixa birrefringência nas proximidades do contato com a pirita, indicando taxa de cristalinidade mais baixa (foto 51). O quartzo exhibe crescimento lateral das paredes para o centro do veio e apresenta forte extinção ondulante (foto 52).

Completando a seqüência paragenética, temos a barita e a fluorita como representantes finais das soluções mineralizantes. A barita foi observada com aspecto desforme, invadindo e entremeando os grãos de esfalerita, galena, dolomita e quartzo (foto 53). Já a fluorita ocorre de cor levemente lilás associada à dolomita em finos veios delgados na forma de “agulhas” (foto 54). Normalmente, esses veios são subparalelos a outros veios de dolomita e esfalerita, concordantes com o bandamento composicional. A fluorita foi encontrada em planos de falhas de baixo ângulo relacionadas ao intenso

cisalhamento evidenciado em algumas das rochas estudadas. Com base nesta observações, a barita é mais antiga do que a fluorita.?



Rocha formada principalmente por carbonato micrítico, chert e esfalerita. O chert ocorre substituindo o carbonato. A lâmina exibe uma foliação forte concordante com o bandamento composicional. Veios zonados com dolomita ao centro e quartzo + pirita nas bordas ocorrem concordantes com a foliação. Estes estão deformados, nota-se estiramento e, às vezes, boudinagem. O quartzo desses veios está recrystalizado, exibindo extinção ondulante. Em alguns pontos da lâmina observou-se a esfalerita cercada por quartzo e chert, dissolvidos parcialmente pela mesma. Este quartzo com extinção ondulante, parece ter se formado a partir da recrystalização do chert. Vista da lupa, a foliação marcante nesta rocha parece mostrar clivagem espaçada anastomosada, onde a esfalerita está presente.



Foto 49 – Lâmina 50.GE.BAS.5b. Foto tirada com luz transmitida, nicóis paralelos e objetiva 3.5/0.10 P. Veio zonado com esfalerita nas bordas e dolomita ao centro. Ocorre segregação lateral do veio, com a esfalerita invadindo a encaixante, dissolvendo o carbonato.

cisalhamento evidenciado em algumas das rochas estudadas. Com base nestas observações, a barita é mais antiga do que a fluorita.

50-83.6N.12b

Rocha formada principalmente por carbonato micrítico, chert e esfalerita. O chert ocorre substituindo o carbonato. A lâmina exibe uma foliação forte concordante com o bandamento composicional. Veios zonados com dolomita ao centro e quartzo

es
m.
ão
ita
la
se
a
da

Foto 50

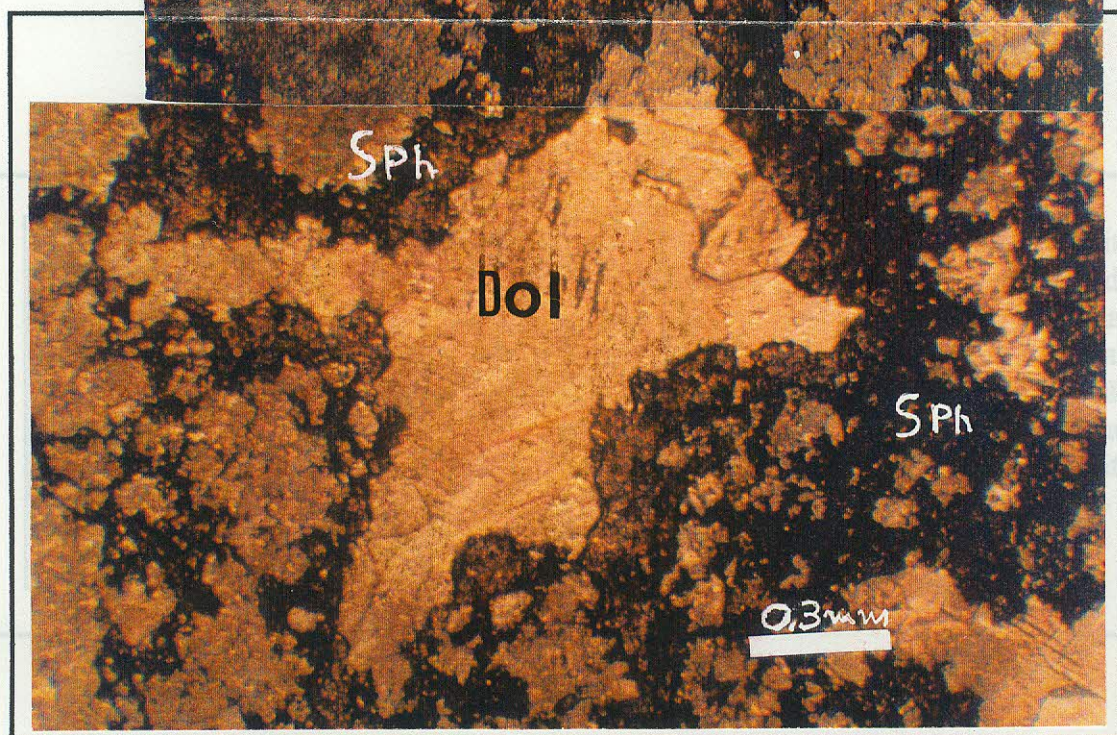


Foto 49 – Lâmina 50.GE.BAS.5b. Foto tirada com luz transmitida, nicóis paralelos e objetiva 3.5/0.10 P. Veio zonado com esfalerita nas bordas e dolomita ao centro. Ocorre segregação lateral do veio, com a esfalerita invadindo a encaixante, dissolvendo o carbonato.

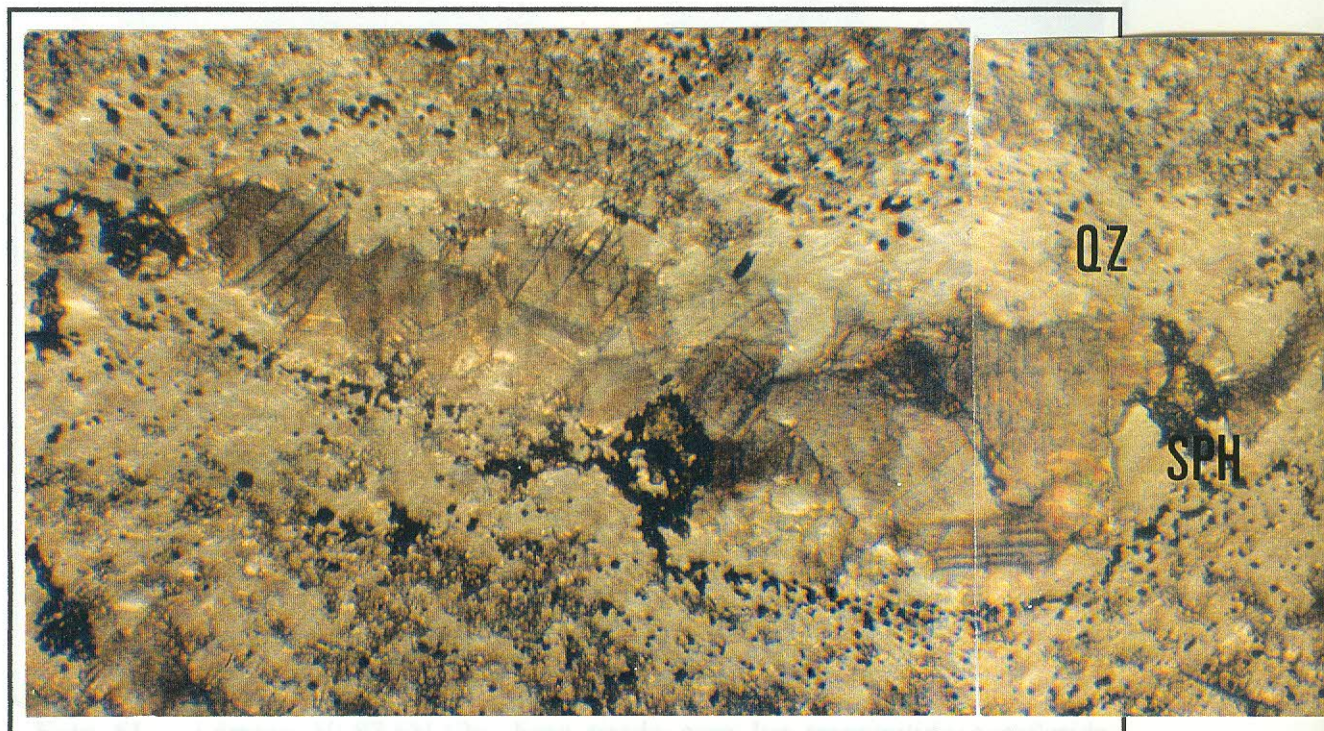


Foto 50 – Lâmina 50-83.6N.12b. Foto tirada com luz transmitida, nicóis paralelos e objetiva 3.5/0.10 P. Veio zonado com dolomita ao centro e quartzo nas bordas, aparentemente estirado. A pirita ocorre como finos grãos associada ao quartzo.



Rocha constituída por dolomita, pirita e esfalerita. A esfalerita está presente em pequenas quantidades, cimentando os cristais de dolomita e dissolvendo-os. Bandas irregulares de pirita (manchas escuras na figura) subconcordantes com a foliação principal. Fraturas sem raiz (“tension gashes”) ortogonais à foliação principal cortam o carbonato e a pirita. Estas estão preenchidas por dolomita tardia e mais raramente por esfalerita. A dolomita tardia quando em contato com a pirita exhibe bordas de reação.

