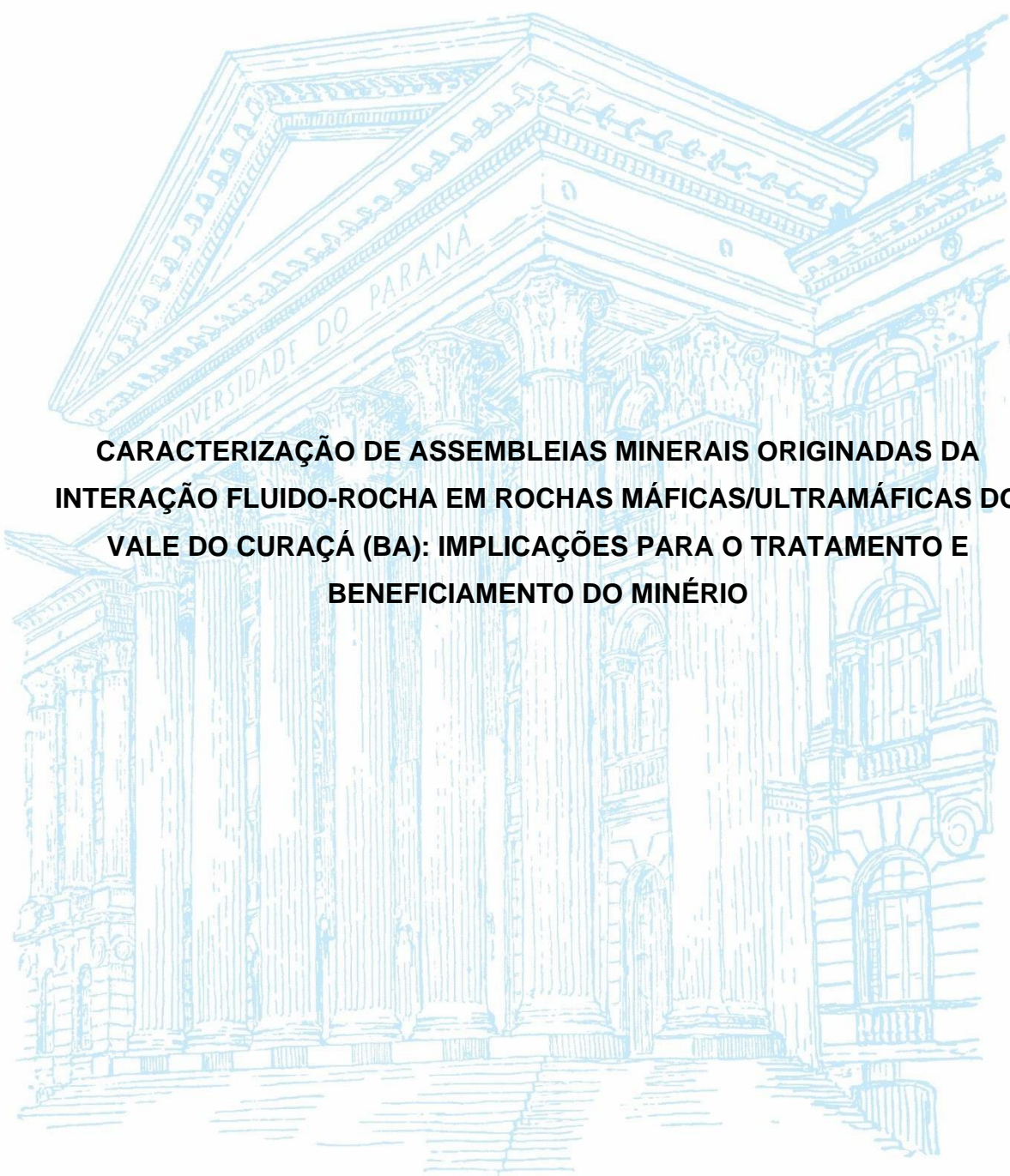


**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS DA TERRA
CURSO DE GEOLOGIA**

GIORDANO BRUNO SPOLADORE HURTADO



**CARACTERIZAÇÃO DE ASSEMBLEIAS MINERAIS ORIGINADAS DA
INTERAÇÃO FLUIDO-ROCHA EM ROCHAS MÁFICAS/ULTRAMÁFICAS DO
VALE DO CURAÇÁ (BA): IMPLICAÇÕES PARA O TRATAMENTO E
BENEFICIAMENTO DO MINÉRIO**

CURITIBA

2023

GIORDANO BRUNO SPOLADORE HURTADO

**CARACTERIZAÇÃO DE ASSEMBLEIAS MINERAIS ORIGINADAS DA
INTERAÇÃO FLUIDO-ROCHA EM ROCHAS MÁFICAS/ULTRAMÁFICAS DO
VALE DO CURAÇÁ (BA): IMPLICAÇÕES PARA O TRATAMENTO E
BENEFICIAMENTO DO MINÉRIO**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Geologia da
Universidade Federal do Paraná como
requisito parcial à obtenção do grau de
Bacharel em Geologia

Orientadora: Prof^a.Dr^a. Cristina Valle Pinto-
Coelho

Coorientadora: Prof^a. Dr^a. Ariadne Borgo

CURITIBA

2023

Dedico este trabalho à Rossana, minha
mãe, maior incentivadora dos meus
estudos. Sem seu carinho, amor e
atenção não chegaria até aqui.

AGRADECIMENTOS

Agradeço às minhas orientadoras, professoras Cristina e Ariadne, pela oportunidade, atenção, paciência e amizade.

Agradeço à minha família, especialmente minha mãe, Rossana, e meu irmão, Antônio, pelo incentivo e suporte para a elaboração deste trabalho, bem como o apoio nos momentos difíceis da graduação. Um agradecimento especial ao meu tio, Angelo, pela inspiração e incentivo a trilhar o caminho da Terra. Agradeço ao meu pai, Rogério, pelo suporte

Pela parceria, amizade, paciência e acolhimento, agradeço a Família Kloss/Camargo.

Agradeço à Universidade Federal do Paraná e ao Departamento de Geologia por toda estrutura e corpo técnico propiciados para a formação profissional ao longo dos anos de graduação. Reconheço a importância da universidade pública gratuita e de qualidade para o meu futuro e futuro do meu país, assim como a responsabilidade em aplicar o conhecimento geológico sempre em benefício da sociedade.

Agradeço ao Instituto Lamir pela infraestrutura cedida para as fotomicrografias e análises por DRX. Em especial ao técnico Dr. Guilherme Fedalto (Zito), pela clareza, paciência e disponibilidade nas instruções para realizar as análises.

Ao CEGEP, por sediar integração e troca de conhecimento durante a jornada da graduação.

Por fim, gostaria de agradecer a todos os amigos e amigas com quem me relacionei durante o curso. Sem dúvida, foram o mais importante pilar para minha permanência e insistência na Universidade e para o crescimento pessoal nesse período. Um agradecimento especial para Giovana Rebelo, Angela, Belo, Borboleta, Cami, Carol, Cel, Cristian, Dani, Duda, Flávia, Guillan, Jun, Jo, Juliana, Júlio Brita, Leo, Leticya, Maciel, Janela, May, Maionese, Mi, Nath, Nick, Ortiz, Paulo Montanarin, Palu, Robson, Poi, Taruã, Serenoia e Sebastião.

RESUMO

A geometalurgia é a interface entre os conhecimentos geológicos aplicados aos processos metalúrgicos. Essa metodologia, que tem importância crescente, aplica estudos mineralógicos, com enfoque em caracterizações texturais, a implicações destas características no processo de beneficiamento do minério. O Distrito Cuprífero do Vale do Curaçá, localizado no nordeste da Bahia é amplamente estudado, mas há poucos estudos que caracterizem o minério de cobre sob o ponto de vista da geometalurgia. A fim de analisar as implicações metalúrgicas do beneficiamento de minério de cobre proveniente do Vale do Curaçá (BA), associados as características minerais decorrentes de interações rocha-fluido, foram realizadas análise petrográfica macroscópica e microscópica em luz transmitida e refletida, bem como difratometria de raios-x. Foram analisadas rochas encaixantes e hospedeiras da mineralização de cobre, classificadas como ortognaisses e piroxenitos, com diferentes intensidades e tipos de alteração. Identificou-se duas diferentes assembleias geradas por interação rocha-fluido: (1) assembleia A, composta por epidoto + filossilicatos (talco, mica branca e serpentina) + calcopirita ± clinopiroxênio cálcico ± carbonato ± bornita ± magnetita ± clorita; (2) assembleia B, composta por flogopita ± apatita ± zircão ± albita ± calcopirita ± bornita ± magnetita. As análises por DRX identificaram 19 espécies minerais, sendo que clinocloro, actinolita, gipsita e dolomita não foram identificadas na petrografia. A assembleia A apresenta maior porcentagem modal de calcopirita e bornita, minerais de minério alvos da exploração. Esses minerais estão texturalmente associados à talco, serpentina, clorita e sericita, o que requer a adição de depressores na etapa de flotação do beneficiamento do minério, a fim de que atinja uma boa recuperação. A assembleia B tem como principal característica a ocorrência de flogopita em granulação grossa. Essa característica deve ser levada em consideração no beneficiamento do minério pelo fato de impactar na baixa eficiência no processo de fragmentação do minério.

Palavras-chave: alteração, geometalurgia, minério de cobre, vale do curaçá

ABSTRACT

Geometallurgy is the interface between geological knowledge applied to metallurgical processes. This methodology, of growing importance, applies mineralogical studies with a focus on textural characterizations to understand the implications of these features in ore beneficiation processes. The Copper District of Vale do Curaçá, located in the northeast of Bahia, is extensively studied, but there are few investigations characterizing copper ore from a geometallurgical perspective. In order to analyze the metallurgical implications of copper ore beneficiation from Vale do Curaçá (BA), associated with mineral characteristics resulting from rock-fluid interactions, macroscopic and microscopic petrographic analysis in transmitted and reflected light, as well as X-ray diffractometry, were conducted. The host rocks for the copper mineralization, classified as orthogneisses and pyroxenites, with different intensities and types of alteration, were analyzed. Two different assemblages generated by rock-fluid interaction were identified: (1) Assemblage A, composed of epidote + phyllosilicates (talc, white mica, and serpentine) + chalcopryrite ± calcic clinopyroxene ± carbonate ± bornite ± magnetite ± chlorite; (2) Assemblage B, composed of phlogopite ± apatite ± zircon ± albite ± chalcopryrite ± bornite ± magnetite. XRD analyses identified 19 mineral species, with clinochlor, actinolite, gypsum, and dolomite not being identified in petrography. Assemblage A has a higher modal percentage of chalcopryrite and bornite, the target ore minerals for exploration. These minerals are texturally associated with talc, serpentine, chlorite, and sericite, requiring the addition of depressants in the flotation stage of ore beneficiation to achieve good recovery. Assemblage B is characterized by the occurrence of coarse-grained phlogopite. This feature must be considered in ore beneficiation as it impacts the low efficiency in the ore fragmentation process.

Key-words: alteration; geometallurgy; cooper ore, curaçá valley.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Localização da área de estudo.....	10
Figura 2 - Figura geológica da porção norte do Orógeno Salvador-Itabuna-Curaçá.	12
Figura 3 - Modelo evolutivo para os depósitos cupríferos do Vale do Curaçá	13
Figura 4 - Fluxograma do processo de beneficiamento empregado na mina Caraíba.....	15
Figura 5 - Detalhes da rocha encaixante à mineralização (AM03).	18
Figura 6 - Detalhes do ortopiroxenito (AM09).....	20
Figura 7 – Detalhes do clinopiroxenito (AM12).....	21
Figura 8 - Detalhes de piroxenito com alteração pervasiva (AM01).	23
Figura 9 - Detalhes da rocha calciossilicática (AM07).	24
Figura 10 - Detalhes de ortopiroxenito moderadamente hidrotermalizado (AM11). ..	25
Figura 11 - Detalhes de flogopitito (AM13).....	26
Figura 12 - Detalhes de brecha hidrotermal (V1).	27
Figura 13 - Detalhes de flogopitito (V4).....	28
Figura 14 - Progressão da alteração que origina a assembleia A.	33
Figura 15 - Modelo de diagrama de evolução paragenética	34
Figura 16 - Curva do teor de cobre no concentrado em relação a recuperação de cobre na flotação, com a presença de talco e muscovita.	35

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Métodos aplicados às amostras.....	16
Tabela 2 - Espécies minerais identificadas por meio de DRX.....	30

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Ab	Albita
BA	Bahia
Bor	Bornita
Bt	Biotita
Cal	Calcita
Cbt	Carbonato
Ccp	Calcopirita
Chl	Clorita
Cpx	Clinopiroxênio
DRX	Difratometria de raios-x
Ens	Enstatita
Ep	Epidoto
Fs	Ferrossilita
IOCG	<i>Iron Oxide Copper Gold</i>
Qz	Quartzo
Mag	Magnetita
Mc	Microclínio
Phl	Flogopita
Pl	Plagioclásio
PX	Polarizadores cruzados
P//	Polarizados paralelos
Ser	Sericita
Srp	Serpentina
Tlc	Talco
Zrn	Zircão

