

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS**



**PADRÃO MINERALÓGICO DE OCORRÊNCIA DOS DEPÓSITOS DE  
MINÉRIO DE COBRE HOSPEDADOS EM ESCARNITOS E  
MÁRMORES DA REGIÃO DE CAÇAPAVA DO SUL - RS**

**CAROLINA PEROZZO GAZZONI**

**ORIENTADORES**

Prof. Dr. MARCUS VINÍCIUS DORNELES REMUS  
Prof. Dr. NORBERTO DANI

**SUPERVISOR**

Geólogo RAFAEL RIZZARDO

**COMISSÃO EXAMINADORA**

Prof. Dr. VITOR PAULO PEREIRA  
Prof. Dr. LEO AFRANEO HARTMANN

**COMISSÃO DOS PROJETOS TEMÁTICOS**

Prof. Dra. ANDRÉA RITTER JELINEK  
Prof. Dr. RUALDO MENEGAT  
Prof. Dr. MARCUS VINÍCIUS DORNELES REMUS

Trabalho de conclusão do curso de Geologia, apresentado na forma de monografia, junto à disciplina Projeto Temático em Geologia III, como requisito parcial para a obtenção do grau de Geólogo.

Porto Alegre, dezembro de 2010.

## **Agradecimentos**

Agradeço aos meus pais, Silvana e Paulo, por todo o carinho, apoio e incentivo que me deram ao longo do curso e em toda a minha vida. A toda a minha família, por tudo que representam.

Às grandes pessoas que a Geologia me apresentou, Arthur, Fran, Maiquel, Rodrigo, Isadora, Christie, Marquito, Lanys, Matias, Dri, os parceiros de jogos do Inter, Léo e Zé e os colegas de bolsa, Rafa, Tamara, Mila, Gui e Loren.

Às minhas grandes e melhores amigas, Nana, Xá, Tina, Fran, Leca, Fê, Dani e Vane.

A todos os voluntários do Grupo Patas Dadas, em especial à Lari, por me apresentar e me permitir participar desse trabalho maravilhoso e gratificante.

Agradeço ao Professor Remus, meu orientador nesse trabalho e em boa parte dos meus seis anos de curso, e também ao professor e orientador Dani. Ao meu supervisor e amigo, Rafa, por todo o auxílio prestado.

A todos os professores da Geologia que me passaram algum ensinamento, seja em aula, em conversas nos corredores ou em algum afloramento nos tantos trabalhos de campo realizados. Em especial, agradeço àqueles que, mais do que professores, foram parceiros de campo e de festas, Ruy, Chinês, Lisboa, Fátima, Sommer e Coquinho.

Aos motoristas do Instituto de Geociências, sempre dispostos a tudo pra nos ajudar. Agradeço especialmente ao Claudinho, motorista e amigo da Faixa II, e ao Armando, motorista, amigo e ajudante no campo do temático.

## Resumo

A Província Cuprífera do Escudo Sul-Riograndense, na região de Caçapava do Sul, possui diversas ocorrências de minérios de cobre e ouro. Essas ocorrências possuem estilos e dimensões peculiares e estão hospedadas em rochas vulcano-sedimentares do Grupo Bom Jardim e metamórficas do Complexo Passo Feio. Esse trabalho estuda corpos de minério de cobre derivados da interação de fluidos graníticos com os mármores da Pedreira Coronel Linhares, localizada no município de Caçapava do Sul – RS. Os processos metamórfico-metassomáticos, que lá ocorreram, deram origem a escarnitos, que aparecem na forma de filões e corpos irregulares. Os silicatos de Ca e/ou Mg, depositados devido a interação dos fluidos magmáticos com o mármore e identificados neste estudo são: olivina, diopsídio, tremolita, talco, serpentina e clorita. Nestas auréolas de alteração, estão contidos os sulfetos de cobre, molibdênio e ferro. A calcopirita é o sulfeto mais abundante da área. Os estudos de campo e de laboratório, incluindo petrografia qualitativa e quantitativa, permitiram estabelecer um padrão que se repete ao longo da pedreira pesquisada. Este padrão mostra uma distribuição mineralógica consistente com a temperatura de deposição. A molibdenita está frequentemente associada com minerais de temperatura elevada (diopsídio e olivina), enquanto os sulfetos de cobre (calcopirita e bornita) ocorrem em paragêneses de baixa temperatura, com clorita, calcita e, eventualmente, tremolita e talco. Isto indica que o minério de cobre é tardio e foi depositado nas fases finais da evolução do fluido. O estabelecimento desse padrão poderá facilitar a prospecção de sulfetos em áreas com condições geológicas semelhantes, no Escudo Sul-Rio-Grandense, onde granitos interajam com mármores e haja presença de alteração escarnítica.

Palavras-chave: Coronel Linhares, escarnitos, mármores, corpos de minério de cobre.

## Abstract

The Copper Province of Sul-Riograndense Shield, in the region of Caçapava do Sul, has many occurrences of copper and gold ores. These occurrences have unique styles and sizes and are hosted in volcanic-sedimentary rocks of the Bom Jardim Group and metamorphic rocks of the Passo Feio Formation. This research identifies bodies of copper ore, derived from the interaction between granitic fluids and the marble of the Coronel Linhares quarry, in the city of Caçapava do Sul – RS. The metamorphic and metasomatic processes that occurred there, led to the formation of skarns, which appear as veins and irregular bodies. The silicates of Ca and Mg, deposited due to the interaction of magmatic fluids with the marble, and identified in this research are: olivine, diopside, tremolite, talc, serpentine and chlorite. Sulfides of copper, molybdenum and iron are contained in the alteration zone. Chalcopyrite is the most abundant sulfide in the area. Field studies and laboratory findings, including qualitative and quantitative petrography, succeeded in establishing a pattern that is repeated along the quarry. This pattern shows a distribution consistent with the mineral deposition temperature. The molybdenite is often associated with high-temperature minerals (diopside and olivine), while the copper sulphides (chalcopyrite and bornite) occurs in low-temperature paragenesis, with chlorite, calcite and, sometimes, tremolite and talc. This indicates that the copper ore is tardy and was deposited in the final stages of fluid evolution. The establishment of this pattern could subserve the exploration of sulfides in areas with similar geological conditions in the Sul-Riograndense Shield, where granite interacts with marble, with presence of any skarn alteration.

