



Caracterização das Zonas de Alteração Hidrotermal e do Minério de Cu - Pb - Zn na Área 3 (Jazida Santa Maria) e Mina Uruguai, Minas do Camaquã/RS

Porto Alegre, 2014

MARCELO TATSCH LINDENBERG

Caracterização das Zonas de Alteração Hidrotermal e do Minério de Cu - Pb - Zn na Área 3 (Jazida Santa Maria) e Mina Uruguai, Minas do Camaquã/RS

Trabalho de Conclusão do Curso de Geologia do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Apresentado na forma de monografia, junto à disciplina Projeto Temático em Geologia III, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

Orientador: Prof. Dr. André Sampaio Mexias

Orientadora: Profa. Dra. Márcia Elisa Boscato Gomes

Supervisor: Dr. Jorge Henrique Laux

Porto Alegre, 2014

Tatsch Lindenberg, Marcelo

Caracterização das Zonas de Alteração Hidrotermal e do Minério de Cu - Pb - Zn na Área 3 (Jazida Santa Maria) e a Mina Uruguai, Minas do Camaquã/RS / Marcelo Tatsch Lindenberg. -- 2014.

71 f.

Orientador: André Sampaio Mexias.

Coorientadores: Márcia Elisa Boscato Gomes, Jorge Henrique Laux.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação) -- Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Geociências, Curso de Geologia, Porto Alegre, BR-RS, 2014

1. Minas do Camaquã. 2. Jazida Santa Maria. 3. Alteração Hidrotermal. 4. Bacia do Camaquã. 5. Petrografia. I. André Sampaio Mexias, André, orient. II. Boscato Gomes, Márcia Elisa, coorient. III. Laux, Jorge Henrique, coorient. IV. Título.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA

A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova o Trabalho de Conclusão de Curso "**Caracterização das Zonas de Alteração Hidrotermal e do Minério de Cu - Pb - Zn na Área 3 (Jazida Santa Maria) e Mina Uruguai, Minas do Camaquã/RS.**", elaborado por MARCELO TATSCH LINDENBERG, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

Comissão Examinadora:

Profa. Dra. Ana Maria Ribeiro-Althoff

Prof. Dr. Marcus V. D. Remus

Prof. Dr. Norberto Dani

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos que colaboraram direta e indiretamente para a realização deste trabalho.

Primeiramente agradeço à minha família pelo incentivo sem medidas e apoio e incansável em todos os momentos.

Também sou grato ao Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul pelo ensino de qualidade, infraestrutura e apoio dos técnicos e funcionários (em especial: Edgar Bercht, Denise - Dedi, Juliano, Marcelo, Paulo, Jarson, Diego). Sou grato também a todos os órgãos financiadores dos quais fui bolsista (CNPq, CAPES, FAURGS, FAPERGS). Quero agradecer à Mineração Mônico, Votorantim Metais e aos Geólogos Julio - Xaxá, Samuel - Jacaré, Francisco - Chico, Rodrigo - China pelo apoio no projeto, acesso às áreas, ao material, discussões e ensinamentos.

Deixo um agradecimento especial aos meus professores orientadores e supervisor: André S. Mexias e Márcia B. Gomes (pela confiança que depositam em mim e pelos ensinamentos além da Geologia) e Jorge H. Laux (pela referência de paixão e dedicação pela ciência, Geologia e trabalho). Dos que trabalhei perto reconheço ainda a contribuição do Rodrigo - Doda, Eduardo Fontana, Bruno Petracco, Tiago Haubert, Jorge Costa, Christophe Renac, Ingke Muller.

Quero agradecer os colegas de turma, mapeamento, campo, pesquisa, CAEG, ENEGEO, *Student Chapter*, Congressos e trabalho: a companhia, parceria, ensinamentos, discussões, apoio, churrascos e bebedeiras com todos foram fundamentais e eu não seria o mesmo sem vocês.

Obrigado Marina por descobrir e me mostrar lugares em mim que eu ainda não havia visitado.

Em resumo, sou grato a todos que estiveram comigo nesta trajetória. Eu aprendo com todos que cruzam meu caminho e tento reproduzir o que encontro de bom, de modo que sou um pouco de cada um com quem topei nesta trajetória.

RESUMO

Este trabalho tem por meta a realização do estudo das zonas de alteração hidrotermal mineralizadas à Cu-Pb-Zn na Área 3 da Jazida Santa Maria Pb, Zn (Cu, Ag) e Mina Uruguai Cu (Au), Minas do Camaquã. A região está inserida no contexto geológico do Escudo Sul-rio-grandense. A Bacia do Camaquã é dividida em uma série de sub-bacias limitadas por falhas que registram uma sucessão de estágios evolutivos do Cinturão Dom Feliciano, faixa móvel Brasileira desenvolvida na amalgamação dos crátons Rio de La Plata e Kalahari durante a formação do Gondwana. O lócus deposicional tem seu eixo com direção NE-SW com registro geológico do Neoproterozoico (Ediacarano) ao Ordoviciano inferior. As mineralizações são hospedadas pela sequência arenítica-conglomerática arcoseana de fanconglomerados e arenitos fluviais pertencentes ao Grupo Santa Bárbara. O grupo aflora em camadas basculadas de aproximadamente 30° com mergulho para NW, sob o grupo Guaritas, arenitos eólicos sub-horizontais, na área da chamada *Janela Bom Jardim*, nos arredores da vila de Minas do Camaquã. O minério de cobre é correlacionado à zona da cloritização em todos os depósitos, ao passo que, o minério de Pb e Zn acompanha a zona da ilitização no depósito de Santa Maria. Em ambos os depósitos a mineralização ocorre maciça em filões e veios com controle por estruturas rúpteis de direção NW-SE e subordinadamente disseminado preenchendo a porosidade secundária da rocha encaixante. A metodologia aplicada inclui a petrografia, difratometria de raios X, litogeoquímica de rocha total (ICP-MS).

A mineralização na Mina Uruguai apresenta uma associação de calcocita ± bornita + ilita que ocorre localizadamente em pequenos halos e é mais rica em Cu, ao passo que a associação de calcopirita ± bornita + pirita + clorita tende a ser predominante na mina. Na Área 3 da Jazida Santa Maria a cloritização é acompanhada de pirita e calcopirita enquanto que o halo com clorita e ilita apresenta calcopirita, galena e esfalerita associadas a quartzo e pirita. Silicificação, carbonatos e sulfatos são importantes remobilizadores tardios da mineralização. Fe₂O₃, MgO e K₂O são marcadores geoquímicos de zonas de alteração hidrotermal clorítica e ílítica.

Palavras-Chave: Petrografia, Alteração Hidrotermal, Minas do Camaquã, Jazida Santa Maria, Bacia do Camaquã.

ABSTRACT

This work intends to realize the study of the Cu-Pb-Zn-mineralized hydrothermal alteration zones at Area 3 of the Jazida Santa Maria, Pb, Zn (Cu, Ag), and Uruguai Mine, Cu (Au), Minas do Camaquã. The region is inserted at the Sul-rio-grandense geological context. The Camaquã Basin is divided on a series of fault-limited sub-basins that register a succession of evolutive stages of the Dom Feliciano Belt, a *Brasiliano* mobile belt developed under the amalgamation of the Rio de La Plata and Kalahari cratons, during the formation of Gondwana. The basin's depositional locus has a NE-SW axis with a geological record from the Neoproterozoic (Ediacarian) to the lower Ordovician. The mineralization is hosted by the arcosean sandy-conglomeratic sequence of fan-conglomerates and fluvial that belong to the Santa Barbara Group. The group outcrops as layers, tilted of 30°, dipping northwest, under the Guaritas Group, at the area known as Bom Jardim Window, surroundings of Minas do Camaquã Village. The copper ore is correlated to the chloritization zone as the Pb and Zn ore follows the illitization zone at the Santa Maria deposit. At both deposits the mineralization is massive in lodes and veins with a structural control in ruptile structures of NW-SE direction and subordinatly, disseminated filling the secondary porosity of the host rock. The methodology includes petrography, X-ray diffractometry and whole rock lithogeochemistry (ICP-MS). The mineralization at Uruguai Mine has a chalcocite ± bornite + illite association that occurs locally in small zones and is Cu richer, while the chalcopyrite ± bornite + pyrite + chlorite association tends to be predominant at the mine. At Area 3, Santa Maria Deposit, chloritization is followed by pyrite and chalcopyrite while the chlorite and illite zone shows chalcopyrite, galena, sphalerite associated to quartz and pyrite. Silicification, carbonates, and sulphates are important late mineralization carriers. Fe₂O₃, MgO e K₂O are geochemical markers of chloritization and illitization hydrothermal zones.

Palavras-Chave: Petrography, Hydrothermal Alteration, Camaquã Mines, Santa Maria Deposit, Camaquã Basin.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Ba: Barita
BC: Bacia do Camaquã
Bo: Bornita
Cal: Calcita
Cc: Calcocita
Cl: Clorita
cm: centímetros
CPy: Calcopirita
DRX: Difractometria de raios X
Esf: Esfalerita
Fdsp: Feldspato
Ga: Galena
GSB: Grupo Santa Bárbara
Hem: Hematita
Il: Ilita
JSM: Jazida Santa Maria
km: Quilômetros
m: Metros
Py: Pirita
Qz: Quartzo
Sulf: Sulfeto
VM: Votorantim Metais

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
2. ESTADO DA ARTE	12
3. METODOLOGIA	21
3.1. Revisão Bibliográfica	21
3.2. Trabalho de Campo	22
4. RESULTADOS	26
4.1. Características da Alteração Hidrotermal em Campo e em Testemunhos de Sondagem	26
4.1.1. Amostras	30
4.2. Caracterização dos Sulfetos e dos Filossilicatos da Alteração Hidrotermal	33
4.3. Difratação de Raios X	43
4.4. Litogeoquímica	45
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	49
5.1. DISCUSSÃO	49
5.2. CONCLUSÃO	53
REFERÊNCIAS	55
APÊNDICE A	60
APÊNDICE B	63
APÊNDICE C	71

1. INTRODUÇÃO

Apesar de serem conhecidos há muito tempo e terem sido estudados por diferentes grupos, com diferentes enfoques, técnicas e objetivos, os depósitos de Camaquã e Santa Maria continuam sendo alvo de discordâncias quanto à sua origem, fonte dos metais, motor térmico, idade e outros. Tamanha é a complexidade destes depósitos que diversos modelos metalogenéticos já foram adotados, cada um, adequado à sua época. As incertezas quanto ao controle a que o minério está condicionado levaram empresas a abandonarem os projetos da mineração em ambas as regiões. Acreditamos que haja a necessidade de maiores estudos que levem em consideração os eventos mineralizadores a fim de que possamos nos libertar dos modelos metalogenéticos idealizados e de fato enquadrar estes depósitos no seu modelo específico e único. Entendemos que nossa abordagem é fundamental na busca destes objetivos e este estudo vai preencher uma lacuna ainda existente a respeito da gênese do minério de Minas do Camaquã e Jazida Santa Maria.

O conhecimento sobre os depósitos de Camaquã e Santa Maria permite-nos atribuir sua gênese a um sistema hidrotermal (Laux, 1999, Laux, Lindenmeyer, 2000; Laux, Lindenmeyer, Teixeira & Neto, 2005; Rios, 2012; Renac, Mexias, Gomes, Ronchi, Nardi & Laux, 2013). A mineralização a cobre é comum em ambos os depósitos e parece ter ocorrido em diversos pulsos metalogenéticos. Não existe, no entanto, um estudo de petrografia de detalhe que caracterize estes pulsos mineralizadores e abranja ambas as regiões.

Trabalhamos com a hipótese de que o sistema hidrotermal, que operou sob a região dos depósitos de Minas do Camaquã e Jazida Santa Maria, ocasionou diversos pulsos hidrotermais mineralizadores (Laux & Lindenmeyer, 2000; Laux *et al.*, 2005), passíveis de caracterização das sequências paragenéticas minerais, através do estudo petrológico e de química mineral, conforme proposto em nosso projeto. Nossa abordagem possibilita a identificação e semi-quantificação dos processos geoquímicos que afetaram, localmente, a região das minas, permitindo assim, uma contribuição ao conhecimento sobre a gênese destes depósitos, em que a fonte dos metais, fonte de calor, origem dos fluidos, tempo de duração, idade de formação, entre outras questões, ainda não foram totalmente esclarecidas.

O objetivo principal deste trabalho é o estudo dos sulfetos de cobre e alteração hidrotermal associada com a finalidade de contribuir para ampliar o conhecimento dos processos

metalogenéticos envolvidos na formação dos depósitos de Minas do Camaquã e Jazida Santa Maria.

2. ESTADO DA ARTE

A região do estudo localiza-se no centro-sudoeste do estado do Rio Grande do Sul, a 300km da capital, Porto Alegre, no distrito de Minas do Camaquã, Caçapava do Sul, RS (Figura 1). A área tem seus vértices limitados pelas coordenadas geográficas 30°54'29"S, 53°26'43" O e 30°54'58"S, 53°28'38"O, abrangidas pela carta topográfica de Minas do Camaquã, MI 2996/3. A partir de Porto Alegre, pode ser acessada pela BR-290, até o entroncamento com RS-153. Da RS-153, segue-se a sul por aproximadamente por 53 km onde o acesso é feito por estrada de terra, por 24 km até a vila de Minas do Camaquã. As áreas da galeria São Luiz e do *open pit* da mina Uruguai ficam a SW da vila. A área da Jazida Santa Maria pode ser acessada pela via secundária de terra que liga Minas do Camaquã a Bagé, seguindo-se aproximadamente 3,7 km desde o entroncamento com a RS-625.

As ocorrências de metais básicos, ouro e cobre, no RS são descritas desde o início da ocupação deste estado. Há registro de que os nativos que viveram ali utilizavam utensílios e adornos destes metais (Harres, 2000). A região de Minas do Camaquã foi o maior distrito mineiro do estado e maior produtor de cobre do país no século passado (Harres, 2000). Minas do Camaquã operou de forma intermitente desde o final do século XIX. O depósito de Santa Maria foi descoberto em torno da década de 70 (Badi, 1980; Licht, 1980), e nenhum zinco ou chumbo foi produzido ali. A primeira galeria, a Galeria dos Ingleses, foi aberta 1870, na região do corpo São Luiz. Os ingleses levantaram as instalações da planta de beneficiamento e da barragem para a geração de energia. Posterior a esses, houve o controle passou ao grupo Pignatari que durou até os anos 70 quando foi criada a Companhia Brasileira do Cobre (CBC). A CBC continuou a operação na galeria São Luiz e iniciou as galerias no corpo Uruguai até abrir a cava Uruguai, em 1981. Em abril de 1996 a extração e beneficiamento de cobre de Minas do Camaquã foram encerradas e seguem assim desde então (Harres, 2000). A Jazida Santa Maria encontra-se em fase avançada de pesquisa e com bons indícios de que o depósito seja economicamente viável (Rios, 2012). Dados levantados indicam que o depósito de Camaquã produziu 30,8 milhões de toneladas de minério de Cu com teor médio de 1,06%, cinco toneladas de ouro com teor de 0,2g/t e 170 toneladas de prata com teor de 8g/t, (Harres, 2000; Laux, 2000).

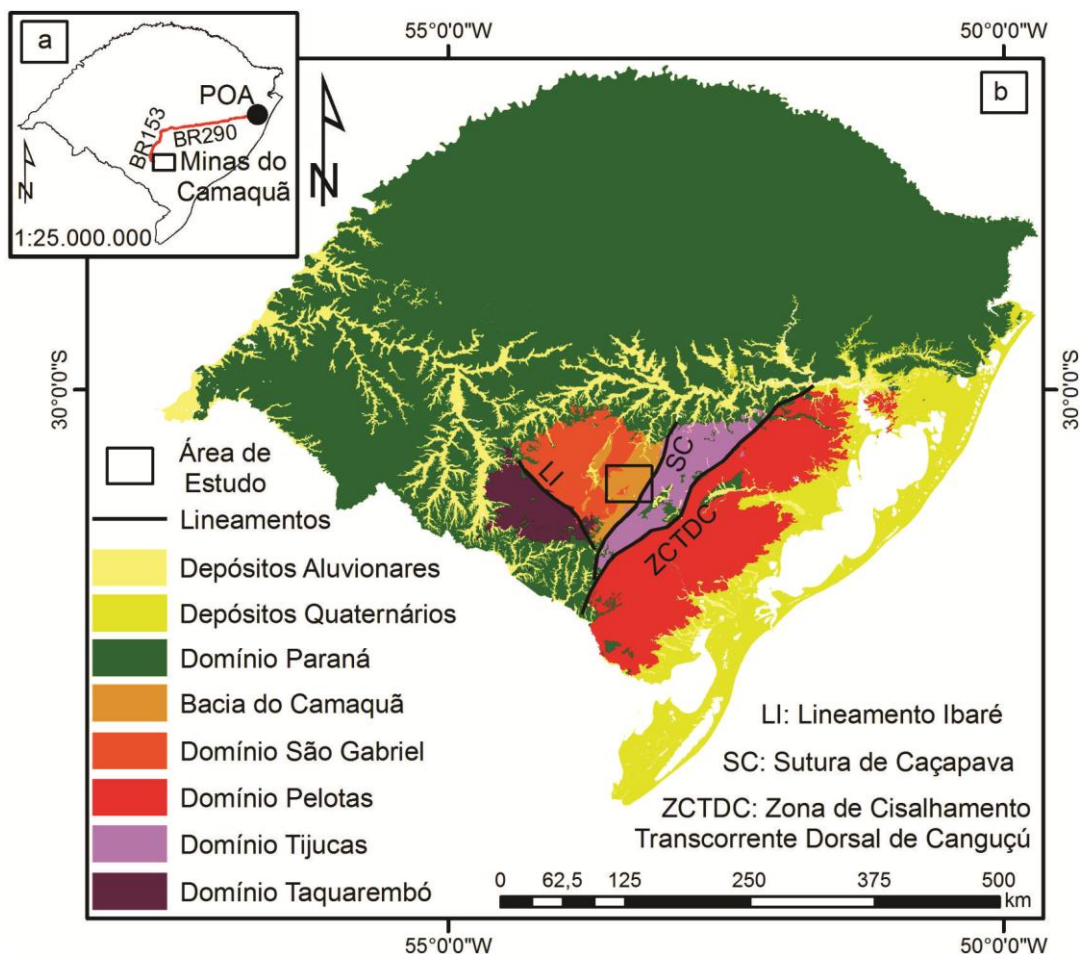


Figura 1: Em "a" as vias de acesso e localização de Minas do Camaquã. Em "b", o mapa do Rio Grande do Sul dividido segundo critérios tectono-estruturais. Modificado de Travassos *et al.* 2014.

O depósito de Santa Maria foi reportado como contendo 33,4 milhões de toneladas com teor de 1,44% de chumbo e 1,06% de zinco com cobre e prata como subprodutos (Rios, 2012). Os direitos sobre as áreas de Camaquã e Santa Maria bem como de todo o banco de dados histórico de amostras de empresas anteriores são atualmente de concessão da Votorantim Metais.

2.1. Geologia da Área

O Escudo Sul-rio-grandense (ESRG) é composto de quatro unidades geotectônicas Paleo e Neoproterozoicas (Hartmann *et al.*, 2007). O Domínio Taquarembó é a unidade Paleoproterozoica principal em que aflora o complexo Santa Maria Chico. O Domínio São Gabriel, Domínio Tijucas e o Domínio Pelotas são unidades majoritariamente Neoproterozoicas que juntas formam o Cinturão Dom Feliciano, uma faixa móvel Neoproterozoica formada durante a colisão dos crátons Rio de La Plata e Kalahari na amalgamação do Gondwana (Almeida *et al.*, 1981). O Domínio Tijucas contém um

núcleo Paleoproterozoico – Complexo Encantadas (Hartmann *et al.*, 2007). As unidades geotectônicas são separadas por zonas de cisalhamento de direção NE-SW, dentre elas a Zona de Cisalhamento Dorsal do Canguçu, e pelo Lineamento Ibaré, que dividem o Domínio Pelotas do Domínio Tijucas e o Domínio Taquarembó do São Gabriel, respectivamente (Figura 1).

As sequências que preenchem a Bacia do Camaquã totalizam aproximadamente 8.000m de espessura, contemplando um período de tempo desde o Neoproterozoico (Ediacarano) ao Ordoviciano, numa sucessão de bacias (Paim, Chemale & Lopes, 2000; Paim & Lopes, 2000). A superposição de eventos relacionados à formação do Gondwana está registrada na sobreposição de bacias transcorrentes de estágios tardios à orogênese até bacias rifte, de ambiente distensional, sem vínculo claro com o ciclo Brasileiro (Borba, 2006 Santos *et al.*, 2012). A direção NE-SW que condiciona a estruturação da bacia está relacionada ao seu contexto dentro do Cinturão Dom Feliciano. A bacia repousa sobre os terrenos ígneos e metamórficos do Escudo Sul-rio-grandense, Vila Nova (Domínio São Gabriel), Tijucas e Santa Maria Chico (Domínio Taquarembó), (Paim, Chemale & Lopes, 2000; Hartmann, Chemale & Philipp, 2007). O embasamento da bacia, rochas do Batólito Pelotas e granitoides intrusivos, servem de áreas fonte para o preenchimento do espaço deposicional (Borba, 2006; Borba & Mizusaki, 2003). Wildner *et al.* (2002), identificaram na bacia diversos ciclos vulcânicos com composições desde cálcio-alcalinas e de afinidade shoshonítica, como nos grupos Maricá e Bom Jardim até termos bimodais básicos e intermediários nos eventos Acampamento Velho e Rodeio Velho, respectivamente. O Supergrupo Camaquã é composto pelos Grupos Maricá, Bom Jardim, Santa Bárbara, Guaritas e Suíte Intrusiva Rodeio Velho. A estratigrafia da Bacia do Camaquã pode ser abordada segundo o critério de alogrupos devido à simplicidade da identificação dos mesmos no campo, como foi feito por Paim e Lopes (2000). As sequências são separadas ente si por discordâncias angulares com basculamentos progressivamente menos acentuados desde a base (Maricá) até o topo (Guaritas).

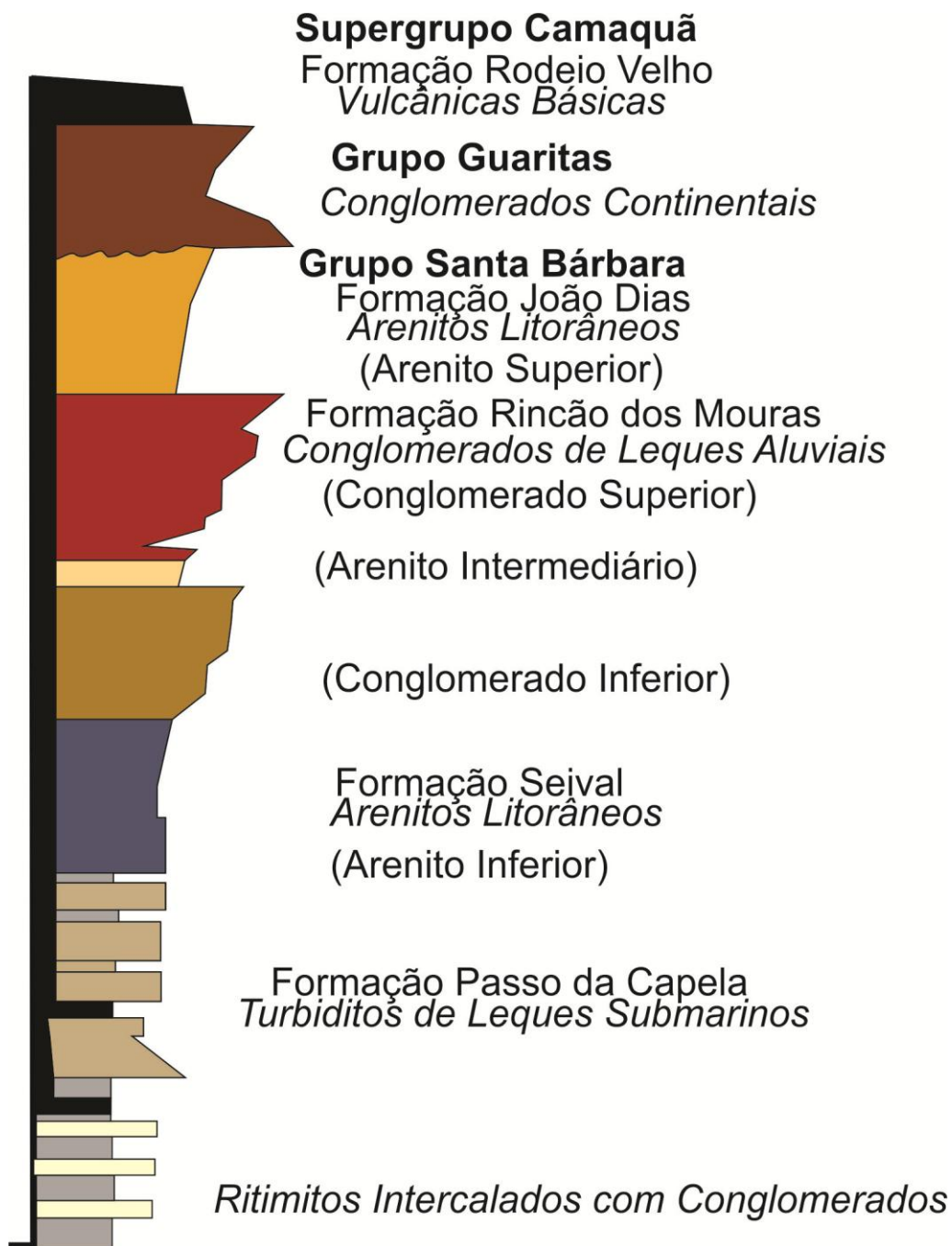


Figura 2: Coluna estratigráfica da área de estudo. Modificado de Fambrini *et al.* (2007) e Rios (2012).