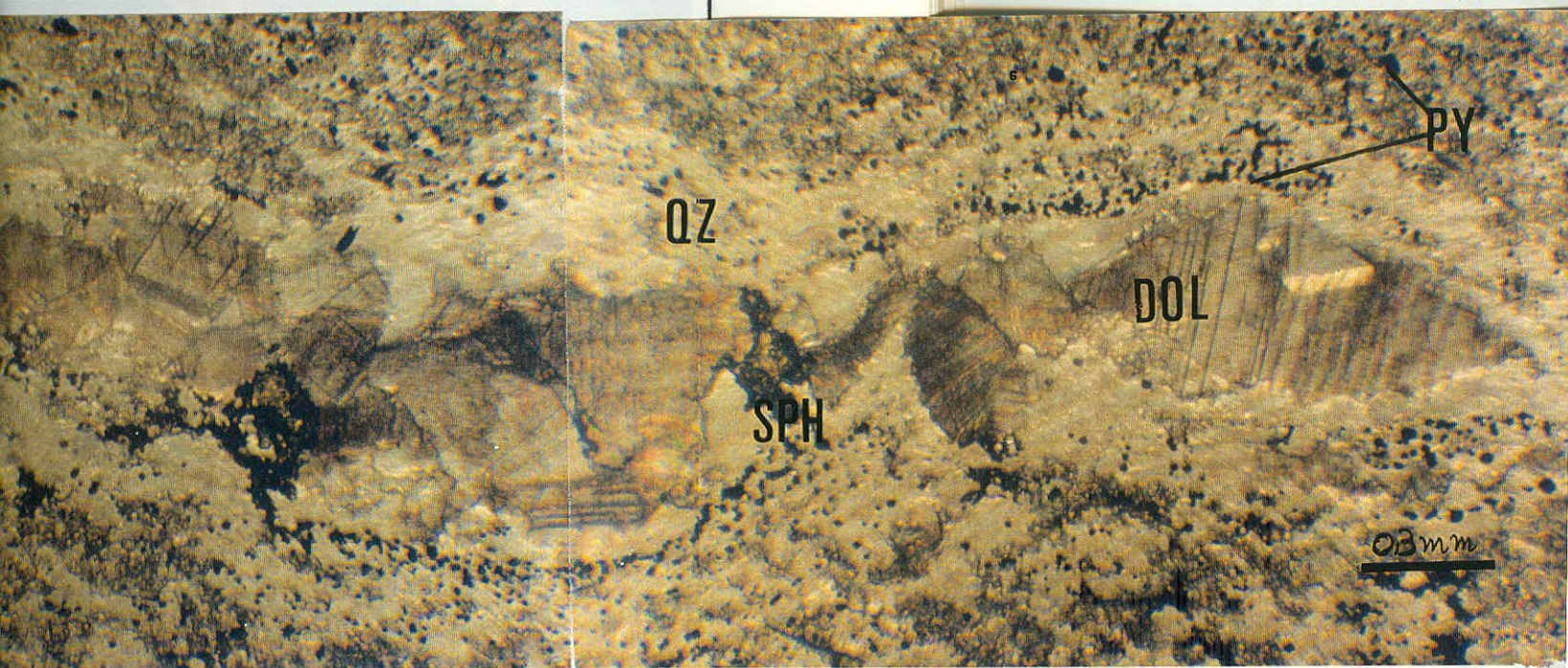


Fig. 12b. Foto tirada com luz transmitida, nicóis paralelos. Veio zonado com dolomita ao centro e quartzo aparentemente estirado. A pirita ocorre como finos grãos de quartzo.

constituída por dolomita, pirita e esfalerita. A esfalerita presente em pequenas quantidades, cimentando os cristais de pirita e dissolvendo-os. Bandas irregulares de pirita (manchas na figura) subconcordantes com a foliação principal. Assemelhadas sem raiz ("tension gashes") ortogonais à foliação principal, que cortam o carbonato e a pirita. Estas estão preenchidas por dolomita tardia e mais raramente por esfalerita. A dolomita quando em contato com a pirita exhibe bordas de reação.

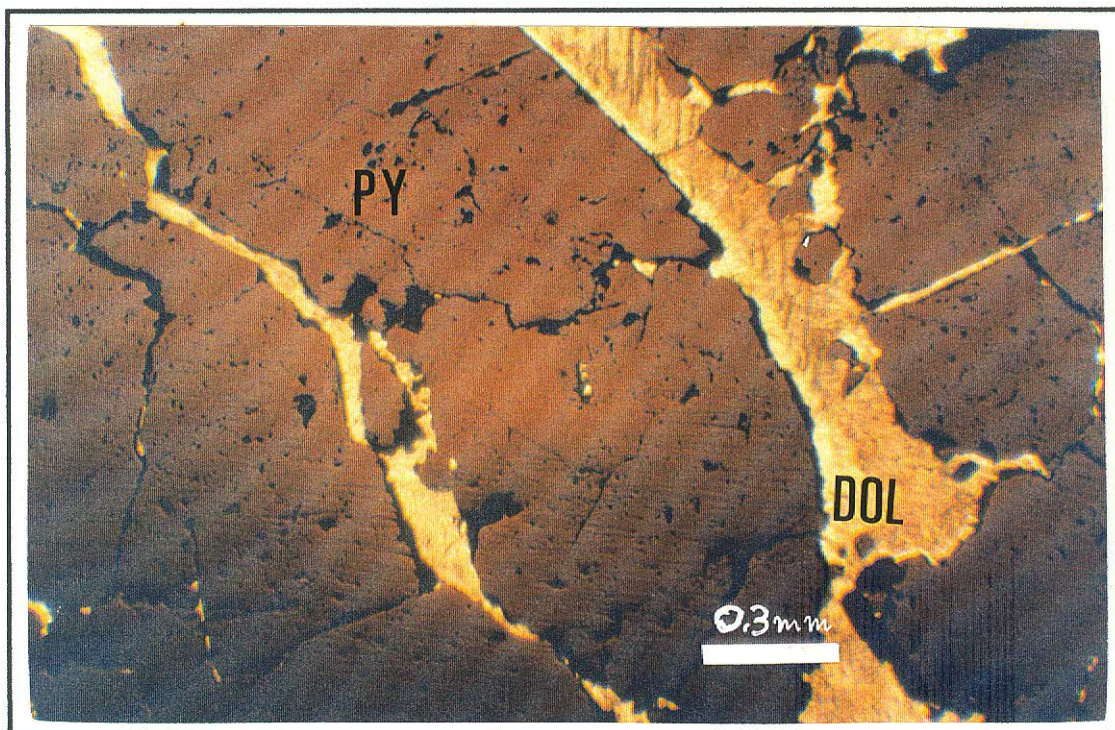
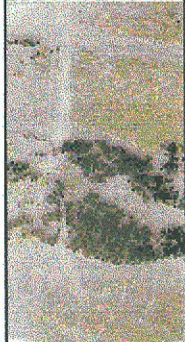


Foto 51 – Lâmina 50-83.6N.12a. Foto tirada com luz transmitida e refletida combinadas, nicóis paralelos e objetiva 3.5/0.10 P. Pirita fraturada associada à “tension gashes” preenchida por dolomita. Notar que a dolomita no contato com a pirita, se apresenta em cristais muito pequenos.

116.GSN.29a2



Rocha formada por dolomita, esfalerita e pirita. A esfalerita cimenta os grãos de dolomita. Ausência de litoclastos de micrito. Esses foram substituídos totalmente pela dolomita. A rocha apresenta aspecto bandado formando bandas com baixo teor de minério, bandas com alto teor e bandas de pirita muito fraturada preenchidas por dolomita tardia. Veios de quartzo e dolomita tardia cortando a foliação, provável “tension gashes”. O quartzo está deformado, exhibe crescimento lateral e lamelas de deformação.

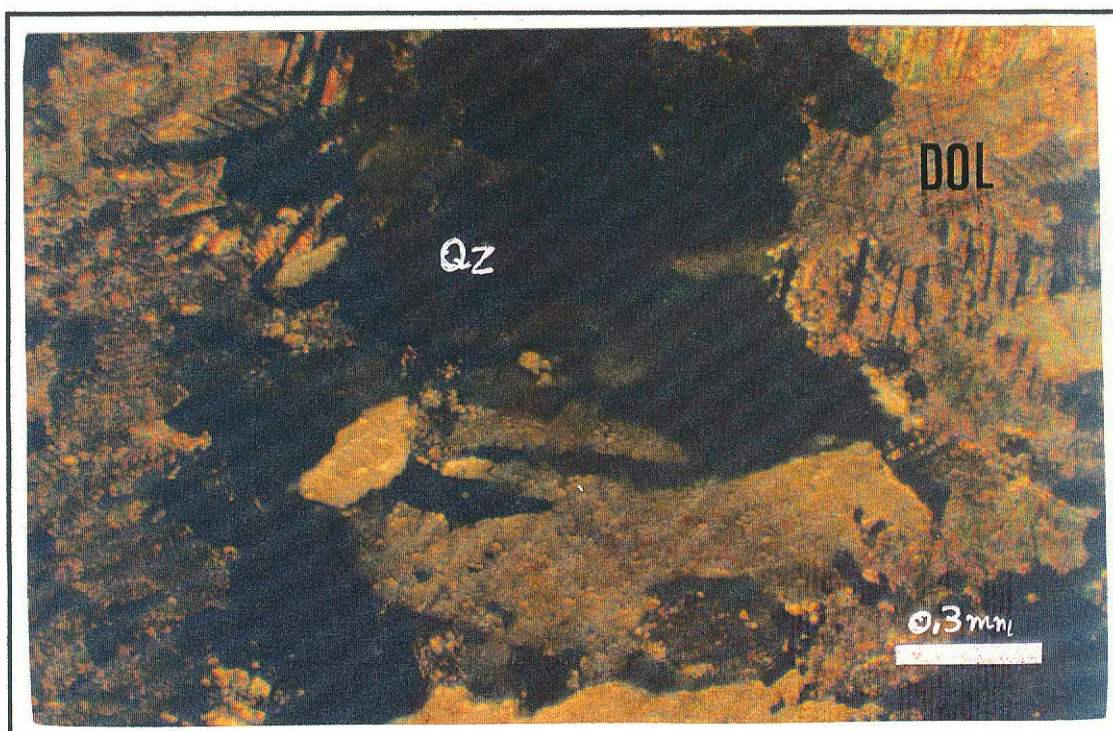


Foto 52 – Lâmina 116.GS.N.29a2. Foto tirada com luz transmitida, nicóis cruzados e objetiva 3.5/0.10 P. Quartzo de veio associado à “tension gashes” com extinção ondulante. Nota-se crescimento lateral das paredes para o centro do veio.