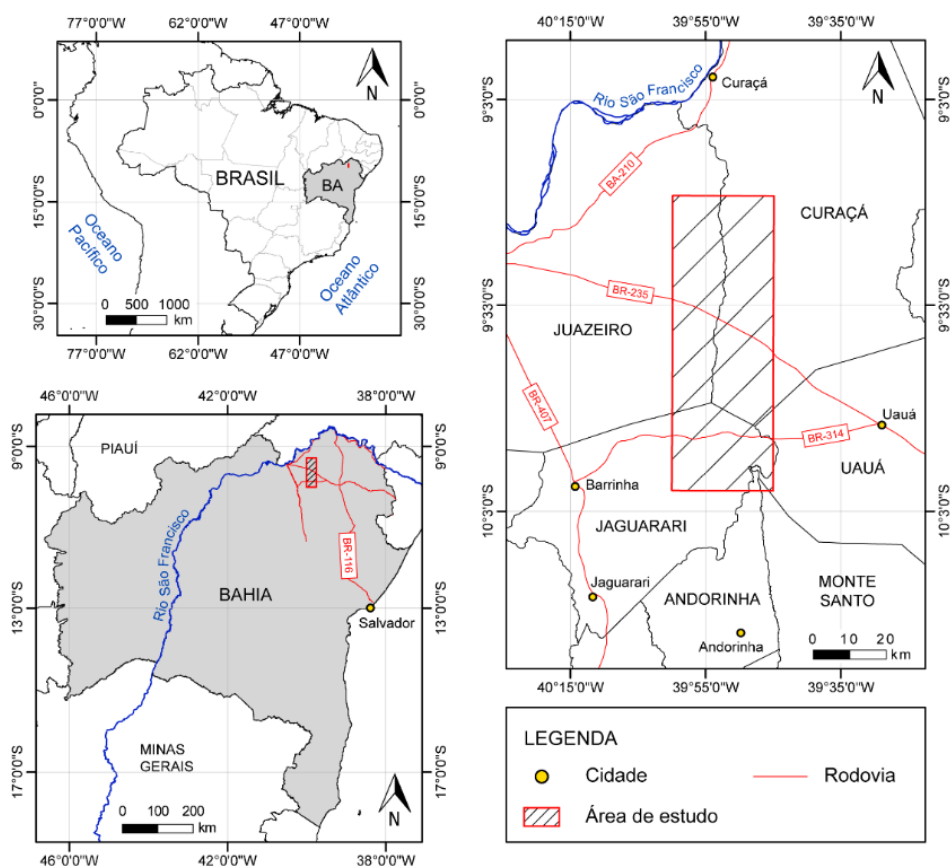
SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
1.1	OBJETIVOS	11
1.1.1	Objetivo Geral	11
1.1.2	Objetivos Específicos	11
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	11
2.1	GEOLOGIA REGIONAL	11
2.2	MINERALIZAÇÕES E ALTERAÇÕES HIDROTERMAIS	12
2.3	BENEFICIAMENTO DO MINÉRIO	14
3	MATERIAIS E MÉTODOS	16
3.1	ANÁLISE PETROGRÁFICA	16
3.2	DIFRATOMETRIA DE RAIOS-X (DRX)	17
4	RESULTADOS	17
4.1	PETROGRAFIA	17
4.2	DRX	29
5	INTERPRETAÇÃO E DISCUSSÃO	31
5.1	ASSEMBLEIAS DECORRENTES DA INTERAÇÃO ROCHA-FLUIDO	31
5.2	TRATAMENTO E BENEFICIAMENTO DO MINÉRIO	35
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	37
	REFERÊNCIAS.....	38

1 INTRODUÇÃO

O Distrito Cuprífero do Vale do Curaçá (BA) contém importantes reservas de minério de cobre do território brasileiro. As mineralizações na área são frequentes alvo de pesquisas científica e mineral (Delgado, 1981; Lindenmayer, 1982; Teixeira *et al.*, 2010, Garcia, 2013; Garcia, 2018). No entanto, há carência de estudos que avaliem a ocorrência do minério sob o ponto de vista da geometalurgia, visando a identificação de minerais deletérios que prejudicam o tratamento e beneficiamento. Assim, o objetivo deste trabalho é a análise de assembleias minerais formadas em decorrência da interação fluido-rocha em 15 amostras de mão e 11 lâminas de flogopititos, piroxenitos e ortognaisses provenientes do Vale do Curaçá (BA) (Figura 1), com enfoque na integração das informações geológicas e metalúrgicas. Será avaliada a hipótese de que a interação rocha-fluido origina assembleias minerais que, ao propiciar a desestabilização da assembleia primária, gera subprodutos que são deletérios para o tratamento e beneficiamento do minério.

Figura 1 – Localização da área de estudo



Fonte: Santana, 2021

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Caracterizar a paragênese mineral de alteração, originada a partir da interação rocha-fluido.

1.1.2 Objetivos Específicos

(i) Caracterizar, do ponto de vista textural, a assembleia mineral em cada tipo de rocha estudada;

(ii) Identificar a associação mineral deletéria ao beneficiamento do minério de cobre.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

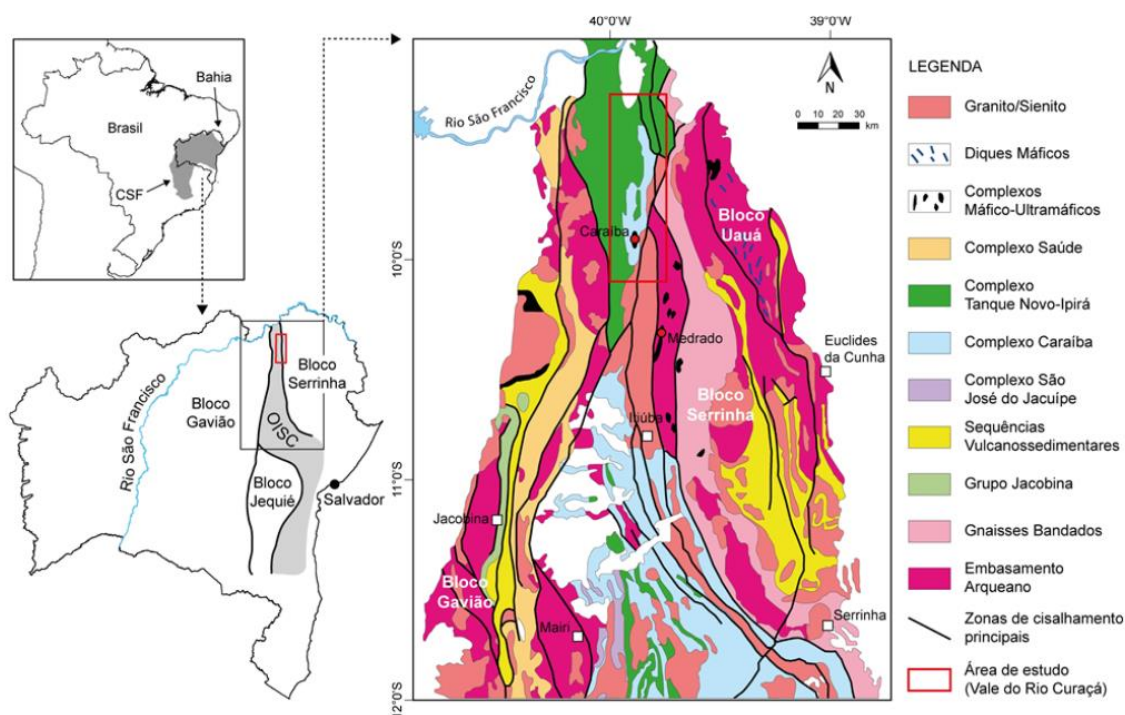
2.1 GEOLOGIA REGIONAL

A área estudada está localizada na porção nordeste do Cráton São Francisco, constituindo a porção norte do Orógeno Salvador-Itabuna-Curaçá. Trata-se de um cinturão de rochas granulíticas, metamorfizado e deformado devido à colisão dos blocos Gavião, Jequié e Serrinha, no final do Riáciano (Alkmin, 2004).

As unidades litoestratigráficas que compõem o contexto geológico do Vale do Curaçá (Figura 2) são os Complexos Caraíba e Tanque Novo-Ipirá e a Suíte São José do Jacuípe. O Complexo Caraíba é composto por suíte bimodal da fácies Granulito, com componente félsica enderbítica e componente básica gabro-diorítica, metamorfizada na transição entre fácies anfíbolito e granulito, com frequentes ocorrências de feições de migmatização (Kosin *et al.* 2003) A Suíte São José do Jacuípe apresenta litotipos que variam de termos ultramáficos a máficos, sendo os tipos mais comuns biotita-noritos e hornblenda-noritos. O Complexo Tanque Novo-Ipirá representa uma sequência vulcanossedimentar desenvolvida entre o Arqueano e Paleoproterozoico, metamorfizada nas fácies anfíbolito alto a granulito, sendo os litotipos mais comuns gnaisses aluminosos, quartzitos e rochas calciossilicáticas (Kosin *et al.*, 2003). Há intrusões de corpos máficos-ultramáficos nos Complexos

Caraíba e Tanque Novo-Ipirá, os quais hospedam mineralizações econômicas de cobre sulfetado (Teixeira *et al.*, 2010).

Figura 2 - Figura geológica da porção norte do Orógeno Salvador-Itabuna-Curaçá



Fonte: Santana, 2021

2.2 MINERALIZAÇÕES E ALTERAÇÕES HIDROTERMAIS

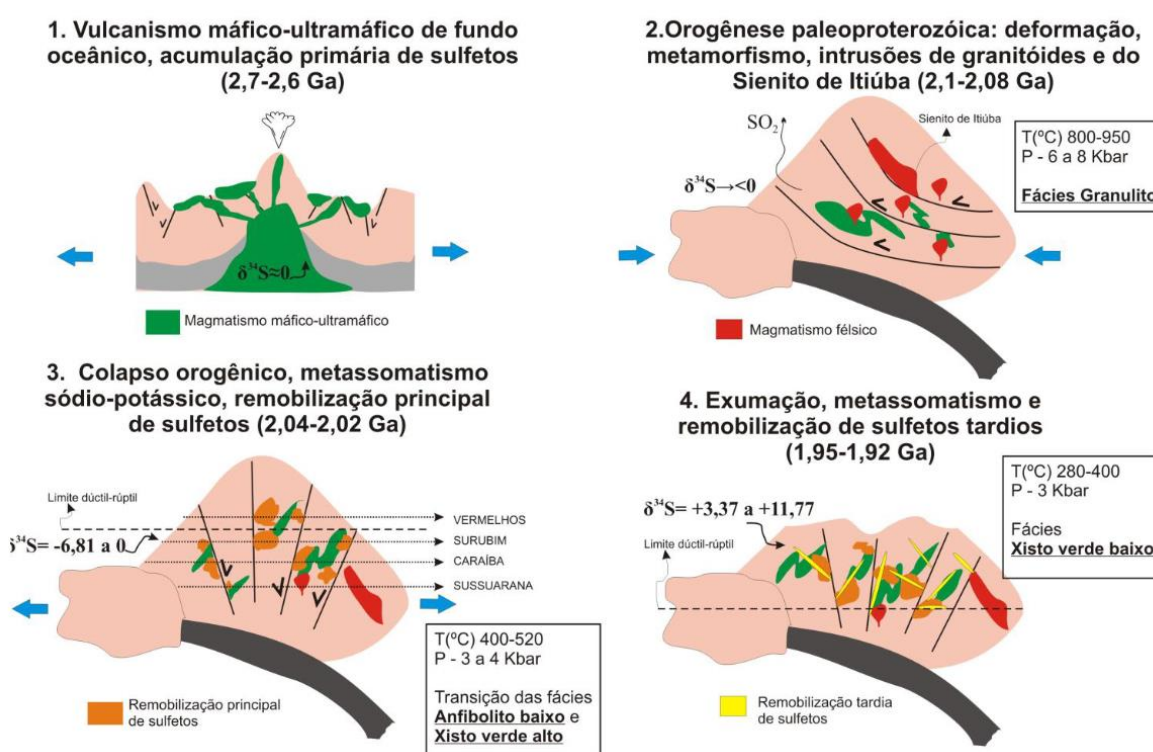
Os primeiros estudos com enfoque nas mineralizações de cobre no Vale do Curaçá sugerem que sua origem primária, relacionada ao magmatismo gerador das intrusões máfica-ultramáficas (Lindenmayer, 1982; Delgado, 1981). Posteriormente, Teixeira *et al.* (2010) propuseram o modelo metalogenético IOCG, destacando a importância da remobilização por processos hidrotermais gerando uma mineralização secundária.

Garcia (2013) detalha o modelo evolutivo dos depósitos do Vale do Rio Curaçá, destacando diferentes fases (Figura 3). Conforme o autor, em uma primeira fase há mineralização primária, de origem magmática (2.6 Ga), que após edificação (2.08 Ga) e colapso (2.04 Ga) do Orógeno Itabuna-Salvador-Curaçá, foi remobilizada por um sistema hidrotermal, desenvolvendo um sistema IOCG que gerou a mineralização

secundária. Após o soerguimento do orógeno, ocorre metassomatismo tardio (1,92 Ga). O autor ainda destaca que a mineralização pode ocorrer de três formas distintas: (i) em rochas máficas e ultramáficas, de forma disseminada; (ii) em rochas extremamente flogopitizadas, associadas a zonas de cisalhamento; (iii) depósitos filonianos e bolsões que truncam as rochas adjacentes.