A bacia Maricá corresponde a uma bacia de retro-arco do Cinturão Dom Feliciano e é preenchida por depósitos fluviais conglomeráticos e areníticos turbidíticos e tempestíticos (Borba, 2006). Tem suas melhores exposições na sub-bacia Ramada. O grupo Bom Jardim tem sua porção inferior limitada pelo vulcanismo shoshonítico da Formação Hilário. A sequência sedimentar tem seu preenchimento composto por arenitos e pelitos turbidíticos e conglomerado fluviais. O grupo Santa Bárbara encontra-se em discordância angular com o grupo Bom

Jardim (sotoposto) e Guaritas (sobrepuesto). Contém as formações Serra dos Lanceiros e Pedra do Segredo. A primeira está relacionada a sistemas fluviais entrelaçados enquanto a última é relacionada a sistemas deltaicos, respectivamente. A formação Guaritas corresponde aos depósitos eólico-aluviais continentais gerados sob um clima desértico. Seu limite basal inclui as rochas vulcânicas básicas alcalinas do Andesito Rodeio Velho (Paim, Chemale & Lopes, 2000; Paim & Lopes, 2000). Na região das minas aflora a Janela Bom Jardim, uma estrutura dômica que contém um núcleo mais antigo basculado com as unidades mais jovens aflorantes nos flancos (Gonzales & Teixeira, 1980). O núcleo desta estrutura é composto pelas rochas da Formação Santa Bárbara (FSB), encaixantes da mineralização, enquanto que os flancos correspondem à Formação Guaritas (FG). Historicamente a FSB foi dividido nos Membros Mangueirão (MM) e Vargas (MV) sendo o último o encaixante principal à mineralização. Na mina o controle era feito conforme a estratigrafia e textura das camadas. Foram divididos em cinco níveis, sendo eles da base para o topo: arenito inferior, conglomerado inferior, arenito intermediário, conglomerado superior e arenito superior (Gonzales & Teixeira, 1980). Somente este último não hospeda mineralizações. Atualmente, Janikian *et al.*, (2005, 2012), Bicca *et al.*, (2012) e outros tem considerado a sequência sob o nome de Grupo Santa Bárbara. A sub-bacia Santa Bárbara depositou-se num contexto de *strike-slip*, controlada por estruturas NW-SE, numa área restrita de 45km X 15km (Borba *et al.*, 2003) e compreende em torno de 2000 m de espessura de sedimentos (Paim & Lopes, 2000). Na área das minas a FSB encontra-se basculada de 20 a 45° mergulhando para NW. Borba *et al.*, 2003 identificaram cinco associações de fácies de sistemas deposicionais de fan aluvial, frente deltaica, lacustre, *braided* arenoso e *braided* cascalhoso. Descrevem a presença de conglomerados clasto e matriz suportados com estratificação cruzada intercalados com arenitos e siltitos com estratificação plano paralela e arenitos com estratificação cruzada acanalada. Todos são de composição arcósea a lítica, imaturos, com clastos cobertos por uma película de hematita que os dá uma coloração avermelhada (*red beds*). Os autores identificaram três sequências segundo os conceitos da estratigrafia de sequências. As duas sequências basais correspondem a uma deposição continental com progradação para NE. A sequência III registra uma inversão das paleocorrentes que passam a progradar para SW. A deposição do SB deve ter ocorrido em ambiente continental árido a semiárido com tormentas episódicas. Bicca *et al.*, 2012 em datação pelo método U-Pb SHRIMP e LA-ICPMS de zircões detríticos, restringiram a $566\pm 6,9$ Ma a idade deposicional

máxima para o grupo Santa Bárbara, na região das Minas do Camaquã.

Laux et al. (2005)		Bicca et al. (2013)		Fambrini et al. (2007), Rios (2012) e este trabalho			
Supergrupo Camaquã	Formação Guaritas		Grupo Guaritas	Formação Varzinha	Suíte Intrusiva Rodeio Velho		
				Formação Pedra Pintada	Grupo Guaritas		
				Membro Rodeio Velho			
Grupo Bom Jardim	Formação Crespos	Formação Arroio dos Nobres	Grupo Santa Bárbara	Sequência II	Formação João Dias		
					Membro Vargas	Arenito Superior	Formação Rincão dos Mouras
	Conglomerado Superior			Arenito Intermediário			
	Arenito Intermediário			Conglomerado Inferior			
	Membro Mangueirão			Conglomerado Inferior	Sequência I	Formação Seival	Arenito Inferior
				Arenito Inferior			Formação Passo da Capela
						Grupo Bom Jardim	

Figura 3: Comparação entre as colunas estratigráficas adotadas por diferentes autores para a área de estudo. Neste trabalho adotamos a classificação modificada de Rios (2012) e Fambrini *et al.* (2007).

2.2. Mineralização

Na região de Minas do Camaquã a mineralização é hospedada nos arenitos e conglomerados do grupo Santa Bárbara. No depósito de Santa Maria, ocorrem nos ritimitos do mesmo grupo. Em ambos os casos o controle principal da mineralização são as falhas de direção NW-SE que alojam filões com sulfeto maciço. Subordinadamente ocorre o controle litológico/estratiforme em que o minério ocorre disseminado preenchendo a porosidade secundária da encaixante. Os corpos São Luiz e Uruguai contém mineralizações predominantemente sob a forma de filões e filonetes e *stockworks* soldados por calcopirita, calcocita, bornita e pirita maciças com uma ganga de quartzo, calcita, hematita e barita. Foram identificadas nos depósitos zonas de cloritização, hematitização, e ilitização, silicificação e

carbonatação. Nos depósitos São Luiz e Uruguai a cloritização é pervasiva e dominante enquanto que a hematitização é subordinada a algumas zonas. Sericitização ocorre localmente e é seletiva a minerais potássicos. Silicificação e carbonatação ocorrem de forma maciça em regiões próximas aos filões. Temporalmente, parece haver uma sequência e superposição de eventos.

O minério no corpo Santa Maria ocorre de forma disseminada e maciça em níveis porosos da rocha e em estruturas, respectivamente. Em todos os casos a mineralização a Pb e Zn acompanha as zonas de ilitização. O minério consiste de galena e esfalerita acompanhadas de uma ganga de barita e calcita. A zona inferior do depósito apresenta predominantemente a cloritização que acompanha os sulfetos de Cu com calcopirita e bornita (Rios, 2012). Os principais tipos de alteração são a ilitização e cloritização com a hematitização, sulfatação, carbonatação e piritização ocorrendo subordinadamente. A ilitização ocorre de forma pervasiva seletiva e é a zona de alteração que controla a mineralização a Pb, Zn no topo deste depósito. Clorita ocorre de forma pervasiva ou em veios e é o controle para a mineralização a Cu, na base do depósito. Barita, calcita ocorrem geralmente selando veios e/ou cimentando os arenitos. Hematita ocorre especialmente próxima a falhas ou zonas de falhas (Rios, 2012).

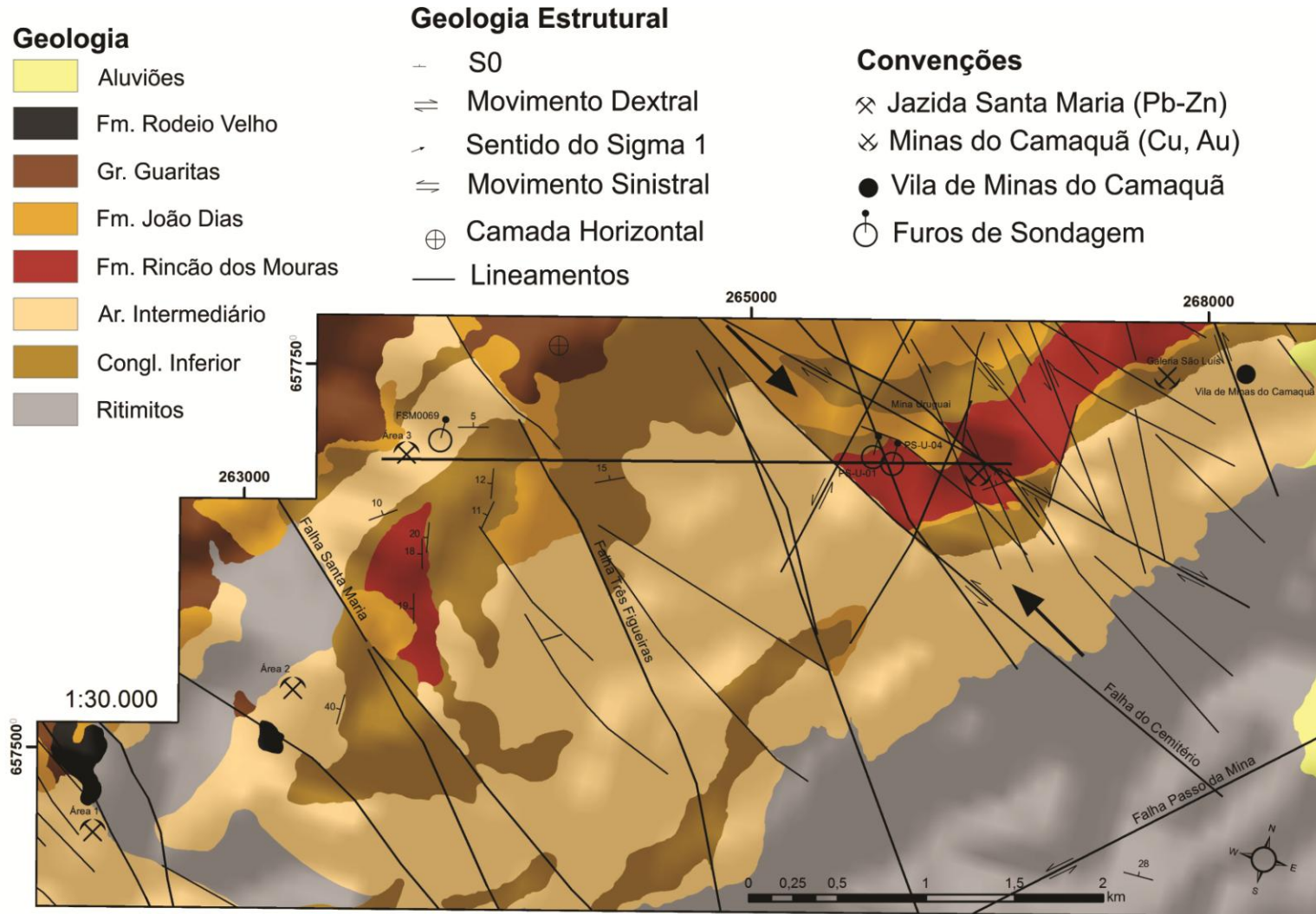


Figura 4: Mapa de localização da área de estudo. FSM0069, furo de sondagem na JSM, PSU04 e PSU 04, furos de sondagem na Mina Uruguai. Modificado de Bicca *et al.* (2013), Rios (2012) e Santos *et al.* (2012).

Aspectos texturais apontam para a infiltração, dissolução e precipitação de minerais durante a formação do minério disseminado de Minas do Camaquã. A ordem de formação mineral de minério disseminado e maciço parece ser quartzo → pirita → calcopirita → bornita → barita + calcita. A bornita ocorre como substituição e exolução em calcopirita e na forma de agregados preenchendo a porosidade da encaixante. Três assembleias minerais tem sido identificadas e atribuídas a pulsos mineralizadores distintos. O primeiro evento é caracterizado por quartzo, albita, clorita, pirita e calcopirita e é alojado em falhas de direção N40°W. A segunda assembleia contém hematita, quartzo, bornita e calcopirita em falhas N50W. A terceira assembleia contém bornita, calcopirita e ouro. O minério oxidado supergênico é composto de malaquita, azurita e crisocola. Menos comumente, ocorrem molibdenita, carrolita, witchenita digenita, cuprita e cobre nativo, Laux (1999). Bornita e hematita são os principais portadores de ouro, que ocorre como inclusões visíveis ao microscópio óptico (Laux, 1999).

Na Jazida Santa Maria, resultados de petrografia apontam para a associação dos halos cloritizados com os sulfetos de cobre. No halo da clorita ocorrem níveis ricos em limonita e hematita. Os sulfetos são compostos predominantemente de calcopirita em agregados irregulares com inclusões de pirita e bornita. A bornita ocorre também associada à galena com texturas que evidenciam sua contemporaneidade. A hematita ocorre intersticialmente entre grãos detríticos da encaixante e numa fase tardia substituindo galena, bornita e calcopirita com hábito vermiforme (Rios, 2012).

3. METODOLOGIA

Durante as fases preliminares do projeto tivemos a oportunidade de realizar um breve estudo piloto do que seria o Projeto Temático em Geologia PTG. Esta etapa foi desenvolvida simultaneamente à revisão bibliográfica e nela foram feitas reuniões, expedições a campo e estudos analíticos (petrografia e difratometria de raios X) visando avaliar a viabilidade do projeto bem como as adaptações a serem feitas.

3.1. Revisão Bibliográfica

A etapa de revisão bibliográfica e estado da arte deste projeto consiste da formação de um banco de dados com informações a respeito da área, da metodologia a ser aplicada dentre outros. Esta etapa consiste ainda na construção de uma base georreferenciada em SIG. Nesta base constam mapas geológico-estruturais, imagens de satélite, pontos visitados/amostrados/descritos em campo que são processados de modo a servir como um auxílio em campo na localização e planejamento de mapeamento/amostragem, em escritório durante a interpretação dos dados, e na apresentação dos dados, para justificar as conclusões dar contexto geológico-espacial às conclusões.

A etapa de planejamento teve o objetivo de estabelecer estratégias de ação especialmente em campo de modo que fosse possível atingir todas as metas dentro do prazo estabelecido. A etapa de campo mostrou-se crítica devido à incerteza quanto à disponibilidade das amostras. A seleção de furos de sondagem foi feita a partir de um banco de dados das sondagens disponibilizado pela VM. A seleção foi feita com base na localização dos furos e intervalos de interesse, teores de Cu disponibilizados e existência das caixas de amostras. Devido ao grande volume de material disponível e importância da coleta e da documentação das informações, desenvolvemos uma folha padrão, *logsheet*, para a descrição dos testemunhos de sondagem, que facilita o trabalho de campo (evitando a perda de informações) e que facilita a digitalização das informações. A ficha de descrição de campo alimentou a *logsheet* digital que é utilizada nas etapas pós-campo.

3.2. Trabalho de Campo

A etapa de campo contempla as atividades realizadas na área das Mina do Camaquã. Nesta fase utilizamos dados da bibliografia e materiais do planejamento para visitar regiões de interesse, documentar informações e coletar amostras para o trabalho em escritório/laboratório. Objetivo do trabalho de campo é o de conhecer o contexto geológico e estrutural da área bem como a geometria e o controle da mineralização. O trabalho de campo foi dividido em três etapas. A primeira fase consistiu de um estudo piloto para verificar a viabilidade do estudo, como a disponibilidade de acesso às amostras e metodologia do trabalho, Na segunda etapa foi desenvolvida a atividade de descrição de testemunhos de sondagem. Testemunhos de sondagem (TS) viabilizam o acesso às informações de subsolo. A partir dos TS obtivemos descrições de litologia, cor, textura, estruturas, mineralogia, alteração, mineralização, fotos e amostras. A metodologia de descrição dos testemunhos foi desenvolvida segundo os objetivos do PTG com adaptações do proposto por Marjoribanks (2010).

A etapa de campo três consistiu de um reconhecimento geológico da Janela Bom Jardim com a finalidade de verificar o contato entre unidades da Bacia do Camaquã e estruturas hospedeiras da mineralização. Durante a etapa de campo três foi realizado um mapeamento geológico focado na verificação dos limites da "Janela Bom Jardim", unidades estratigráficas da Bacia do Camaquã (encaixantes à mineralização) e estruturas hospedeiras de mineralização. Para tal, utilizaram-se imagens do Google Earth para a identificação de afloramentos. No campo o caminhamento foi feito com o auxílio de um *grid* de 100 x 100 m superposto a imagens do Google Earth com referência espacial em datum WGS-84, Fuso 22J. A navegação no campo foi feita com GPS Garmin GPSmap76Cx. Medidas estruturais foram feitas em notação de trama com bússola Brunton.

Amostras representativas dos intervalos de interesse foram selecionadas dos testemunhos de sondagem. No campo foram coletadas amostras de filões e amostras da rocha encaixante, fora da zona de alteração hidrotermal.

A compilação de dados consiste da integração de todas as informações levantadas em campo com a finalidade facilitar o acesso e a visualização dos dados. As *logsheets*, descrições macroscópicas e dados estruturais de campo foram digitalizados em planilhas do Microsoft Office Excel. A digitalização foi feita de modo a facilitar o acesso à informação conforme o posicionamento espacial da amostra, litologia, zona de

alteração, mineralização ou finalidade para qual ela foi coletada. Essas informações servem também para à confecção de produtos como mapas e perfis.

Amostras seguiram diferentes metodologias de preparação conforme o tipo da análise para a qual foram selecionadas. Uma grande distinção é feita entre as amostras que seguem uma preparação para petrografia e aquelas que são preparadas para FRX e DRX. Nem toda amostra é adequada à laminação devido às características físicas (tamanho, forma, geometria da estrutura) assim como existe uma limitação ao material que vai ser preparado para análise mineralógica e/ou química como quantidade/representatividade e contaminação da amostra. O ideal, porém, é cruzar dados de petrografia, química de rocha total, mineralogia de argilas, microtexturas e química mineral para que se faça um estudo petrológico consistente.

3.3. Petrografia

A petrografia tem a finalidade de caracterizar as rochas segundo a mineralogia e a textura. Para tanto, foi utilizado o microscópio óptico polarizador em luz transmitida e refletida para fazer a caracterização das rochas e determinar as assembleias minerais primárias (detritica), os minerais de alteração bem como as relações texturais entre elas. Nove amostras representativas de zona de mineralização, de alteração e de rocha sã foram selecionadas para a preparação de lâminas delgadas polidas. O laboratório de laminação do IGEO realiza o corte, impregnação, montagem da lâmina e redução da espessura a 30 μm , o que possibilita a petrografia devido às propriedades ópticas dos minerais. A petrografia e as fotomicrografias foram realizadas nos equipamentos disponibilizados pelo IGEO. A classificação dos protólitos sedimentares clásticos foi feita através da quantificação por estimativa visual no campo de visão do microscópio. A assembleia dos minerais de alteração e mineralização foi descrita junto da sucessão dos processos (dissolução, substituição, precipitação, etc.) bem como as relações texturais entre eles. A descrição e fotomicrografias preenchem uma ficha petrográfica.

3.4. Difractometria de Raios X (DRX)

A DRX é uma técnica utilizada para a identificação de minerais, principalmente na caracterização dos argilominerais. Esta técnica é de especial interesse dentro do âmbito do presente trabalho, devido à quantidade de amostras de zonas de alteração com mineralogia de difícil identificação visual (macroscópica ou microscópica) devido à granulação muito fina e o baixo grau de cristalinidade. Além disso, a caracterização das argilas é fundamental para o estudo detalhado da evolução do(s) fluidos do sistema hidrotermal.

A metodologia baseia-se na interação (difração) de uma frente de ondas (raios X) produzidas pelo tubo do difratômetro com uma estrutura ordenada e periódica dos átomos nos cristais da amostra. A interferência construtiva da frente de ondas difratada gera um conjunto de picos (difratograma), característico de determinada estrutura cristalina, que define o mineral. A interferência construtiva ocorre sempre que a lei de Bragg ($n\lambda = 2d \sin\theta$) é satisfeita. Na equação duas vezes a distância interplanar (d) do cristal multiplicado pelo seno do ângulo de incidência do feixe de raios X (θ) é diretamente proporcional a n vezes o comprimento de onda (λ) do raio X.

Três principais tipos de análises por DRX foram realizadas no laboratório de difratometria de raios X do CPGq/IGEO: método do pó, método das argilas orientadas. O equipamento utilizado é um difratômetro SIEMENS BRUKER AXS modelo D5000 com goniômetro θ - θ e radiação $K\alpha$ em tubo de cobre à 40 KV e 25 mA.

Para o método do pó a amostra cominuída é colocada em um porta amostras e analisada com o passo de 1 segundo para $0,02^\circ$ de grau do goniômetro de 2° a 72° , 2θ . Para o método das argilas orientadas a amostra cominuída é completamente desagregada em meio aquoso com auxílio de um agitador orbital, defloculante e desagregação por ultrassom. A separação da fração argila (tamanho de grão $\leq 4 \mu\text{m}$) é feita por decantação segundo a Lei de Stokes (Figura 6b) que leva em consideração a velocidade de assentamento das partículas em meio viscoso dependendo da sua forma, densidade, viscosidade do fluido e temperatura. Com o material são preparadas duas lâminas. Após secagem à temperatura ambiente uma das amostras é calcinada a 550°C por duas horas antes da análise. A outra amostra é analisada ao natural e após é analisada com saturação em etileno glicol. As análises das argilas de amostra orientada natural e calcinada são de 2 segundos para $0,02^\circ$ de grau do goniômetro de 2° a 28° . A análise de argilas orientadas

glicoladas é de 3 segundos para 0,02° de grau do goniômetro de 2° a 28°. O material é levado à estufa para a secagem e recuperação das argilas. O acondicionamento do material no porta amostras é feito através de uma peneira de 200 mesh de modo que as partículas caiam desorientadas aleatoriamente. A análise segue o programa para politipos em que o passo é de 10 segundos. Os difratogramas são interpretados com o auxílio do software DIFFRAC-PLUS-EVA® e as simulações composicionais são calculadas pelo NEWMOD®. A metodologia tem limitações quanto a fases minerais que ocorram em quantidade inferior a 5% da amostra.

Esta etapa abrange todas os dados levantados e resultados analíticos produzidos ao longo do trabalho. Tem a finalidade de reunir essas informações e apresentá-las de modo a discutir e avaliar os resultados alcançados e estabelecer conclusões sobre os resultados alcançados. Para tal são utilizados meios digitais para a elaboração de gráficos, textos, montagens fotográficas e de imagens, mapas e outros com a utilização de softwares como o Microsoft Office Word®, Excel® e Power Point®, para a elaboração de textos, gráficos e apresentações; ESRI ArcGIS®, para a elaboração de mapas; CorelDRAW®, para a edição de fotos, figuras e imagens.

3.5. Litogeoquímica

A análise química das rochas sedimentares, com a finalidade de avaliar a mobilidade dos íons, foi um estudo pioneiro realizado com amostras desta região. Amostras representativas de áreas adjacentes à mina foram comparadas às amostras de dentro da região mineralizada em busca de *trends* de elementos importados ou exportados devido à circulação de fluidos hidrotermais. As amostras foram analisadas pelo ACME *Analytical Laboratories*, Canadá, por Espectrometria de Massa (*Induced Coupled Plasma - Mass Spectrometer - ICP-MS*). Para os elementos maiores o protocolo utilizado pelo laboratório para esta metodologia consiste da fusão de 0,1 g das amostras em pastilhas por metaborato/tetraborato de lítio e diluído em digestão nítrica. A perda ao fogo é medida através da diferença de massa após aquecimento a 1000 °C. Para elementos traço e terras raras o procedimento acima descrito é utilizado acrescido de uma digestão da amostra em água régia. Os resultados de ICP-MS são de caráter qualitativo e quantitativo, expressando resultados de elementos maiores em porcentagem em peso do óxido e de partes por milhão dos elementos traço.

4. RESULTADOS

4.1. Características da Alteração Hidrotermal em Campo e em Testemunhos de Sondagem

Durante as atividades de mapeamento geológico foram estudadas áreas com afloramentos de unidades da Bacia do Camaquã de interesse do projeto, tanto na área das mineralizações como fora dela. A área da Cava Uruguai/Piritas é de especial interesse devido à exposição dos halos de alteração hidrotermal e das unidades encaixantes da mineralização. Também foi de interesse o estudo às unidades correlatas da mineralização fora das áreas afetadas pela alteração hidrotermal, como o afloramento do Morro da Cruz. A zona mineralizada na área da Jazida Santa Maria não aflora devido à cobertura pelo Grupo Guaritas e profundidade das mesmas e não possibilita, portanto, a visualização em campo destas mineralizações.



Figura 5: Principais regiões de interesse, estudadas e amostradas para esse trabalho. FSM0069 mostra a localização do furo de sondagem executado na Área 3 da JSM enquanto PSU01 e 04 são as sondagens na área da Mina Uruguai. TM099 mostra a localização da amostra de superfície na Mina Uruguai e TM063 é a localização da amostra fora da área da mineralização (Morro da Cruz). Fonte: Google Earth (2014).

No Morro da Cruz (Vila de Minas do Camaquã no mapa da figura 4) afloram os arenitos e conglomerados avermelhados, *red beds*, do Grupo Santa Bárbara, basculados de 24°/NW, figura 6. Esta amostra representa a unidade estéril, sem mineralização.

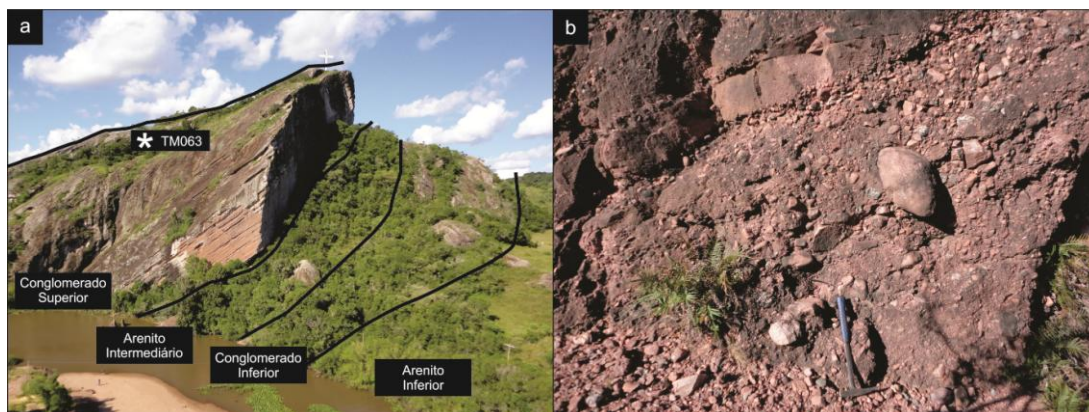


Figura 6: Em "a" uma vista do Morro da Cruz. Ali afloram as unidades do Grupo Santa Bárbara fora da área sob efeito da alteração hidrotermal. Notar a indicação da localização da amostra TM063. Em "b" um detalhe do Conglomerado Superior, nível onde TM063 foi amostrada.