Vestígios de antigos litoclastos micríticos, substituídos parcialmente por dolomita e esfalerita, estão estirados formando “olhos”. A esfalerita, a galena e a dolomita compõem o cimento da rocha. Vênulas de galena e esfalerita concordante com a foliação principal, parecem estar associadas à zonas de cisalhamento. Veios e bolsões formados por esfalerita, galena, dolomita, quartzo e barita, também concordantes com a foliação principal. A galena depositada nas bordas dos veios, reage com a encaixante. A esfalerita e a galena dissolvem parcialmente a dolomita e o quartzo. A barita que por sua vez, reage e dissolve a esfalerita, a galena e a dolomita, representando o mineral mais novo desta sequência.

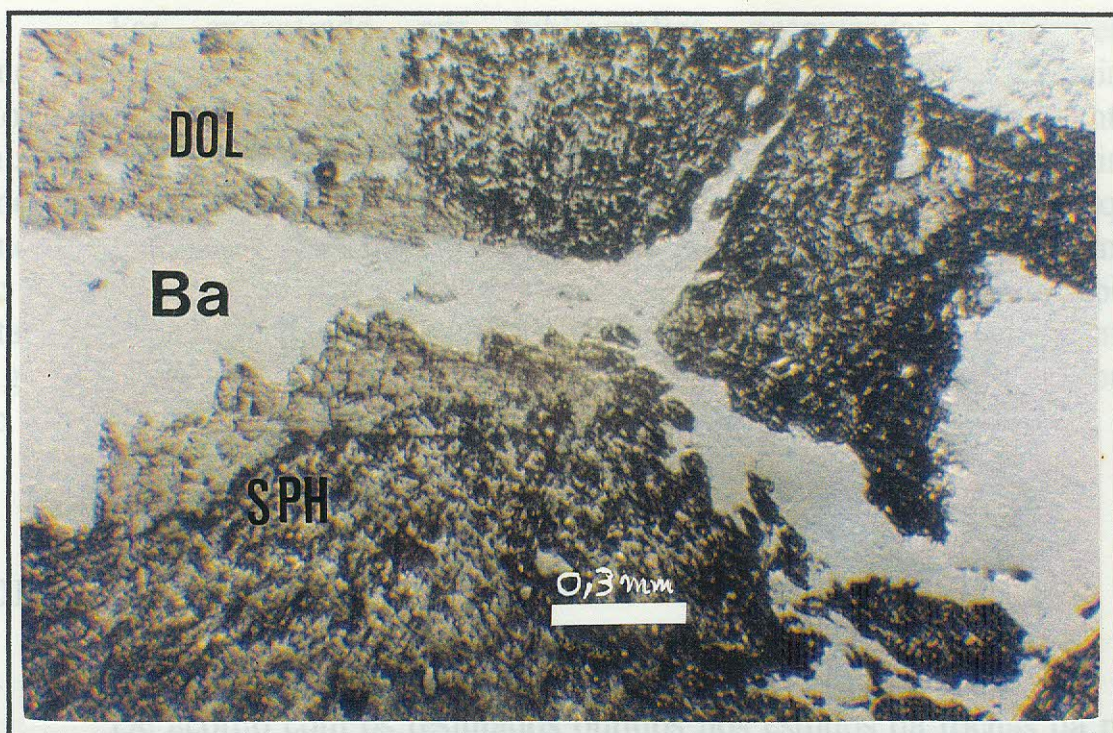


Foto 53 – Lâmina 150.RA.JKB.6j. Foto tirada com luz transmitida e refletida combinadas, nicóis paralelos e objetiva 3.5/0.10 P. Vênulas de barita cortando o carbonato e a esfalerita.

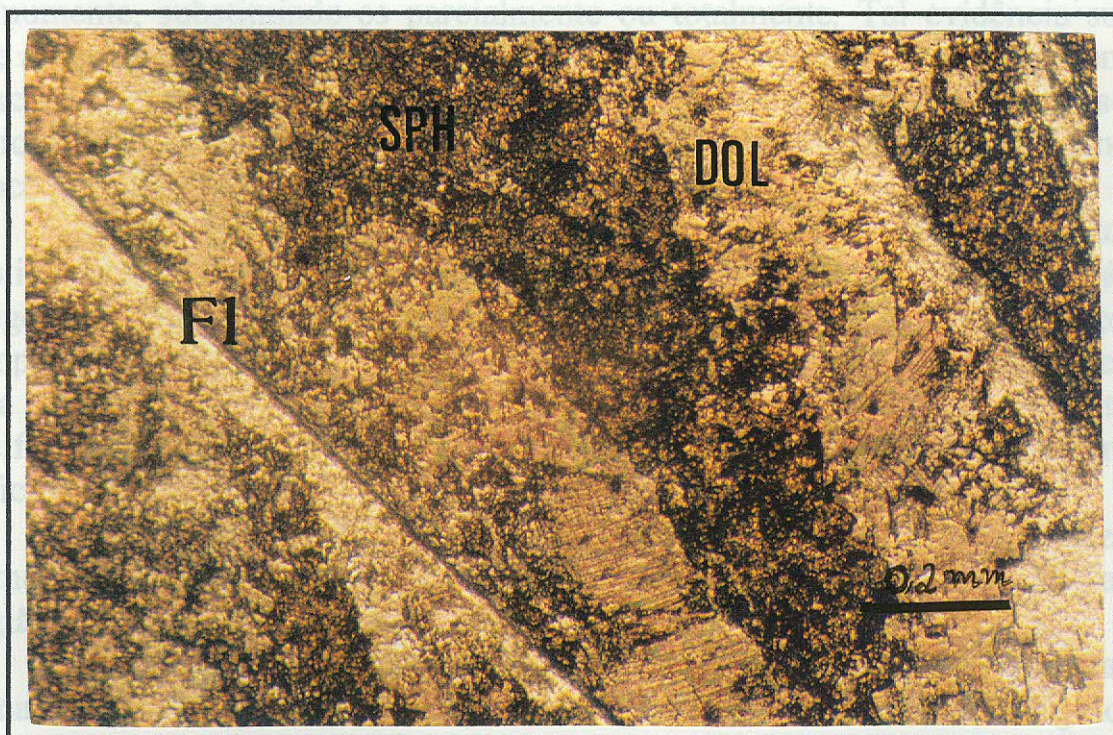


Foto 54 – Lâmina 116.10JC.10b. Foto tirada com luz transmitida, nicóis paralelos e objetiva 6.3/0.20 P. Esfalerita cimentando e reagindo com os cristais de dolomita. Vênula assimétrica de fluorita e dolomita. A fluorita exibe cor levemente lilás.

Foi encontrado nas bibliografias pesquisadas referentes a mineralização de Morro Agudo, um tipo de mineralização denominada minério coloforme. Segundo os autores, ele constitui um minério secundário encontrado em zonas falhadas e fraturadas do depósito. Quando em contato com o minério cimento, as várias relações texturais observadas por estes autores, sugere que o minério coloforme é mais jovem. O estudo então realizado nas rochas da mina, não foi dirigido para as zonas típicas de ocorrência do minério coloforme, por se tratar de uma mineralização secundária que contribui pouco para o entendimento da gênese da jazida de Morro Agudo. Nas lâminas estudadas para este trabalho, não se encontrou nenhuma evidência dessa mineralização.

DOLOMITIZAÇÃO E SILICIFICAÇÃO

De acordo com os resultados obtidos nos estudos das rochas da mina, permitem concluir que a dolomitização afetou parcialmente as rochas das subfácies Pós-recife, hospedeiras do minério, apresentando-se como dolarenitos calcíticos. A calcita ocorre na forma micrítica como constituinte dos intraclastos, e raramente, no cimento (possível vestígio de matriz). A dolomita ocorre em grãos muito finos a grossos, cimentando os intraclastos de micrita, e comumente, substituindo-os parcialmente ou totalmente. Tal evidência sugere que a porosidade e a permeabilidade natural ou adquirida dessas rochas, tenham funcionado mais como passagem para os fluidos dolomitizantes, sendo concentrados em maior quantidade nas subfácies Ante-recife e Recife, onde o processo atuou efetivamente (Dardenne 1979).

Sabe-se através dos inúmeros processos de dolomitização descritos na bibliografia, que o íon magnésio por ser mais insolúvel do que o íon cálcio, exige uma concentração superior em relação ao cálcio. Em condições de temperatura ambiente a relação de Mg/Ca é em torno de 6:1. Acredita-se que esta relação possa ter sido atingida durante os estágios finais de crescimento do recife de barreira, que propiciou a formação de um mar interior semi-confinado, dificultando assim, a ação das circulações oceânicas.

Dardenne (1979) e Madalosso (1980b) consideram a dolomitização como um processo diagenético, ocorrido durante a cimentação das rochas da região de Paracatu e Vazante.