O sistema hidrotermal do Vale do Curaçá é composto por pelo menos quatro tipos de alterações distintas. De acordo com Garcia (2018), identifica-se uma alteração diopsídio-(Ca) hornblenda \pm plagioclásio, sendo comum a presença de calcita nos interstícios dos clinopiroxênios. Na alteração (Na)plagioclásio \pm apatita \pm (Fe)hornblenda ocorre com maior frequência o plagioclásio sódico, embora destaque-se a presença de apatita e granadas, enquanto a flogopita é considerada tardia. A alteração à microclina, em contato com gnaisses e corpos máfico-ultramáficos, exibe a formação de minerais como clorita, serpentina e epidoto. Por fim, a alteração à flogopita-biotita, mais frequentemente relacionada à mineralização hidrotermal de Cu, mostra a substituição de “hiperstênio” e plagioclásio por flogopita, com texturas variadas, incluindo granoblástica decussada e lepidoblástica a milonítica em zonas de cisalhamento.

Figura 3 - Modelo evolutivo para os depósitos cupríferos do Vale do Curaçá



Fonte: Garcia, 2013.

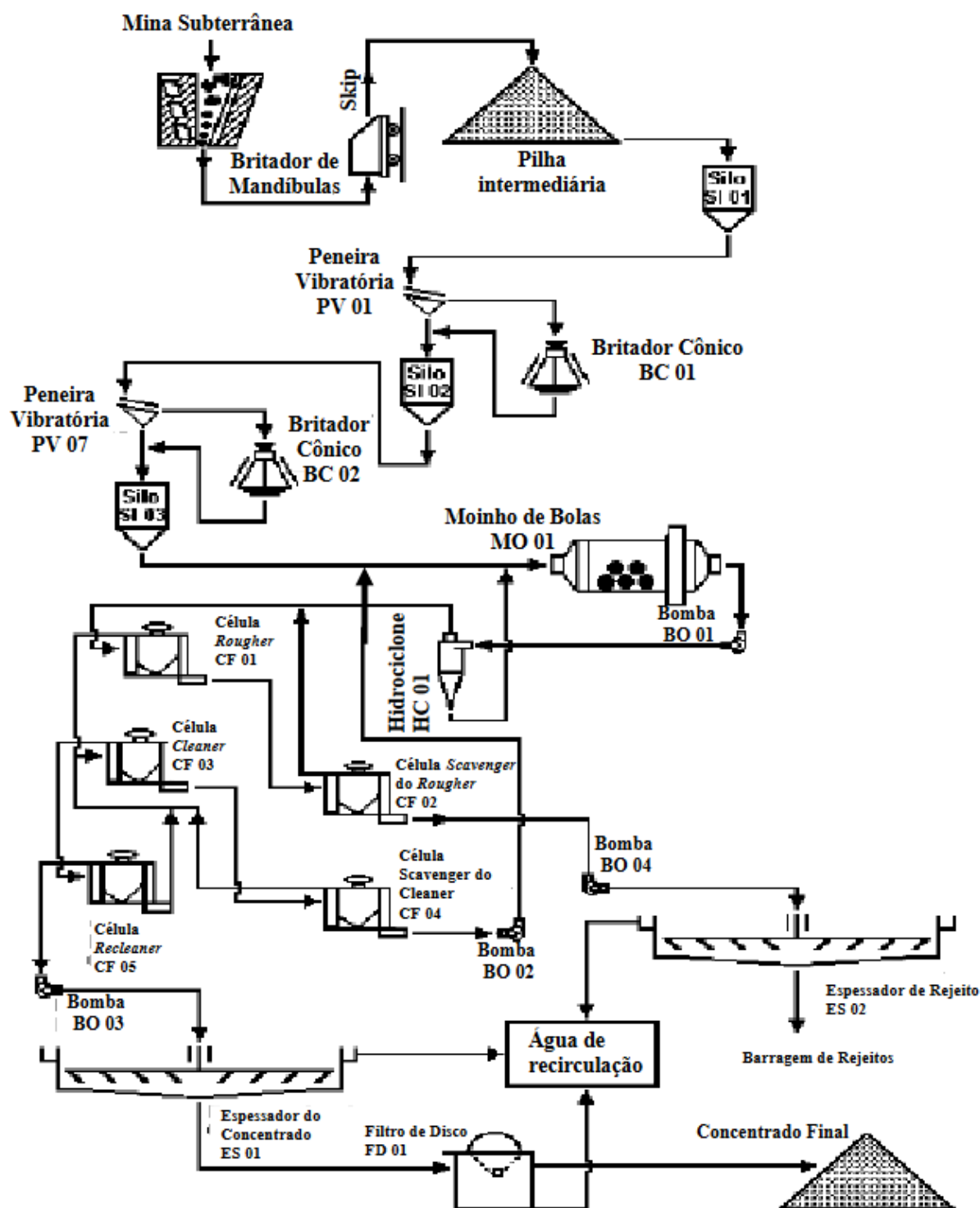
2.3 BENEFICIAMENTO DO MINÉRIO

A geometalurgia é uma abordagem interdisciplinar que mescla conhecimentos geológicos e metalúrgicos (Parian, *et al.*, 2015). Modelos de geometalurgia baseados em estudos mineralógicos, que analisam assembleias minerais e características texturais, preveem processos metalúrgicos necessários para o beneficiamento do minério, assim como representam uma importante ferramenta para cálculos de teores e recuperação (Pérez-Barnuevo *et al.* 2018).

Segundo Kirjavainen & Heiskanen (2007) em depósitos máfico-ultramáficos de Ni e Cu, importantes informações a serem descritas são se os minerais silicatos da ganga ocorrem em granulação grossa e se há minerais alterados para serpentina e talco. Os autores justificam que a presença desses minerais afeta o beneficiamento do minério pelo fato de que podem vir a causar lentidão e incorporação da ganga em processos de flotação. A flotação de minério de cobre é dificultada na presença de talco e muscovita e outros filossilicatos, pelo fato desses minerais afetarem a recuperação de cobre e alterar a reologia da polpa, exigindo processos complementares à flotação (Farrokhpay *et al.*, 2018). Outros problemas comuns que filossilicatos podem causar ao beneficiamento do minério são transbordamento de tanques, diminuição da eficiência na moagem, aumento de partículas finas na moagem e entopimento da tela da peneira, durante o peneiramento (Figueira, *et al.*, 2010; Ndlovu *et al.*, 2013).

O processo de concentração de minério realizado na mina Caraíba no Vale do Curaçá (Figura 4) é abordado por Barreto (2020). Conforme o autor, inicia-se com a extração subterrânea e a céu aberto. O procedimento seguinte engloba etapas como britagem primária, secundária e terciária, homogeneização e moagem/classificação. O processo seguinte compreende a flotação, que resulta em um concentrado com teor médio de 35% de cobre. O concentrado final é espessado, filtrado e armazenado para posterior embarque, mantendo uma umidade inferior a 10%. A recuperação de cobre ao término do processo varia entre 85% e 88%. O autor ainda afirma que o talco implica em maior complexidade no beneficiamento, e identifica, por meio de difratometria de raios X a presença de talco associado ao minério de cobre da mina.

Figura 4 - Fluxograma do processo de beneficiamento empregado na mina Caraíba



Fonte: Barreto, 2020.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Foram disponibilizadas um total de 10 amostras de mão e 11 lâminas petrográficas, pertencentes ao acervo da coorientadora, para este projeto (Tabela 1). Com o objetivo de caracterizar a mineralogia, estruturas e texturas das rochas, foi realizada a análise petrográfica por meio de descrição macroscópica e microscópica em luz transmitida. Para identificar os sulfetos e óxidos associados às paragênese hidrotermais foi realizada análise microscópica em luz refletida. A difratometria de raios X (DRX) foi realizada em apoio a petrografia para caracterização mineralógica.

Tabela 1- Métodos aplicados às amostras

AMOSTRA/ MINA	CARACTERIZAÇÃO MACROSCÓPICA	CARACTERIZAÇÃO MICROSCÓPICA	DRX (pó total)	DRX (COM TRATAMENTO PARA ARGILOMINERAIS)
AM01/X	X	X (2 lâminas)	X	X
AM03/X	X	X	X	
AM07/X	X	X		
AM09/X	X	X	X	
AM10/X	X		X	
AM11/X	X	X		
AM12/X	X	X		
AM13/X	X	X	X	X
V1/Y	X	X		
V4/Y	X	X (2 lâminas)	X	

Fonte: O autor (2023)

3.1 ANÁLISE PETROGRÁFICA

As lâminas petrográficas foram descritas em microscópio óptico de luz transmitida, modelo *Olympus BX-51-P*, no Laboratório de Pesquisa em Microscopia (LAPEM), do Departamento de Geologia (DGEOL) da UFPR. As siglas dos principais minerais constituintes das litologias presentes foram baseadas em Whitney e Evans (2010). As fotomicrografias utilizadas neste estudo foram adquiridas no Instituto Lamir, por meio de uma câmera Axio Imager A2m, e processadas utilizando os programas *Axio Vision*[®], *Adobe Lightroom*[®] e *Adobe Illustrator*[®]. Para as descrições das lâminas delgadas foram utilizadas as referências: Jebrak (1997), Deer et al. (2000), Le Maitre (2002).

3.2 DIFRATOMETRIA DE RAIOS-X (DRX)

Para a utilização do método de DRX, foram utilizadas 30g de de cada uma das amostras selecionadas (Tabela 1- Métodos aplicados às amostras pulverizadas na fração 325 mesh utilizando recipiente com revestimento de carbeto de tungstênio para DRX método pó total. Nas amostras AM01 e AM13 foi aplicado método para tratamento para argilominerais. Para isso, as partículas de argila foram concentradas por centrifugação, 5 g de amostra foram diluídas e centrifugada a 700 rpm por 5 min, depois o sobrenadante foi separado das partículas precipitadas e centrifugado a 3.000 rpm por 30 min. O excesso de água foi descartado e o precipitado diluído novamente. A solução foi colocada em seções de vidro e seca à temperatura ambiente. Uma alíquota foi analisada como “in-natura” seca ao ar; uma segunda aquecida até 550°C durante 2h; e uma terceira solvatada com etilenoglicol por 24h. A configuração do equipamento foi 40kV/40mA, tempo 0,2 s, com passo e faixa de varredura de 3,5 a 70°, respectivamente, para o pó total e de 3,5 a 30° para a fração argila.

4 RESULTADOS

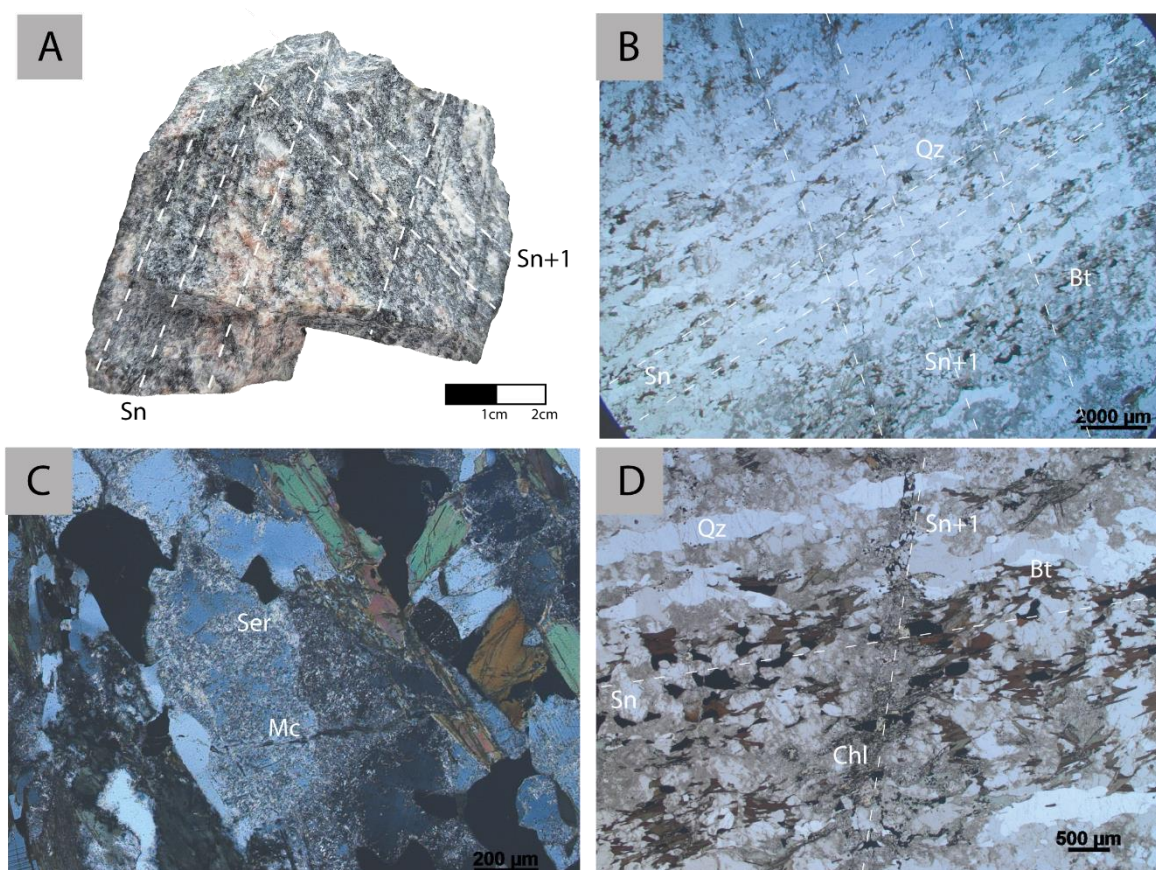
4.1 PETROGRAFIA

A petrografia realizada neste estudo abrange as rochas encaixantes e hospedeiras da mineralização de cobre do Vale do Curaçá, discriminadas em detalhe na Tabela 1. As rochas encaixantes, bem como as rochas ultramáficas hospedeiras da mineralização, apresentam diferentes tipos e intensidade de alterações hidrotermais.