Os afloramentos da Cava Uruguai/Piritas, dentro da área da mineralização, permitem a observação dos halos de alteração hidrotermal, como mostrado na figura 7. Nota-se a diferença na coloração dos halos com o aspecto esverdeado escuro da zona da clorita sobre o Conglomerado Superior, transicionando bruscamente para a zona com pirita e ilita, no Arenito Intermediário, de tom amarelado. Na figura 7a, b nota-se a cor vermelha da oxidação (zona da hematita) transicionando lateralmente para clorita e ilitia + pirita, sem que haja um controle estratigráfico, ou litológico aparente, como também é visto na figura 7c. A hematitização e sulfatação (barita) tem influência local, restrita à estrutura que as hospeda (Fig. 7d). Na figura 7b é possível ver a hematita sobre o espelho da falha e na figura 7d a vista de um corte em planta de uma estrutura com hematita e barita.

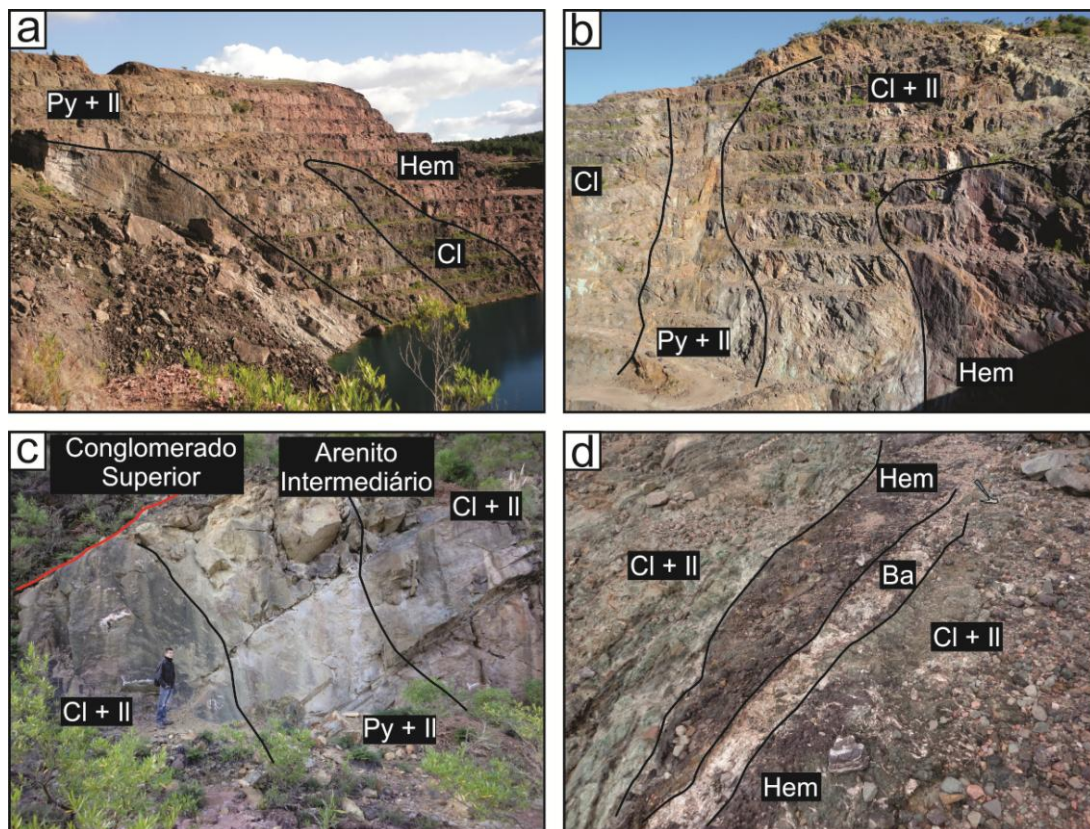


Figura 7: Diferenças na coloração são determinadas pelo tipo da alteração hidrotermal, permitindo o mapeamento dessas zonas. Hematitização (a, b) apresenta forte cor avermelhada. Cloritização e ilitização são diferenciadas pelo tom de verde (mais escuro (a) e mais claro (c), respectivamente). Barita (d) ocorre geralmente em veios em cor branca-rosada.

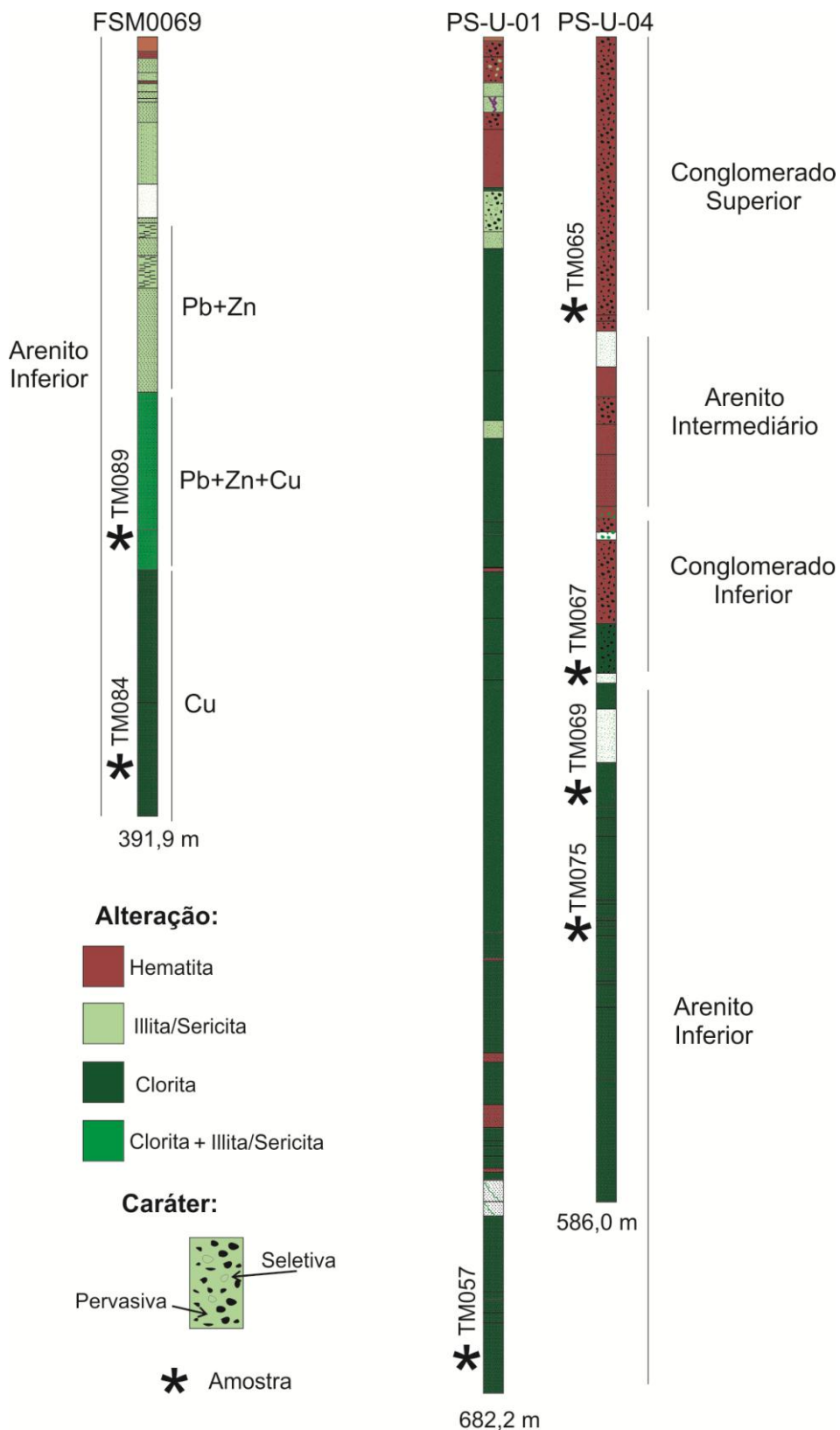


Figura 8: Testemunhos de sondagens descritos e amostrados neste trabalho. O testemunho FSM0069 é proveniente da área da JSM e os furos PS-U-01 e PS-U-04 foram realizados na região onde hoje encontra-se o *open pit* da Mina Uruguai. A descrição completa dos testemunhos encontra-se no APÊNDICE A.

Foram descritos mais de 1.600 metros de sondagens realizadas na área da Jazida Santa Maria e de Minas do Camaquã (Fig. 8). Os testemunhos de sondagem descritos são provenientes das áreas mostradas no mapa da figura 5, todos com inclinação de 15° com a vertical. O testemunho FSM0069, da região da JSM, é composto basicamente de arenitos, conglomeráticos ou não, com uma pequena intercalação com pelitos. O halo de alteração a ilita mais superficial transiciona gradualmente à cloritização em profundidade. A zona de transição apresenta uma coloração intermediária entre a da zona da clorita e da ilita, indicando a mistura de ambas. Galena e esfalerita em veios e disseminadas são associadas ao halo de alteração da ilita enquanto que a cloritização acompanha a mineralização de Cu, com calcopirita e pirita disseminadas. A zona de transição apresenta uma mistura de galena, esfalerita e calcopirita. A ganga é composta de barita, calcita, pirita e quartzo. Na área da Mina Uruguai a porção superficial dos testemunhos de sondagem é composta de arenitos e conglomerados *red beds* estéreis ou com mineralização em vênulas finas acompanhadas de barita. As zonas de alteração com ilita tem caráter geralmente pervasivo ao arcabouço e contém bornita (\pm calcocita) e calcopirita disseminados e em veios. A zona de alteração clorítica é espacialmente dominante e de caráter pervasivo. A mineralização consiste predominantemente de calcopirita disseminada e bornita + calcocita \pm calcopirita em veios e pirita disseminada.

4.1.1. Amostras

Os principais intervalos descritos nos testemunhos de sondagem foram amostrados (Fig. 8), totalizando seis amostras de testemunho (TM057, TM065, TM067, TM069, TM084, TM089), apresentadas na Tabela 1.

A amostra coletada do Morro da Cruz (TM063) é representativa do Conglomerado Superior, fora da área das minas. A amostra consiste de um arenito, conglomerático, *red bed*, estéril, como pode-se ver na figura 5b. A amostra TM065 foi coletada com o objetivo de representar um horizonte estéril dentro da área da mina. Consiste de um arenito conglomerático hematitizado e com ilita seletiva (alteração pervasiva eletiva; daqui em diante chamada de ilita seletiva), como na figura 10a, pertencente ao Conglomerado Superior da área da Mina Uruguai (PSU04). As amostras TM057 (PSU01) e TM075 (PSU04), são representativas da zona da cloritização pervasiva sobre o arenito inferior na área da Mina Uruguai (Fig. 9b), com mineralização à base de

bornita em veios. TM067 representa a zona da alteração à ilita seletiva, em testemunho de sondagem da Mina Uruguai (PSU04). A mineralização é predominantemente de calcocita disseminada. TM069 é proveniente da zona da clorita pervasiva com bornita em veio. TM075 é da zona da clorita pervasiva e ilita em veio com a mineralização com bornita e calcopirita em veios. As amostras TM084 e TM089 (Fig. 9a) são da Área 3 da Jazida Santa Maria. TM084 é da zona da cloritização pervasiva com calcopirita e pirita disseminados em vacúolos. TM089 (Fig. 10b) provém da zona de transição, clorita + ilita, mineralizada com galena, esfalerita, calcopirita e pirita em vênulas, associados a calcita, barita e quartzo.

Tabela 1: Descrição macroscópica resumida dos aspectos de alteração e mineralização observados e amostras para este estudo. A localização das amostras é apresentada na figura 5.

Amostra	Procedência	Alteração	Mineralização
TM063	Morro da Cruz - conglomerado superior	hematita	estéril
TM057	Mina Uruguai PSU01 - 668,0 m arenito inferior	clorita pervasiva	CPy maciça
TM065	Mina Uruguai PSU04 - 144,4 m conglomerado superior	hematita + ilita seletiva	estéril
TM067	Mina Uruguai PSU04 - 322,0 m conglomerado inferior	ilita seletiva	Cc disseminada
TM069	Mina Uruguai PSU04 - 335,0 m arenito inferior	clorita pervasiva	Cc veio
TM075	Mina Uruguai PSU04 - 532,0 m arenito inferior	ilita veio clorita pervasiva	Bo+CPy veio
TM084	Jaz Sta Maria FSM0069 - 343,5 m arenito inferior	clorita pervasiva	sulfeto (Cu) disseminado + Py
TM089	Jaz Sta Maria FSM0069 - 188,0 m arenito inferior	ilita + clorita disseminados	sulfeto (Pb, Zn, Cu) disseminado
TM099	Mina Uruguai filão na Cava Uruguai	Ba + Qz + Il + Cl em stockwork	CPy maciça

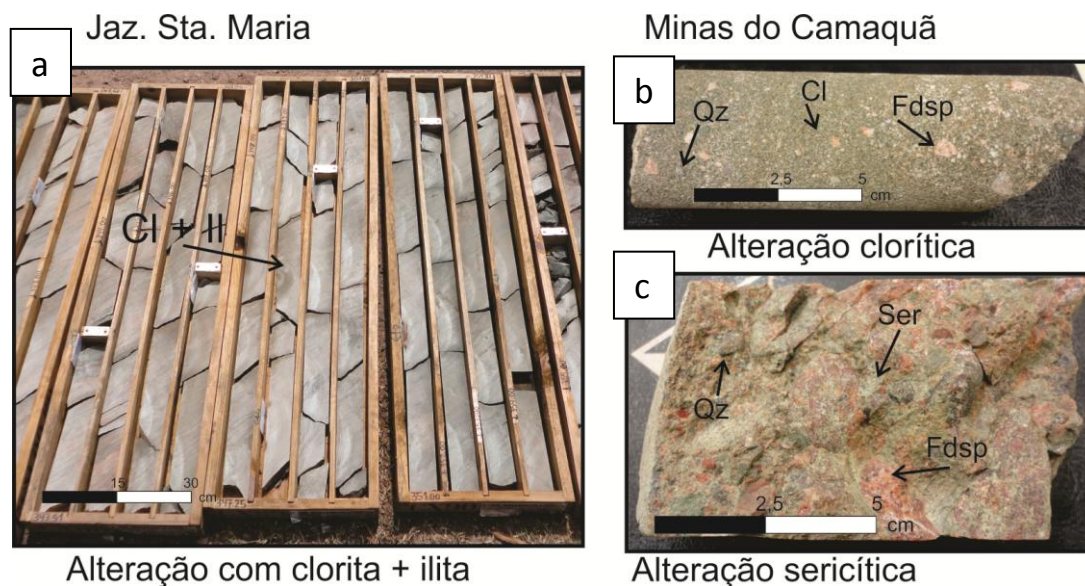


Figura 9: Amostras de diferentes halos de alteração em testemunhos de sondagem. Clorita + illita pervasivas na região da JSM (a). Na área da Mina Uruguai o aspecto da cloritização pervasiva (b) e da sericitização pervasiva (c).

A outra amostra coletada no campo, TM099, provém da Cava Piratas. A brecha hidráulica (Fig. 10c) com clastos de arenito cloritizado e calcopirita imersos em barita, representativos da mineralização do tipo *stockwork*.

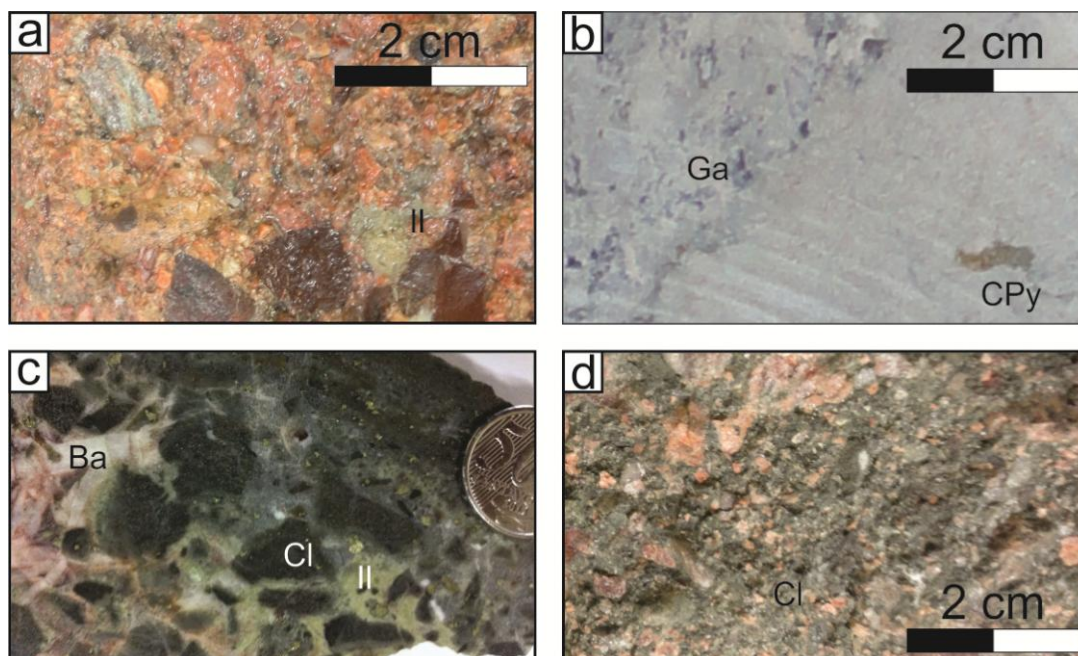


Figura 10: Aspectos macroscópicos dos tipos de alteração e encaixantes da mineralização. A illitização de caráter seletivo (a) em arenito-conglomerático arcóseo da região da Mina Uruguai. Galena e calcopirita em arenito com clorita e illita (b) do testemunho de sondagem FSM0069. Brecha hidráulica (c) com litoclastos cloritizados e cristaloclastos de

calcopirita imersos em matriz de barita (TM099). Arenito-conglomerático com cloritização pervasiva do arcabouço (Mina Uruguai).

4.2. Caracterização dos Sulfetos e dos Filossilicatos da Alteração Hidrotermal

Das amostras apresentadas na Tabela 1 foram confeccionadas lâminas delgadas e os resultados são apresentados a seguir.

As fotomicrografias apresentadas na figura 11 representam amostras das unidades do GSB não mineralizadas, dentro e fora da área da mina. Petrograficamente elas são compostas arenitos arcoseanos hematitizados (*red beds*). A hematita em películas (Fig. 11a, b) tem origem anterior ao cimento hematítico (Fig. 11c, d) que ocorre associado ao sulfeto (Fig. 11c, d). Os sulfetos são pouco frequentes (Fig. 11e) e ocorrem disseminados em grãos isolados euédricos (Fig. 11d) ou parcialmente destruídos por processos tardios (Fig. 11c, f). Bornita com coroa de calcopirita (Fig. 11f) apresenta bordas de reação com carbonato tardio (Fig 11c).

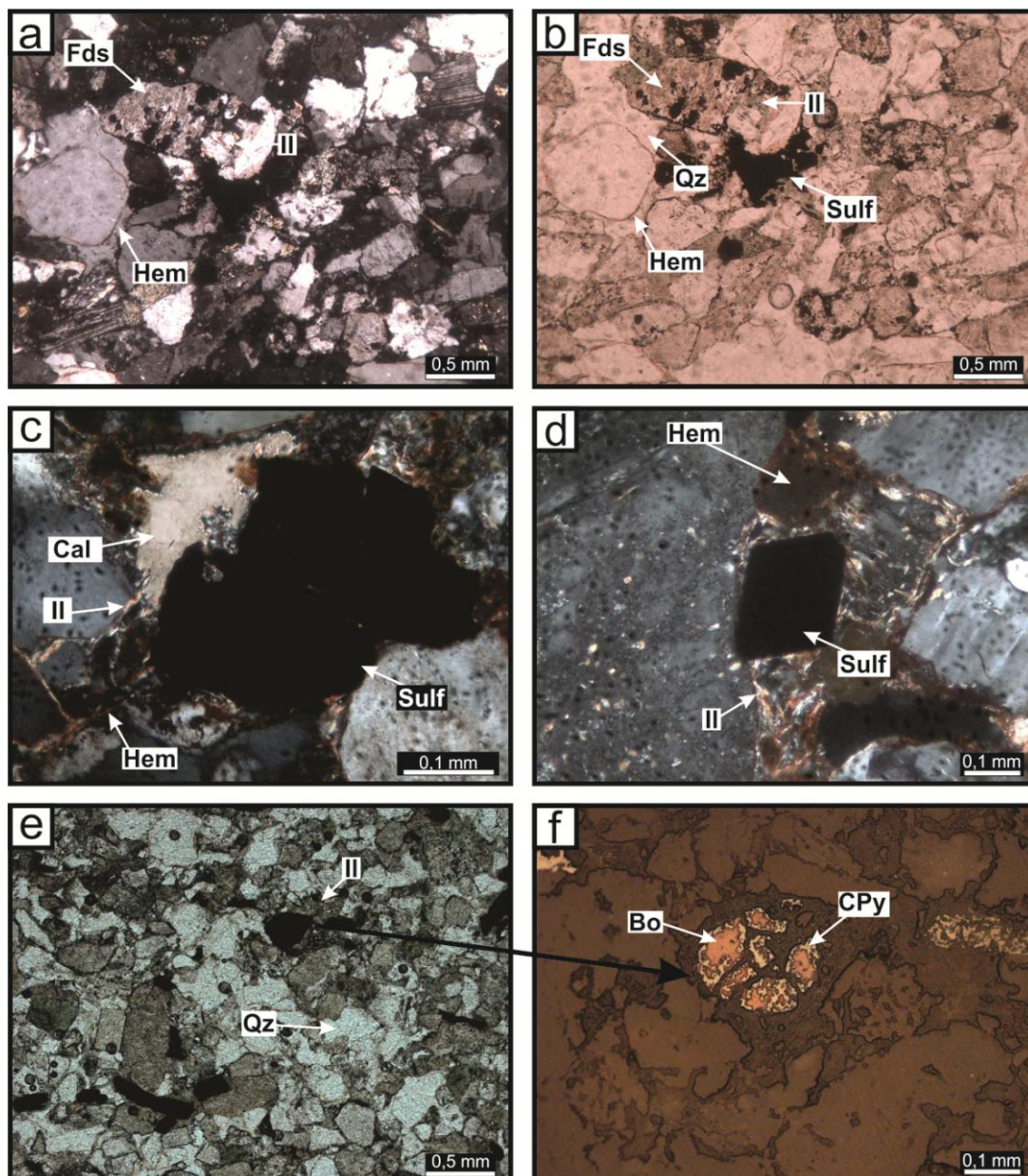


Figura 11: Aspectos petrográficos de amostras de zonas não mineralizadas do Morro da Cruz (TM063: a, b, c, d) e da área da Mina Uruguai (TM065: e, f). Os arenitos arcoseanos (a), considerados "estéreis" à mineralização, tem bornita e calcopirita (f) esparsa (b, e) disseminada. O cimento hematítico (c, d) ocorre associado ao sulfeto euédrico e ilita (d). Calcita (c) tardia é corrosiva aos sulfetos que apresentam bordas de reação (f).

A mineralização da zona da clorita (Fig. 12a) consiste predominantemente de calcopirita intersticial associada à pirita granular e quartzo euédrico (Fig. 12c). Os sulfetos ocorrem de forma disseminada em agregados (Fig. 12b). A cloritização é pervasiva, intersticial aos grãos de quartzo do arcabouço, acompanhada de ilita (Fig. 12a). O quartzo da silicificação (Fig. 12d) difere do quartzo do arcabouço pela forma euédrica prismática e apresenta contatos retos com os sulfetos (Fig. 12c, d).