A silicificação na forma de chert, afetou parcialmente as rochas da mina. De acordo com as observações em lâmina, esse chert cimenta os grãos de dolomita, reagindo com este, e por vez, substitui parcialmente ou totalmente os intraclastos de micrita. Tais evidências nos permitem sugerir que a silicificação atuou nessas rochas na interface entre a diagênese tardia e o anquimetamorfismo. O quartzo cristalino e em mosaico com extinção ondulante,

representa um produto de recristalização do chert que ocorreu durante a deformação que atuou nas rochas da mina.

Para Madalosso (1980b), a incrustação de chert, como quartzo microgranular e/ou calcedônia, em certos intraclastos e em cavernas das rochas do depósito de Morro Agudo relaciona-se à silicificação, durante a diagênese precoce. Do mesmo modo, os cristais de quartzo xenomórficos e em mosaico, incrustados em canais e cavernas e nas fissuras dessas rochas, constituem evidência da silicificação relacionada à diagênese tardia.

DISCUSSÕES E INTERPRETAÇÕES

Dentro do que foi visto, conclui-se que o minério de Zn-Pb de Morro Agudo é controlado pelas camadas de dolarenitos calcíticos e brechas intraformacionais dolareníticas calcíticas. A reatividade química elevada e a textura sacaróide, muito porosa e permeável, confere a essas rochas uma acessibilidade textural, também elevada, favorável a percolação e deposição dos metais.

As evidências observadas em lâminas mostradas no capítulo da geologia estrutural, sugerem que a deposição dos metais atuou de forma lenta e progressiva. Esta hipótese é analisada com base em dois estágios de deposição da esfalerita. No primeiro caso, observou-se intraclastos totalmente substituídos pela esfalerita e finas faixas de esfalerita, onde ambas as situações exibem forte estiramento, indicando deposição pré-deformacional da esfalerita. O outro caso, refere-se a esfalerita depositada ao longo de planos de cisalhamento e formando a foliação deformacional. Neste caso, observou-se claramente a esfalerita desviando dos intraclastos substituídos pela mesma, como também, de porfiroclastos de pirita. Tal evidência indica que esta esfalerita se depositou durante a deformação que afetou as rochas da mina. Esta deformação está relacionada diretamente aos esforços compressivos tangenciais de oeste para leste descritos na geologia regional sobre a região. A galena está mais associada às zonas de cisalhamento.

Acredita-se que as zonas de cisalhamento se desenvolveram ao longo dos flancos das dobras recumbentes, por esta razão, torna-se difícil a observação dessas dobras nas rochas hospedeiras da mineralização.

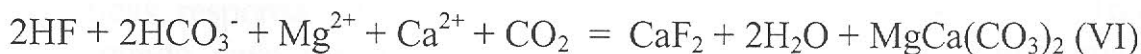
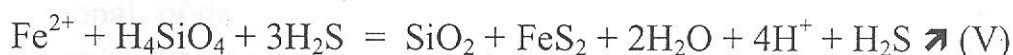
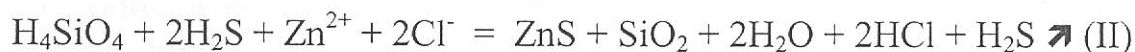
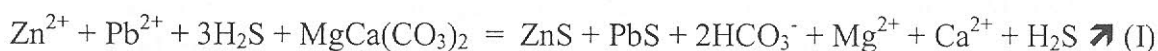
Com base nesse contexto, supõem-se que com a evolução da deformação, os fluidos finais aprisionados nos interstícios da rocha, ou então, remobilização dos sulfetos, migraram para as zonas de cisalhamento, onde a nova porosidade criada, favoreceu a concentração desses metais, elevando bastante o teor nestes locais. Na mina esses locais são caracterizados por faixas

teor em algumas dessas faixas, chega até 20% ou mais de sulfeto de zinco. A cor amarela é herdada do cádmio, presente na estrutura cristalina da esfalerita.

Acredita-se que as soluções mineralizantes atuaram separadamente numa época posterior ao processo de dolomitização. Esta hipótese é sustentada segundo as evidências texturais observadas nas lâminas, que indicam caráter substitucional muito grande da esfalerita sobre a dolomita, caracterizado principalmente pela textura dendrítica-esquelética da esfalerita, sugerindo que a deposição do minério tenha se iniciado um tempo depois da formação da dolomita já cristalizada. O fato de se encontrar mineralização incipiente nos dolomititos puros (calcita ausente) das subfácies Ante-recife e Recife, também apoia esta hipótese. Se os fluidos mineralizantes e dolomitizantes ocorressem associados, deveria-se encontrar depósitos de Zn-Pb consideráveis, que não é o caso, de acordo com estudos regionais sobre a região.

Pode-se inferir que os fluidos mineralizantes desenvolveram-se em condições de metamorfismo muito baixo, durante o anquimetamorfismo, onde a temperatura não chegou a atingir 200 °C. A dolomitização deve ter ocorrido durante a diagênese tardia.

Supõem-se que as soluções mineralizantes em meio clorídrico, apresentavam caráter salino, levemente ácidas, contendo principalmente metais, sílica dissolvida e H₂S. Essas soluções em contato com os carbonatos da rocha hospedeira, liberaram H₂S como gás, promovendo a elevação do pH das soluções e, conseqüentemente, a deposição dos metais. Este mecanismo é exemplificado através das reações de I a VI.



As substância MgCa(CO₃)₂ (reação I) representa a dolomita já cristalizada durante a percolação da solução. O escape de H₂S como gás, promoveu o aumento pH, favorecendo a precipitação dos sulfetos. Os íons de magnésio e cálcio são depositados posteriormente em outro ponto da rocha, geralmente em veios, bolsões, fraturas e zonas de cisalhamento.

A reação II refere-se à zonas mineralizadas associadas à sílica.

A reação II refere-se à zonas mineralizadas associadas à sílica.

As reações III, IV e V são responsáveis pela deposição de barita, quartzo, dolomita e pirita encontrados nos veios e bolsões zonados.

A reação VI é responsável pela deposição da fluorita que está associada com a dolomita.

A figura 5 representa veio assimétrico observado na lâmina 183.GSW.L.9a, onde as reações acima mencionadas, podem ser relacionadas a deposição dos minerais identificados neste veio.

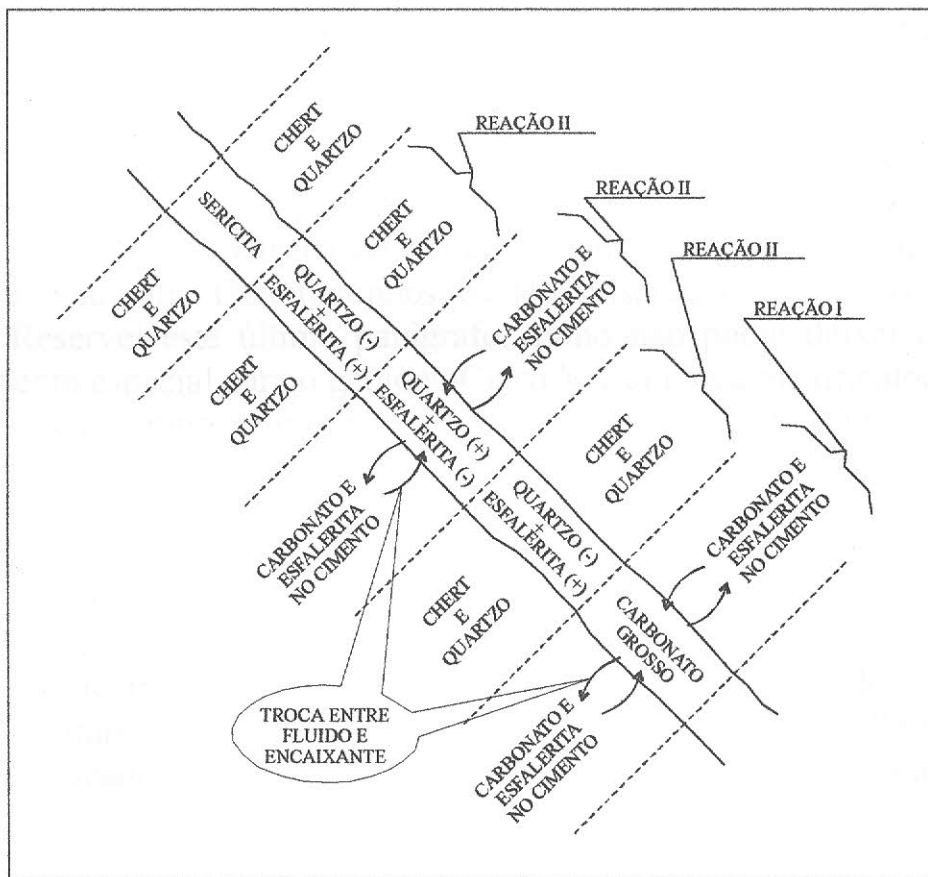


Fig. 5 – Veio assimétrico esquemático representando reações responsáveis pela deposição de certos minerais.

A fonte do H_2S é apresentada por Madalosso (1980a), onde este autor sugere que as concentrações de H_2S como gás natural ou dissolvidas em água foram geradas nas seqüências argilo-carbonatadas lagunares de Morro Agudo, as quais, contém cerca de 5,9% de matéria orgânica, freqüentemente com grafita, e um conteúdo elevado de pirita. Essas concentrações de H_2S migraram por difusão através de estruturas adequadas ou permeabilidade original das rochas.