O **ortognaisse** (Figura 5; AM03), rocha encaixante das rochas máficas/ultramáficas mineralizadas, compõe-se por 40% de microclínio, 35% de quartzo, 15% de biotita, 10% de magnetita, com traços de labradorita, epidoto e calcopirita. A rocha tem origem metamórfica e apresenta foliação classificada como um bandamento gnáissico definida pela alternância de bandas compostas majoritariamente por minerais félsicos (microclínio, quartzo e plagioclásio) e bandas com predominância de minerais máficos (biotita, magnetita), o que caracteriza textura nematoblástica a lepidoblástica, respectivamente. Os minerais são equigranulares, anédricos a subédricos, com granulação média. O bandamento (Sn) é cortado por

uma segunda foliação (S_{n+1}) que forma um ângulo de aproximadamente 70° com a foliação mais penetrativa. A foliação S_{n+1} é caracterizada pela presença de calcopirita nos planos. Neste plano S_{n+1} percebe-se uma alteração seletiva da biotita e do plagioclásio metamórficos, com paragênese de alteração formada por epidoto, clorita, calcopirita, carbonato e albita. A biotita está cloritizada e o plagioclásio sericitizado nestes planos e fazem contatos irregulares com epidoto, albita e os sulfetos de cobre em granulação muito fina a fina. Em bandas félsicas, o quartzo apresenta extinção ondulante e o microclínio encontra-se comumente sericitizado (Figura 5).

Figura 5 - Detalhes da rocha encaixante à mineralização (AM03).



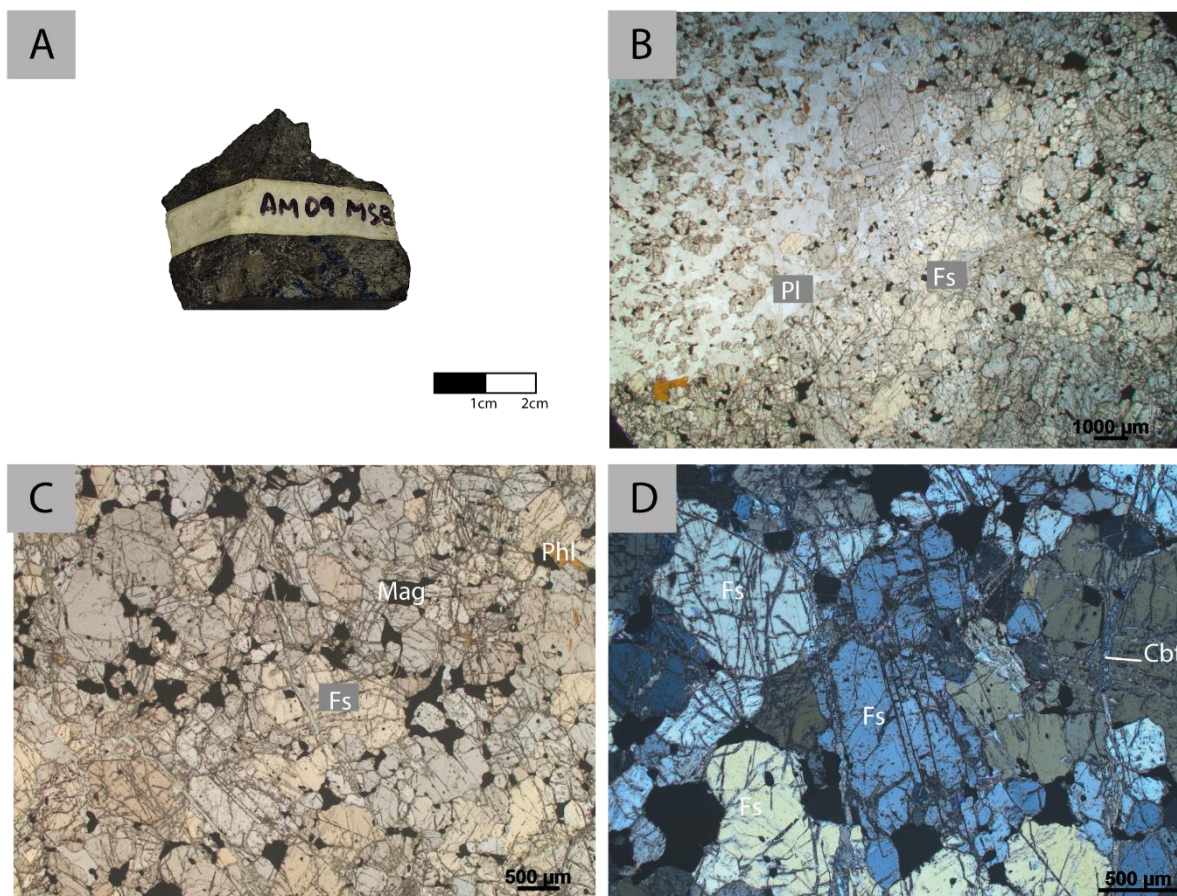
Fonte: O autor (2023).

Legenda: A - Ortognaisse bandando, com foliação S_{n+1} cortando o bandamento gnáissico (S_n). B Estrutura da rocha em microscópio com foliação S_n caracterizada pela alternância de bandas predominantemente compostas por quartzo (Qz) e microclínio (Mc) intercaladas com bandas com predominância de biotita (Bt) (P//). C – Cristal de microclínio (Mc) alterado para sericita (Ser) (PX). D- Biotita (Bt) alterada para clorita (Chl) na intersecção entre os planos de foliação S_n e S_{n+1} (P//).

Ortopiroxenito (Figura 6; amostra AM09) representa o litotipo hospedeiro das mineralizações de cobre. É composto por 50% de ferrossilita, 30% de magnetita, 20% de andesina com traços de clinopiroxênio cálcico, flogopita, calcopirita,

talco/serpentina, carbonatos e epidoto. A textura da rocha é granoblástica evidenciada pelo contato poligonizado entre os cristais, formando junção tríplice com ângulos de 120° , inequigranular, com feições que remetem à textura cumulática do protólito (Figura 6). A ferrossilita é anédrica e ocorre, mais comumente, em granulação média, havendo cristais com granulação grossa (Figura 6 B). Andesina ocorre em granulação média, anédrica a subédrica prismática, ocasionalmente com maclas deformadas. A magnetita é anédrica, com granulação média e ocorre nos interstícios de ferrossilita e andesina (Figura 6 C). A rocha está alterada de forma moderada e, dentre as amostras estudadas, é a que se encontra menos alterada. O clinopiroxênio cálcico ocorre em granulação fina, como mineral de alteração da ferrossilita, em lamelas de exsolução. Por vezes o clinopiroxênio substitui totalmente o ortopiroxênio. A flogopita ocorre em granulação fina, exibindo contatos planares e retos com outros minerais. A ferrossilita é alterada de forma seletiva, também, para talco, serpentina, mica branca, carbonato e epidoto, em granulação muito fina a fina. A alteração ocorre nas bordas dos cristais de ferrossilita, bem como por entre as discontinuidades do mineral. A andesina encontra-se ocasionalmente saussuritizada, o que dá ao cristal aspecto turvo em polarizadores paralelos. Localmente, há vênulas de carbonatos entre as discontinuidades da ferrossilita (Figura 6 D).

Figura 6 - Detalhes do ortopiroxenito (AM09).

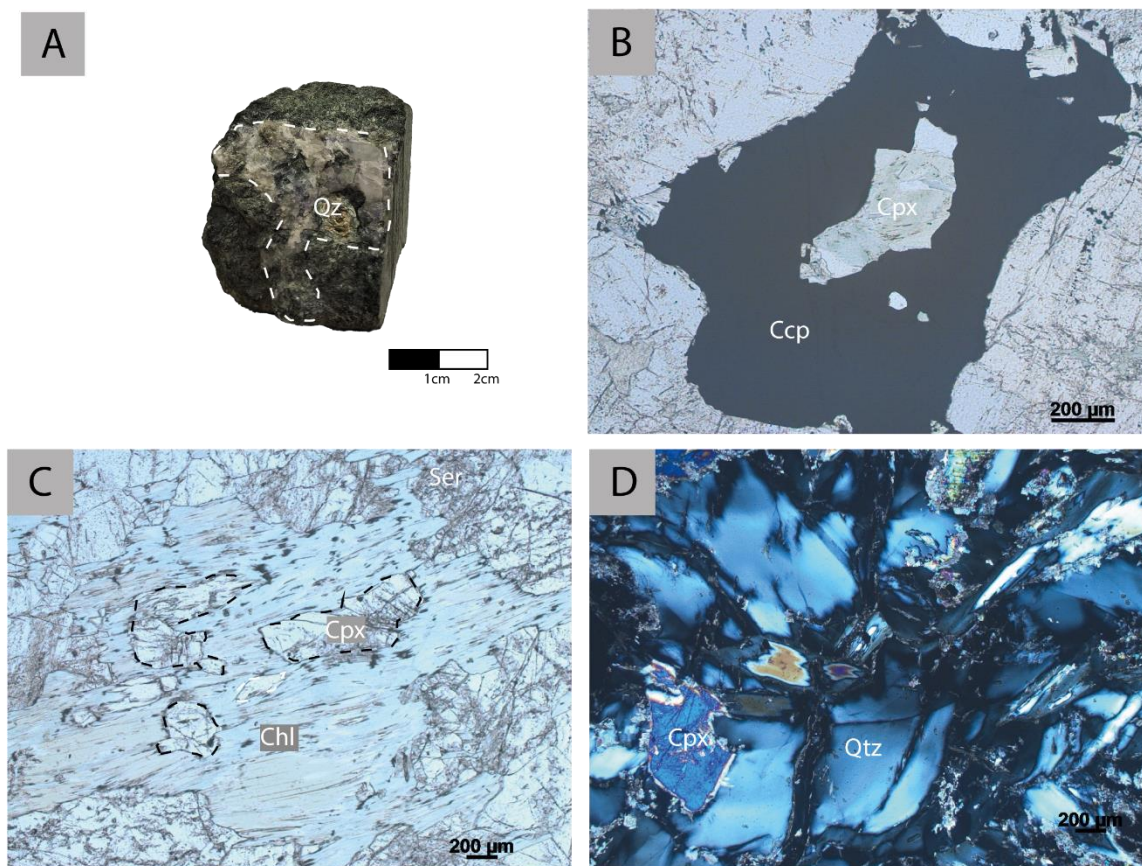


Fonte: O autor (2023).

Legenda: A – amostra de mão, com textura fanerítica fina. B- Trama geral da amostra, com predominância da ferrossilita (Fs) em detrimento da andesina (Pl) (P//). C – Textura granoblástica, mantendo características da textura cumulática primária, com magnetita nos interstícios e traço de flogopita (Phl) (P//). D- Ferrossilita (Fs) fraturada, cortada por vênulas de carbonato (Cbt) (PX).

Conforme se aumenta a intensidade da alteração da rocha nota-se o aumento da proporção de clinopiroxênio em relação ao ortopiroxênio, o que a permite caracterizar a amostra AM12 como um **clinopiroxenito** (Figura 7). A mineralogia deste litotipo é composta por clinopiroxênio cálcico (70%), flogopita (20%), filossilicatos (10%), com traços de magnetita, calcopirita, clorita, epidoto e quartzo. A textura é granoblástica, equigranular de granulação fina. A principal característica da amostra é substituição do ortopiroxênio pelo clinopiroxênio. Os cristais de clinopiroxênio encontram-se fraturados e há a presença de veios de quartzo com extinção ondulante (Figura 7 D/Figura 7). Os cristais de clinopiroxênio estão alterados de forma seletiva para filossilicatos (talco, serpentina, sericita) e epidoto de granulação fina e clorita de granulação fina a média (Figura 7 C).

Figura 7 – Detalhes do clinopiroxenito (AM12).



Fonte: O autor (2023).

Legenda: A – Amostra de mão, de textura afanítica, com veio de quartzo (Qz) em destaque pelo tracejado. B – Cristal de clinopiroxênio (Cpx) cálcico envolto por calcopirita (Ccp) (P//). C – Clinopiroxênio (Cpx) cálcico alterado para clorita (Chl). Relictos do clinopiroxênio tracejados entre a clorita (P//). (D)- Veios de quartzo (Qtz) com extinção ondulante (PX).