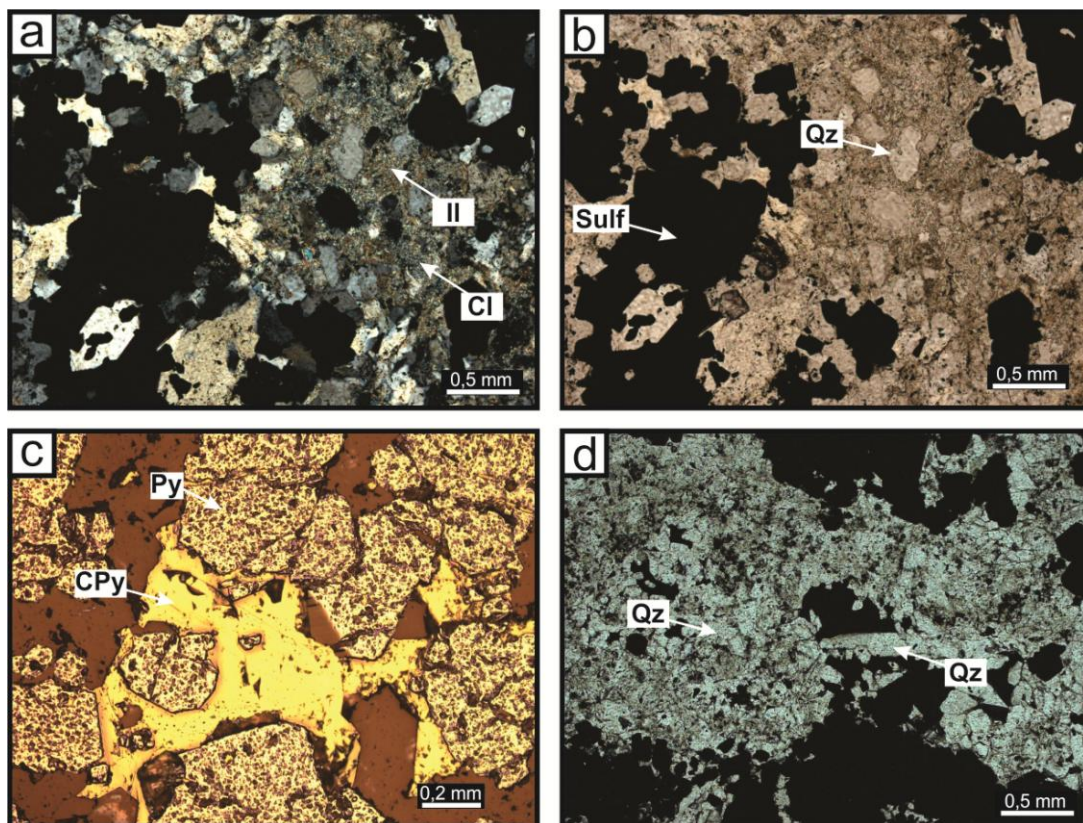


Figura 12: Amostra TM057, zona da clorita (a) com mineralização de calcopirita e pirita (c) disseminada em agregados (b) associada à silicificação (d).

A zona de alteração íltica ocorre com caráter seletivo, a litoclastos, feldspato potássico e plagioclásio, e em vênulas finas como na figura 13a, b. A mineralização consiste de calcocita disseminada (Fig. 13c) associada à silicificação (quartzo euédrico) e ilita. Calcocita tem bordas corroídas no contato com a ilita (Fig. 13c, d).

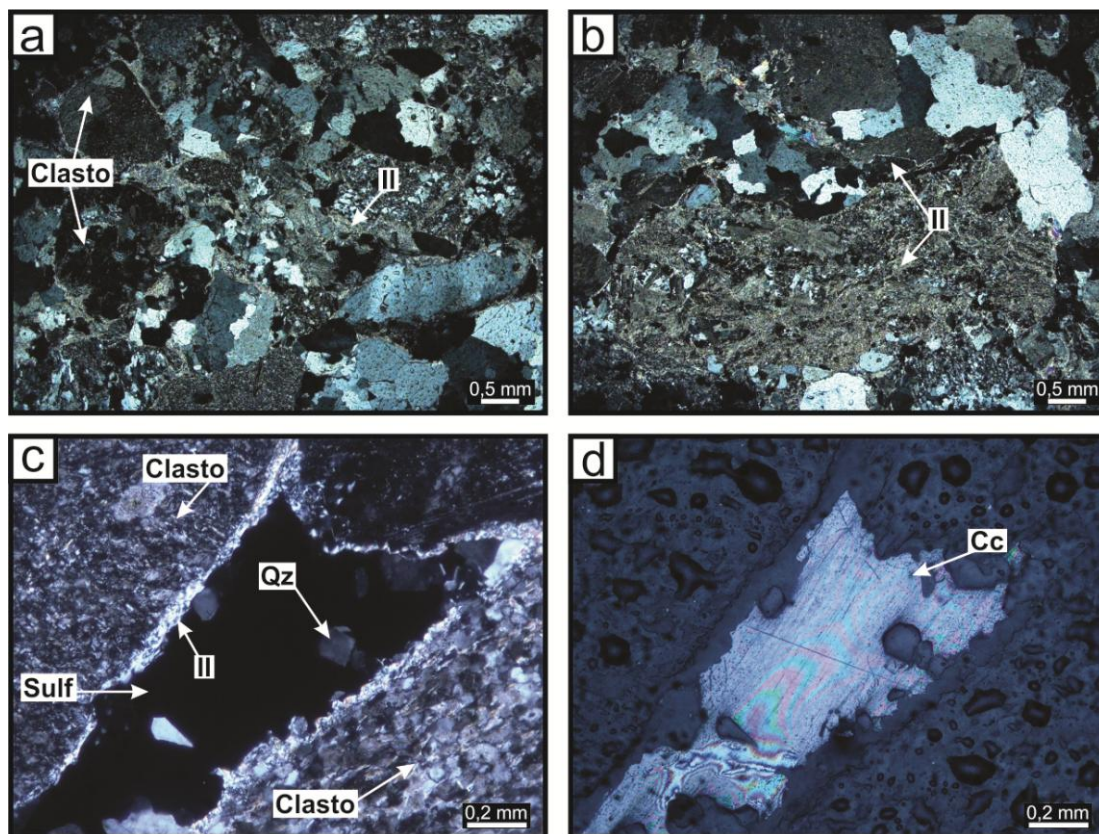


Figura 13: Zona da alteração por ilita (TM067) da Mina Uruguai. A ilita ocorre em caráter seletivo e em vênulas (a, b). A mineralização consiste de calcocita disseminada associada a quartzo e ilita (c) com bordas irregulares corroídas (d).

A ilitização ocorre também associada à mineralização em veios, com silicificação e óxidos de ferro como na figura 14a, b, d. Bornita maciça é manteda por uma coroa de calcopirita (Fig. 14c). Pirita ocorre isoladamente em cristais granulares disseminados.

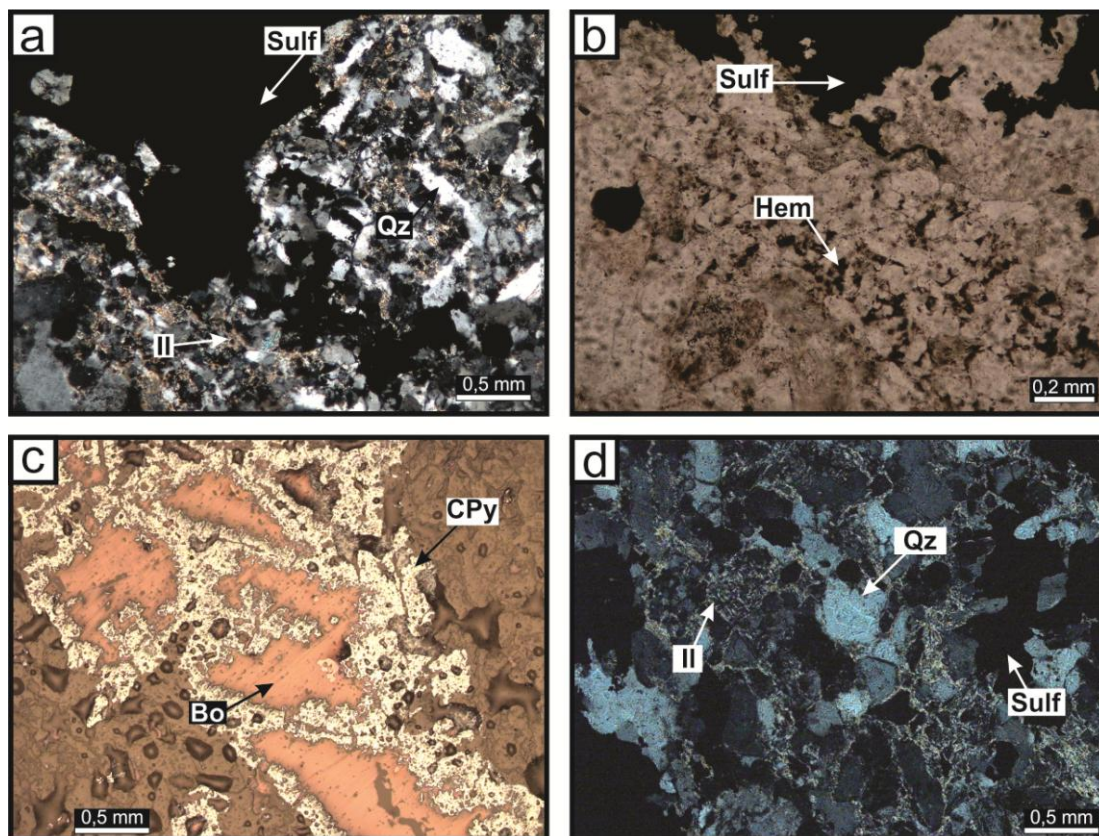


Figura 14: Zona da alteração por ilita (TM075) da Mina Uruguaí. A ilitização em vênulas/intersticial e seletiva (a, d) ocorre associada à silicificação (a), óxidos de ferro (b) em vênulas de bornita mantada por calcopirita (a, c).

Zonas da Mina Uruguaí onde a ilitização coexiste com a cloritização (Fig. 15a, b, d) a mineralização ocorre como disseminações de calcocita e calcopirita com, bornita subordinada, e pirita coronítica. Calcopirita exolve em calcocita (Fig. 15e, f) assim como o inverso também é observável, como na figura 15c. A mineralização apresenta bordas irregulares em função da corrosão por pirita coronítica (Fig. 15c) ou pirita substitutiva esquelética (Fig. 15f). Também a ilita tem contatos lobados (Fig. 15d) em desequilíbrio com os sulfetos.

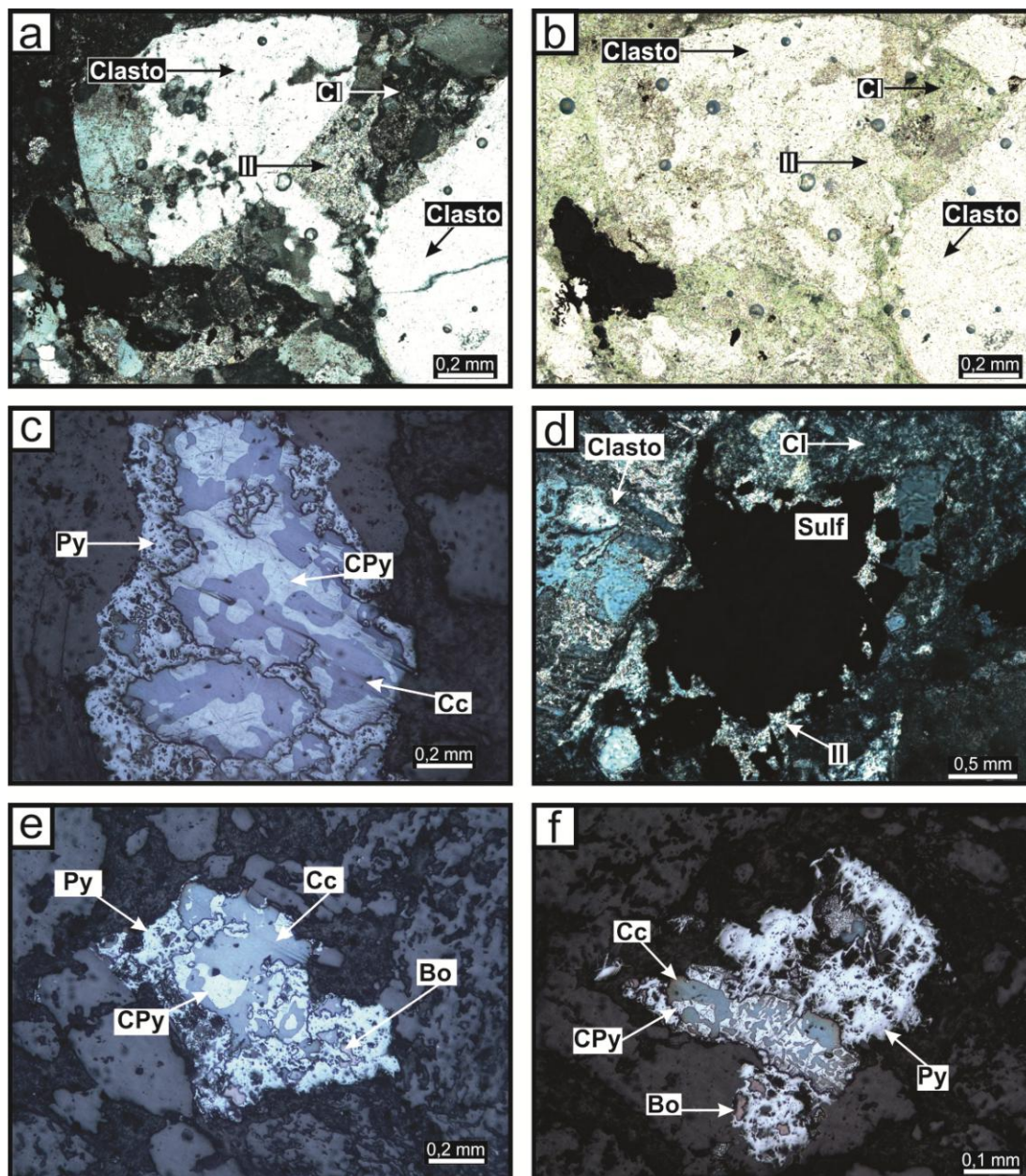


Figura 15: Zonas de cloritização e ilitização na área da Mina Uruguai (TM069) apresentam alteração pervasiva sobre o arcabouço (a, b) e mineralização complexa. Calcocita e calcopirita ocorrem em relações de exolução (c) associados ou não à bornita (e, f). Os sulfetos tem bordas irregulares corroídas no contato com ilita (d) e pirita (c, f).

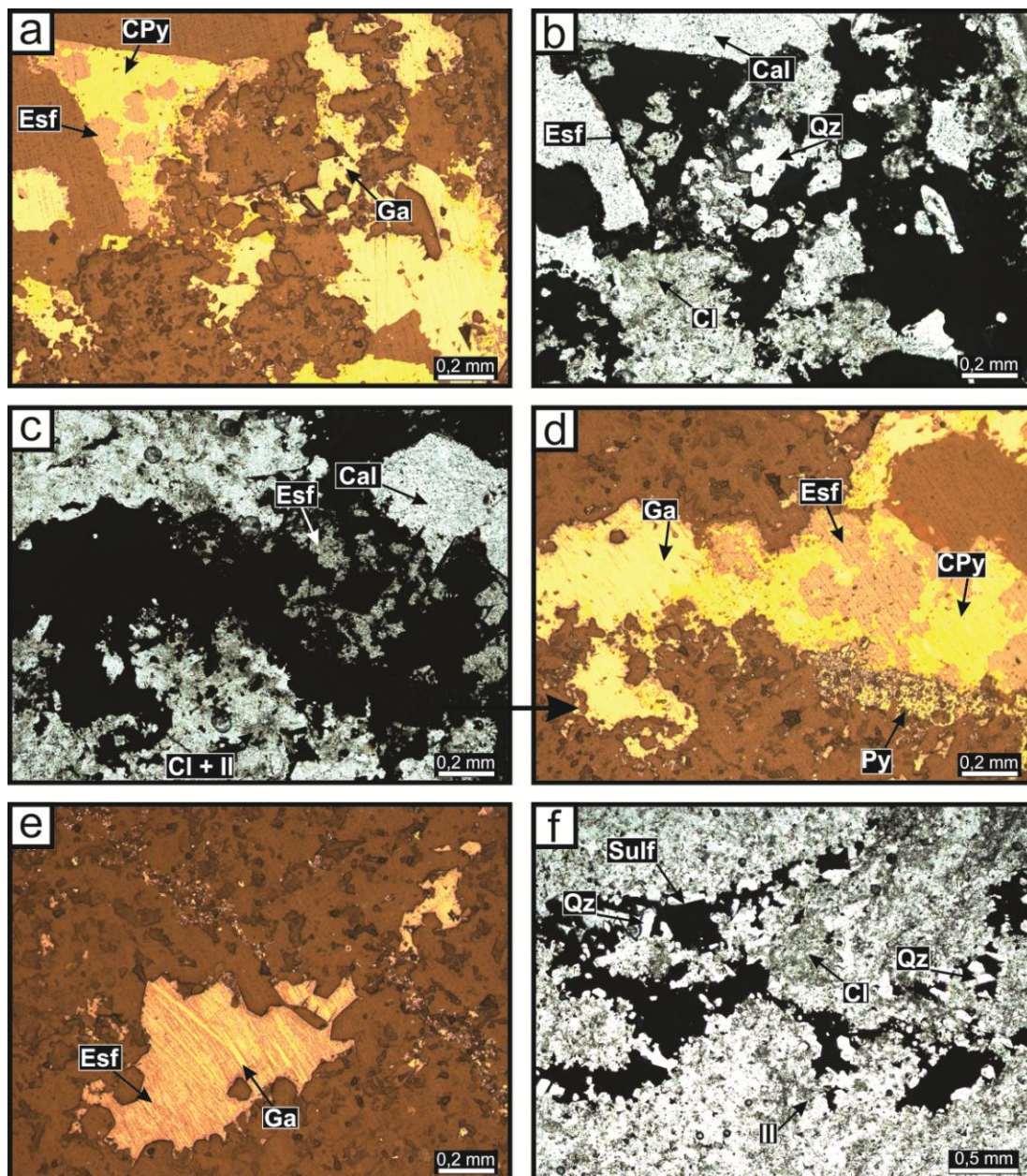


Figura 16: Mineralização à galena, esfalerita com calcopirita (a, b, d) e assembleia de alteração (b, c, f) associada em zona de transição com ilita e clorita da Área 3. Mineralização na matriz e em vênulas de carbonato (a, b) com clorita e ilita associadas (c). Calcopirita, galena e esfalerita (a, d) com borda de pirita (d). Intercrescimento (exolução) de galena em esfalerita. Silicificação e a mineralização em vênulas (f).

Galena, esfalerita, calcopirita e pirita ocorrem associadas na amostra TM089 (Área 3, Jazida Santa Maria), conforme o que é mostrado na figura 16. Os sulfetos ocorrem maciços em vênulas (Fig. 16a, d, e, f) junto de uma ganga de alteração hidrotermal composta de quartzo (f), calcita (Fig. 16b, c), ilita e clorita (Fig. 16c, f). A esfalerita apresenta dois padrões quando observada em polarizadores paralelos, podendo ser mais ou menos transparente (Fig. 16b, c). Pode ocorrer em cristais isolados,

por vezes associada à calcopirita (Fig. 16a, d) ou estruturas de intercrescimento em cristais de galena (Fig. 16e). Os sulfetos ocorrem em estrutura maciça, intersticialmente aos grãos de quartzo ou dentro de veios de calcita, fruto da remobilização tardia. Pirita ocorre como bordas mantendo parcialmente os grãos (Fig. 16d).

Na área de alteração clorítica da Área 3 da Jazida Santa Maria (TM084) o arenito silicificado (Fig. 17a) tem piritização disseminada esparsa e vacúolos que hospedam mineralizações remobilizadas tardias (Fig. 17d, f). Apesar de macroscopicamente identificado como da zona da clorita a amostra contém somente illita (Fig. 17b). Os vacúolos são parcialmente preenchidos por quartzo (Fig. 17c), quando hospedam galena ± esfalerita (Fig. 17d). A mineralização por sulfetos de cobre em vacúolos dá-se quando o preenchimento do vacúolo contém barita após quartzo (Fig. 17e) e consiste de calcopirita (Fig. 17f).

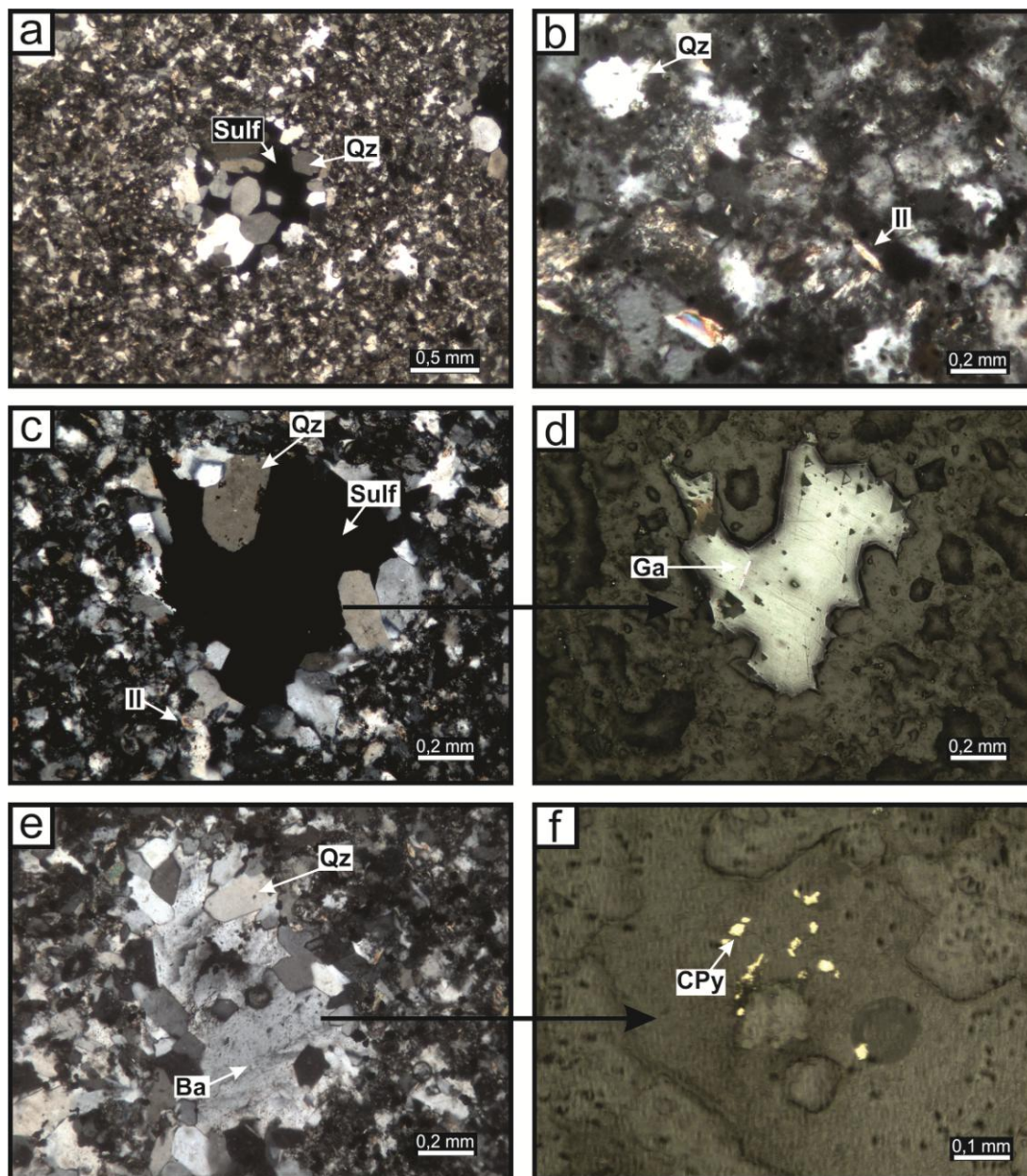


Figura 17: Zona da clorita na Área 3. A coloração verde de TM084 dá-se em função somente da ilita (b). A mineralização é hospedada em vacúolos preenchidos por quartzo + galena (c, d) ou quartzo + barita + calcopirita (e, f).

Zonas com a presença de sulfatos, carbonatos e silicificação são responsáveis pela remobilização de sulfetos. Ao microscópio, como na figura 18, vê-se litoclastos e cristaloclastos (sulfetos) imersos em barita (Fig. 18a, b, c, d), calcita (Fig. 18c) e quartzo (Fig. 18d). Os clastos (Fig. 18a) são angulosos e com feições de quebra. As estruturas da figura 17 são de brechas (amostra TM099, *stockwork* da Cava Piritas) na figura 18a, c e d e vacúolos mineralizados (TM084, zona de transição da JSM) na figura 18b.

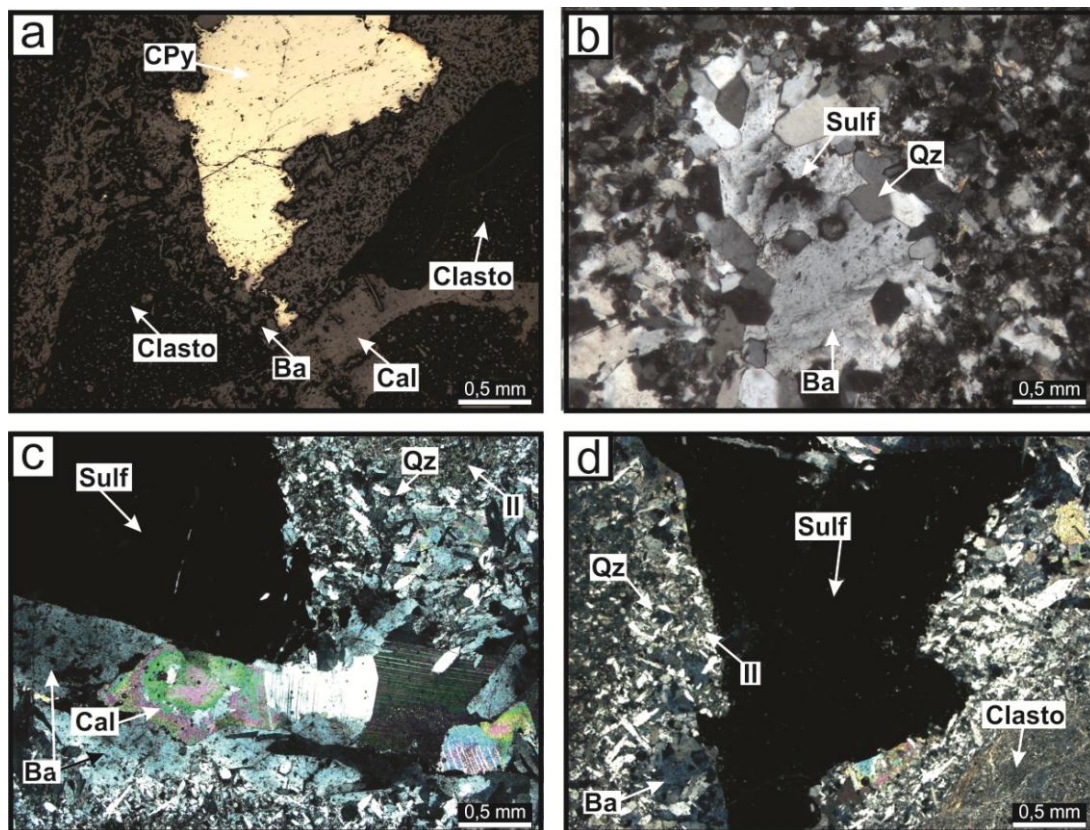


Figura 18: A remobilização do minério em brechas com barita (a, b, c, d), calcita (c), quartzo (b, c, d) e ilita (d).