Keywords: Coronel Linhares, skarns, marble, copper ore bodies.

## Lista de figuras

<b>Figura 1:</b> Mapa do trajeto Porto Alegre - Caçapava do Sul, via BR-290 (retirado do <i>Google Maps</i> ).....	14
<b>Figura 2:</b> Em verde, o trajeto Caçapava do Sul - Pedreira Coronel Linhares e em laranja, o trajeto Porto Alegre (BR-290) - Pedreira Coronel Linhares (retirado do <i>Google Earth</i> ).....	15
<b>Figura 3:</b> Mapa geológico da área (Silva, 2007; modificado de Remus et al., 2000). .....	19
<b>Figura 4:</b> Vista do 3º patamar da pedreira Coronel Linhares. A porção superior, de cor marrom é constituída por xistos de origem siliciclástica. As camadas de cor verde escura são intrusões de <i>sills</i> e diques do Granito Caçapava. ....	25
<b>Figura 5:</b> Vista do 2º patamar da pedreira Coronel Linhares.....	26
<b>Figura 6:</b> <i>Sill</i> de diorito, intrusivo no mármore dolomítico.....	26
<b>Figura 7:</b> Biotita-anfibólio Xisto e alteração escarnítica no mármore dolomítico, com presença de clorita, hematita e anquerita. ....	27
<b>Figura 8:</b> Fotografia e representação do Biotita-anfibólio xisto em afloramento (amostra PCL 01A). ....	28
<b>Figura 9:</b> Fotografia e representação da amostra PCL 01C. ....	28
<b>Figura 10:</b> Fotografia e representação da amostra PCL 01F. ....	29
<b>Figura 11:</b> Fotografia e representação da amostra PCL 03C.....	29
<b>Figura 12:</b> Fotografia e representação da amostra PCL 03D.....	29
<b>Figura 13:</b> Fotografia e representação do afloramento.....	30
<b>Figura 14:</b> Amostra PCL 03G digitalizada em <i>scanner</i> . ....	30
<b>Figura 15:</b> Fotografia e representação da amostra PCL 04A. ....	31
<b>Figura 16:</b> Fotografia e representação da amostra PCL 04D.....	31
<b>Figura 17:</b> Amostra PCL 04E digitalizada em <i>scanner</i> .....	32
<b>Figura 18:</b> Fotomicrografia da amostra PCL 01A. Biotita (Bt), plagioclásio (Pl) e actinolita (Act) em Biotita-anfibólio Xisto. Aumento de 25x, polizadores cruzados. ...	33
<b>Figura 19:</b> Fotomicrografia da amostra PCL 01C. Serpentina (Srp) derivada de olivina e carbonato (Car) em mármore impuro. Aumento de 25x, polarizadores cruzados. ....	34

<b>Figura 20:</b> Fotomicrografia da amostra PCL 01C. Grãos subédricos de olivina (Ol) e carbonato (Car). Aumento de 25x, polarizadores cruzados.....	34
<b>Figura 21:</b> Fotomicrografia da amostra PCL 01C. Grãos de espinélio (Spl), clinoclóro (Ccl) e carbonato (Car). Aumento de 25x, luz polarizada.....	35
<b>Figura 22:</b> Fotomicrografia da amostra PCL 01C. Clinoclóro (Ccl), carbonato (Car), espinélio (Spl) e olivina (Ol). Aumento de 25x, polarizadores cruzados.....	35
<b>Figura 23:</b> Fotomicrografia da amostra PCL 01F. Grão de diopsídio (Di) e grãos prismáticos de tremolita (Tr) em escarnito. Aumento de 25x, polarizadores cruzados. ....	36
<b>Figura 24:</b> Fotomicrografia da amostra PCL 01F. Carbonato (Car), diopsídio (Di) e tremolita (Tr). Aumento de 25x, polarizadores cruzados. ....	36
<b>Figura 25:</b> Fotomicrografia da amostra PCL 03C. Calcopirita (Ccp) e pirita (Py) em escarnito mineralizado. Aumento de 25x, polarizadores cruzados, luz refletida.....	37
<b>Figura 26:</b> Fotomicrografia da amostra PCL 03C. Carbonato metamórfico de granulometria fina (Dol) e carbonato hidrotermal em grãos grossos (Cal). Aumento de 25x, polarizadores cruzados. ....	37
<b>Figura 27:</b> Fotomicrografia da amostra PCL 03C. Carbonato (Car) e calcopirita (Ccp). Aumento de 25x, polarizadores cruzados.....	38
<b>Figura 28:</b> Fotomicrografia da amostra PCL 03C. Calcopirita (Ccp), pirita (Py) e carbonato (Car) em escarnito mineralizado. Aumento de 25x, polarizadores cruzados e luz refletida. ....	38
<b>Figura 29:</b> Fotomicrografia da amostra PCL 03D. Calcopirita (Ccp) e pirita (Py) em cloritito mineralizado. Aumento de 25x, luz polarizada e luz refletida. ....	39
<b>Figura 30:</b> Fotomicrografia da amostra PCL 03D. Calcopirita (Ccp) e clorita (Chl). Aumento de 25x, luz polarizada e luz refletida.....	39
<b>Figura 31:</b> Fotomicrografia da amostra PCL 03F. Calcopirita (Ccp), pirita (Py) e carbonato (Car) em escarnito mineralizado. Aumento de 25x, polarizadores cruzados e luz refletida. ....	40
<b>Figura 32:</b> Fotomicrografia da amostra PCL 03F. Carbonato metamórfico de granulometria fina (Dol), carbonato hidrotermal de granulometria grossa (Cal), tremolita (Tr), pirita (Py) e calcopirita (Ccp). Aumento de 25x, polarizadores cruzados. ....	40
<b>Figura 33:</b> Fotomicrografia da amostra PCL 03F. Pirita (Py) e calcopirita (Ccp). Aumento de 25x, luz refletida.....	41