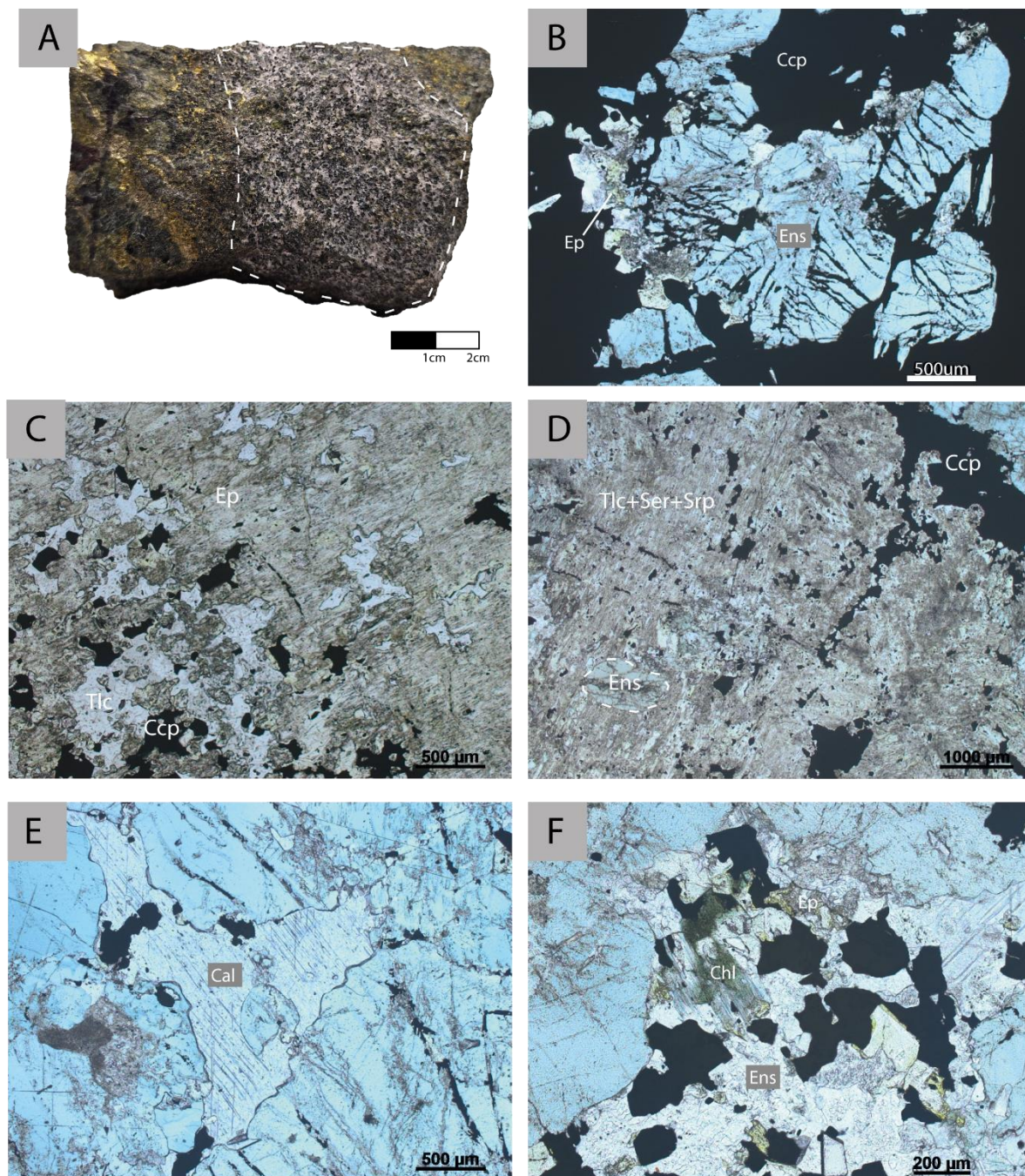
Chamada informalmente de calciossilicática na rotina da mina, as amostras AM01AMSB e AM01BMSB são **rochas ultramáficas pervasivamente hidrotermalizadas**. A amostra AM01AMSB é composta por 35% de calcopirita, 25% de epidoto, 15% de filossilicatos (talco, serpentina, mica branca), 10% de enstatita, 10% andesina, 5% bornita, com traços de carbonato e clorita. A textura da rocha é inequigranular, com bolsão formado por cristais de granulação grossa a muito grossa de calcopirita e bornita. Em granulação muito fina a fina, ocorrem epidoto e filossilicatos como minerais de alteração dos ortopiroxênios e andesina. A alteração é intensa e pervasiva a ponto de obliterar a textura metamórfica, restando poucos relictos de enstatita, geralmente substituídos pela paragênese mineral de alteração composta por calcopirita, epidoto, filossilicatos, carbonato, bornita (Figura 8 D).

Epidotos anédricos de granulação fina representam o mineral de alteração mais recorrente.

A lâmina delgada AM01BMSB é da mesma amostra da lâmina AM01AMSB, da porção em que há menor quantidade de sulfetos. Outra **rocha ultramáfica pervasivamente hidrotermalizada**, com porcentagem modal de sulfetos inferior à rocha anteriormente descrita, composta por clinopiroxênios cálcicos (30%), epidoto (25%), calcopirita (10%), enstatita (10%), carbonatos (10%), filossilicatos (10%), bornita (5%) e traço de zircão e clorita. A textura da rocha é inequigranular, de granulação fina a média, com porções reliquiares de textura granoblástica, mais bem preservadas em relação à AM01AMSB. Os cristais de clinopiroxênio cálcico estão associados a epidotos, carbonatos, calcopirita e filossilicatos que ocorrem em granulação fina a média, e são minerais de alteração da enstatita. A alteração é desenvolvida entre os planos de clivagem dos piroxênios. A amostra apresenta como características que a distinguem das outras uma paragênese hidrotermal mais desenvolvida, com maior porcentagem modal de minerais de alteração, assim como em granulação mais grossa. Outra característica é ausência da flogopita.

A **rocha máfica/ultramáfica pervasivamente alterada** (Figura 9; AM07) compõe-se por calcita (50%), biotita (20%), clinopiroxênio cálcico (20%), enstatita (10%), com traços de plagioclásio, epidoto, clorita e filossilicatos. A textura da rocha é equigranular grossa. Essa amostra é diferenciada das demais pela elevada porcentagem modal de carbonatos, bem como pela granulação grossa desses minerais (Figura 9 A e B). A biotita é diferenciada da flogopita nessa rocha por apresentar pleocroísmo menos intenso, variando de incolor a castanho (Figura 9 C).

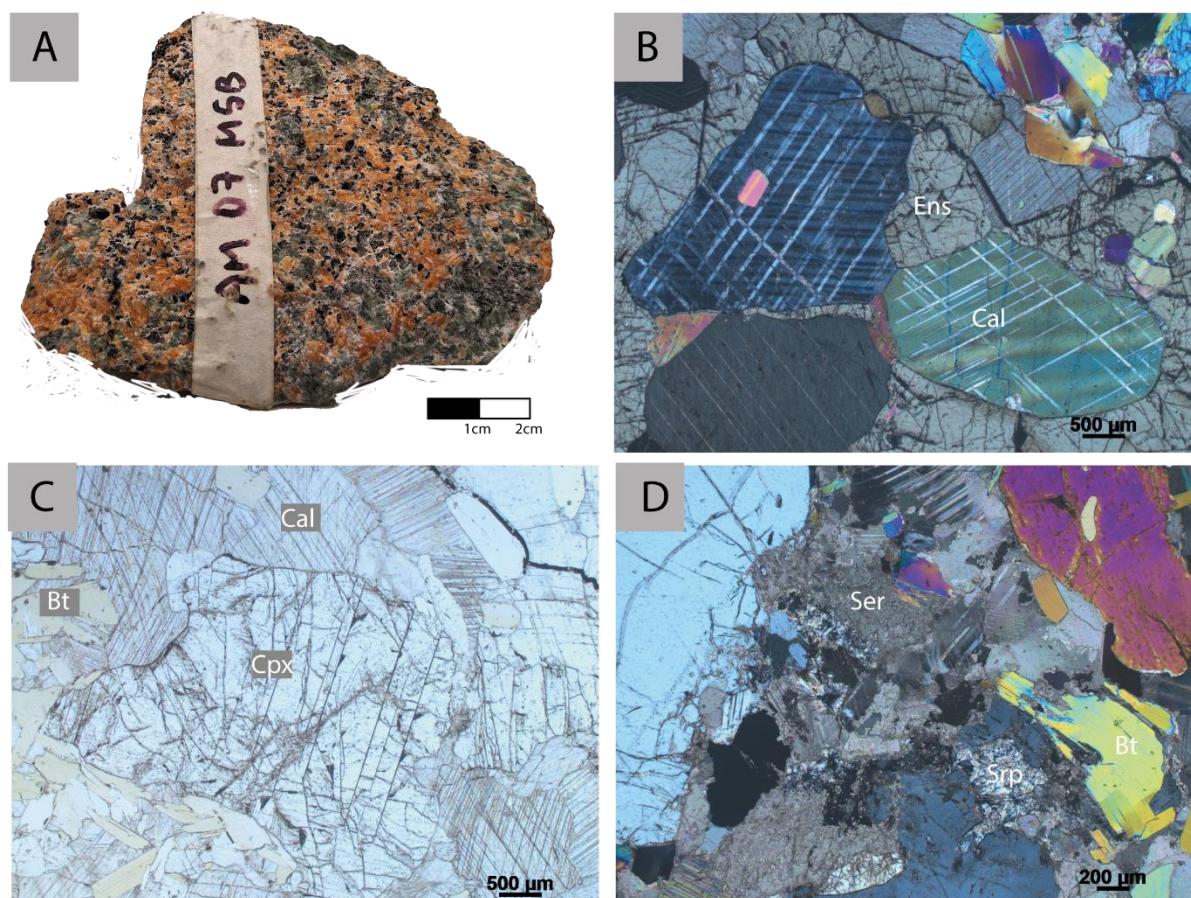
Figura 8 - Detalhes de piroxenito com alteração pervasiva (AM01).



Fonte: O autor (2023).

Legenda: A – Amostra de mão com porção rica em calcopirita e piritita e bolsão acinzentado (tracejado na imagem) com mineralogia primária alterada. B – Cristal de enstatita (Ens) alterado, com presença de calcopirita (Ccp) entre os planos de clivagem e epidoto (Ep) nas bordas (P//). C e D – Assembleia de alteração da enstatita (Ens), com presença de epidoto (Ep), filossilicatos (talco - Tlc, serpentina - Srp, sericita - Ser) e calcopirita (Ccp) (P//). E – Cristal de calcita (Cal) em granulação média (P//). F – Enstatita (Ens) alterada para clorita (Chl), epidoto (Ep) e calcopirita (Ccp) (P//).

Figura 9 - Detalhes da rocha máfica/ultramáfica pervasivamente alterada (AM07).



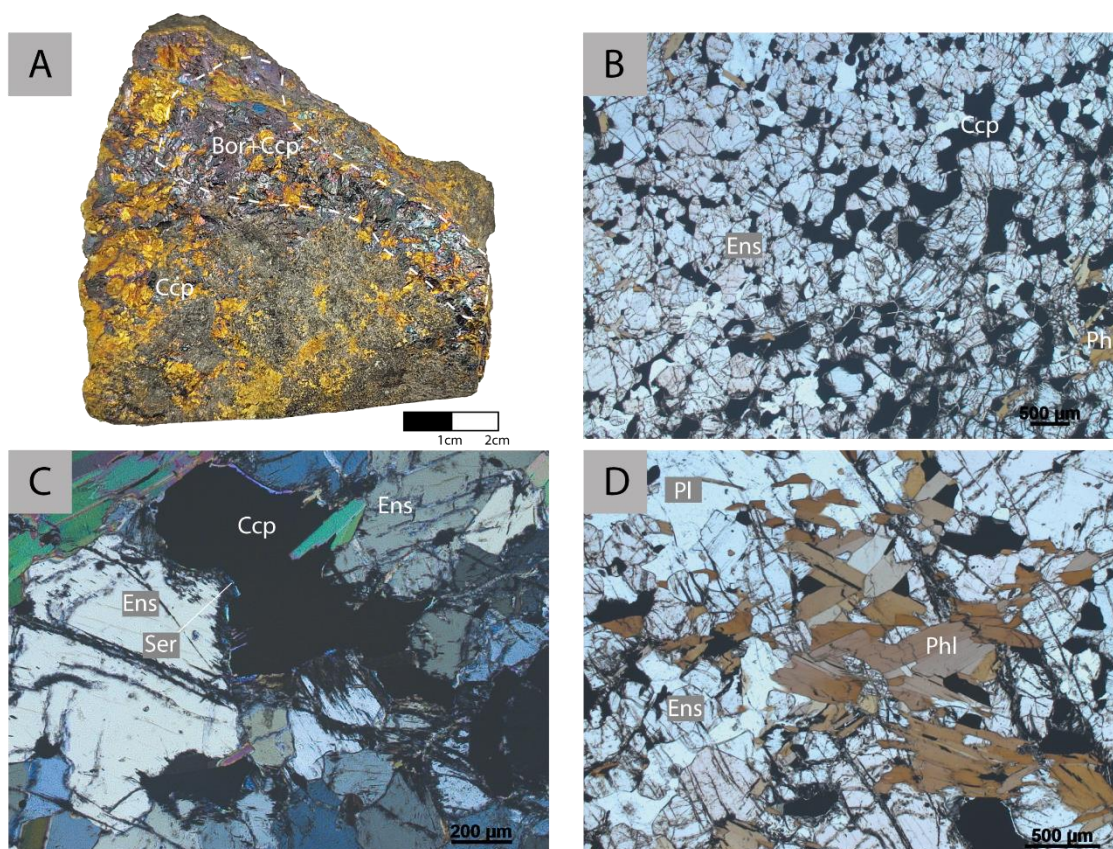
Fonte: O autor (2023).