A morfologia dos grãos de sulfeto imersos na matriz de sulfato tem feições de reação, com bordas corroídas e formação de "enseadas de dissolução" (Fig. 19a, c, d, e) assim como evidências de brechamento dos cristaloclastos (Fig. 19b, d). As imagens da figura 19e, f mostram o detalhe do contato (reação) do sulfeto com a zona de silicificação e ilita.

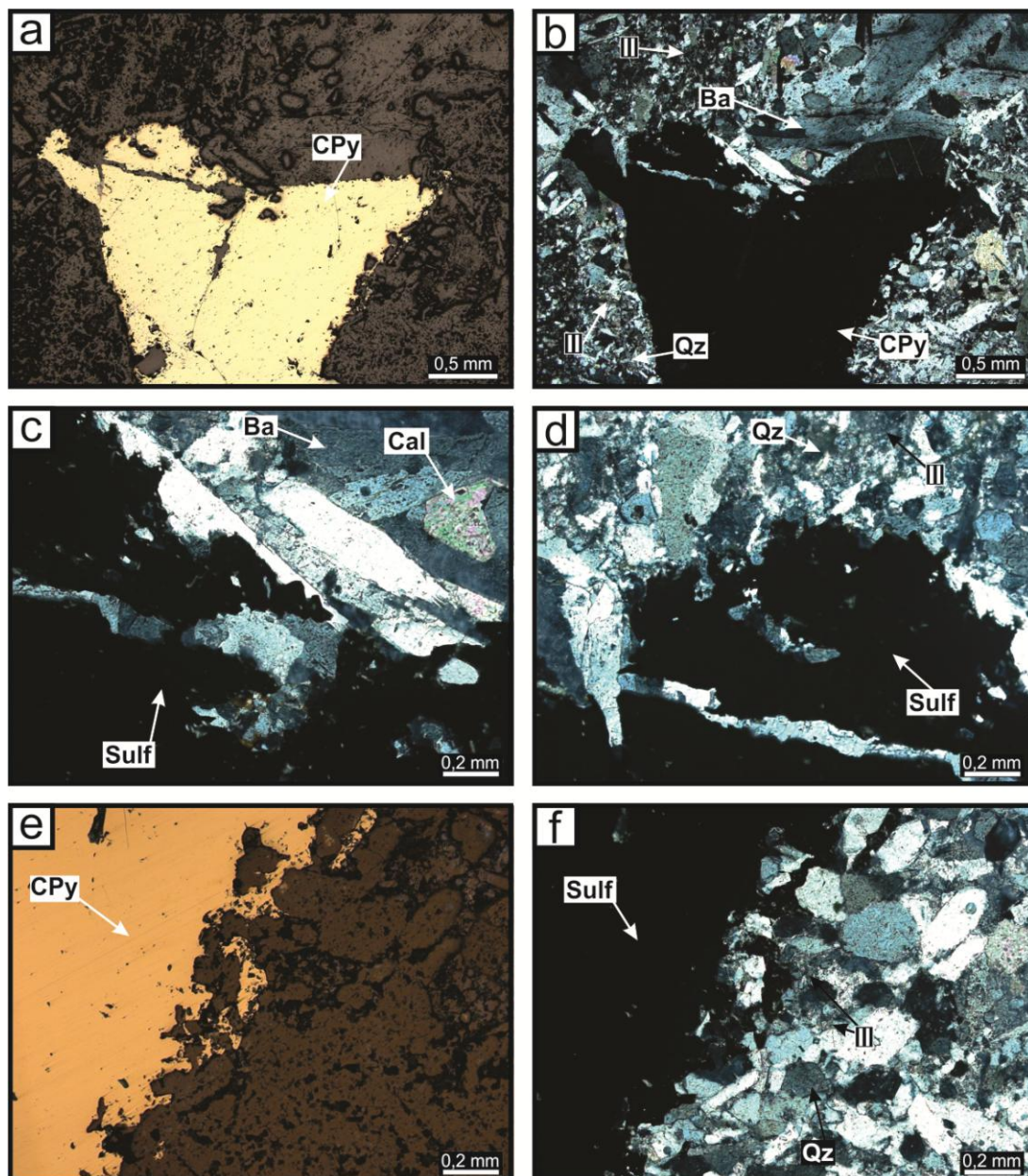


Figura 19: A remobilização do minério e as reações sulfeto-sulfato em brechas com barita. Cristaloclastos afetados por processos físicos (a, b, c, d) da brechação e químicos (c, d, e, f) da reação sulfeto-sulfato.

4.3. Difratomia de Raios X

As amostras de testemunho de sondagem mais a amostra do Morro da Cruz, apresentadas na Tabela 1, foram analisadas por difratometria de raios X para identificação da mineralogia total e caracterização de argilominerais.

Pelo método do pó (mineralogia em rocha total) fica evidente o caráter arcoseano de todas as amostras (difratogramas no APÊNDICE B). O tipo de feldspato presente na amostra não

segue um controle estratigráfico, apresentando, numa mesma unidade (por exemplo conglomerado superior) plagioclásio numa amostra (TM063) e feldspato potássico na outra (TM065). Outros minerais identificados pelo método do pó, foram óxidos e sulfetos (calcopirita, TM057; hematita, TM065 e TM075; galena, TM089) e argilominerais (ilita, TM067 e TM075; clorita, TM069).

Tabela 2: Síntese da composição mineralógica determinada pela DRX.

Amostra	Análise do Pó (Semi-Quantitativa)		Caracterização dos Argilominerais
TM057	Quartzo	57%	Clorita > Ilita
	Plagioclásio	38%	
	Calcopirita	4%	
TM063	Plagioclásio	49%	Ilita > Caulinita
	Quartzo	39%	
	Hematita	13%	
TM065	K-Feldspato	49%	Ilita/Esmectita (I/S)
	Quartzo	41%	
	Hematita	10%	
TM067	Quartzo	50%	100% Ilita
	Plagioclásio	45%	
	Ilita	6%	
TM069	Quartzo	52%	Clorita > Ilita
	Clorita	31%	
	Plagioclásio	17%	
TM075	Plagioclásio	35%	100% Ilita
	Ilita	23%	
	Hematita	22%	
	Quartzo	20%	
TM084	Quartzo	67%	100% Ilita
	K-Feldspato	33%	
TM089	Quartzo	48%	Clorita > Ilita
	K-Feldspato	29%	
	Galena	24%	

TM057 apresenta uma mistura equilibrada de ilita e clorita, sendo a clorita ligeiramente mais abundante na amostra. A relação fica em torno de 60%/40% (clorita/ilita). A amostra TM063 apresenta 90% de ilita com 10% de caulinita. Em TM065 ocorre 100% um interestratificado de ilita esmectita (I/S). TM067, TM075 e TM084 são constituídos de 100% de ilita.

TM069 contém 75% de clorita e 25% de ilita e TM089, 70% de clorita e 30% de ilita.

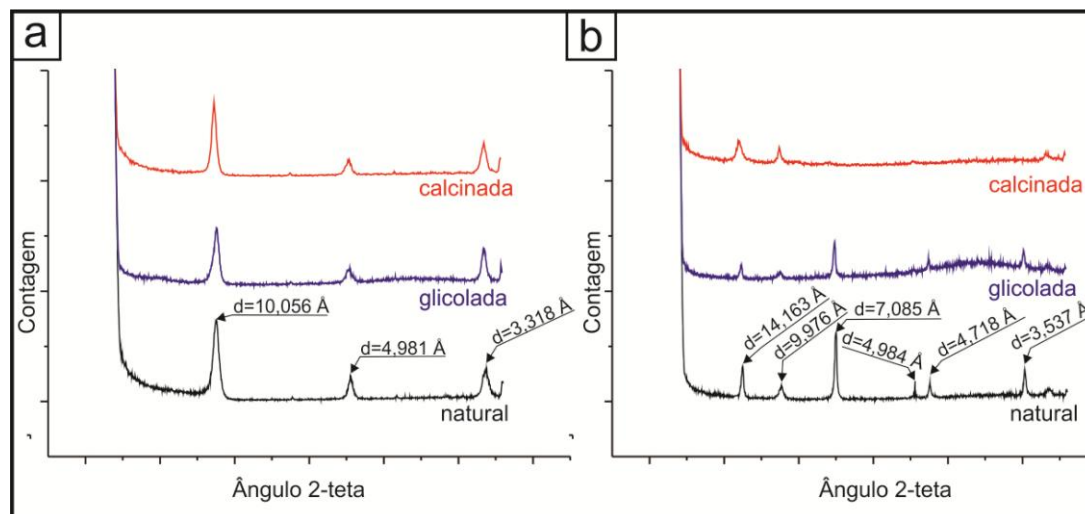


Figura 20: Difratogramas mostrando em a, a presença de ilita ($d=10,056 \text{ \AA}$; $d=4,981 \text{ \AA}$; $d=3,318 \text{ \AA}$), amostra TM063, e em b, ilita ($d=9,976 \text{ \AA}$; $d=4,984 \text{ \AA}$) e clorita ($d=14,163 \text{ \AA}$; $d=7,085 \text{ \AA}$; $d=4,718 \text{ \AA}$; $d=3,537 \text{ \AA}$), amostras.

O estudo da distribuição dos argilominerais associados com a mineralização permitiu a distinção de dois tipos de assembleias: O primeiro tipo consiste na ocorrência de ilita isoladamente, identificada pelos picos (001) em torno de 10,0 Angstroms e (002) 5,0 Angstroms, conforme é mostrado na figura 20a. O segundo padrão de ocorrência de argilominerais é o mostrado na figura 20b. Nela, ilita e clorita coexistem. A ilita é identificada pelos picos, aproximadamente, na mesma posição do anterior. Junto da ilita, no difratograma b é mostrada a ocorrência de clorita, identificada pelos picos a (001) 14,16; (002) 7,08 e (003) 4,71 Angstroms. A zona de alteração clorítica da Mina Uruguai, amostra TM057, consiste, na verdade, de uma mistura de clorita e ilita em proporções muito próximas, enquanto que a zona de clorita + ilita da JSM apresenta clorita > ilita. TM069 apresenta também a mistura de ilita e clorita e mineralização com calcocita, calcopirita e bornita. TM067 apresenta 100% ilita e mineralização à base de calcopirita e em TM075, também 100% ilita, o minério consiste predominantemente de bornita com calcopirita subordinada. Na área de JSM os sulfetos associados ao halo que contém 100% ilita consiste de galena e calcopirita em vacúolos.

4.4. Litogeoquímica

Os dados das análises da química de rocha total (Apêndice C) mostram as variações elementares das rochas associadas à

mineralização, fruto do processo hidrotermal a que foram expostas. Da tabela de resultados, nota-se que as amostras TM063 e TM065 são semelhantes do ponto de vista geoquímico. Ambas representam o estéril em relação à mineralização e, portanto, funcionam como um balizador para a mobilidade elementar. Nas figuras 21, 22, 23 e 24 avalia-se a mobilidade de elementos em relação à perda ao fogo.

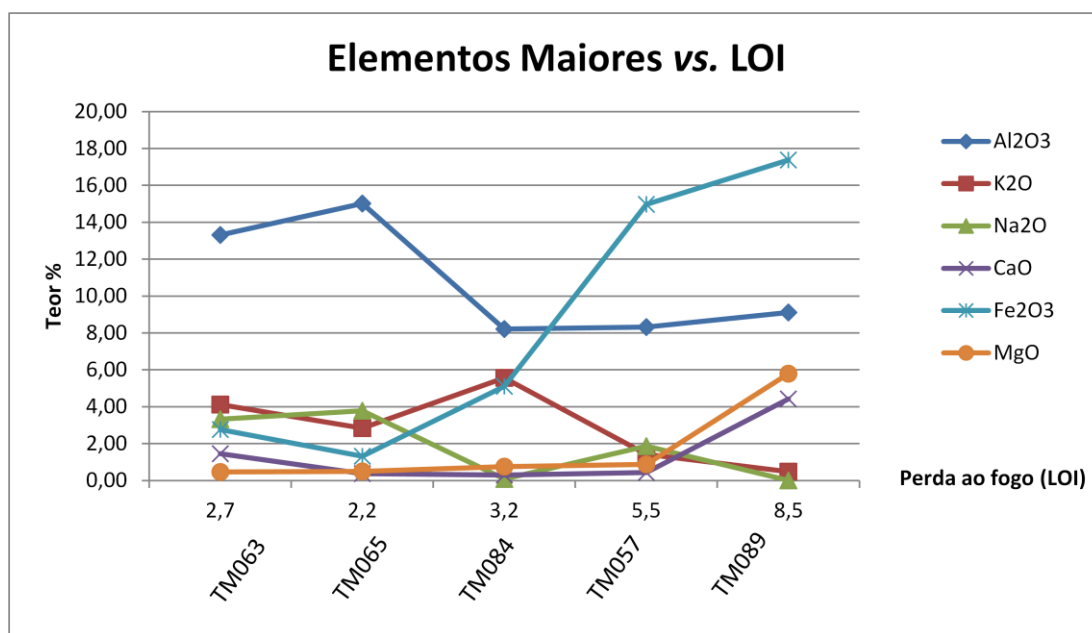


Figura 21: Variação dos elementos maiores (porcentagem em peso dos óxidos) com relação à perda ao fogo.

Na figura 21 destaca-se o comportamento do Al₂O₃, K₂O e Na₂O que tendem a empobrecer-se com o progressivo aumento da perda ao fogo. MgO e CaO tem enriquecimento moderado nas amostras hidrotermalizadas. Já o Fe₂O₃ apresenta um enriquecimento muito expressivo nas amostras alteradas.

A figura 22 apresenta o comportamento do TiO₂ que é utilizado como balizador de tendências de mobilidade devido ao seu comportamento resistato em processos de lixiviação (hidrotermalismo) e carbono total.

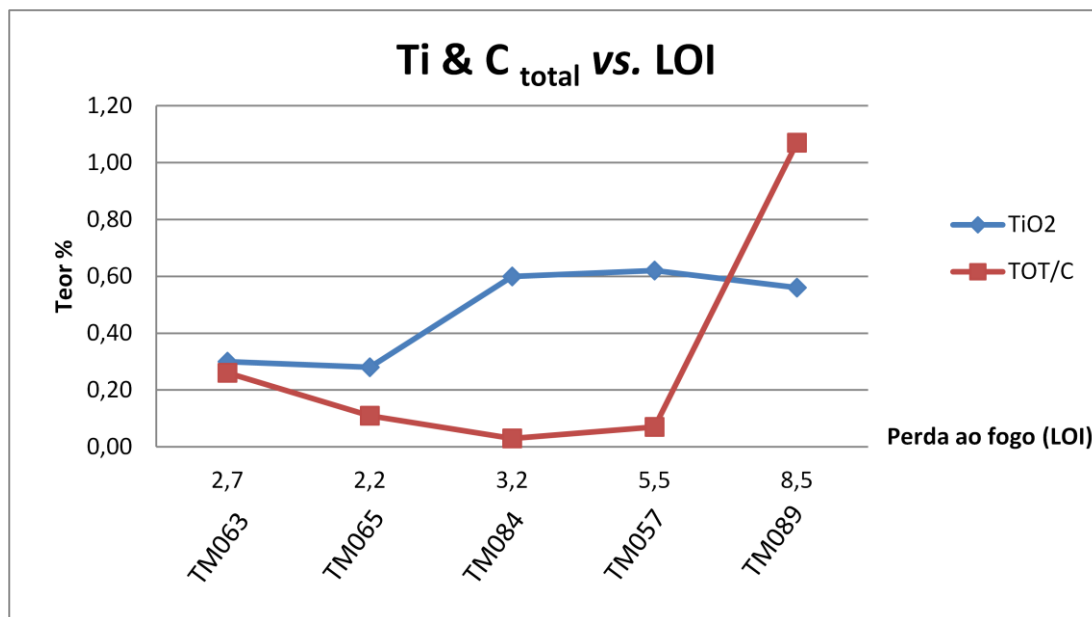


Figura 22: Variação do TiO₂, C_{total} com relação à perda ao fogo.

Titânio apresenta uma tendência a tornar-se relativamente enriquecido nas amostras hidrotermalizadas. O comportamento é estável tanto para as amostras de fora da área da mina ou do estéril da mina como para as amostras hidrotermalizadas, porém há um salto com enriquecimento relativo entre um grupo e outro. O carbono total apresenta um comportamento decrescente desde as amostras menos hidrotermalizadas em diante. Existe, entretanto um pico para a amostra TM089.

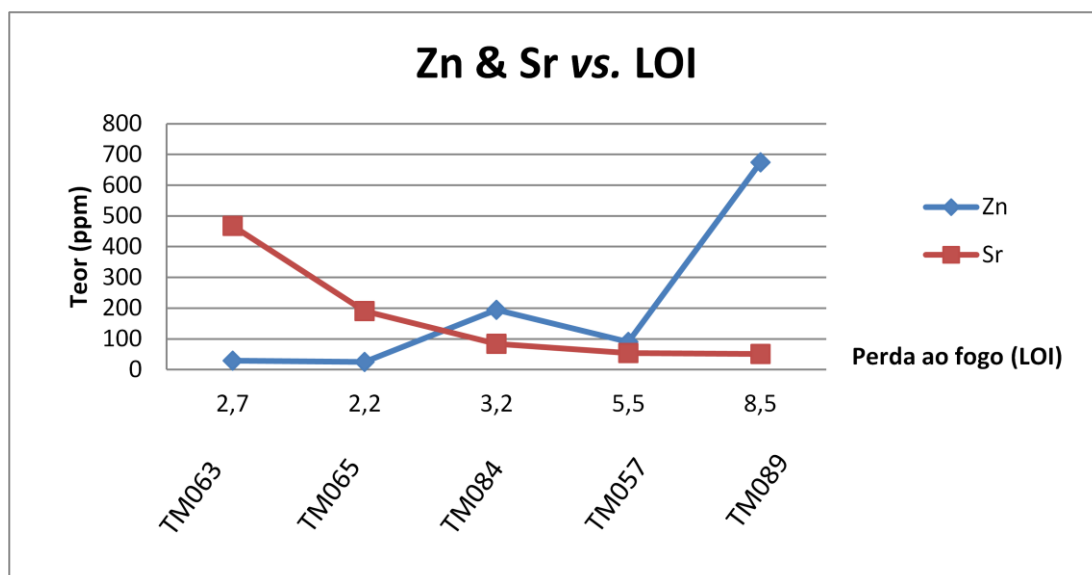


Figura 23: Variação do Zn, Sr com relação à perda ao fogo.

O zinco apresenta uma tendência a enriquecer-se proporcionalmente à medida que avança o hidrotermalismo, perda ao fogo e mineralização, sobretudo para as amostras

TM084 e TM089, da área da JSM. Entretanto, mesmo a amostra mineralizada da Mina Uruguai apresenta teores de zinco.

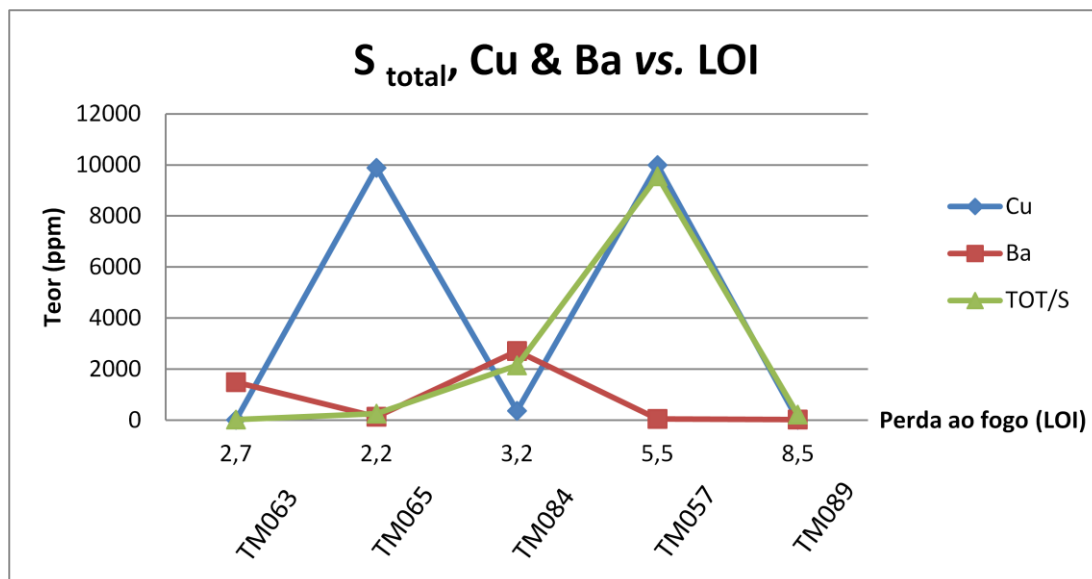


Figura 24: Variação de S total, Cu e Ba com relação à perda ao fogo.

O comportamento do Cu, a partir da figura 24, apresenta oscilações. Os picos em TM065 e TM057 excedem a faixa analítica de detecção para cobre. TM063 e TM089 tem teores próximos do limite de detecção da análise e TM084 apresenta 372ppm de Cu. O Ba tem comportamento contrário ao do Cu, apresentando baixos em TM065, TM057 e TM089 e altos em TM063 e TM084. O Enxofre total apresenta correlação positiva com o Ba para todas as amostras exceto TM063 e TM057.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

5.1. DISCUSSÃO

A área das Minas do Camaquã esteve sob a influência de um importante sistema hidrotermal capaz de afetar um volume expressivo de rochas e formar um importante depósito de interesse científico e econômico.

As áreas são geograficamente próximas e apresentam contexto geológico semelhante. A Área 3 é o maior corpo mineralizado da JSM e a rocha hospedeira é o Arenito Inferior. Os falhamentos NW com o abatimento dos blocos para NE faz com que as áreas da JSM e Mina Uruguai sejam adjacentes atualmente (Lindenberg & Mexias, 2014; Rios, 2012; Santos *et al.*, 2012). Na região da Mina Uruguai as zonas de alteração ilítica e clorítica alternam-se de modo gradativo e/ou abrupto sem que as encaixantes exerçam nenhum controle sobre a geometria destes halos. Em testemunhos de sondagem, (Fig. 8) nota-se uma tendência que a zona da ilita tem de ocorrer em porções superficiais enquanto que a clorita ocorre em zonas profundas, sugerindo a existência de uma estruturação vertical do sistema hidrotermal.

A cloritização tem relação com zonas de pirita disseminada e mineralização à calcopirita \pm bornita. Troian *et al.* (2010) caracterizaram duas gerações de cloritas: a primeira, clorita I (Fe-clinocloro), sendo responsável pela alteração pervasiva da matriz e a segunda, clorita II (Mg-chamosita), restrita aos veios. Estes resultados estão de acordo com o descrito anteriormente, sendo do tipo Fe-clinocloro, essa clorita associada ao minério disseminado da zona da clorita da Mina Uruguai. A mineralogia dos argilominerais vai ao encontro do que é evidenciado pela geoquímica destas amostras, em que há um enriquecimento em Fe_2O_3 , MgO nestes intervalos e portanto a assembleia baseada em argilominerais ferro magnesianos e sulfetos de Fe \pm Cu. Mussel *et al.* (2007) em estudo de espectroscopia Mossbauer demonstraram que a calcopirita da região de Minas do Camaquã tem origem em alta temperatura, da ordem de 250°C (xistos-verdes inferior). Esta afirmação é compatível com a propilitização mostrada por Lindenberg *et al.* (2010).

A zona mineralizada com calcocita \pm bornita, galena + esfalerita e que tem a alteração hidrotermal marcada pela presença de ilita produz sulfetos de muito maior teor de Cu e baixa relação Fe/Cu, dando portanto um minério de cobre de melhor

qualidade, porém em intervalos menores. A afinidade da mineralização nessas zonas é de sulfetos sem ferro (calcocita, galena, esfalerita) e argilominerais potássicos (ilita). O processo que atua ali, diferentemente da zona da clorita, é um concentrador de K_2O (Fig. 21; 100% Iilita, Tabela 2).

As zonas distantes do halo francamente hidrotermal recordam os efeitos do hidrotermalismo ainda que preservem produtos diagenéticos, como o interestratificado de ilita/esmectita (I/S), TM065. O halo muito distal neste sistema seria o que é marcado pelo sulfeto disseminado em *red beds*, do tipo apresentado na figura 11c, d, f, (TM063 e TM065), descrito anteriormente como de origem sedimentar (Gonzales & Teixeira, 1980). O ambiente de sedimentação, entretanto, não é propício para a preservação destes sulfetos devido ao forte caráter oxidante. O sulfeto mostrado na figura 11d sugere a ausência de transporte e sim precipitação *in-situ* a partir de um fluido hidrotermal.

A assembleia com clorita + calcopirita + pirita marca os termos mais redutores de uma zanação que transiciona a um halo com ilita + quartzo + calcocita, nos termos intermediários, gradando até as porções distais com hematita + calcita.

A litogeoquímica em rochas sedimentares mostrou-se uma ferramenta importante, apresentando resultados com fundamento geoquímico quando se tratando de mobilidade de elementos em ambiente hidrotermal.