Anderson (1975) e Beales (1975) propôs um mecanismo que promove a precipitação de sulfetos relacionados a depósitos carbonatados de baixa temperatura. Este mecanismo refere-se a mistura de uma salmoura levemente ácida, rica em metal com águas ricas em H_2S suprido pela redução bacterial do

sulfato. Davis (1977) supôs que os fluidos dolomitizantes com altas razões de Mg/Ca, no momento em que cedem magnésio e adquirem cálcio, convertem-se em salmouras com Na-Ca-Cl e metais. A temperatura relativamente baixa dessas salmouras é enfatizada por Anderson (1975).

Quanto a fonte primária dos metais, ainda não foram encontradas evidências que possam esclarecer sua provável origem. O ambiente geológico responsável pela geração e concentração desses metais ainda é bastante discutida. A hipótese mais simples e sugestiva seria fonte magmática, mas a ausência de atividades ígneas na região e na mina, até o momento, sugere uma origem dos metais não intratelúrica.

O depósito de Morro Agudo está, primariamente, associado ao recife algal de barreira Morro do Calcário. Sua mineralização é, regionalmente, controlada pela fácies Morro do Calcário da Formação Vazante. Tal formação foi incorporada ao Grupo Bambuí por Dardenne (1978a), que constitui o Proterozóico Superior na borda ocidental do Craton São Francisco. As fácies da Formação Vazante depositaram-se sobre a topografia pré-cambriana de um mar epicontinental e raso e em clima tropical a subtropical e semi-árido.

A locação do recife na plataforma desse mar e seus tipos morfológicos de estromatólitos formou-se em resposta à interação das condições biológicas e físicas do ambiente deposicional. Os fatores físicos mais importantes são os ventos, a direção das correntes, o declive e o caráter da plataforma e taxa de subsidência. Durante a deposição da Formação Vazante, o caráter da plataforma modificou-se em resposta ao posicionamento do recife. As variações laterais e verticais das fácies dessa formação, no tempo, determinaram a seqüência estratigráfica na área.

As rochas carbonáticas da fácies Morro do Calcário com seus caracteres estruturais e texturais distintos permitem identificar as subfácies Ante-recife, Recife e Pós-recife. Ademais, essas rochas refletem suas energias de deposição.

As rochas da subfácies Pós-recife compõem-se de intraclastos e, secundariamente, oólitos. Esses intraclastos foram gerados durante a erosão do recife, e em seguida, esses clastos foram retrabalhados adquirindo formas esferoidais. Essas rochas denotam condições de alta energia.

CONCLUSÃO

O depósito de Zn-Pb de Morro Agudo constitui jazida tipo "stratabound", de baixa temperatura, de idade Proterozóico Superior.

A mineralização foi depositada por processos epigenéticos com temperatura até cerca de 200 °C e mobilizada durante a deformação.

A distribuição megascópica dos sulfetos paralelamente ao bandamento, supostamente original, parece compatível com a noção que os sulfetos foram formados por acumulação sindeposicional. Entretanto, estudos microscópicos mostraram a necessidade de revisão desse conceito, o que requer interpretação alternativa envolvendo processo de substituição estruturalmente controlada.

A existência de relações mesoscópicas e microscópicas entre So e Saxial indicam a inequívoca existência de dobras recumbentes, possivelmente relacionadas a empurrões para leste. Esses aspectos suportam a existência de uma estrutura de grande porte caracterizada por dobras e zonas de cisalhamento associadas. Falhas gravitacionais posteriormente truncaram as estruturas anteriores.

Estudos paragenéticos permitiram o estabelecimento da sucessão na mineralização sulfetada. Entretanto, a dolomitização e a silicificação não tem claras evidências com respeito a relações temporais com a mineralização.

Tendo em vista às dificuldades normais encontradas em trabalhos de geologia subterrânea, e a complexidade do depósito de Zn-Pb de Morro Agudo, o autor conclui que o estágio de Campo IV-A foi plenamente satisfatório e cumpriu todos os seus objetivos anteriormente definidos.

BIBLIOGRAFIA

- AMARAL, G. & KAWASHITA, K. 1967. Determinação da idade do Grupo Bambuí pelo método Rb-Sr. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA*, 21, Curitiba. Anais... p. 214-217.
- ANDERSON, G. M. 1975. Precipitation of Mississippi Valley-types ores. *Econ. Geol.*, 70: 937-942.
- BEALES, F. W. 1975. Precipitation mechanisms for Mississippi Valley-type ore deposits. *Econ. Geol.*, 70: 943-948.
- BEURLIN, H. 1974. Sobre a origem singenético-sinsedimentar de alguns corpos mineralizados em chumbo, zinco e fluorita no Grupo Bambuí e dispersão geoquímica primária dos elementos mineralizantes. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA*, 28, Porto Alegre. Anais... v. 6, p. 49-60.
- BEZ, L. 1980. Evolução mineralógica e geoquímica do depósito de zinco e chumbo de Morro Agudo, Paracatu, MG. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA*, 31, Balneário de Camburiú. Anais... v. 3, p. 1402-1416.
- BONHOMME, M. G. 1976. Mineralogie des fractions fines et datations rubidium-strontium dans de Groupe Bambuí, MG, Brésil. *R. Bras. Geocien.*, 6(4): 211-222.
- CAMPOS NETO, M. C. 1975. Considerações preliminares sobre a geologia de Morro Agudo. Belo Horizonte, METAMIG. 75p.
- CASSEDANNE, J. P. & CASSEDANNE, J. O. 1971. Note sur la minéralisation des dolomites pseudoolithiques de la Fazenda Traíras. Município de Paracatu, MG. *An: Acad. Bras. Ciênc.*, 43: 619-625.
- CASSEDANNE, J. P.; DUTHOU, J. L. & LASSERRE, M. 1972. Análise isotópica pelo método do chumbo de uma terceira série de galenas brasileiras. *Mineração Metalurgia* (335): 12-19.
- CLOUD, P. E. & DARDENNE, M. A. 1973. Proterozoic age of the Bambui Group in Brasil. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 84(5): 1673-1676.

- DARDENNE, M. A. 1972. A mineralização sulfetada de Pb-Zn de Morro Agudo, MG, Brasil. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 26, Belém. Anais... p. 55-56. Resumo.
- DARDENNE, M. A. 1978a. Zonação tectônica na borda ocidental do Craton São Francisco. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 30, Recife. Anais... v. 1, p. 299-308.
- DARDENNE, M. A. 1978b. Síntese sobre a estratigrafia do Grupo Bambuí no Brasil Central. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 30, Recife. Anais... v. 2, p. 597-610.
- DARDENNE, M. A. 1979. Les mineralisations de plomb, zinc, fluor du Proterozoïque Supérieur dans le Brésil Central. Paris, Université Pierre et Marie Curie. 251p. These de Doctorat d'Etat.
- DARDENNE, M. A. 1981. Os grupos Paranoá e Bambuí na faixa dobrada Brasília. *In*: SIMPÓSIO SOBRE O CRATON SÃO FRANCISCO E SUAS FAIXAS MARGINAIS, Salvador. Anais... p. 140-157.
- DAVIS, J. H. 1977. Genesis of the Southeast Missouri lead deposits. *Econ. Geol.*, 72(3): 443-450.
- FOLK, R. L. 1968. Petrology of sedimentary rocks. Austin, Hemphill's. 170p.
- MADALOSSO, A. 1980a. Considerações sobre a paleogeografia do Grupo Bambuí na região de Paracatu, MG. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 31, Balneário de Camboriú. Anais... v. 2, p. 772-785.
- MADALOSSO, A. 1980b. Aspectos da diagênese dos carbonatos do Grupo Bambuí na região de Paracatu, MG. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 31, Balneário de Camboriú. Anais... v. 4, p. 2069-2081.
- MADALOSSO, A. & Valle, C. R. O. 1978. Considerações sobre a estratigrafia e sedimentologia do Grupo Bambuí na região de Paracatu, MG. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 30, Recife. Anais... v. 2, p. 622-634.
- MARCHESE, H. G. 1974. Litoestratigrafia y petrologia del Grupo Bambuí en los estados de Minas Gerais y Goiás, Brasil. *R. Bras. Geociên.*, 4(3): 172-190.

- MINERAÇÃO MORRO AGUDO S/A. Relatório consolidado das pesquisas realizadas na jazida de Morro Agudo até o mês de janeiro de 1981. (relatório interno).
- MORAES, J. A. P. DE. 1975a. A jazida de Morro Agudo. *In*: CONGRESSO ÍBERO-AMERICANO DE GEOLOGIA ECONÔMICA, 2, Buenos Aires. Anais... p.371.
- MORAES, J. A. P. DE. 1975b. Depósito de minério sulfetado de zinco e chumbo no Grupo Bambuí. *Mineração Metalurgia*, (369): 8-20.
- PARENTI COUTO, J. G.; CORDANI, U. G.; KAWASHITA, K.; IYER, S. S. & MORAES, N. M. P. 1981. Considerações sobre a idade do Grupo Bambuí com base em análises isotópicas de Sr e Pb. *R. Bras. Geoc.*, 11(1): 5-16.
- PETTIJOHN, E. J. 1975. *Sedimentary rocks*. New York, Harper & Row. 628p.
- ROMAGNA, G. & COSTA, R. R. 1988. Jazida de zinco e chumbo de Morro Agudo, Paracatu, MG. *In*: Principais Depósitos Minerais do Brasil, DNPM-MME. Brasília. V. III. P. 112-120.
- SUGUIO, K. 1980. *Rochas sedimentares: propriedades, gênese e importância econômica*. São Paulo, Edgard Blücher. 500p.
- SUSZCZYNSKI, E. F. 1975. Os recursos minerais reais e potenciais do Brasil e sua metalogenia. Rio de Janeiro, Interciência. 533p.
- ZINI, A.; FORLIM, R.; ANDREAZZA, P. E SOUZA, A. DE. 1988. Depósito de ouro do Morro do Ouro, Paracatu, MG. *In*: Principais Depósitos Minerais do Brasil, DNPM-MME. Brasília. V. III. P. 479-489.