Legenda: A- Rocha calciossilicática com textura fanerítica grossa, evidenciada por cristais de cor laranja (calcita), verde (epidoto) e cinza escuros (biotita). B- Geminação polissintética em cristais de calcita (Cal) (PX). C – Clinopiroxênio cálcico (Cpx) fraturado em contato com cristais de calcita (Cal) e biotita (Bt) (P//). D- Sericita (Ser) e serpentina (Srp) substituindo enstatita (PX).

Ortopiroxenito (Figura 10; AM11MSB) mostra um aumento significativo na porcentagem de flogopita (Figura 10 D). A mineralogia é composta por enstatita (40%), calcopirita (30%), labradorita (15%) e flogopita (15%), com traços de bornita. A textura da rocha é equigranular, de granulação fina, cristais anédricos a subédricos, granoblástica. A estrutura é maciça, com a presença de vênulas e disseminações de calcopirita (Figura 10 B). Os minerais estão moderadamente alterados. Na enstatita há lamelas de exsolução de clinopiroxênio cálcico, enquanto os plagioclásios estão saussuritizados, alterados para epidoto, carbonato e filossilicatos de granulação muito fina. Os contatos entre os minerais são retilíneos, porém, localmente, o contato é irregular entre um bolsão mineralizado com calcopirita (granulometria \pm 1cm). A enstatita nesse contexto apresenta-se com aspecto corroído e exibe uma paragênese

de alteração constituída principalmente por filossilicatos de granulação muito fina (Figura 10 C).

Figura 10 - Detalhes de ortopiroxenito moderadamente hidrotermalizado (AM11).



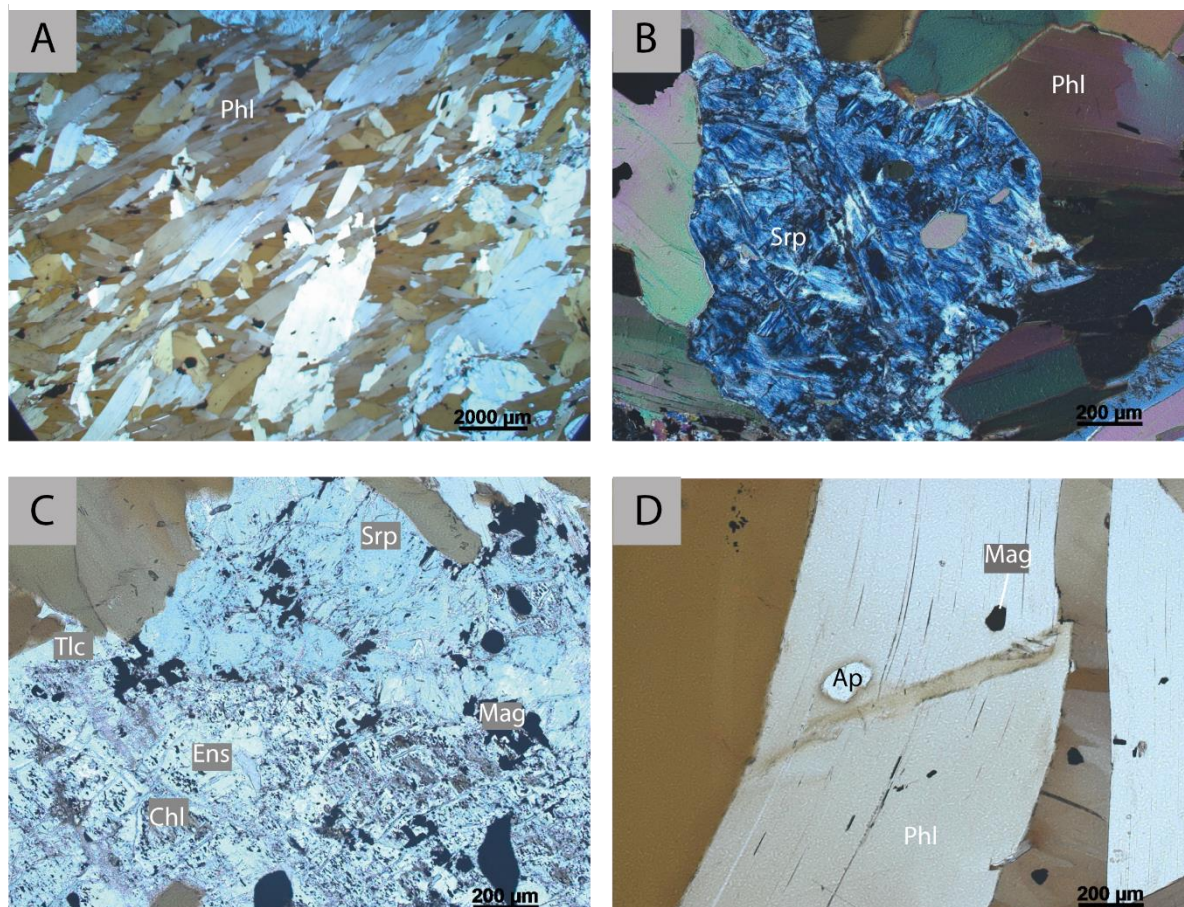
Fonte: O autor (2023).

Legenda: A- Ortopiroxenito com mineralização de cobre. Tracejado indica porção da amostra com maior quantidade de bornita (Bor), de cor roxa, em comparação com porção da amostra com maior quantidade de calcopirita (Ccp), de cor dourada. B- Textura granoblástica, com cristais de calcopirita (Ccp) nos interstícios dos cristais de enstatita (Ens) (P//). C- Sericita (Ser) no contato entre cristais de enstatita (Ens) e calcopirita (Ccp) (PX). D- Cristais prismáticos de flogopita (Phl) em contato com enstatita (En) e andesina (Pl) (P//).

Flogopitito (Figura 11; AM13MSB) compõe-se principalmente por cristais subédricos a euédricos prismáticos em granulação grossa de flogopita (75%). Ocorrem magnetita (10%) e traço de calcopirita, bornita e apatita em granulação fina a média, associados aos cristais de flogopitas (Figura 11 D). Há, também, relictos de enstatita e plagioclásio altamente alterados (Figura 11 B e C). Essa alteração é caracterizada por paragênese formada por clorita (10%), talco (5%), com traços de filossilicatos (serpentina e sericita) e epidoto. Esses minerais ocorrem entre clivagens da enstatita, em granulação fina a média, fazendo contatos irregulares. O contato das flogopitas entre si e com os relictos das enstatitas é reto, abrupto, o que faz com que

a textura nematoblástica sobreponha à textura granoblástica dos cristais de enstatita da rocha.

Figura 11 - Detalhes de flogopito (AM13).

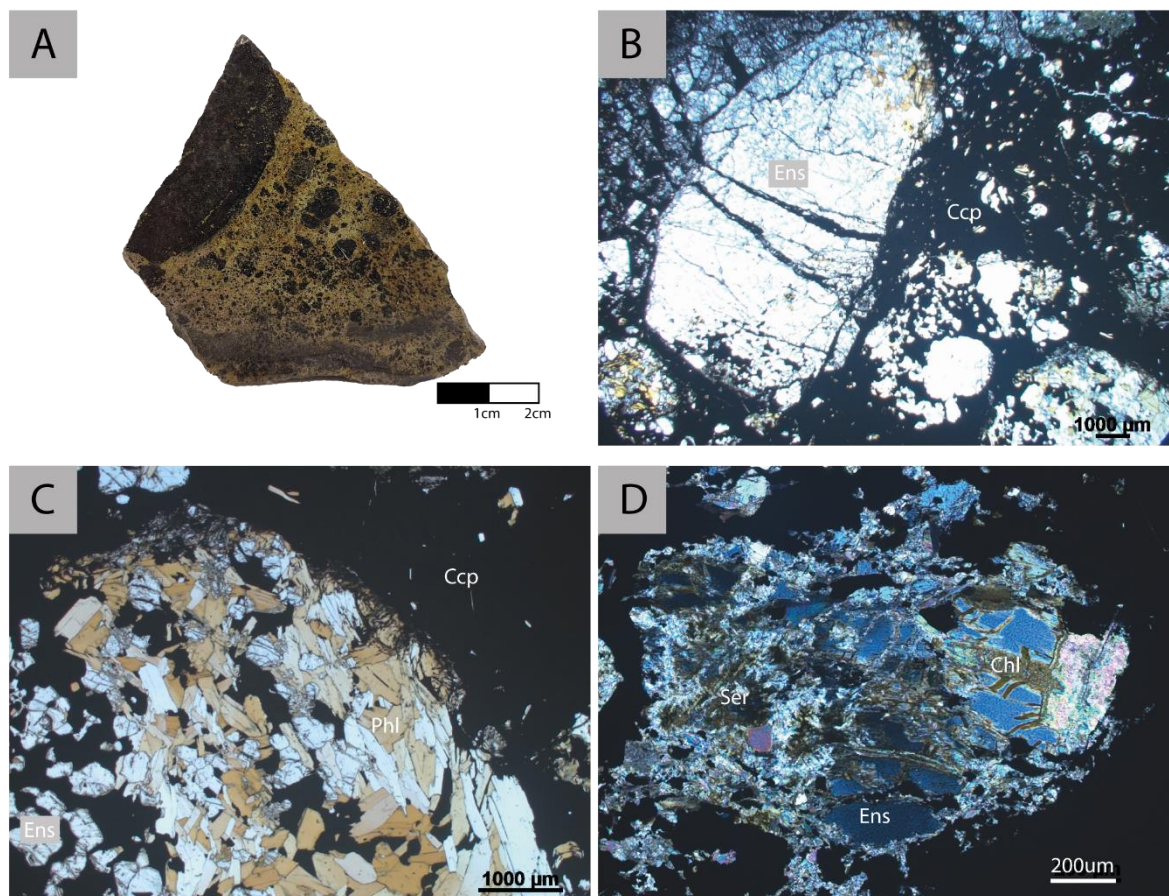


Fonte: O autor (2023).

Legenda: A- Textura nematoblástica formada pelos cristais de flogopita (Phl) (P//) . B- Serpentina (Srp) substituindo integralmente enstatita (PX). C- Enstatita (Ens) alterada pervasivamente entre os planos de clivagem para clorita (Chl), talco (Tlc) e serpentina (Srp) (P//). D- Apatita (Ap) e magnetita (Mag) em cristal de flogopita (Phl) (P//).

A amostra V1 é uma **brecha hidrotermal** mineralizada (Figura 12). Possui textura inequigranular, com a presença de bolsão mineralizado com cristais de granulação grossa de calcopirita (50%) e pirita, e textura granoblástica reliquiar composta principalmente por enstatita (40%) e flogopita (10%). A rocha apresenta vênulas de calcopirita que envolvem cristais de enstatita, caracterizando feições típicas de brechação assistida por fluidos. Em relação as lâminas da amostra V4 as flogopitas apresentam pleocroísmo menos intenso, de incolor a castanho escuro. O contato da calcopirita com os demais minerais gera bordas com aspecto corroído.

Figura 12 - Detalhes de brecha hidrotermal (V1).



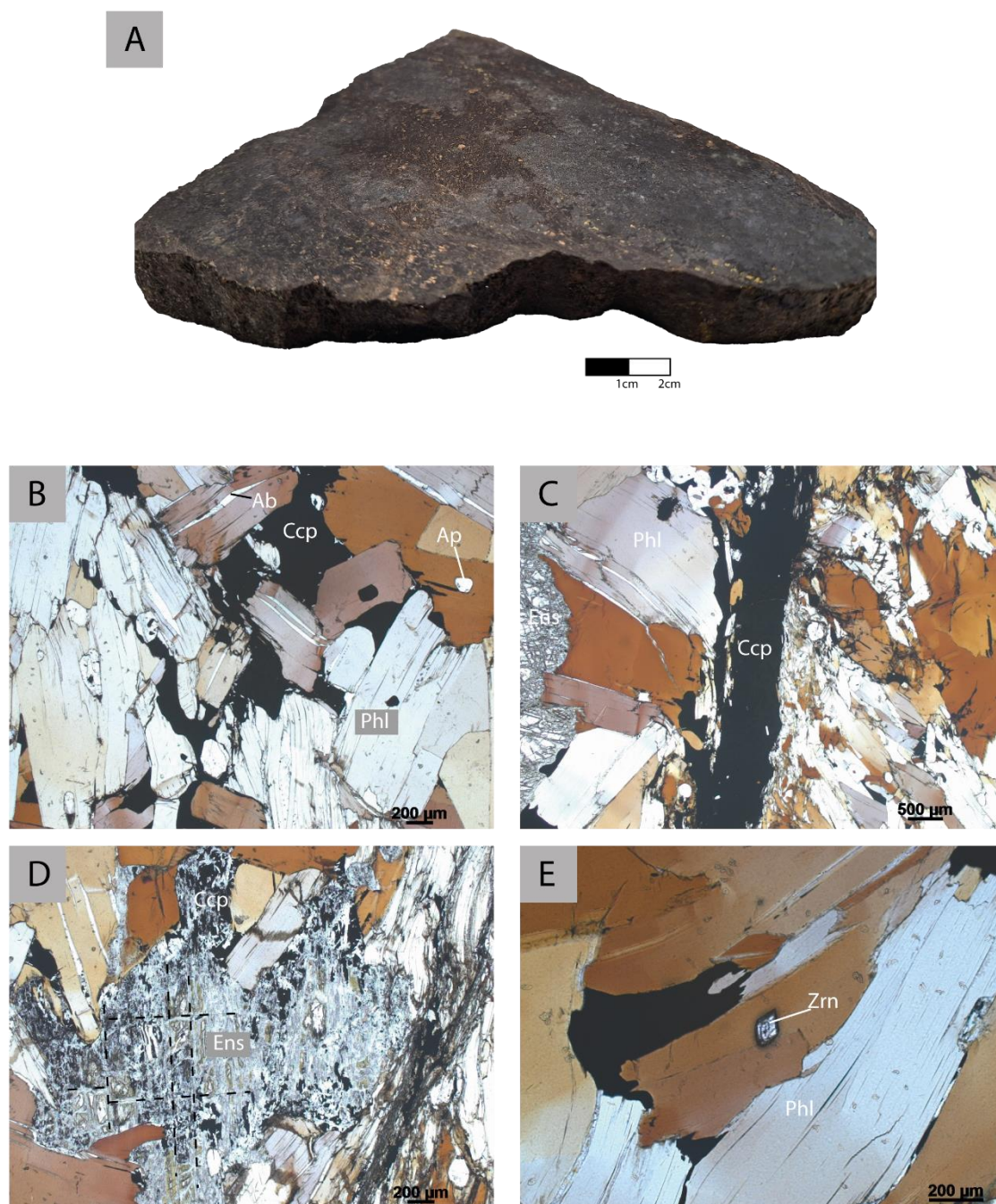
Fonte: O autor (2023).