De modo a aumentar a robustez dos dados de geoquímica (especialmente para os elementos traço) recomenda-se o uso de um *set* maior de amostras com a finalidade de validar estatisticamente os resultados. É importante salientar aqui a dificuldade de trabalhar com amostragem pontual, em testemunhos de sondagem de minério filoneano e disseminado. A probabilidade de haver efeito pepita quando se direciona o estudo para o minério é sempre grande.

Entretanto, observam-se comportamentos importantes tanto para elementos maiores como para elementos traço nas áreas da JSM e Minas do Camaquã. Na figura 21 o ferro apresenta um comportamento importante de enriquecimento com o aumento progressivo da perda ao fogo. Da mesma forma, magnésio e cálcio apresentam *trends* semelhantes. O enriquecimento em ferro e magnésio é esperado, visto que TM057 e TM089 provém de halos com cloritas do tipo Fe-clinocloro, conforme descrito por Troian *et al.* (2010) e visto anteriormente. TM084 não contém clorita, entretanto contém óxidos de ferro e sulfetos na matriz, compatíveis com enriquecimento em ferro muito maior

que o enriquecimento em magnésio. Os valores de cálcio para as zonas de hidrotermalismo podem estar associados à presença da mineralização em vênulas com calcita, como ocorre em TM089 (Fig. 16b). Em TM057 o cálcio deve-se ao fato da encaixante conter altos teores de plagioclásio (38%, Tabela 2). Na_2O , K_2O e Al_2O_3 apresentam tendência a serem reduzidos com a progressão do hidrotermalismo. Ainda conforme a figura 21 vê-se que Al tem seu teor relativamente reduzido, entretanto, apresentam um comportamento aproximadamente estável (em patamar), tanto para rocha estéril/sã quanto para rochas alteradas. Na_2O e K_2O tem comportamento parecido, sendo lixiviados com a progressão da alteração hidrotermal, pela alteração de feldspatos. O pico com enriquecimento de K_2O em TM084 deve-se à presença de illita na amostra (Tabela 2), dado o caráter concentrador de potássio daquele halo. Da figura 22 observa-se o comportamento do TiO_2 , análogo do comportamento descrito para o Al anteriormente, porém com tendência inversa. O TiO_2 também tem variação relativa com comportamento estável para amostras menos e mais alteradas, entretanto, tende a ser mais enriquecido em rochas com mais alto LOI. O C_{total} tem comportamento geralmente inversamente proporcional à LOI, sendo reduzido à medida que avança a alteração hidrotermal. A exceção é a amostra TM089 que apresenta veios de carbonato citados anteriormente (Fig. 16c). O comportamento do Sr, figura 23 é semelhante ao do K_2O , figura 21, devido ao estrôncio substituir o potássio em feldspatos. Portanto a alteração de feldspatos potássicos inevitavelmente libera Sr que apresenta comportamento semelhante ao do K_2O lixiviado no processo de alteração hidrotermal. Já o Zn, figura 23, tende a enriquecer-se com a progressão da alteração hidrotermal, especialmente nas amostras da JSM. Ressaltamos novamente, entretanto, que também o minério de Minas da Mina Uruguai apresenta teores de Zn. A figura 24 apresenta dados sem significado geológico consistente quando comparada em conjunto com dados de petrografia e DRX. TM063, TM065, TM089 tem sulfetos, portanto, os resultados não são conclusivos provavelmente em função do volume reduzido de amostras.

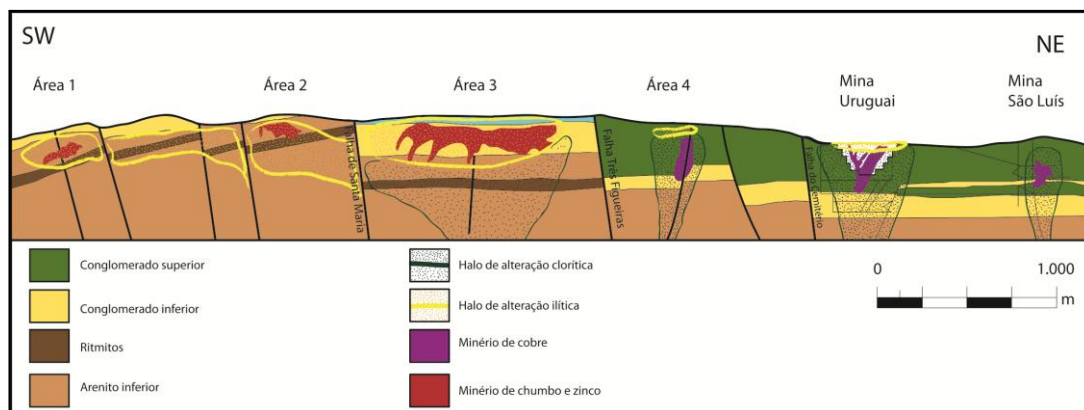


Figura 25: Seção geológica das áreas 1, 2, 3 e 4, (Jazida Santa Maria), Minas Uruguai e São Luís em Minas do Camaquã (Modificado de Rios, 2012).

A seção esquemática apresentada por Rios (2012), figura 25, propõe um halo de alteração íltica envelopando a mineralização à Pb-Zn e um halo hidrotermal clorítica que envolve a mineralização a Cu. O modelo sugere afinidade dos elementos Fe_2O_3 e MgO com o Cu enquanto que zonas ricas em K teriam afinidade com a mineralização à Pb-Zn. A zonação na área da Mina Uruguai apresenta um grande halo clorítico que se alterna localizadamente por zonas de ilitização. É interessante notar que a sulfetação associada aos halos ílticos, clorítico-íltico ou até mesmo presente em estruturas sulfatadas de remobilização (brechas hidráulicas) apresenta texturas de desequilíbrio especificamente com a ilita (Fig. 13c, d; 15d; 16a, 19e). O desequilíbrio parece ser maior quanto menor for o teor de Fe no sulfeto. Esta evidência chama atenção para o fato de haver reações de corrosão dos sulfetos e liberação de Cu para o sistema que pode migrar e concentrar-se em outros níveis, formando outras zonas mineralizadas. Existe a tendência também, na mineralização por bornita de formar coroas com calcopirita e pirita, entretanto o registro destas etapas de minerais progressivamente mais empobrecidos em Cu não acontece com a calcocita, tampouco com galena ou esfalerita, que reagem diretamente com o fluido, possivelmente em função da depleção em Fe, tanto do fluido quanto dos minerais.

5.2. CONCLUSÕES

- Na área das Cavas Uruguai e Piritas o halo de cloritização é dominante com zonas de alteração ilítica localizadas e transição abrupta entre eles. A zona da hematita ocorre localizadamente associada a zonas de falha.
- Em testemunhos de sondagem a zonation hidrotermal na área da Mina Uruguai é de cloritização dominante, principalmente em zonas profundas, com zonas ilitizadas subordinadas que também transicionam entre uma e outra de forma abrupta.
- A mineralização que acompanha a zona da clorita, na área da Mina Uruguai é predominantemente de calcopirita + pirita disseminadas.
- A zona da ilita, na Mina Uruguai, tende a ter a mineralização de calcocita associada a quartzo em veios ou disseminada.
- Na região da JSM a cloritização ocorre em zonas mais profundas associada à pirita e calcopirita disseminadas.
- Existe uma zona de transição, na JSM, em que ilita e clorita ocorrem associadas a sulfetos de Cu-Pb-Zn com pirita e quartzo.
- Sulfetos de Pb-Zn-Cu (sem ferro) são corroídos por quartzo + ilita.
- Sulfetos com baixa razão Cu/Fe (CPy±Bo) que ocorrem associados à clorita transicionam para zonas com ilita associada a sulfetos de alta razão Cu/Fe (Cc±Bo), passando por termos intermediários onde há a sobreposição dos dois extremos.
- O uso do método de litogeoquímica em rochas sedimentares em depósitos hidrotermais mostrou-se de grande importância:
 - A correlação entre elemento X vs. perda ao fogo é útil na determinação da mobilidade de determinado elemento durante o hidrotermalismo.
 - Elementos maiores apresentaram resultados consistentes.
 - Elementos traço precisam de maior volume de dados para ser representativos.
 - Futuramente será possível estabelecer parâmetros para o reconhecimento e quantificar (balanço de massa) o efeito da alteração hidrotermal sobre determinado horizonte litológico.
- Os principais marcadores da alteração hidrotermal para a região da Mina Uruguai e Jazida Santa Maria foram Fe_2O_3 e MgO, que tendem a enriquecer-se com o aumento de LOI.

- K_2O marca as zonas de alteração de feldspatos e consequentemente o empobrecimento em K_2O , bem como as áreas de ilitização, onde K_2O é concentrado.
- As zonas de cloritização contém ilita subordinadamente da mesma forma como zonas com ilitização têm clorita, entretanto existe a tendência de formação de zonas de ilita pura (100% ilita).
- A transição zona da clorita - zona da ilita ocorre de modo muito mais abrupto na Mina Uruguai.
- Mesmo as regiões distais (2,5 km) da mina apresentam produtos de alteração hidrotermal.

REFERÊNCIAS

BADI, W.S.R., GONZALES, A.P. Jazida Santa Maria. Pb e Zn no Membro Vargas-RS. In: Congresso Brasileiro de Geologia 31, 1980. Balneário Camburiú, SC. **Anais do Congresso**. 1980.

BECKEL, J. Metalogenia del Cu, Pb y Zn en la cuenca de Camaquã durante El Ciclo Orogenico Brasileiro, Rio Grande do Sul (Brasil). Tese de Doutorado. Universidade de Salamanca, Salamanca, Spain, 274p. 1990.

BETTENCOURT, J.S.; A Mina de Cobre de Camaquã, Rio Grande do Sul. Universidade Federal de São Paulo. Tese de Mestrado. 1972.

_____; Mineralogie, inclusions fluides et isotopes stables d'oxygene et de soufre de la mine de cuivre de Camaquã, RS (une étude preliminaire). Congresso Brasileiro de Geologia, 29, Ouro Preto, MG. Anais, SBG, v.2, pp. 409-423, 1976.

BICCA, Marcos Müller; CHEMALE JR, Farid; JELINEK, Andrea Ritter; OLIVEIRA, Christie Helouise Engelman de; GUADAGNIN, Felipe; ARMSTRONG, Richard. Tectonic evolution and provenance of the Santa Bárbara Group, Camaquã Mines region, Rio Grande do Sul Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**. Elsevier v. 48 p. 173-192, 2013.

BORBA, A.W. **Evolução geológica da “Bacia do Camaquã” (Neoproterozoico e Paleozoico inferior do Escudo Sul-riograndense, RS, Brasil): uma visão com base na integração de ferramentas de estratigrafia, petrografia e geologia isotópica**. 2006. 121p. Tese (Doutorado em Ciências) – Instituto de Geociências, Curso de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

_____; Mizusaki, A.M.P. Santa Bárbara Formation (Caçapava do Sul, southern Brazil): depositional sequences and evolution of an Early Paleozoic postcollisional basin. *Journal of South American Earth Sciences*, Pergamon, v. 16, p. 365-380, 2003.

CANARIM, D.M. **Metalogenia das Minas do Camaquã, RS. Contribuição petrográfica, química e de isótopos estáveis**. 2009. 92f. Monografia (Graduação) – Instituto de Geociências, Curso de Geologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

FAMBRINI, G.L.; JANIKIAN, L.; ALMEIDA, R.P.; FRAGOSO-CESAR, A.R.S. Evolução Estratigráfica e Paleogeográfica do Grupo Santa Bárbara (Ediacarano) na Sub-bacia Camaquã

Central, RS. **Revista do Instituto de Geociências**, São Paulo, v. 7, p. 1-24, 2007.

_____; JANIKIAN, L.; ALMEIDA, R.P.; FRAGOSO-CESAR, A.R.S. O grupo Santa Bárbara (Ediacarana) na sub-bacia Camaquã central, RS: Estratigrafia e sistemas deposicionais. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 35, p. 227-238, 2005.

GOMES, C.B.; FORMOSO, M.L.L; TRESCASES, J.J. **Técnicas analíticas instrumentais aplicadas a geologia**. São Paulo, Edgar Blucher, 1984. 218p.

GONZALES, M.A.; TEIXEIRA, N. Considerações sobre a estratigrafia e ambientes de sedimentação da Região das Minas do Camaquã. In: Congresso Brasileiro de Geologia, vol. 31, pp. 1513, 1980. Camboriú, Brasil. **Anais do Congresso**, 1980.

HARRES, M.M. Minas do Camaquã (Caçapava do Sul, RS): A Exploração do Cobre no Rio Grande do Sul. In: RONCHI, Luiz Henrique; LOBATO, Anderson Orestes Cavalcante (Ed.). **Minas do Camaquã, um estudo multidisciplinar**. São Leopoldo: Ed. UNISINOS, 2000. p. 21-53.

HARTMANN, L.A.; CHEMALE JR, F.; PHILIPP, R.P. Evolução geotectônica do Rio Grande do Sul no Pré-Cambriano. In: IANNUZZI, Roberto; FRANTZ, José Carlos (Ed.). **50 anos de Geologia, Instituto de Geociências. Contribuições**. Porto Alegre: Comunicação e Identidade, 2007. p. 97-141

JANIKIAN, L.; ALMEIDA, R.P.; FRAGOSO-CESAR, A.R.S.; MARTINS, V.T.S.; DANTAS, Elton Luis; TOHVER, Eric; MCREATH, Ian; D'AGRELLA-FILHO, Manoel Souza. Ages (U-Pb SHRIMP and LA ICPMS) and stratigraphic evolution of the Neoproterozoic volcano-sedimentary successions from the extensional Camaquã Basin, Southern Brazil. **Gondwana Research**, Elsevier, v. 21, p. 466-482, 2012.

_____; ALMEIDA, R.P.; TRINDADE, R.I.F.; FRAGOSO-CESAR, A.R.S.; D'AGRELLA-FILHO, Manoel Souza; DANTAS, Elton Luis; TOHVER, Eric. The continental record of Ediacaran volcano-sedimentary successions in southern Brazil and their global implications. **Terra Nova**, Blackwell Publishing Ltd, v. 20, p. 259-266, 2008.

LAUX, J.H.; LINDENMEYER, Z.G.; TEIXEIRA, J.B. G., NETO, A.B. Ore Genesis at the Camaquã copper mine, a neoproterozoic sediment-hosted deposit in Southern Brazil. **Ore Geology Reviews**, Elsevier, v. 26, p. 71-89, 2005.

_____, LINDENMEYER, Z.G. As Minas do Camaquã: Um século de evolução de hipóteses genéticas. In: RONCHI, Luiz Henrique; LOBATO, Anderson Orestes Cavalcante (Ed.). **Minas do Camaquã, um estudo multidisciplinar**. São Leopoldo: Ed. UNISINOS, 2000. p. 133-163.

_____. **Caracterização da Mineralização Cupro-Aurífera de uma parte do setor subterrâneo da Mina Uruguai, Caçapava do Sul-RS**. 1999. 135 f. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Programa de Pós-Graduação em Geologia, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 1999.

LICHT, O.B. A descoberta da Jazida Santa Maria (Zn, Pb, Cu) Rio Grande do Sul – Brasil: Um caso histórico da prospecção geoquímica. In: Congresso Brasileiro de Geologia 31, 1980. Balneário Camboriú, SC. **Anais do Congresso**. 1980.

LIMA, et al., 1998

LINDENBERG, M.T.; MEXIAS, A.S. Resultados do Estudo Comparativo da Mineralização à Cobre dos Depósitos de Minas do Camaquã e Jazida Santa Maria, Caçapava do Sul/RS. In: Salão de Iniciação Científica 26, 2014. Porto Alegre, RS, **Livro de Resumos**. Porto Alegre UFRGS, 2014.

LINDENBERG, M.T.; MCGREGOR, F.; COSTA, J.A.; CANARIM, D.M.; MEXIAS, A.S.; GOMES, M.E.B. Alterações hidrotermais versus diagênese nas rochas sedimentares das Minas do Camaquã/RS. Estudo químico-mineralógico das cloritas. In: Salão de Iniciação Científica 22, 2010. Porto Alegre, RS, **Livro de Resumos**. Porto Alegre UFRGS, 2010.

MARJORIBANKS, R. **Geological Methods in Mineral Exploration and Mining**. Berlin, Ed. Springer. 2010. 248p.

MUSSEL, W.N.; MURAD, E., FABRIS, J.D.; MOREIRA, W.S., BARBOSA, J.B.S.; MURTA, C.C.; ABRAHÃO, W.P.; DE MELLO, J.W.V.; GARG, V.K. Characterization of a chalcopyrite from Brazil by Mossbauer spectroscopy and other physiochemical techniques. **Physical and Chemical Minerals**, v.34, p. 383-387, 2007.

PAIM, P.S.G.; CHEMALE JR, F.; LOPES, R.C. A Bacia do Camaquã. In HOLZ, Michael, DE ROS, Luis Fernando (Ed.). **A Geologia do Rio Grande do Sul**. CICO/UFRGS, 2000 p. 231-274.

_____; LOPES, R.C. Geologia da região das Minas do Camaquã. In: RONCHI, L.H.; LOBATO, A.O.C. (Ed.). **Minas do**

Camaquã, um estudo multidisciplinar. São Leopoldo: Ed. UNISINOS, 2000. p. 111-131.

REMUS, M.V.D.; HARTMANN, L.A.; MCNAUGHTON, N.J.; GROVES, D.I.; REISCHL, J.L. Distal magmatic-hydrothermal origin for the Camaquã Cu (Au-Ag) and Santa Maria Pb, Zn (Cu-Ag) Deposits, Southern Brazil. **Gondwana Research**, International Association for Gondwana Research, v. 3 p. 155-174, 2000.

_____; HARTMANN, L.A.; MCNAUGHTON, N.J.; FLETCHER, I.R. The link between hydrothermal epigenetic copper mineralization and the Caçapava Granite of the Brasiliano Cycle in southern Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, Pergamon, v. 13, p. 191-216, 2000.

RENAC, C.; MEXIAS, A.S., GOMES, M.E.B.; RONCHI, L.H.; NARDI, L.V.S.; LAUX, J.H. Isotopic fluid changes in a porphyry-epithermal system (Uruguai Mine, RS, Brazil). **In press: Ore Geology Reviews.**

RIBEIRO 1991

RIOS, F.S.. **Caracterização petrográfica e mineralógica da alteração hidrotermal no depósito de Pb-Zn-(Cu-Ag) de Santa Maria, distrito mineiro de Camaquã (RS).** 2012. 104 f. Monografia (Graduação) – Instituto de Geociências, Curso de Graduação em Geologia, Universidade Federal de São Paulo, São Paulo, 2012.

RONCHI, L.H.; LINDENMEYER, Z.G.; BASTOS NETO, A.; MURTA, C.R. Stockwork e a zonação do minério sulfetado no arenito inferior da Mina Uruguai, RS. In: RONCHI, Luiz Henrique; LOBATO, Anderson Orestes Cavalcante (Ed.). **Minas do Camaquã, um estudo multidisciplinar.** São Leopoldo: Ed. UNISINOS, 2000. p. 165-189.

SANTOS, M.G.M.; ALMEIDA, R.P.; FRAGOSO-CESAR, A.R.S. Paleostress analysis in brittle structures of the Camaquã Copper Mines. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 42 (3), p. 573-584, 2012.

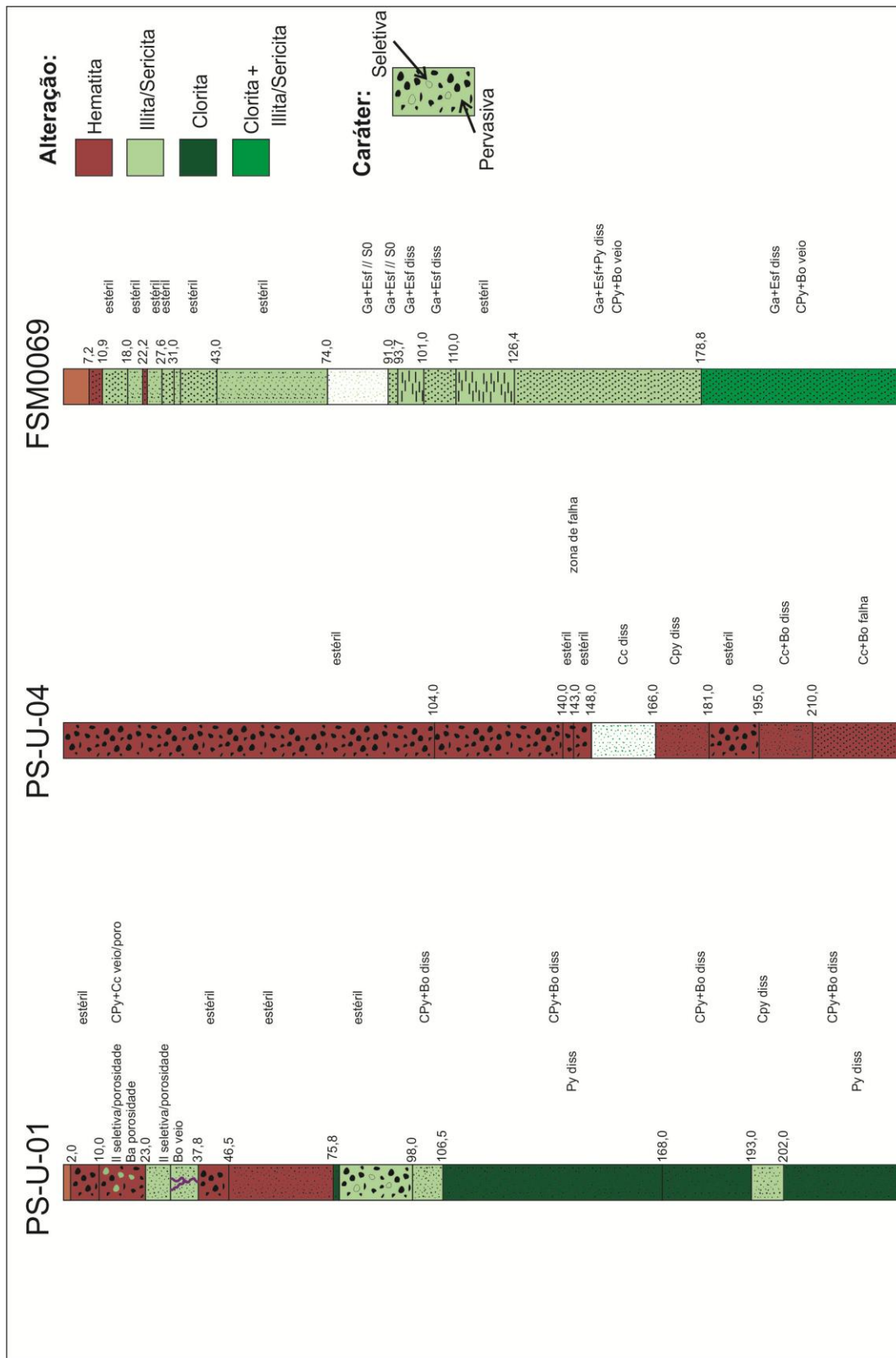
TRAVASSOS, R.P.; DANTAS, E.L.; BONIATTI, J.H.; FRUCHTING, A.; LAGO; S.B.; TOMAZONI NETO, F.; FREITAS, R.F.; 2014. Aeromagnetometria aplicada na interpretação estrutural regional do Escudo Sul-Rio-Grandense, RS. **In: VI Simpósio Brasileiro de Geofísica**, 4, 2014 Porto Alegre. Anais, SBGf, Porto Alegre/RS, v. 1, pp. 1-5.

TROIAN, G.C.; MEXIAS, A.S.; GOMES, M.E.B.; CANARIM, D.; PATRIER-MAS, P.; RENAC, C. A cloritização na Mina Uruguai, Minas do Camaquã, RS, Brasil. **Pesquisas em Geociências**, UFRGS, v. 37 (3), p. 173-190, 2010.

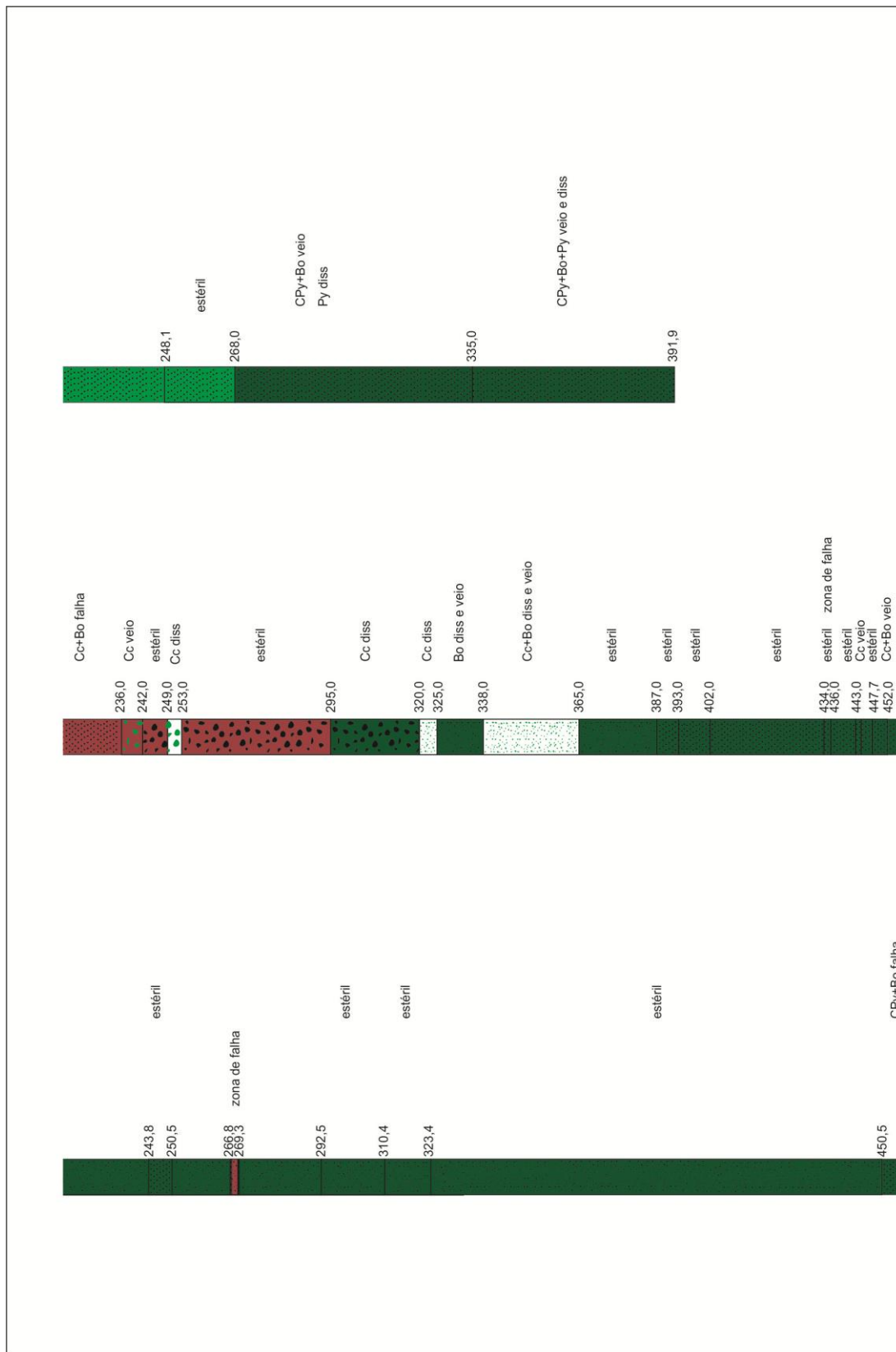
VEIGEL, R.; DARDENNE, M.A. Paragênese e sucessão mineral nas diferentes etapas de evolução da mineralização Cu-Pb-Zn do Distrito Camaquã-RS. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 20, pp. 55-67, 1990.