<b>Figura 34:</b> Fotomicrografia da amostra PCL 03G. Carbonato (Car), tremolita (Tr) e clinoclóro (Ccl) em mármore influenciado pelo fluido granítico. Aumento de 25x, polarizadores cruzados. ....	41
<b>Figura 35:</b> Fotomicrografia da amostra PCL 04A. Pirita (Py) e covelita (Cv). Aumento de 100x, luz polarizada e luz refletida. ....	42
<b>Figura 36:</b> Fotomicrografia da amostra PCL 04A. Pirita (Py), covelita (Cv) e hematita (Hem). Aumento de 100x, luz refletida, polarizadores cruzados. ....	42
<b>Figura 37:</b> Fotomicrografia da amostra PCL 04A. Carbonato (Car). Aumento de 50x, polarizadores cruzados. ....	43
<b>Figura 38:</b> Fotomicrografia da amostra PCL 04A. Pirita (Py), calcopirita (Ccp) e carbonato (Car). Aumento de 50x, luz polarizada e luz refletida. ....	43
<b>Figura 39:</b> Fotomicrografia da amostra PCL 04A. Carbonato (Car) com evidências de deformação. Aumento de 25x, polarizadores cruzados. ....	44
<b>Figura 40:</b> Fotomicrografia da amostra PCL 04D. Carbonato (Car), diopsídio (Di) e tremolita (Tr). Aumento de 25x, polarizadores cruzados. ....	44
<b>Figura 41:</b> Fotomicrografia da amostra PCL 04D. Carbonato (Car) e olivina totalmente serpentizada (Srp) em mármore impuro. Aumento de 25x, polarizadores cruzados. ....	45
<b>Figura 42:</b> Fotomicrografia da amostra PCL 04E. Tremolita (Tr) e diopsídio (Di). Aumento de 25x, polarizadores cruzados. ....	45
<b>Figura 43:</b> Fotomicrografia da amostra PCL 04E. Tremolita (Tr) e massa carbonática (Carb). Aumento de 50x, polarizadores cruzados. ....	46
<b>Figura 44:</b> Fotomicrografia da amostra PCL 04E. Carbonato (Carb), tremolita (Tr) e clinoclóro (Ccl). Aumento de 50x, polarizadores cruzados. ....	46
<b>Figura 45:</b> Diagrama composicional CaO-MgO-SiO <sub>2</sub> mostrando os minerais que ocorrem nos mármore e escarnitos da Pedreira Coronel Linhares (modificado de Bucher e Frey, 2002). ....	50
<b>Figura 46:</b> Diagrama de fases mostrando a distribuição dos minerais encontrados na Pedreira Coronel Linhares nos diferentes campos de pressão e temperatura. A linha verde indica um padrão, sugerido nesse trabalho, para a sequência de minerais depositados durante o resfriamento dos fluidos em baixa pressão, e a posição relativa sugerida para o aparecimento dos sulfetos. ....	51

## Lista de tabelas

<b>Tabela 1:</b> Amostras contendo molibdenita. ....	47
<b>Tabela 2:</b> Amostras contendo mineralização de cobre (calcopirita).....	48
<b>Tabela 3:</b> Amostras sem evidências de mineralização de cobre. ....	48

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	11
1.1. Problema Geológico e objetivos do trabalho .....	12
<b>2. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE INVESTIGAÇÃO</b> .....	14
2.1. Vias de acesso .....	14
<b>3. REVISÃO CONCEITUAL</b> .....	16
3.1. Escarnitos .....	16
<b>4. CONTEXTO GEOLÓGICO</b> .....	18
4.1. Complexo Passo Feio .....	19
4.2. Granito Caçapava .....	21
4.3. Prospecto Coronel Linhares .....	22
<b>5. METODOLOGIA</b> .....	23
5.1. Trabalho de campo .....	23
5.1.1. <i>Etapa pré-campo</i> .....	23
5.1.2. <i>Etapa de campo</i> .....	23
5.2. Descrição Macroscópica .....	23
5.3. Laminação e Polimento .....	24
5.4. Descrição Petrográfica .....	24
5.5. Quantificação Mineralógica .....	24
<b>6. RESULTADOS</b> .....	25
6.1. Trabalho de campo .....	25
6.2. Descrição Macroscópica .....	27
6.3. Descrição Petrográfica .....	32

6.4. Quantificação Mineralógica .....	46
<b>7. DISCUSSÕES</b> .....	<b>49</b>
<b>8. CONCLUSÕES</b> .....	<b>52</b>
<b>9. REFERÊNCIAS</b> .....	<b>53</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Nas rochas metamórficas do Complexo Passo Feio, estão hospedados depósitos de metais-base importantes da Província Cuprífera de Caçapava e esses depósitos estão, especialmente, associados ao batólito intrusivo Granito Caçapava.

A Pedreira Coronel Linhares, em Caçapava do Sul, foi escolhida para sediar esse estudo. No local, corpos de minério de sulfetos de cobre estão contidos nos mármores e associados à alteração clorítica.

O minério ocorre, principalmente, no contato entre o mármore e as apófises do granito, na forma de filões e corpos alongados, ou na forma de corpos irregulares, ocupando o lugar dos carbonatos.

As rochas formadas nesses contatos são chamadas de escarnitos e, no local estudado, a presença dos escarnitos está relacionada com a intrusão do batólito Granito Caçapava, durante o segundo evento de metamorfismo que ocorreu na área (REMUS ET AL., 2000).