Legenda: A- Amostra de mão de brecha hidrotermal com calcopirita disseminada em matriz fanerítica fina a média composta por enstatita e flogopita. B- Cristal de enstatita (Ens) envolto por calcopirita (Ccp). Nota-se o preenchimento das descontinuidades da enstatita pela calcopirita (P//). C- Cristais de flogopita (Phl) e enstatita (Ens) com contato com calcopirita (Ccp) (P//). D- Relicto de enstatita (Ens) alterado para sericita (Ser) e clorita (Chl) (PX).

As amostras V4-A e V4-B (Figura 13) são igualmente classificadas como **flogopitito**, com textura inequigranular grossa, com flogopita (60%) em associação com apatita e zircão em granulação fina a média. Essa trama sobrepõe a textura granoblástica formada por enstatita (20%) e andesina (20%). A rocha está alterada de forma moderada, com ocorrência de epidoto, clorita, carbonato, talco, mica branca associados à alteração da enstatita e plagioclásio (Figura 13 D). Os minerais de alteração estão em granulação fina e exibem contatos graduais com enstatita e plagioclásio. Próximos ao contato com as flogopitas há presença de opacos por entre as clivagens da enstatita (Figura 13 D). A rocha não apresenta orientação mineral homogênea, com algumas porções em que a flogopita está orientada

localmente. A amostra V4B apresenta mineralogia, textura e estruturas idênticas à amostra V4A, com predominância de enstatita e plagioclásio em relação a flogopita.

Figura 13 - Detalhes de flogopitito (V4).



Fonte: O autor (2023).

Legenda: A- Flogopitito com calcopirita disseminada. B- Assembleia mineral composta por flogopita (Phl), apatita (Ap), albita (Ab) e calcopirita (Ccp). Albita ocorre entre as clivagens da flogopita (P//). C- Veio de calcopirita (Ccp). Nota-se a diminuição da granulação dos minerais que fazem contato com o veio. D- Relicto de enstatita (Ens) substituído por clorita (Chl), filossilicatos (talco - Tlc, serpentina - Srp, sericita - Ser) e calcopirita (Ccp). A alteração ocorre por entre as clivagens da enstatita (tracejado preto) (P//). E- Cristal de zircão (Zrn) associado à flogopita (Phl) (P//).

4.2 DRX

As análises de DRX a partir do pó total das amostras permitiram a identificação de 19 espécies minerais mostradas na Tabela 2.

Tabela 2 - Espécies minerais identificadas por meio de DRX

MINERAL/ AMOSTRA	AM01(ROCHA ULTRAMÁFICA HIDROTHERMALIZADA)	AM03 (ORTOGNAISSE)	AM09 (ORTOPIROXENITO)	AM10 (ROCHA ULTRAMÁFICA HIDROTHERMALIZADA)	AM11 (ORTOPIROXENITO)	AM13 (FLOGOPITITO)	V4 (FLOGOPITITO)
ENSTATITA			X		X	X	X
DIOPSÍDIO	X		X				X
ACTINOLITA	X						
EPIDOTO	X						
CLORITA		X		X			
CALCOPIRITA	X				X		
MAGNETITA			X				
PIRITA	X						
TALCO			X				
QUARTZO		X		X	X		
ALBITA		X		X			
MICROCLÍNIO		X		X			
BYTWONITA						X	
CLINOCLORO		X					
FLOGOPITA					X	X	X
BIOTITA		X		X			
GIPSITA							X
DOLOMITA		X					
APATITA						X	

Fonte: O autor (2023).

5 INTERPRETAÇÃO E DISCUSSÃO

5.1 ASSEMBLEIAS DECORRENTES DA INTERAÇÃO ROCHA-FLUIDO

A partir das análises petrográficas foi possível definir duas assembleias minerais principais, A e B, geradas por interação fluido rocha, ilustradas no modelo de diagrama de evolução paragenética na Figura 15 . A primeira, assembleia A, é composta por epidoto + filossilicatos (talco, mica branca e serpentina) + calcopirita \pm clinopiroxênio cálcico \pm carbonato \pm bornita \pm magnetita \pm clorita. Essa assembleia está associada principalmente a alteração de ortopiroxênio e plagioclásio, e é semelhante à alteração a microclina em rochas máficas- ultramáficas, caracterizada por Garcia (2018). Quando menos pervasiva, os cristais de ortopiroxênio não se encontram alterados (Figura A e B), embora possam ocorrer lamelas de exsolução de clinopiroxênio cálcico e ocorrência de traços de minerais de alteração em granulação fina. A medida em que a alteração ocorre de forma mais intensa e pervasiva, os subprodutos da interação rocha-fluido ocorrem por entre as clivagens dos minerais alterados, restando apenas relictos de ortopiroxênio (Fig C e D). A alteração atinge seu estágio máximo quando os cristais de enstatita/ferrossilita e andesina são substituídos integralmente pela paragênese descrita, havendo minerais de alteração que podem atingir granulação média (Figura 14 E e F). Essa assembleia apresenta maior porcentagem modal nas amostras AM01A, AM01B, AM07 (Figura 15).

A assembleia B compõe-se de flogopita \pm apatita \pm zircão \pm albita \pm calcopirita \pm bornita \pm magnetita. Essa associação de minerais, correlata à alteração à flogopita-biotita (Garcia, 2018), é caracterizada pelas texturas nematoblástica a granoblástica decussada formada pelas flogopitas, que sobrepõe a textura granoblástica dos cristais de ortopiroxênio e plagioclásio, o que pode ser um indicador de que essa assembleia é posterior à assembleia A. Há maior porcentagem modal dos minerais que compõem essa associação nas amostras AM13 e V4 (Figura 15)

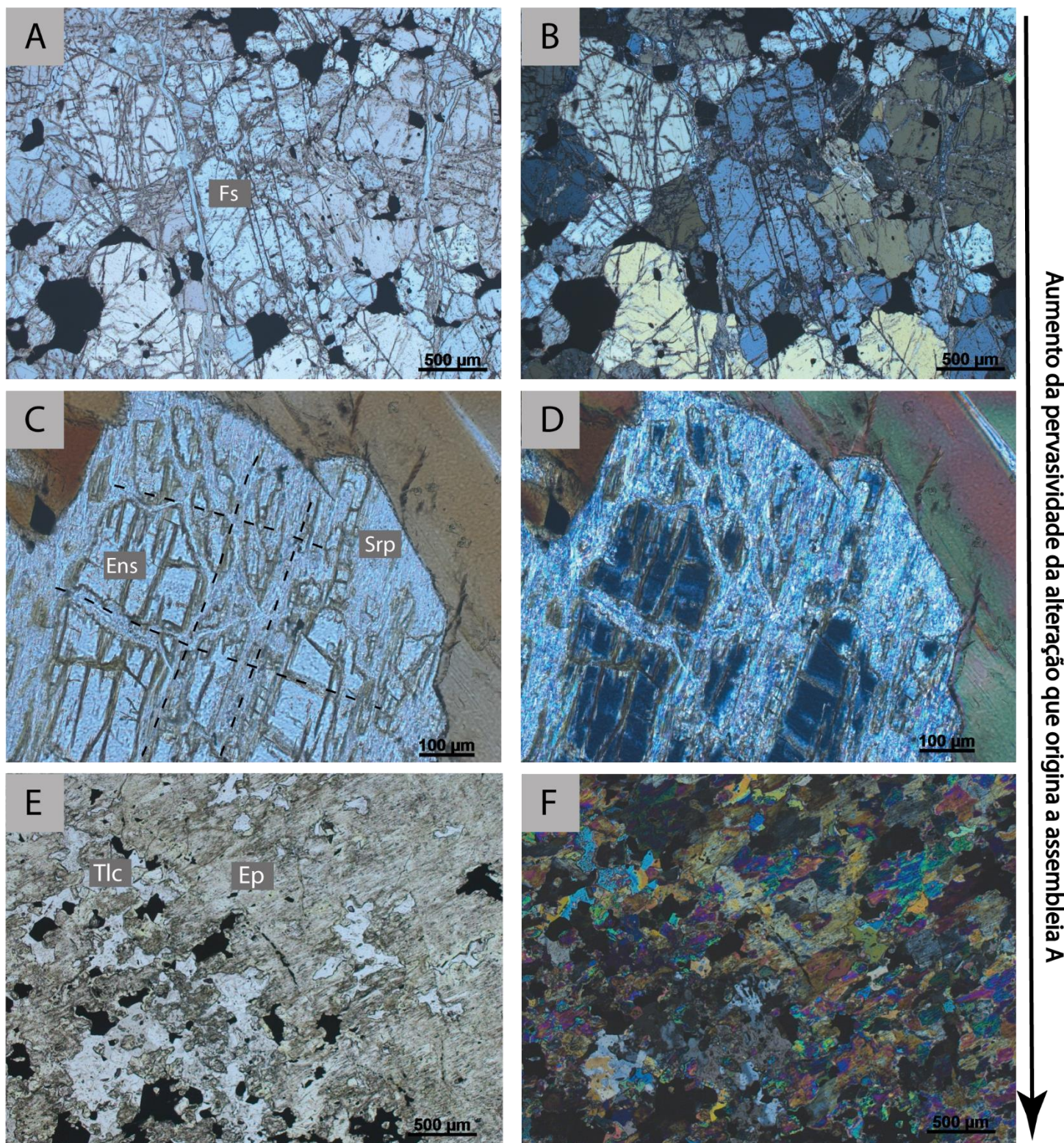
Os resultados da análise do pó total de amostras por meio do método de DRX corrobora os dados obtidos na da petrografia. Foram identificadas 19 espécies minerais, sendo que actinolita, clinocloro, gipsita e dolomita não foram descritas na análise petrográfica.

Os sulfetos de cobre presentes nas amostras descritas estão associados principalmente à assembleia hidrotermal A composta por epidoto + filossilicatos (talco, mica branca e serpentina) + calcopirita ± carbonato ± bornita ± clorita (Figura 15). Na amostra V4 estão associados à assembleia B, composta por flogopita ± apatita ± zircão ± albita ± calcopirita ± bornita (Figura 15).

A partir da caracterização das duas assembleias distintas é possível estabelecer algumas características acerca dos fluidos que as originaram. A assembleia A é predominantemente formada por minerais que possuem cálcio na sua composição. Considerando que o protólito é composto majoritariamente por ortopiroxênios, a entrada de cálcio no sistema gera como subproduto clinopiroxênio cálcico. À medida que a alteração se torna mais pervasiva, os subprodutos são epidoto, carbonatos, clorita e outros filossilicatos.

A assembleia B tem como principal característica a presença de flogopita. Com base na fórmula química da flogopita, pode-se inferir que o fluido que origina essa assembleia possivelmente era enriquecido com potássio e alumínio, o que justifica a substituição do ortopiroxênio pela flogopita.

Figura 14 - Progressão da alteração que origina a assembleia A.



Fonte: O autor (2023).

Legenda: A e B- Cristais de ferrossilita fraturados, pouco alterados (P// e PX, respectivamente). C e D- Relicto de enstatita (Ens) com substituição por serpentina (Srp) por entre os planos de clivagem (traçados em preto) (P// e PX, respectivamente). E e F- ortopiroxênio substituído totalmente por epidoto (Ep) e talco (Tlc) em granulação média (P// e PX, respectivamente).