WILDNER, W.; LIMA, E.F.; NARDI, L.V.S., SOMMER, C.A. Volcanic cycles and setting in the Neoproterozoic III to Ordovician Camaquã Basin succession in southern Brazil: characteristics of post-collisional magmatism. **Journal of volcanology and geothermal research**, Elsevier, v. 118, p. 261-283, 2002.

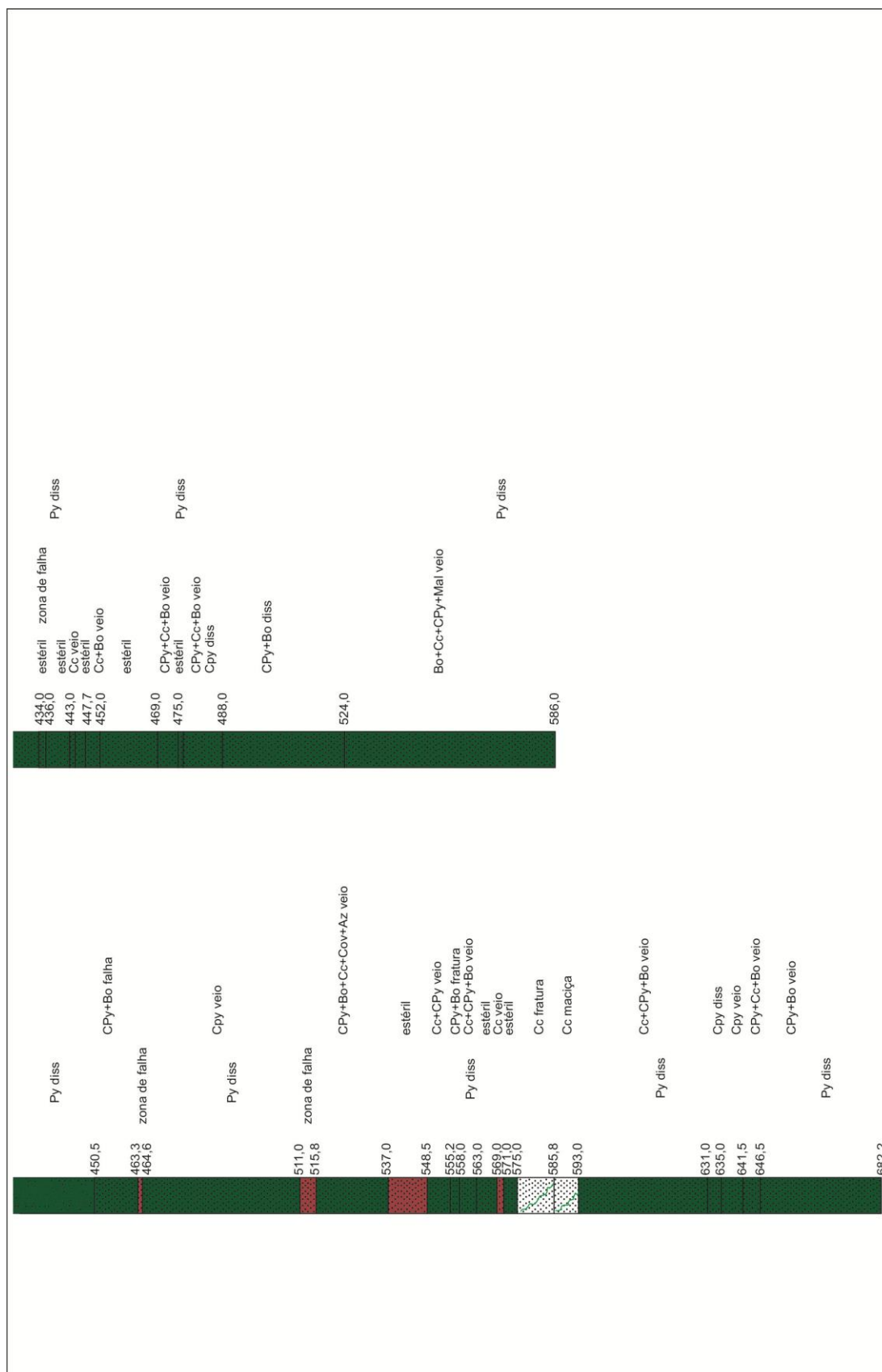
APÊNDICE A



APÊNDICE A



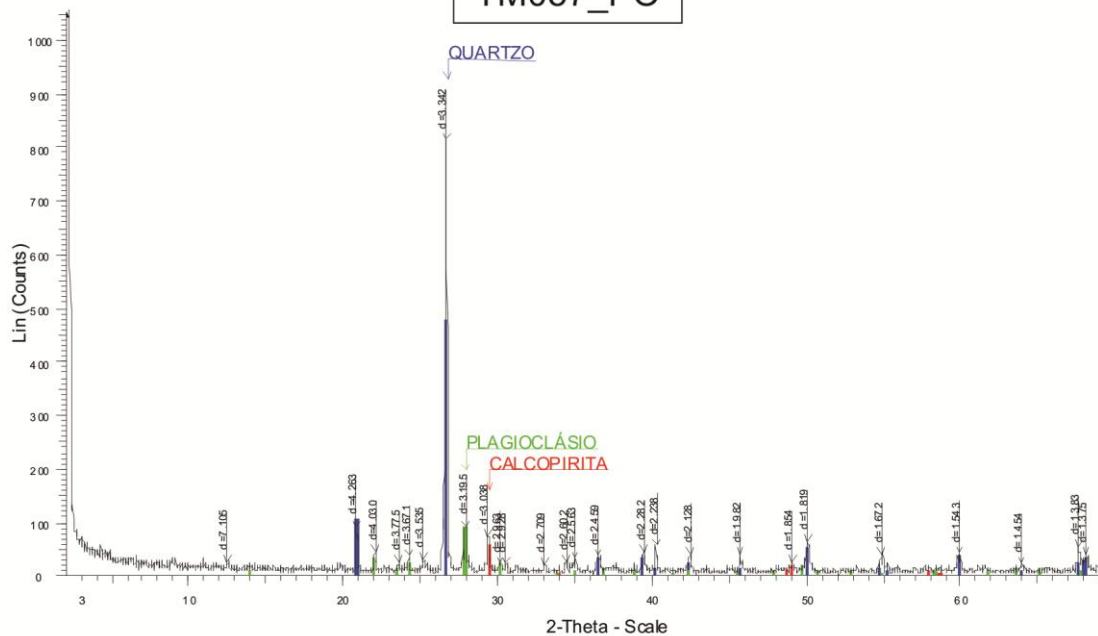
APÊNDICE A



APÊNDICE B

Difratogramas de Raios X: Análise do pó

TM057_PO



TM057_PO - File: TM057_PO.RAW - Tune: 2Th/Th locked - Start: 2.000° - End: 72.000° - Step: 0.020° - Step time: 1 s - Temp: 26 °C (Room) - Time Started: 2 s - 2-Theta: 2.000° - Theta: 1.000° - Phi: 0.00° - Au: 0

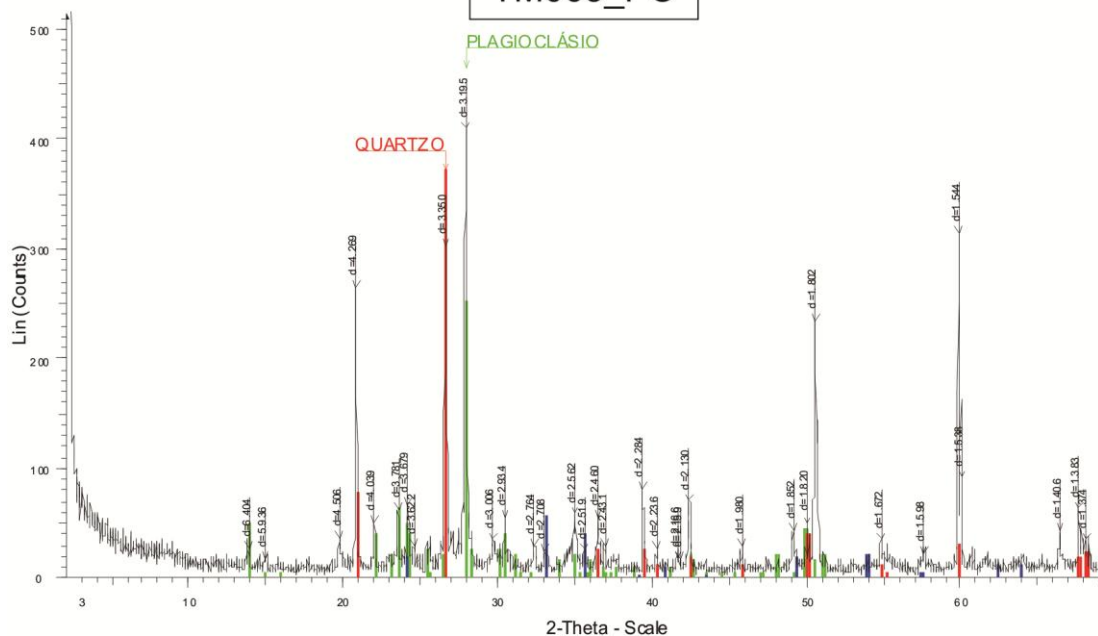
Operation: Import

01 293-0983 (C) - Chalcocite - Cu₂FeS₂ - Y: 2.17% - d x hv: 1 - WI: 1.5406 - Tetragonal - In: PDF 7-6 - S.O: 3.0%

01 293-0539 (C) - Quartz - SiO₂ - Y: 17.66% - d x hv: 1 - WI: 1.5406 - Hexagonal - In: PDF 3-1 - S.O: 61.3%

01 201-0739 (D) - Albite - NaAlSi₃O₈ - Y: 3.34% - d x hv: 1 - WI: 1.5406 - Triclinic - In: PDF 1 - S.O: 36.6%

TM063_PO



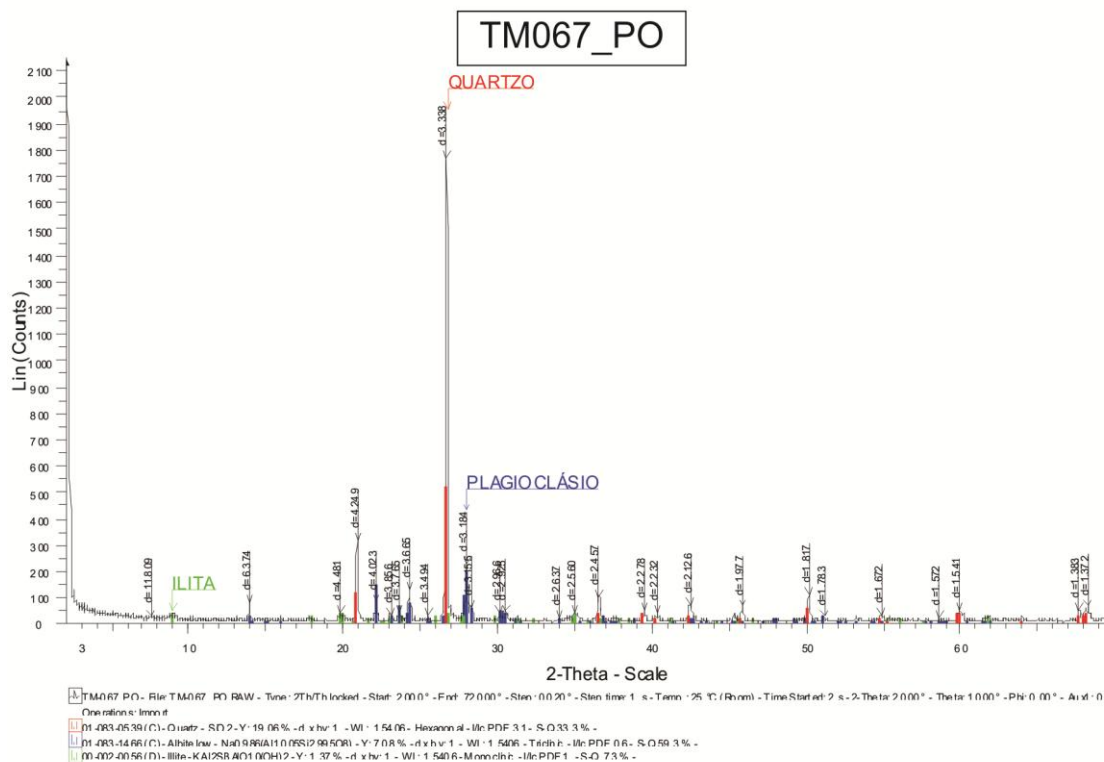
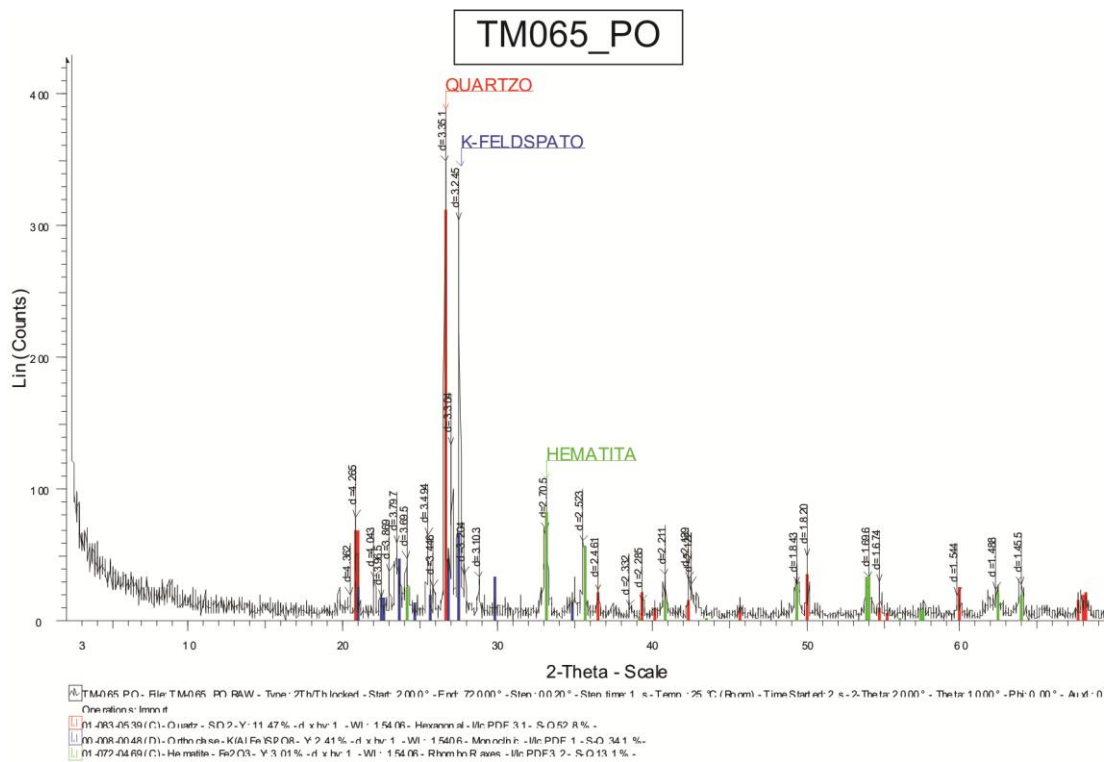
TM063_PO - File: TM063_PO.RAW - Tune: 2Th/Th locked - Start: 2.000° - End: 72.000° - Step: 0.020° - Step time: 1 s - Temp: 26 °C (Room) - Time Started: 2 s - 2-Theta: 2.000° - Theta: 1.000° - Phi: 0.00° - Au: 0

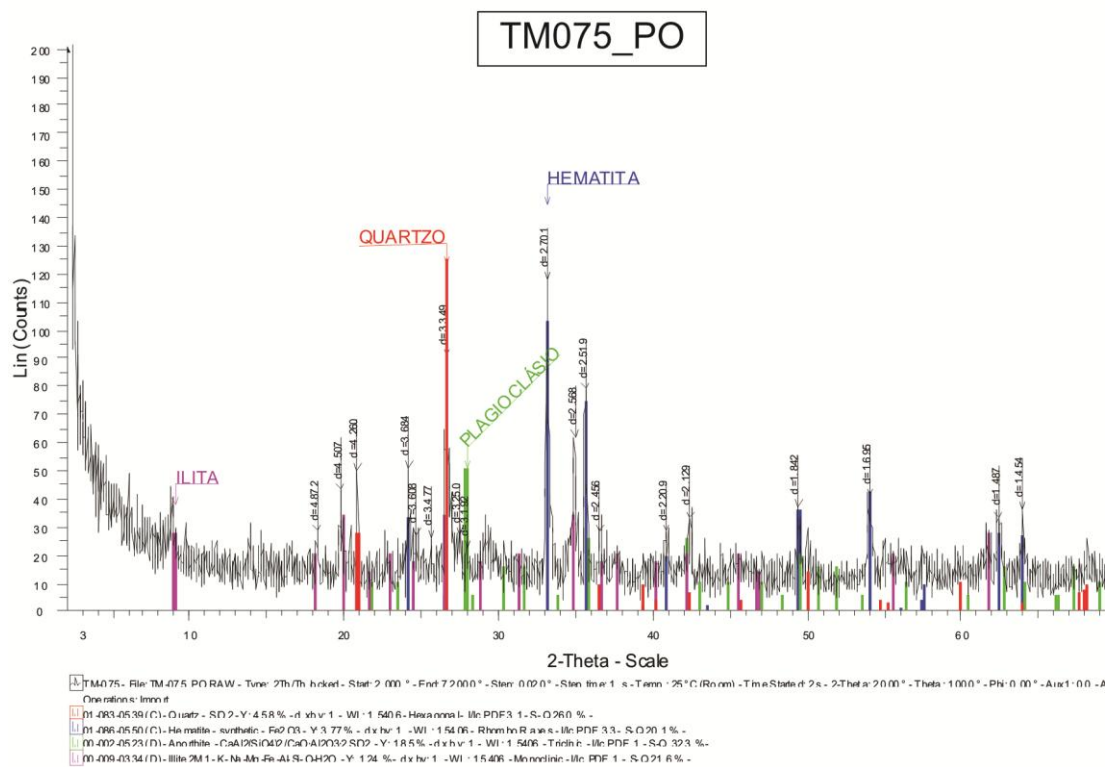
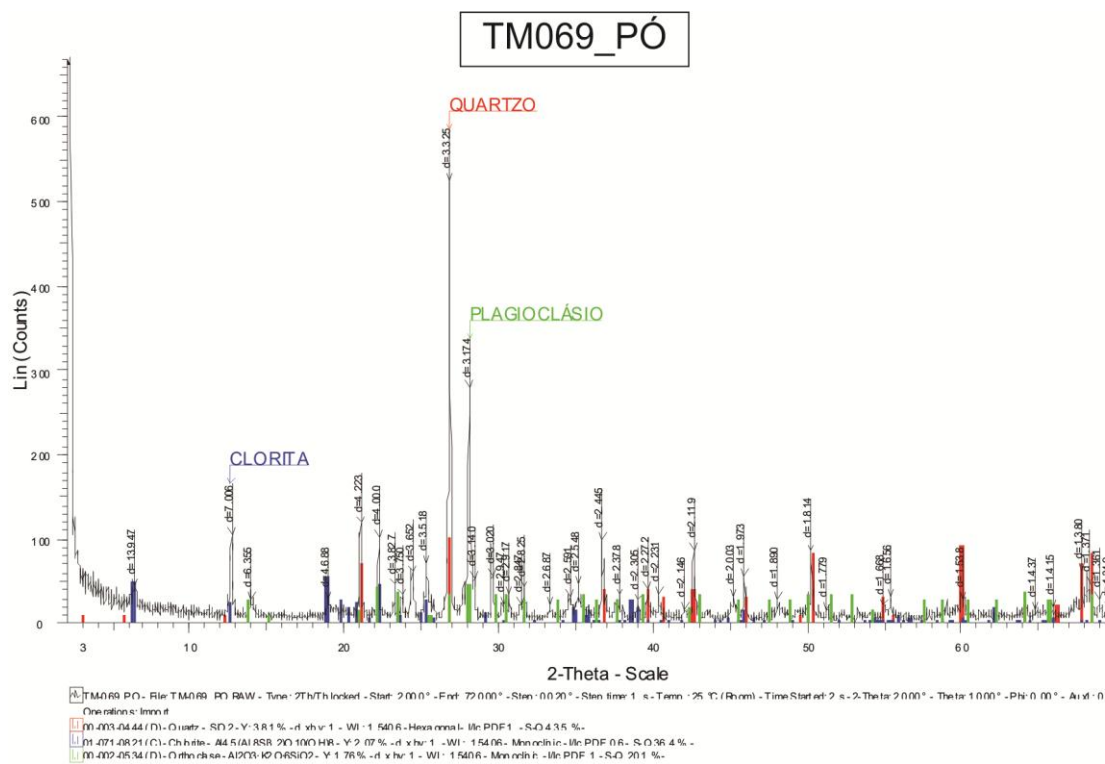
Operation: Import

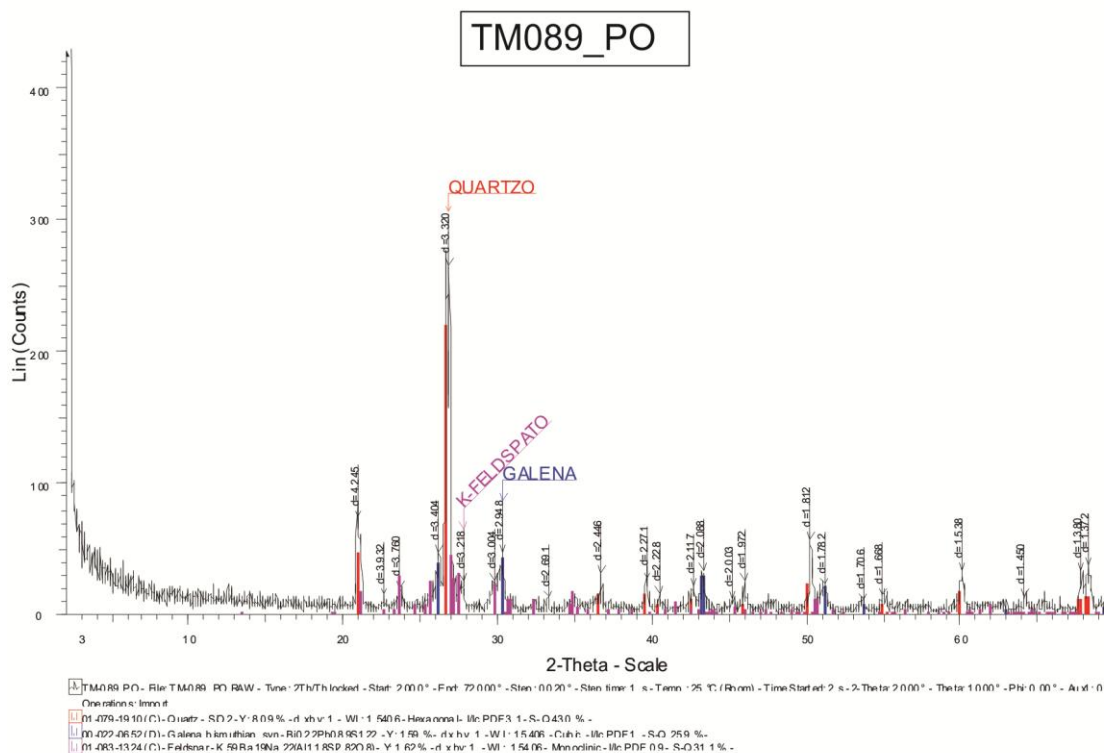
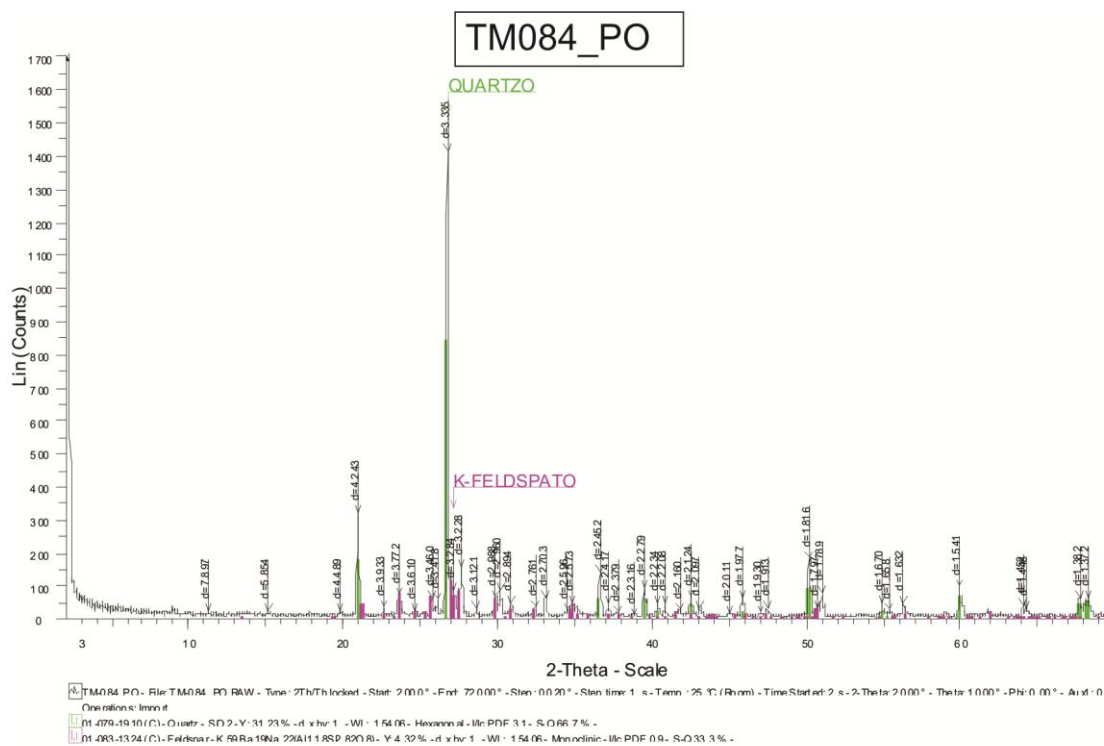
01 009-0466 (T) - Albite - NaAlSi₃O₈ - Y: 9.26% - d x hv: 1 - WI: 1.5406 - Triclinic - In: PDF 2-1 - S.O: 4.02%