As relações entre os corpos de minério e a intrusão do Granito Caçapava têm gerado controvérsias sobre a gênese dos depósitos de metais-base, as quais foram parcialmente resolvidas no estudo feito por Remus et al., em 2000, no qual foram realizadas datações pelo método U-Pb via SHRIMP (Microsonda Iônica de Alta Resolução) em zircões, combinadas com estudos de isótopos de S, Pb e Sr.

Por meio dessas datações, os autores do trabalho determinaram que:

- 1) A presença de xenocristais de zircão de idades Arqueana, Paleoproterozóica e Neoproterozóica determina que o Complexo Passo Feio, de idade Neoproterozóica foi derivada de fontes continentais diversas.
- 2) O metamorfismo da unidade ocorreu há cerca de 700 Ma.
- 3) O Granito Caçapava é sin-tectônico e intruiu as rochas supracrustais do Complexo Passo Feio há cerca de 562 Ma, sendo derivado de rochas siálicas antigas.
- 4) O modelo mais lógico para a gênese do minério, baseado nos dados isotópicos e na associação espacial, é o que afirma que os fluidos magmáticos do Granito Caçapava, portadores de metais, lixiviaram metais do Complexo Passo Feio e, em consequência, os sulfetos depositados mostram assinaturas isotópicas mistas. No entanto, existem também algumas evidências isotópicas que sugerem

assimilação de rochas portadoras de S do Complexo Passo Feio durante a intrusão do Granito Caçapava. Em consequência, as assinaturas isotópicas podem ter sido herdadas de sulfetos metálicos assimilados nesse estágio, e a deposição ter ocorrido integralmente a partir dos fluidos magmáticos derivados do Granito Caçapava.

Levando-se em consideração as análises e conclusões dos autores sobre a relação da intrusão do Granito Caçapava com a existência de corpos de minério de cobre no local estudado, acredita-se que a determinação de um padrão mineralógico para a área seja de suma importância para o entendimento completo da gênese do local.

Inicialmente, foi realizada pesquisa bibliográfica para maior entendimento da geologia regional e local e para revisão e fixação de conceitos importantes para o andamento do estudo. Em abril de 2010, foi realizado um trabalho de campo e foram coletadas diversas amostras de rocha. Além disso, foram observadas e fotografadas as relações existentes entre as apófises do granito Caçapava, os escarnitos e a ocorrência dos corpos de minério de cobre.

Em laboratório, todas as amostras foram descritas e fotografadas.

Após essa etapa, foram selecionadas 10 amostras para a confecção de lâminas delgadas polidas, que foram descritas e quantificadas.

Através de descrição macroscópica e microscópica e de quantificação mineralógica, foi possível identificar todos os minerais e minerais de minério presentes em todas as amostras e estimar as porcentagens de cada mineral, em cada amostra coletada. Foi realizada, em cada uma das 10 lâminas delgadas, a quantificação de 800 pontos, utilizando-se um microscópio petrográfico Leitz Aristomet com *charriot* acoplado. Essa técnica de quantificação permitiu determinar a porcentagem de cada mineral presente nas amostras, e listar todos os minerais e minerais de minério encontrados. Essas ferramentas de descrição permitiram estabelecer relações entre a mineralogia e a ocorrência dos corpos de minério de cobre, fundamentais para a evolução do trabalho.

### **1.1. Problema geológico e objetivos do trabalho**

A realização desse trabalho baseia-se na obtenção de dados para a elaboração de um modelo mineralógico, que permita estabelecer um padrão para a

ocorrência dos corpos de sulfetos de cobre encaixados em escarnitos, nos mármores existentes na região de Caçapava do Sul, e ajude a compreender melhor a gênese desses depósitos na região.

Os estudos realizados nas rochas da Pedreira Coronel Linhares permitiram identificar os principais aspectos mineralógicos dos mármores e dos escarnitos. A definição da cronologia relativa das fases minerais e as informações obtidas com a descrição das auréolas de alteração escarnítica permitiram que se estabelecesse uma associação entre o minério e a presença dos escarnitos.

A determinação do modelo de processos metamórfico-metassômaticos formadores dos depósitos sulfetados do local poderá facilitar a prospecção de sulfetos em áreas com condições geológicas semelhantes, em especial no Escudo Sul-Riograndense, aonde mármores interajam com granitos e haja a presença da alteração escarnítica.

## 2. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE INVESTIGAÇÃO

A área escolhida para o estudo proposto pertence à Pedreira de calcário Coronel Linhares, situada no município de Caçapava do Sul. A cidade fica distante cerca de 260 km da capital do estado, Porto Alegre.

### 2.1. Vias de acesso

O trajeto Porto Alegre – Caçapava do Sul (fig. 1) inicia-se pela BR-116, tomando-se, em seguida, a BR-290. Após cerca de 220 km, entra-se à esquerda no entroncamento com a BR-392.



**Figura 1:** Mapa do trajeto Porto Alegre - Caçapava do Sul, via BR-290 (retirado do Google Maps).

Para se chegar à Pedreira Coronel Linhares, partindo do trevo de acesso à cidade de Caçapava (fig. 2), deve-se seguir a BR-392 para sudeste e tomar a estrada das pedreiras, conforme o caminho em verde na figura. A Pedreira localiza-se há cerca de 12 km do trevo de acesso a cidade de Caçapava.

Já se o ponto de partida for a cidade de Porto Alegre, situada a leste na figura a seguir, deve-se seguir o traçado em laranja (fig. 2), que vem da BR-290 e vira à esquerda, cerca de 6 km depois do entroncamento dessa BR com a BR-153.



**Figura 2:** Em verde, o trajeto Caçapava do Sul - Pedreira Coronel Linhares e em laranja, o trajeto Porto Alegre (BR-290) - Pedreira Coronel Linhares (retirado do *Google Earth*).