Figura 15 - Modelo de diagrama de evolução paragenética

Aumento da porcentagem modal da assembleia A

Aumento da porcentagem modal da assembleia B

MINERAL/AMOSTRA	AM03MSB (ORTOGNAISSE)	AM09MSB (ORTOPIROXENITO)	AM12MSB (CLINOPIROXENITO)	AM01AM5B (ROCHA ULTRAMÁFICA HIDROTHERMALIZADA)	AM01BMSB (ROCHA ULTRAMÁFICA HIDROTHERMALIZADA)	AM07MSB (CALCIOSSILICÁTICA)	AM11MSB (ORTOPIROXENITO)	AM13MSB (FLOGOPITITO)	V1 (BRECHA HIDROTHERMAL)	V4A (FLOGOPITITO)	V4B (FLOGOPITITO)
QUARTZO	—										
MICROCLÍNIO	—										
PLAGIOCLÁSIO (An30-50)		—					—			—	—
ENSTATITA/FERROSSILITA		—		—	—	—	—		—	—	—
CLINOPIROXÊNIO CÁLCICO			—	—	—	—					
FILOSSILICATOS (TALCO, MICA BRANCA, SERPENTINA)			—	—	—			—			
CARBONATO						—					
CLORITA								—			
EPIDOTO				—	—						
CALCOPIRITA				—	—		—		—		
BORNITA							—				
MAGNETITA	—			—				—			
ALBITA											
FLOGOPITA	—	—	—			—	—	—	—	—	—
ZIRCÃO											
APATITA											

Fonte: O autor (2023)

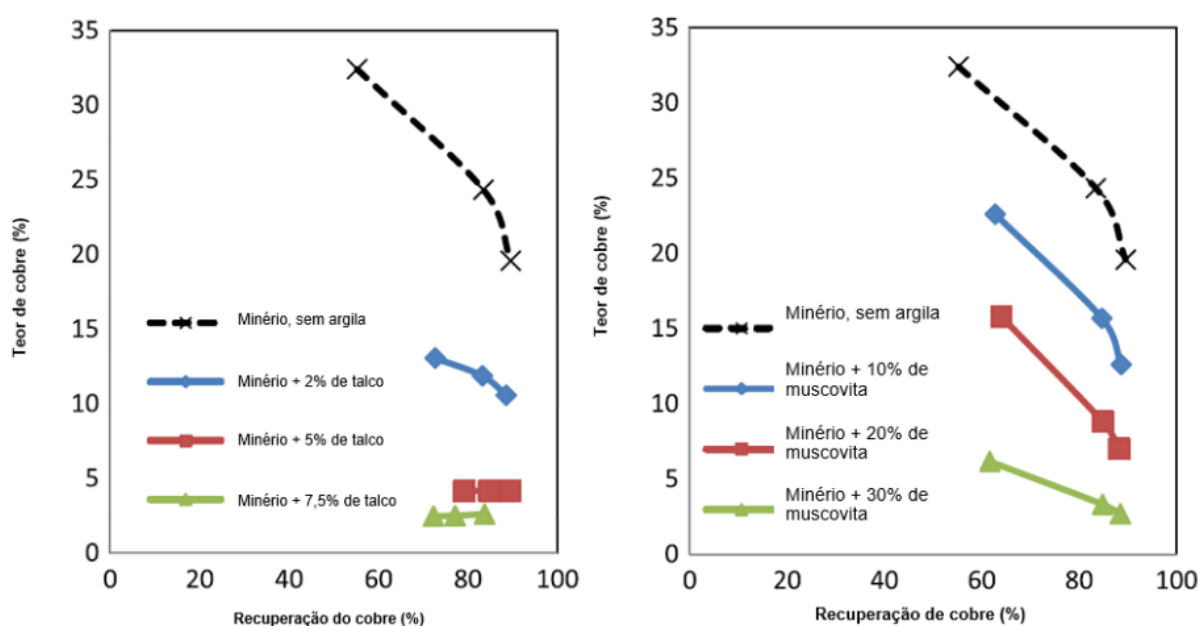
Legenda: Minerais em verde pertencentes a assembleia A, em marrom os minerais que pertencem às duas assembleias, em vermelhos pertencentes a assembleia B.

5.2 TRATAMENTO E BENEFICIAMENTO DO MINÉRIO

As assembleias minerais formadas por interações fluido-rocha descritas neste trabalho produzem subprodutos que são deletérios para o tratamento e beneficiamento do minério.

A presença de filossilicatos em granulação fina a média, diretamente associados à calcopirita prevê maior complexidade e manejo no processo de beneficiamento do minério, principalmente na etapa de flotação, a qual necessita da adição de reagentes que contribuam para a recuperação do minério (Kirjavainen e Heiskanen, 2007; Ndlovu *et al.* 2013; Farrokhpay *et al.*, 2018; Barreto, 2020). A presença de talco e sericita na assembleia A pode vir a impactar diretamente a recuperação do cobre, como mostra a Figura 16, pelo fato de possuírem características hidrofóbicas que fazem com que sejam coletados juntamente aos minerais de interesse econômico (Barreto, 2020). Para este caso, recomenda-se a utilização de depressores, que inibem a adsorção dos minerais indesejados, deixando a superfície desses minerais hidrofílica (Laskowski *et al.*, 2007).

Figura 16 - Curva do teor de cobre no concentrado em relação a recuperação de cobre na flotação, com a presença de talco e muscovita.



Fonte: Barreto, 2020

A assembleia B apresenta menores porcentagens modais de filossilicatos de granulação fina, e texturalmente não estão diretamente ligados aos sulfetos de cobre. O processo de beneficiamento, nesse caso, pode ser impactado pela presença da flogopita, que afeta o processo de fragmentação do minério, reduzindo a capacidade do britador que acaba por minimizar a eficiência e rendimento do processo (Ndlovu *et al.* 2013). Outra característica comum associada a flogopita, na assembleia B, é a granulação grossa, que pode vir a entupir as telas das peneiras durante o peneiramento (Figueira, *et al.*, 2010). A ocorrência de apenas traços de filossilicatos (serpentina, talco, mica branca) podem também afetar a flotação.

Para as duas assembleias identificadas há ocorrência de magnetita associadas ao minério. A magnetita pode ser separada através de separação magnética (Figueira, *et al.*, 2010) e pode ser um potencial subproduto da mineração de cobre no Vale do Curaçá, visto que nas magnetitas que ocorrem nos interstícios dos ortopiroxênios há presença de Ti, V, Cr e Al (Maier e Barnes, 1996; Teixeira *et al.*, 2010; De Castro, 2023).

Outro possível subproduto passível de ser explorado nos rejeitos da mineração de cobre no Vale do Curaçá é a flogopita, que pode ser utilizada como fonte de potássio para a produção de fertilizantes agrícolas (Pereira *et al.*, 2021).

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir da análise petrográfica e difratometria por raios X dos ortognaisses, piroxenitos e flogopititos, é possível concluir que:

- Há duas assembleias decorrentes da interação fluido rocha observadas nas amostras. A assembleia A é composta por epidoto + filossilicatos (talco, mica branca e serpentina) + calcopirita ± clinopiroxênio cálcico ± carbonato ± bornita ± magnetita ± clorita. A assembleia B é composta por flogopita ± apatita ± zircão ± albita ± calcopirita ± bornita ± magnetita;
- O minério de cobre é representado pelos minerais calcopirita e bornita e está associado às duas assembleias distintas;
- As interações rocha-fluido geram subprodutos, como talco, serpentina, clorita, sericita e flogopita que são deletérios para o processo de beneficiamento;
- Filossilicatos de alteração em granulação fina (serpentina, talco, mica branca) são dificultadores do processo de beneficiamento do minério de cobre e na paragênese A ocorrem texturalmente ligados à calcopirita e bornita;
- A flogopita, principal mineral que constitui a assembleia mineral B, prejudica o processo de peneiramento, pois pode ficar retida na tela da peneira, causando entupimento. Pode também influenciar na eficiência da fragmentação do minério;
- A difratometria de raios X identificou 19 espécies minerais. Apenas clinocloro, actinolita, gipsita e dolomita não foram identificadas na análise petrográfica. A detecção de talco e flogopita nas amostras implica em dificuldades no beneficiamento do minério;

REFERÊNCIAS

- ALKMIM, Fernando Flecha. O que faz de um cráton um cráton? O Cráton do São Francisco e as revelações almeidianas ao delimitá-lo. In: MANTESSO-NETO; V. et al. (Org.). **Geologia do Continente Sul-Americano: Evolução da Obra de Fernando Flávio Marques de Almeida**. São Paulo: Beca, 2004. p. 17-36.
- BARRETO, Paula Bernardes. **Caracterização e concentração do minério de cobre da Mineração Caraíba**. 2020. 113 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Minas) - Departamento de Engenharia de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto.
- DEER, W. A.; HOWIE, R. A.; ZUSSMAN, J. **Minerais constituintes das rochas: uma introdução**. 2.ed. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 2000.
- DE CASTRO, Marianna Correia. **Caracterização do metamorfismo e do hidrotermalismo na mineralização de cobre da Mina do Pilar, no Vale do Curaçá na Bahia**. Trabalho de Conclusão de Curso – Departamento de Geologia, Universidade Federal do Paraná, 2023.
- DELGADO, I. M. et al. Cobre no Vale do Rio Curaçá, Estado da Bahia. *Série Geologia*, n. 20, Seção Geologia Econômica, n.3, Brasília: DNPM, 1981.
- FARROKHPAY, S.; NDLOVU, B.; BRADSHAW, D. Behavior of talc and mica in copper ore flotation. **Applied Clay Science**, v. 160, p. 270-215, 2018.
- FIGUEIRA, H. V. O., LUZ, A. B., ALMEIDA, S.L.M., Britagem e Moagem. In: **Tratamento de Minérios**. Luz, A.B., Sampaio, J. A., Almeida, S.L.M (editores). Tratamento de Minérios. 5ª edição. Centro de Tecnologia Mineral/Ministério da Ciência e Tecnologia (CETEM/MCT). Rio de Janeiro. p. 143-211. 2010.
- GARCIA, Pedro Maciel de Paula. **Metalogênese dos depósitos cupríferos de Caraíba, Surubim, Vermelhos e Sussuarana, Vale do Curaçá, Bahia, Brasil**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação em Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, 2013. 226pp.
- GARCIA, Pedro Maciel de Paula. **A Província Cuprífera do Nordeste Meridional: Evolução dos Processos e Modelos Metalogenéticos**. Tese de Doutorado. Programa de Pós-graduação em Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, 2018. 320pp.
- LE MAITRE R.W. **A Classification of Igneous Rocks and Glossary of Terms**. Cambridge University Press, 2.ed, 2002.
- MAIER W.D. & Barnes S.J. 1996. Unusually high concentrations of magnetite at Caraíba and others Cu-sulfide deposits in the Curaçá Valley, Bahia, Brazil. **The Canadian Mineralogist**, v.34 p.717–731, 1996.
- NDLOVU, B.; FARROKHPAY, S.; BRADSHAW, D. The effect of phyllosilicate minerals on mineral processing industry. *Int. J. Miner. Process.*, v. 125, p. 149–156, 2013.

KIRJAVAINEN, V.; HEISKANEN, K. Some factors that affect beneficiation of sulphide nickel–copper ores. **Minerals Engineering**, v. 20, n. 7, p. 629-633, 2007.

KOSIN, M. et al. Geologia do segmento norte do Orógeno Itabuna-Salvador-Curaçá e Guia de Excursão. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 33 (Suplemento), p. 15-26, mar. 2003.

LASKOWSKI, J.S.; LIU, Q.; O'CONNOR, C.T. Current understanding of the mechanism of polysaccharide adsorption at the mineral/aqueous solution interface. **International Journal of Mineral Processing**. v.84. p.59-68. 2007.

LINDENMAYER, Z.G. **Evolução geológica do vale do rio Curaçá e dos corpos máfico-ultramáficos mineralizados a cobre**. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, Bahia, 1982. 140 p.

PASSCHIER, C. W. (Cees W.). **Microtectonics**. 2nd, rev. and enl. ed. Berlin: Springer, 2005. 366 p., il. ISBN 9783540640035.

PARIAN, M.; LAMBERG, P.; MÖCKEL, R.; ROSENKRANZ, J. Analysis of mineral grades for geometallurgy: Combined element-to-mineral conversion and quantitative X-ray diffraction. **Miner. Eng.**, v. 82, p. 25–35, 2015.

PEREIRA, Antonio Clareti; DOS SANTOS GOMES, Marta Rocha. Biotita e flogopita como fonte alternativa de potássio para fertilizante: extração hidrometalúrgica. **Geosciences = Geociências**, v. 40, n. 3, p. 781-786, 2021.

PÉREZ-BARNUEVO, L.; PÉVESQUE, S.; BAZIN, C. Drill core texture as geometallurgical indicator for the Mont-Wright iron ore deposit (Quebec, Canada). **Miner. Eng.**, v. 122, p. 130–141, 2018.

SANTANA, Taíla Crístia Souza. **Reinterpretação geológica e estrutural da região do Vale do Curaçá usando dados geofísicos e geológicos**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação em Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, 2021.

TEIXEIRA, J. B. G. et al. Depósitos de Cobre da região do Vale do Rio Curaçá Bahia. In: BRITO, R. S. C. de; SILVA, M. G. da; KUYUMIJAN, R. M. **Modelos de Depósitos de Cobre no Brasil e sua resposta ao intemperismo**. São Paulo, CPRM, 2010.

WHITNEY, D. L.; EVANS, B. W. Abbreviations for names of rock-forming minerals. **American mineralogist**, v. 95, n. 1, p. 185-187, 2010.