01 079-1910 (C) - Quartz - SiO₂ - Y: 13.69% - d x hv: 1 - WI: 1.5406 - Hexagonal - In: PDF 3-1 - S.O: 40.7%

01 224-0072 (D) - Hematite - Fe₂O₃ - Y: 2.10% - d x hv: 1 - WI: 1.5406 - Rhombohedral - In: PDF 1 - S.O: 19.1%

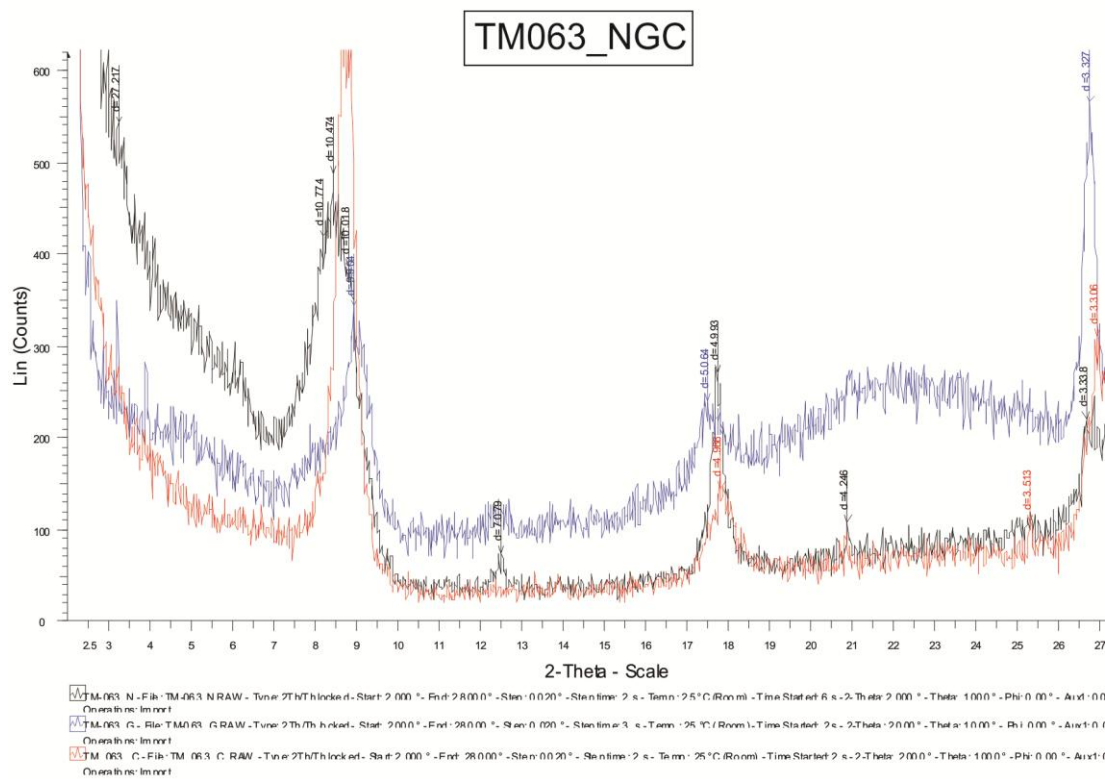
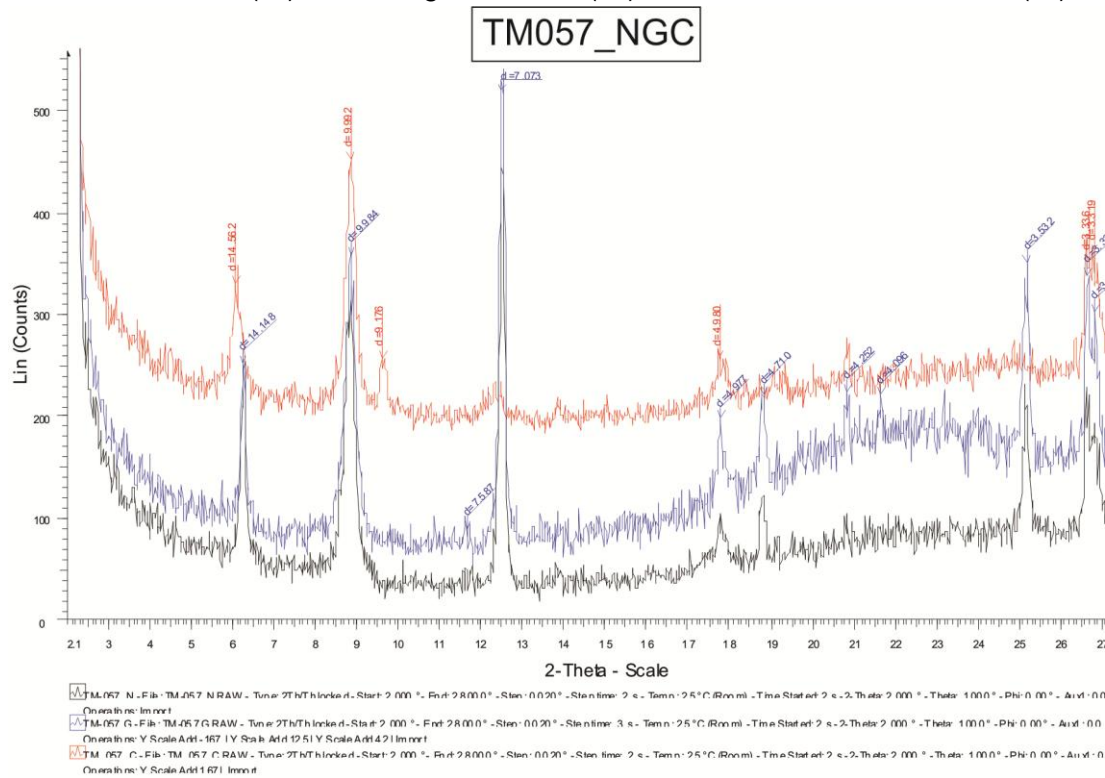




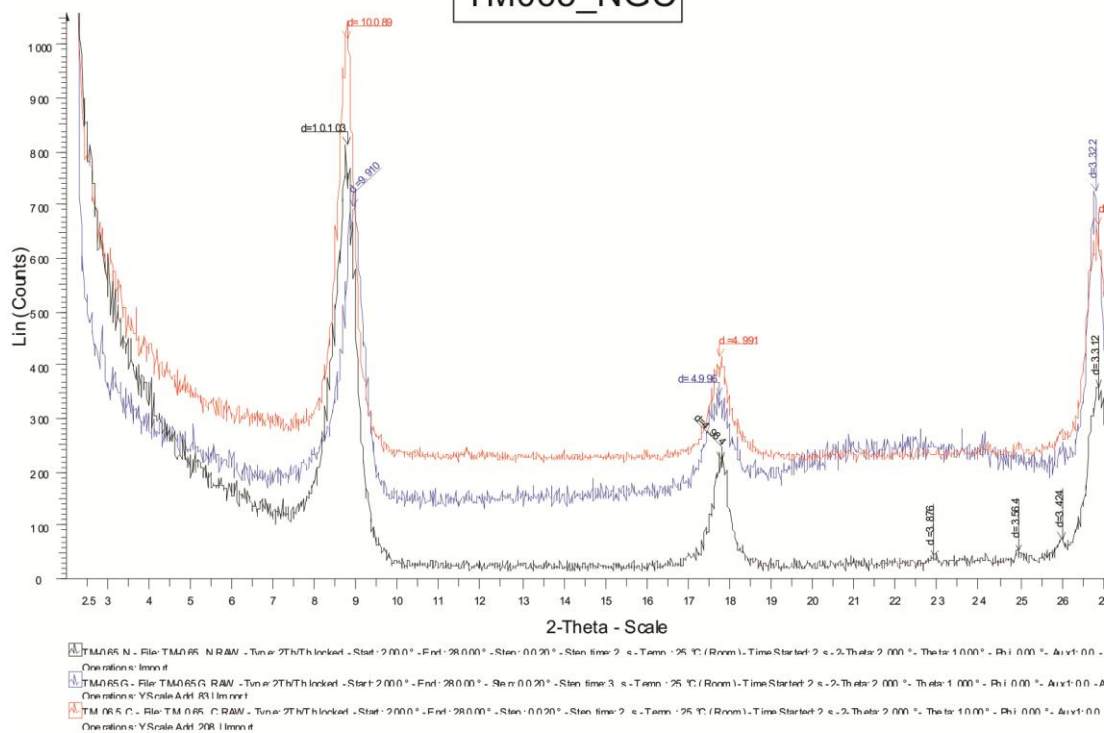


Difratogramas de Raios X: Caracterização dos argilominerais

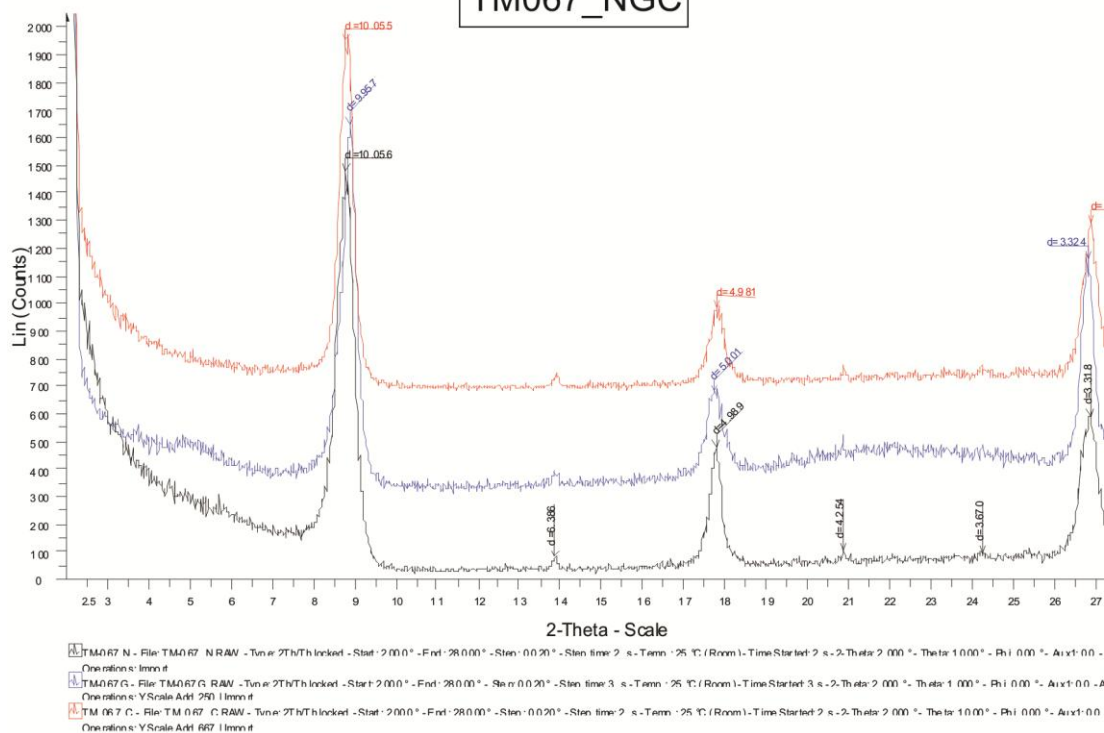
Preto: natural (N); Azul: glicolada (G); Vermelho: calcinada (C)



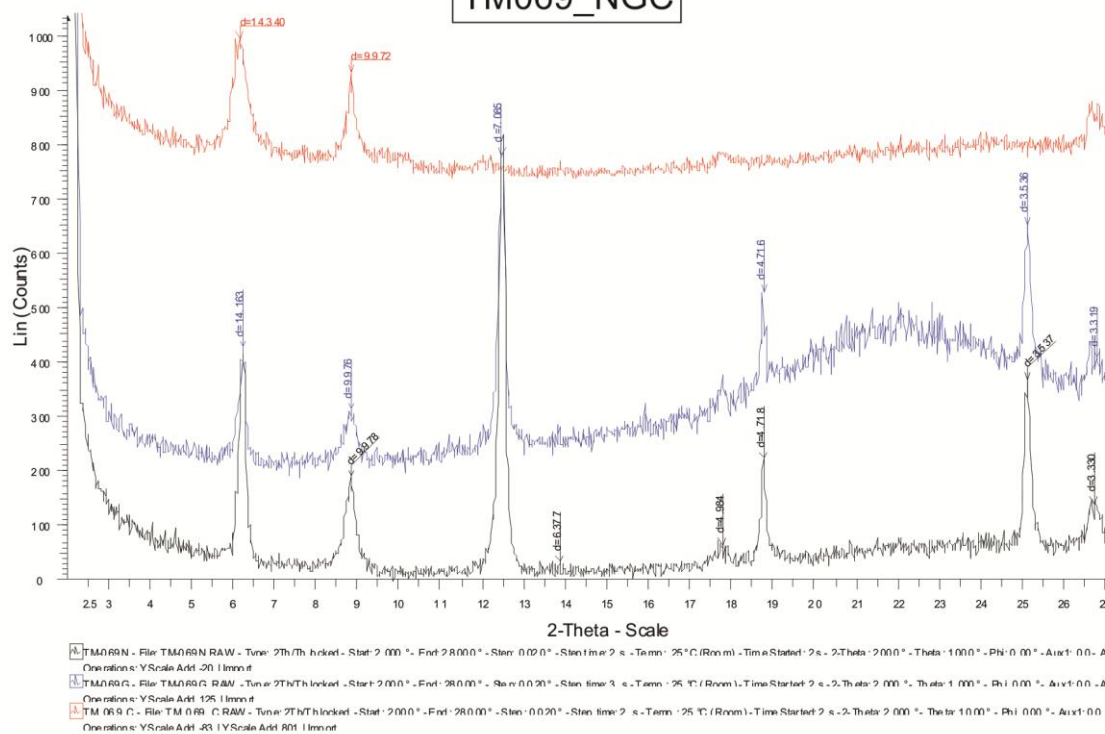
TM065_NGC



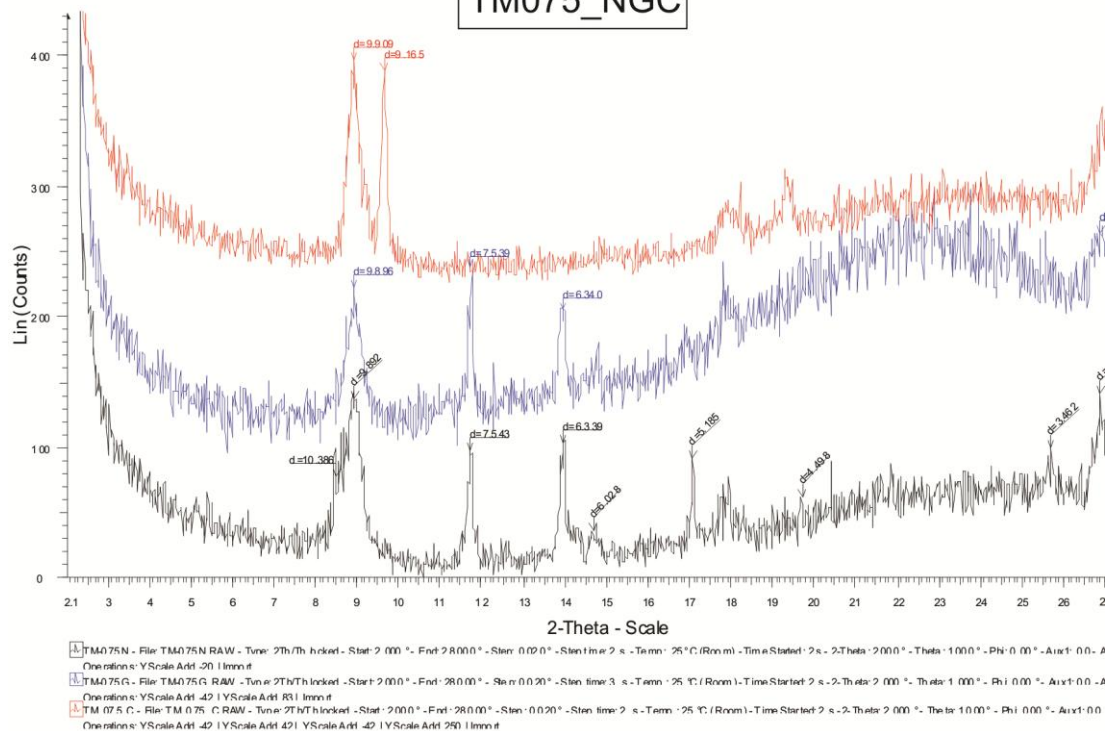
TM067_NGC



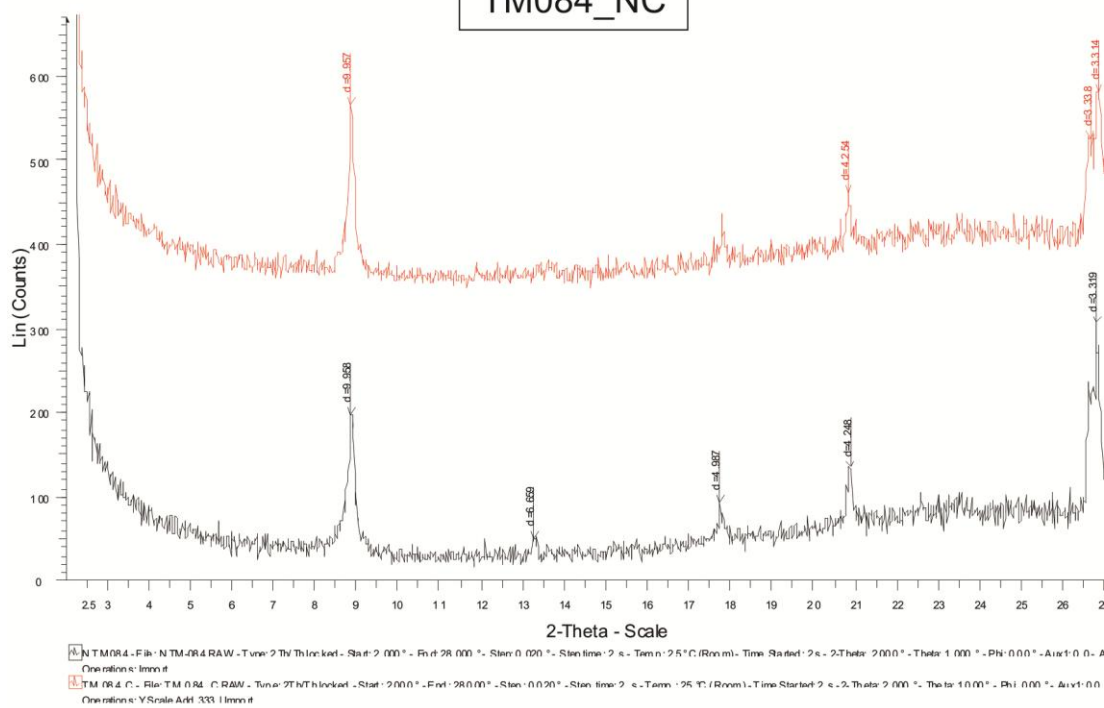
TM069_NGC



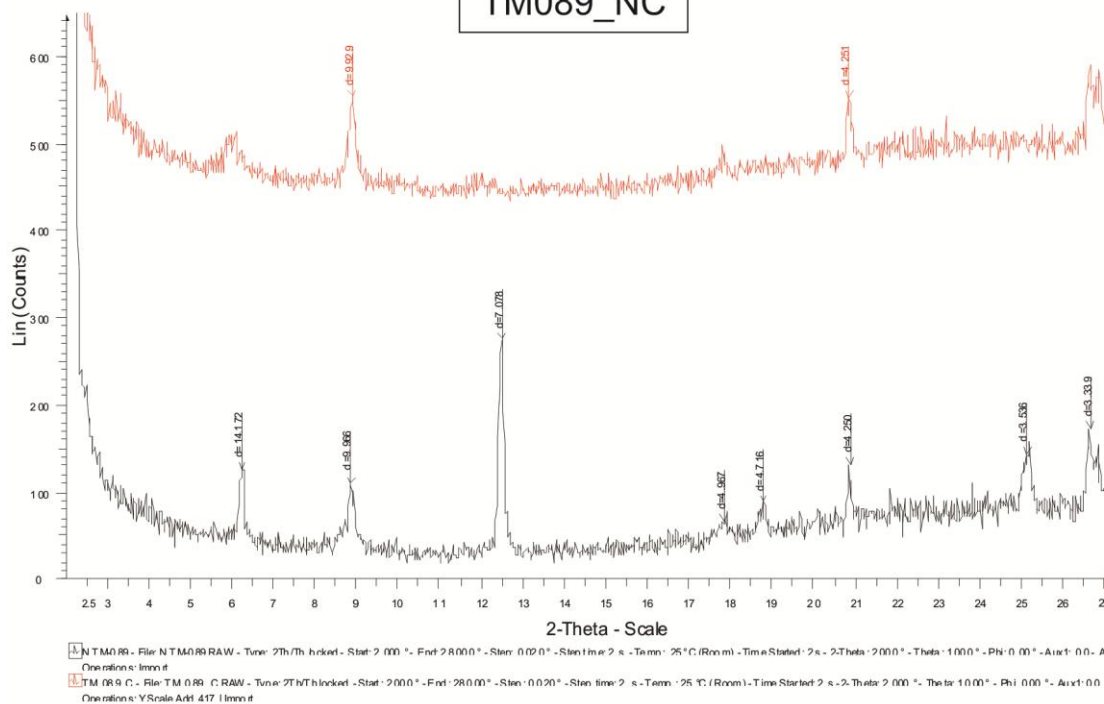
TM075_NGC



TM084_NC



TM089_NC



APÊNDICE C

Resultados de litogeoquímica

Analito	Unidade	Amostra				
		TM-063	TM-057	TM-065	TM-084	TM-089
SiO ₂	%	71,07	59,46	72,3	75,45	52,87
Al ₂ O ₃	%	13,31	8,32	15,02	8,22	9,11
K ₂ O	%	4,12	1,42	2,84	5,57	0,48
Na ₂ O	%	3,33	1,86	3,78	0,09	0,01
CaO	%	1,46	0,44	0,37	0,29	4,43
Fe ₂ O ₃	%	2,76	14,97	1,31	5,1	17,37
MgO	%	0,46	0,88	0,5	0,75	5,8
MnO	%	0,08	0,02	<0.01	0,03	0,52
P ₂ O ₅	%	0,11	0,21	0,09	0,21	0,13
TiO ₂	%	0,3	0,62	0,28	0,6	0,56
Cr ₂ O ₃	%	0,004	0,015	0,004	0,009	0,009
LOI	%	2,7	5,5	2,2	3,2	8,5
TOT/C	%	0,26	0,07	0,11	0,03	1,07
TOT/S	%	<0.02	9,56	0,26	2,15	0,22
Cu	PPM	10	>10000	9881	372	11
Ba	PPM	1483	52	134	2715	21
Zn	PPM	29	90	25	195	675
Ce	PPM	71	<30	59	58	<30
Co	PPM	<20	<20	<20	31	22
Nb	PPM	8	16	22	10	11
Ni	PPM	<20	50	<20	<20	21
Sc	PPM	3	8	3	6	6
Sr	PPM	468	54	191	84	51
Y	PPM	15	8	22	16	22
Zr	PPM	208	449	338	340	184
Soma	%	100	99,98	100	99,94	99,89