ANEXOS

MAPA DA MINA



As câmaras
municipais
e as câmaras
de comércio
e indústria
e as câmaras
de agricultura
e as câmaras
de artes e
ofícios
e as câmaras
de medicina
e as câmaras
de direito
e as câmaras
de letras
e as câmaras
de ciências
e as câmaras
de artes e
ofícios
e as câmaras
de medicina
e as câmaras
de direito
e as câmaras
de letras
e as câmaras
de ciências

As câmaras
municipais
e as câmaras
de comércio
e indústria
e as câmaras
de agricultura
e as câmaras
de artes e
ofícios
e as câmaras
de medicina
e as câmaras
de direito
e as câmaras
de letras
e as câmaras
de ciências

As câmaras
municipais
e as câmaras
de comércio
e indústria
e as câmaras
de agricultura
e as câmaras
de artes e
ofícios
e as câmaras
de medicina
e as câmaras
de direito
e as câmaras
de letras
e as câmaras
de ciências

70

52





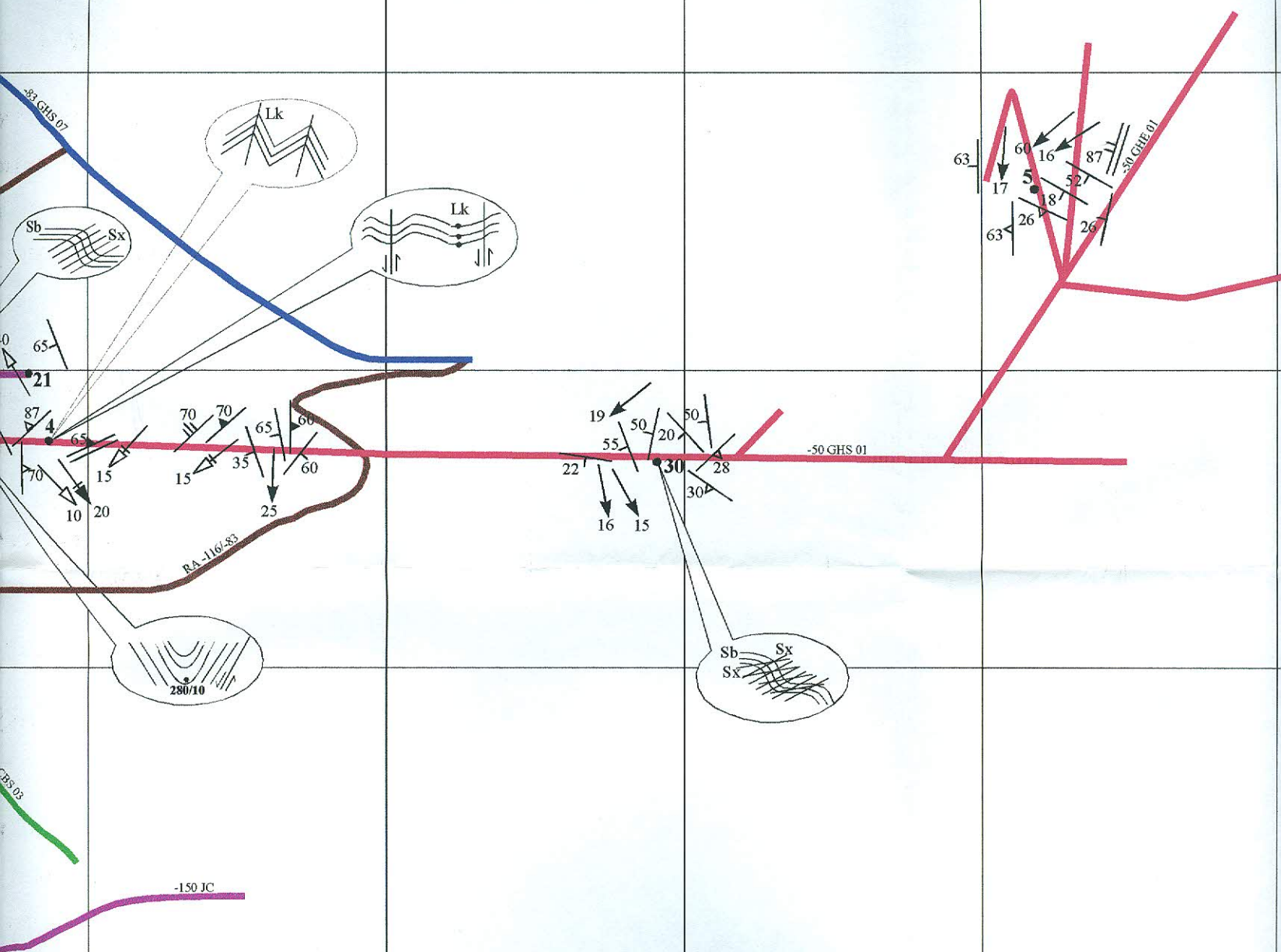
82

86

90













94

98














MAPA DE ESTRUTURAS E DE ACESSOS DA MINA MORRO AGUDO 1998

LEGENDA

	NÍVEL -50 METROS
	NÍVEL -83 METROS
	NÍVEL -116 METROS
	NÍVEL -150 METROS
	NÍVEL -183 METROS
	NÍVEL -216 METROS
	NÍVEL -250 METROS
	NÍVEL -283 METROS
	RAMPAS
	RAMPA PRINCIPAL
	RAMPA II
	CÂMARAS

CONVENÇÕES

	BANDAMENTO COMPOSICIONAL (Sb)
	PLANO DE CLIVAGEM (Sx)
	PLANO DE FALHA
	PLANO DE FRATURA (Sfr)
	PLANO DE VEIO
	PLANO DE KINK BANDS
	EIXO DE DOBRAS
	LINEAÇÃO DE CLIVAGEM
	LINEAÇÃO DE CRENULAÇÃO
	LINEAÇÃO DE KINK BANDS
	LINEAÇÃO DE INTERSEÇÃO ENTRE A CLIVAGEM E O BANDAMENTO

- No mapa estão representados os acessos;
- Alguns acessos não permitem melhor visualização;
- Os acessos são divididos em horizontais (GH), rampas e câmaras;
- As câmaras estão representadas no estudo;
- Os pontos de 1 a 32 são os pontos estudados.
- A boca da mina corresponde ao referencial zero metros;
- A profundidade máxima é de 283 metros, e só é atingida no ponto 16.

COTA DOS PONTOS

Boca da mina	- 576,00 m
Ponto 1	- 526,50 m
Ponto 2	- 526,60 m
Ponto 3	- 526,60 m
Ponto 4	- 532,30 m
Ponto 5	- 533,10 m
Ponto 6	- 500,00 m
Ponto 7	- 397,00 m
Ponto 8	- 398,10 m
Ponto 9	- 398,10 m
Ponto 10	- 462,50 m
Ponto 11	- 427,60 m
Ponto 12	- 503,00 m
Ponto 13	- 464,00 m
Ponto 14	- 480,00 m
Ponto 15	- 411,50 m
Ponto 16	- 468,10 m

ESCALA APROXIMADA
1:2000



MAPA DE ESTRUTURAS E DE ACESSOS DA MINA MORRO AGUDO 1998

LEGENDA

NÍVEL -50 METROS

NÍVEL -83 METROS

NÍVEL -116 METROS

NÍVEL -150 METROS

NÍVEL -183 METROS

NÍVEL -216 METROS

NÍVEL -250 METROS

NÍVEL -283 METROS

RAMPAS

RAMPA PRINCIPAL

RAMPA II

CÂMARAS

CONVENÇÕES

BANDAMENTO COMPOSICIONAL (Sb)

DIREÇÃO DE CLIVAGEM (Sx)

DIREÇÃO DE FALHA

DIREÇÃO DE FRATURA (Sfr)

DIREÇÃO DE VEIO

DIREÇÃO DE KINK BANDS

DIREÇÃO DE DOBRAS

DIREÇÃO DE CLIVAGEM

DIREÇÃO DE CRENULAÇÃO

DIREÇÃO DE KINK BANDS

DIREÇÃO DE INTERSEÇÃO ENTRE A
CLIVAGEM E O BANDAMENTO

NOTAS

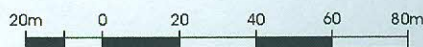
- No mapa estão representados apenas os eixos dos acessos;
- Alguns acessos não foram considerados para permitir melhor visualização;
- Os acessos são divididos em : galerias horizontais (GH), rampas (RA) e travessas (TR);
- As câmaras estão representadas até o ponto estudado;
- Os pontos de 1 a 32 representam os locais estudados.
- A boca da mina corresponde ao nível de referência zero metros;
- A profundidade máxima da mina é de 316 metros, e só é atingida no fundo do poço;

COTA DOS PONTOS (PISO)