### 3. REVISÃO CONCEITUAL

#### 3.1. Escarnitos

Sistemas escarníticos são caracterizados por mineralogia com paragêneses cálcio-silicática e minério metálico, resultantes do metamorfismo de contato e metassomatismo de rochas carbonáticas por intrusões ígneas de diferentes tipos.

Embora a maioria das mineralizações associadas aos sistemas escarníticos sejam dominadas pelos atributos físico-químicos da intrusão, a mineralogia e a composição do protólito podem causar influência devido aos controles de reatividade:

- 1) desenvolvimento de porosidade e desenvolvimento de permeabilidade, que permitem a infiltração de reagentes e o transporte de calor para as reações de formação dos escarnitos.
- 2) a mineralogia metassomática cálcio-silicática e as reações de troca associadas com o fluido hidrotermal. Essas reações controlam a saturação de metais no fluido hidrotermal.

Por causa do protólito reativo, depósitos escarníticos são particularmente ricos quando comparados a outros depósitos magmáticos-hidrotermais formados em rochas menos reativas.

Escarnitos são resultados da alteração metassomática de uma rocha - normalmente rica em carbonato - pela infiltração de fluidos hidrotermais, difusão de constituintes químicos de um corpo de rocha composicionalmente distinto ou uma combinação desses dois processos. Os atributos econômicos presentes fazem, dos depósitos escarníticos, alvos de exploração muito atraentes onde ocorrem concentrações comerciais de Cu, Fe, Au, Mo, Sn, W, F e etc. (BOWMAN, 1998).

Como qualquer sistema químico, os escarnitos podem ser tratados com as leis da termodinâmica, através da aplicação do equilíbrio aquoso e de fases, para se determinar quantitativamente os limites das variáveis físico-químicas (tais como P, T, pH e fugacidade do O) e atividades de espécies não-voláteis que controlam a formação dos escarnitos (BOWMAN, 1998).

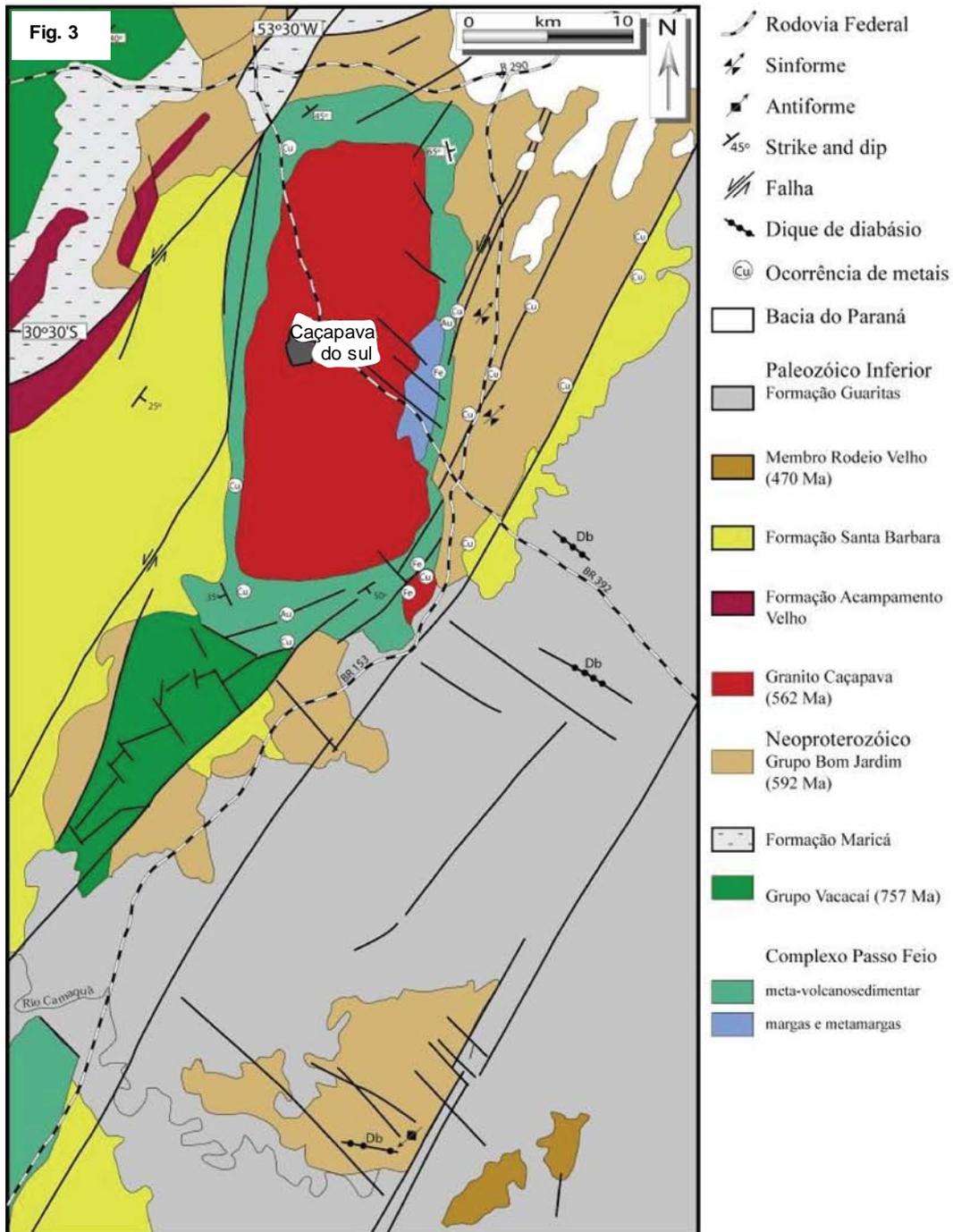
Tais aplicações requerem a suposição do equilíbrio termodinâmico. Em particular, o tratamento termodinâmico de alterações hidrotermais metassomáticas requer a suposição do equilíbrio local. Esse conceito pressupõe que, em pequena escala dentro de um escarnito, não há minerais incompatíveis (BOWMAN, 1998);

isto é, os minerais observados estão em equilíbrio químico uns com os outros e com o fluido metassomático responsável pela formação dos mesmos.

#### 4. CONTEXTO GEOLÓGICO

A Província Cuprífera do Rio Grande do Sul está localizada na borda leste do Bloco São Gabriel e contém a maior parte dos depósitos conhecidos de cobre, chumbo e zinco das minas de Camaquã e Santa Maria, e também os metais-base mais importantes do Escudo Sul-Riograndense. Esses depósitos são hospedados por rochas de idades, composições e estruturas diferentes.

As minas de cobre de Camaquã são os principais depósitos desse mineral na província e são hospedadas por sequências vulcano-sedimentares do Grupo Bom Jardim, de idade estimada entre  $594 \pm 5$  Ma e 532Ma. Muitos prospectos minerais e pequenos depósitos nessa província, especialmente ligados ao Granito Caçapava, estão hospedados no Complexo Passo feio, de idade Neoproterozóica (REMUS ET AL., 2000). O mapa a seguir (fig. 3) demonstra a geologia do local.



**Figura 3:** Mapa geológico da área (Silva, 2007; modificado de Remus et al., 2000).

#### 4.1. Complexo Passo Feio

O Complexo Passo Feio é uma sequência vulcano-sedimentar metamorfizada, contendo ardósias, filitos e xistos pelíticos, xistos gráficas, mármores, quartzitos, metaconglomerados, rochas cálcio-silicáticas, anfibolitos e metabasaltos

subordinados, e xistos magnesianos (RIBEIRO ET AL., 1966; BITENCOURT, 1983; REMUS ET AL., 2000).

Estudos de Bortolotto (1987) e testes colorimétricos aplicados por Remus et al., 2000, apontam para a composição predominantemente dolomítica dos mármore da área, com presença de calcita nos halos de alteração hidrotermal.

Datações K/Ar feitas por Soliani Jr. (1986) apontam, para o Complexo Passo Feio, idades entre 556 Ma e 666 Ma. A exposição de gnaisses e anfibolitos, intercalados com rochas supracrustais da parte sudeste do Complexo Passo Feio, sugere que o embasamento Paleoproterozóico (REMUS ET AL., 1996) esteve envolvido na deformação de baixo ângulo que afetou a unidade (REMUS ET AL., 2000).

A parte sedimentar do Complexo Passo Feio é representada por uma sequência areno-pelítica-carbonatada. Como indicado pela ocorrência de cascalhos, fragmentos de quartzo, calcário e rochas silicáticas nos leitos de metarritmitos, a sequência pode ter sido depositada a partir de correntes de turbidez (REMUS ET AL., 1991; REMUS ET AL., 2000).

A geoquímica de rochas metabásicas indica derivação de toleítos e rochas da série alcalina (BITENCOURT E HARTMANN, 1984 a e b; REMUS ET AL., 2000). O metamorfismo regional varia entre a zona da clorita do fácies xisto verde e a zona da estauroлита do fácies anfibolito, conforme Remus et al., 2000.

Existem dois principais eventos metamórficos - M1 e M2 - registrados no Complexo Passo Feio, localmente reequilibrados no fácies anfibolito (HARTMANN ET AL., 1990; REMUS ET AL., 2000). O efeito térmico do Granito Caçapava nas rochas do Complexo é restrito à recristalização próximo ao contato com as apófises (REMUS ET AL., 2000), não sendo conhecidos corpos extensos de cornubianitos.

As principais falhas transcorrentes de direção NE que afetam o Complexo Passo Feio e a Bacia do Camaquã pertencem ao sistema de falhas Irapuã (RIBEIRO ET AL., 1966) e representam um sistema de falhas formado durante o Neoproterozóico, na orogenia colisional do Cinturão Dom Feliciano (REMUS ET AL., 2000).

Muitos prospectos de cobre, como o Prospecto Ciocari e o Prospecto Coronel Linhares, são controlados pela direção NE do sistema de falhas Irapuã ou são espacialmente associados com as fraturas de direção NW. No lado oeste do

Granito Caçapava, a zona de falhas tem uma inflexão para o norte onde os depósitos Andradas e Santa Bárbara estão localizados (REMUS ET AL., 2000).

#### **4.2. Granito Caçapava**

Na Pedreira Coronel Linhares, mineralizações de sulfetos de Cu estão contidas nos mármores e na alteração clorítica. O minério costuma ocorrer no contato entre o mármore e as apófises do granito, na forma de filões e corpos alongados ou na forma de corpos irregulares, que ocupam o lugar dos carbonatos e são controlados por fraturas extensionais NW (REMUS ET AL., 2000). Esses depósitos ocorrem nas auréolas de alteração, conhecidas como escarnitos.

Na Pedreira Coronel Linhares, a presença dos escarnitos está relacionada com a intrusão do batólito Granito Caçapava durante o segundo evento de metamorfismo que ocorreu na área (REMUS ET AL., 2000).

Esse corpo intrusivo forma uma estrutura dômica assimétrica e alongada na direção N-S. A foliação é subhorizontal no lado leste e nas partes centrais do corpo, mas mergulha para NW na parte oeste do batólito. O Batólito Caçapava é composto, majoritariamente, por leucogranitos, monzogranitos e granodioritos, com menor proporção de tonalitos e quartzos dioritos e intrude a sequência supracrustal metamorfizada do Complexo Passo Feio. O principal mineral máfico é a biotita, tendo hornblenda como subordinado. Os minerais acessórios principais são alanita, zircão, apatita, titanita, pirita e magnetita e, subordinadamente, no fácies leucogranito, encontra-se granada, turmalina e muscovita. Pegmatitos, aplitos e veios de quartzos com pirita e/ou hematita são comuns na parte leste do corpo, indicando atividade de fluidos relativamente alta no final da cristalização do granito. Estudos geoquímicos indicam afinidade metaluminosa e cálcio-alcálica para esse granito (NARDI E BITERN COURT, 1989).