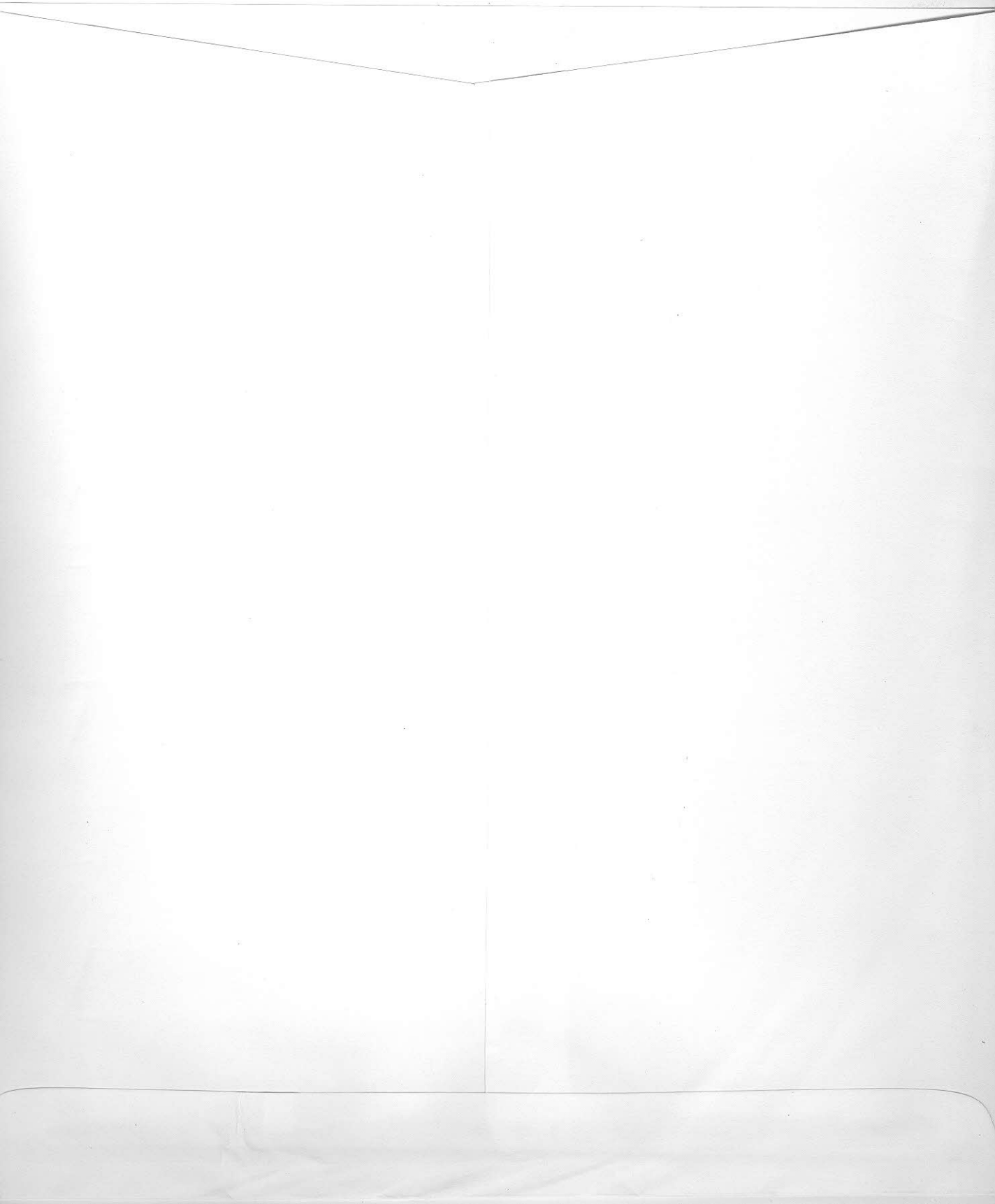
Boca da mina - 576,38 m

Ponto 1 - 526,50 m	Ponto 17 - 397,20 m
Ponto 2 - 526,60 m	Ponto 18 - 398,00 m
Ponto 3 - 526,60 m	Ponto 19 - 469,80 m
Ponto 4 - 532,30 m	Ponto 20 - 509,60 m
Ponto 5 - 533,10 m	Ponto 21 - 435,80 m
Ponto 6 - 500,00 m	Ponto 22 - 464,00 m
Ponto 7 - 397,00 m	Ponto 23 - 459,80 m
Ponto 8 - 398,10 m	Ponto 24 - 432,00 m
Ponto 9 - 398,10 m	Ponto 25 - 421,80 m
Ponto 10 - 462,50 m	Ponto 26 - 430,20 m
Ponto 11 - 427,60 m	Ponto 27 - 450,00 m
Ponto 12 - 503,00 m	Ponto 28 - 526,70 m
Ponto 13 - 464,00 m	Ponto 29 - 461,50 m
Ponto 14 - 480,00 m	Ponto 30 - 526,60 m
Ponto 15 - 411,50 m	Ponto 31 - 420,00 m
Ponto 16 - 468,10 m	Ponto 32 - 450,00 m