A idade e a origem do Granito Caçapava são bastante discutidas. A grande variação na composição petrográfica (de sienogranito a tonalito) e suas características estruturais contrastantes (foliação e/ou lineação, bandamento e fácies próxima a isotropia) bem como a variação entre as datações com K/Ar e Rb/Sr, de 520 Ma a 640 Ma (CORDANI ET AL., 1974; SARTORI E KAWASHITA, 1985; SOLIANI, 1986; SARTORI E KAWASHITA, 1989) dessas rochas, têm despertado questões intrigantes sobre a origem desse batólito e sua evolução.

Datações modernas usando SHRIMP indicaram idade de  $562\pm 8$  para esse granito (REMUS ET AL., 2000).

O Granito Caçapava é contemporâneo à zona de cisalhamento D2, ligada ao segundo episódio de deformação da área, e é derivado de processos de fusão crustal (BITENCOURT, 1983; NARDI E BITENCOURT, 1989; COSTA ET AL., 1995, REMUS ET AL., 2000).

No limite sudeste do corpo, o granito possui finas apófises sub-horizontais intrudindo uma sequência de mármore e dolomitos pertencente ao Complexo Passo Feio. Uma assembléia mineral composta por forsterita + calcita ocorre em partes restritas dos mármore (REMUS ET AL., 2000).

As características estruturais principais desses corpos graníticos são a direção NE, sub-horizontalidade, lineações minerais e foliações de baixo ângulo (REMUS ET AL., 2000), essas provavelmente relacionadas à zona de cisalhamento transcorrente que afetou o Granito Caçapava (COSTA ET AL., 1995).

#### **4.3. Prospecto Coronel Linhares**

Esse prospecto está localizado no lado leste do batólito Granito Caçapava e possui ocorrências de calcopirita, pirita, marcassita, e ouro invisível hospedado por carbonato de cálcio e/ou ganga clorítica. O minério ocorre contatos entre as apófises graníticas e os mármore, como corpos alongados e lineares que são estruturalmente controlados por uma lineação subhorizontal mergulhante para NE, ou como *stockworks* e corpos irregulares controlados por fraturas extensionais de direção NW. Esses depósitos são escarnitos, que estão relacionados com a intrusão do Granito Caçapava, durante o segundo episódio de deformação (D2) na área. O forte metassomatismo magnésiano transformou, progressivamente, as camadas de biotita-granodiorito em camadas ricas em clorita e plágioclásio e gerou, ao longo dos contatos com o mármore dolomítico, clorititos e rochas ricas em clorita e/ou talco (REMUS ET AL., 2000).

As apófises do Granito Caçapava podem ser assimilado enxofre e magnésio da rochas regionais e produzido a forte alteração clorítica e a saturação em enxofre nos fluidos que mineralizaram a área. Esses fatores apontam para a contemporaneidade entre a mineralização nesse prospecto, a alteração produzidas e a intrusão do Granito Caçapava (REMUS ET AL., 2000).

## **5. METODOLOGIA**

### **5.1. Trabalho de campo**

#### ***5.1.1. Etapa pré-campo***

Na etapa pré-campo foram revisadas diversas literaturas sobre sistemas escarníticos, paragêneses resultantes do metamorfismo de contato entre rochas carbonáticas e intrusões ígneas e sobre a geologia do local estudado, visando um maior conhecimento da área e entendimento do assunto, além da fixação de conceitos importantes para a evolução do trabalho.

Os diversos trabalhos na região definiram a mineralogia e a composição isotópica dos sulfetos de alguns prospectos minerais, mas não estabeleceram a cronologia das fases minerais e as possíveis reações metamórficas que ocorreram durante a evolução dos fluidos graníticos.

#### ***5.1.2. Etapa de campo***

Realizou-se um trabalho de campo, entre os dias 26 e 29 de abril de 2010. Durante esses três dias foram visitados todos os patamares da pedreira e observadas as relações existentes entre as rochas do local. Coletou-se amostras nos locais mais interessantes, para posterior descrição e laminação.

### **5.2. Descrição Macroscópica**

Antes do envio das amostras para laminação, foi feita uma descrição macroscópica da mineralogia.

Nessa descrição, foram considerados aspectos como o tipo da rocha, tamanho de grão, alteração, tipo do minério presente, provável mineralogia e relação dos constituintes da amostra com a presença dos sulfetos.

### **5.3. Laminação e polimento**

Foram confeccionadas, pelo laboratório de preparação de amostras da UFRGS, 10 lâminas delgadas.

O processo consiste em se cortar uma "fatia" de rocha com cerca de 5mm de espessura.

Uma das superfícies dessa fatia é polida e colada sobre uma lâmina de vidro. Este conjunto sofre, então, um desgaste para que a espessura da amostra seja reduzida.

É realizado, ainda, um último desgaste, até que se obtenha uma espessura da ordem de 0,03 mm.

Finalmente, a preparação é sujeita a um tratamento final de polimento para facilitar a observação em microscópio petrográfico.

### **5.4. Descrição petrográfica**

Todas as lâminas foram descritas microscopicamente e foi elaborada uma tabela, no programa Excel, para cada lâmina, contendo todos os minerais presentes. Para tal, fez-se uso de um microscópio petrográfico modelo Leitz Aristomet, com possibilidade de uso de luz refletida ou transmitida.

### **5.5. Quantificação mineralógica**

Foi realizada quantificação mineralógica em todas as lâminas, para que se pudesse estimar a porcentagem de cada mineral presente nas amostras estudadas.