ESCALA APROXIMADA
1:2000



PERFIL GERAL DA MINA



50

48

46

44

W

NÍVEL -50

NÍVEL -83

NÍVEL -116

NÍVEL -150

NÍVEL -183

12

20

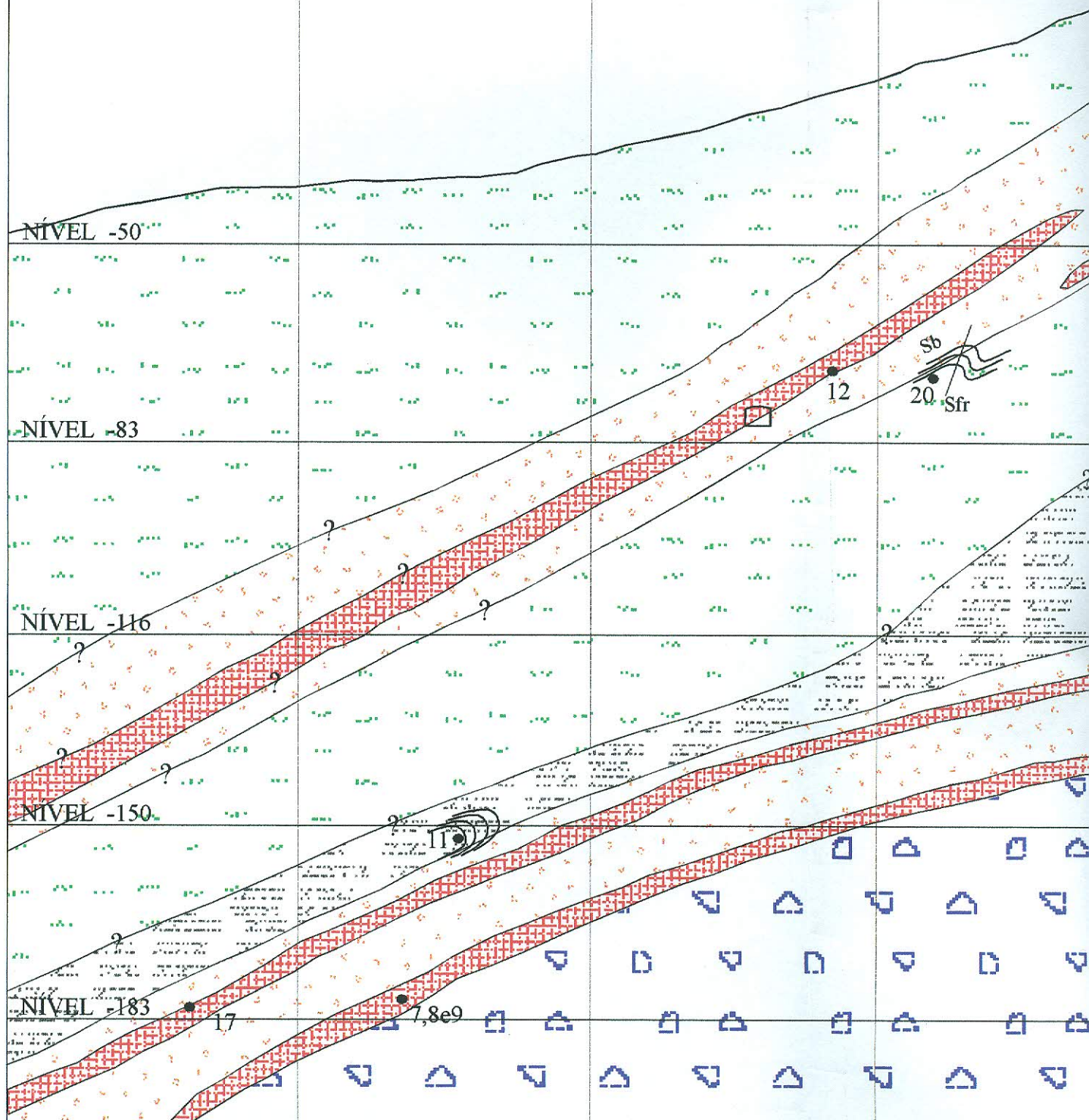
Sfr

Sb

11

17

7,8e9



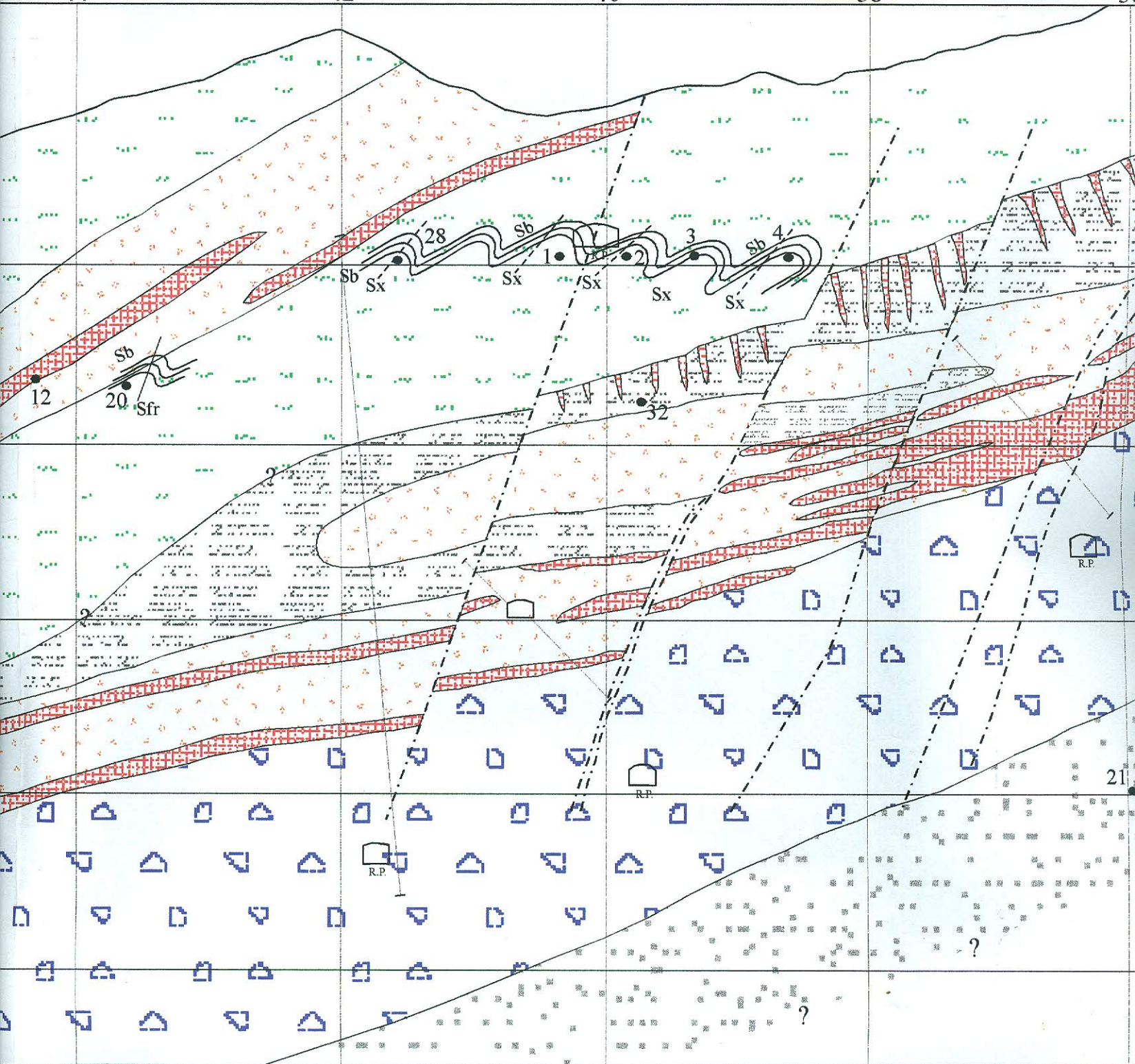
44

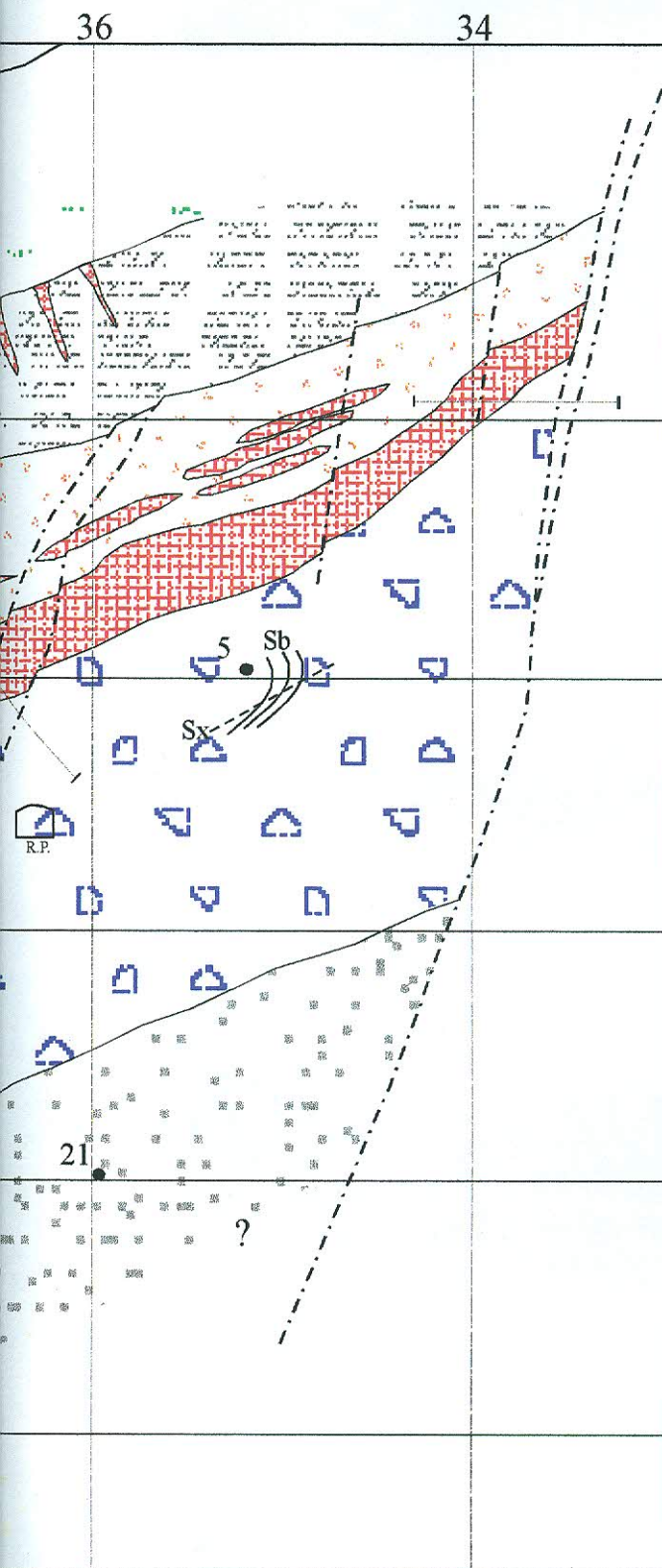
42

40

38










36





PERFIL GERAL LESTE-OESTE LIN MINA MORRO AGUDO 1998

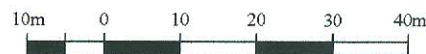
LEGENDA

- | | |
|--|--|
|  Minério |  Dolarenito cal |
|  Ardósia Carbonatada (SAD) |  Brecha dolom |
|  Dolomito maciço e laminado laminado (SAD?/DM) |  Dolomito pirít brecha dolom |
|  Contato geológico |  Estruturas ob |
|  Falha geológica | |

NOTAS

- Alguns pontos estudados estão representados no perfil;
- As estruturas representadas no perfil apresentam escala levemente exagerada;
- Os pontos afastados da linha 74 foram projetados acompanhando o "strike" da camada na direção média N20E.










**ESCALA APROXIMADA
1:1000**



Re

PERFIL GERAL LESTE-OESTE LINHA 74 MINA MORRO AGUDO 1998

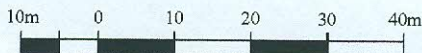
LEGENDA

	Minério		Dolarenito calcítico (DAR)
	Ardósia Carbonatada (SAD)		Brecha dolomítica
	Dolomito maciço e laminado laminado (SAD?/DM)		Dolomito pirítico com brecha dolomítica
	Contato geológico		Estruturas observadas
	Falha geológica		

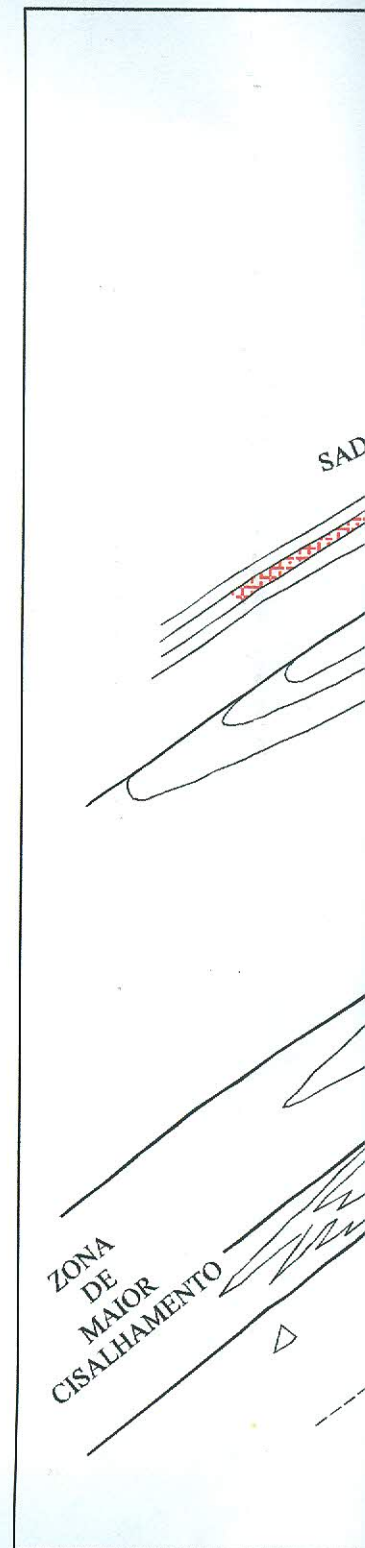
NOTAS

- Alguns pontos estudados estão representados no perfil;
- As estruturas representadas no perfil apresentam escala levemente exagerada;
- Os pontos afastados da linha 74 foram projetados acompanhando o "strike" da camada na direção média N20E.

ESCALA APROXIMADA
1:1000



Representação



PERFIL INTERPRETATIVO