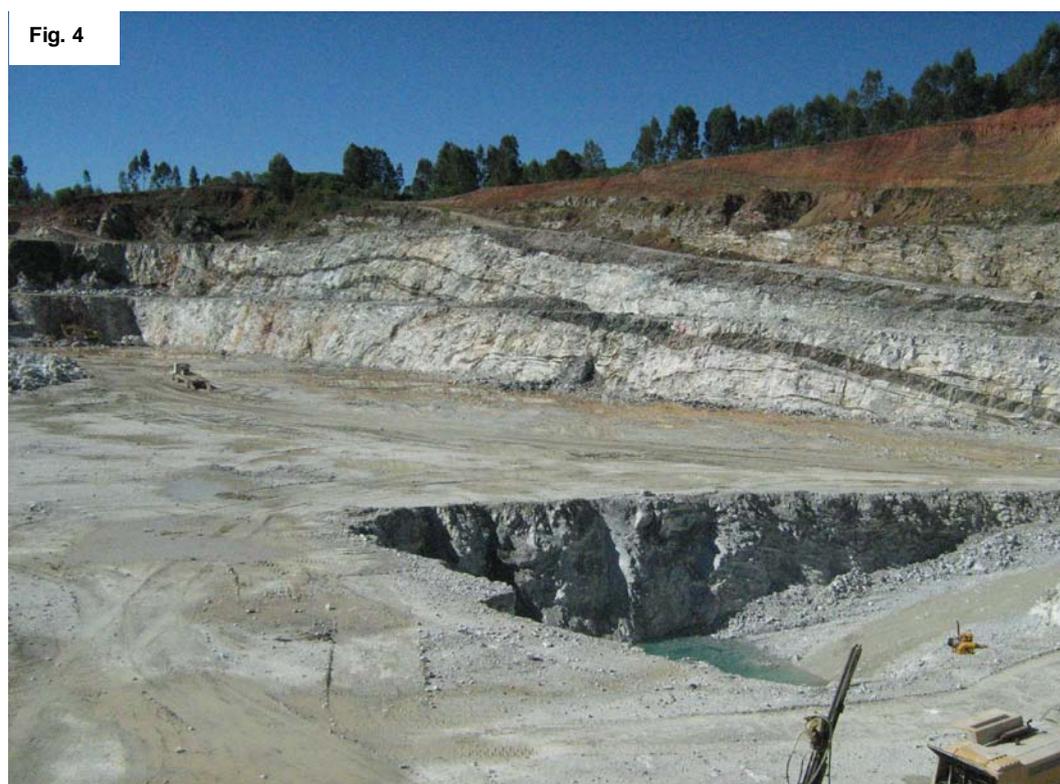
Para a conclusão do método utilizou-se um microscópio petrográfico modelo Leitz Aristomet, com possibilidade de uso de luz refletida ou transmitida, e com *charriot* de 0,3 mm acoplado.

O método utilizado consiste em se escolher um ponto de início na lâmina e, a partir dele, contar 800 pontos. Cada giro do *charriot* corresponde a um ponto e, a cada ponto, marca-se na tabela anteriormente elaborada, o mineral correspondente.

## 6. RESULTADOS

### 6.1. Campo

No trabalho de campo, realizado em abril, foram coletadas 19 amostras nos locais mais representativos quanto à mineralogia e relação com os minérios e foram fotografadas diversas relações entre as rochas.



**Figura 4:** Vista do 3º patamar da pedreira Coronel Linhares. A porção superior, de cor marrom é constituída por xistos de origem siliciclástica. As camadas de cor verde escura são intrusões de *sills* e diques do Granito Caçapava.

Fig. 5



**Figura 5:** Vista do 2º patamar da pedreira Coronel Linhares.

Fig. 6



**Figura 6:** *Sills* de diorito, intrusivo no mármore dolomítico.



**Figura 7:** Biotita-anfibólio xisto e alteração escarnítica no mármore dolomítico, com presença de clorita, hematita e anquerita.

## 6.2. Descrição macroscópica

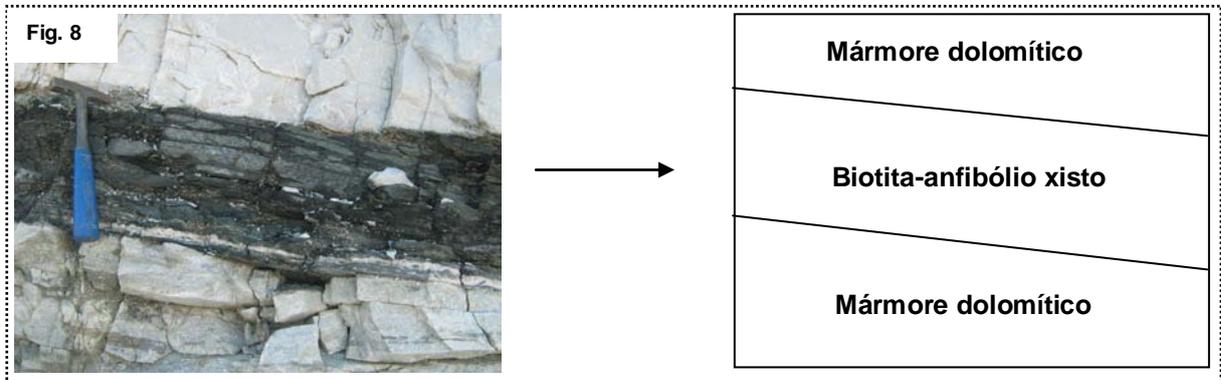
Em laboratório, as 19 amostras coletadas no campo foram analisadas e as 10 mais representativas foram selecionadas para descrição e enviadas para laminação no laboratório de laminação do Instituto de Geociências da UFRGS.

As amostras escolhidas e respectivas descrições macroscópicas estão listadas a seguir.

AMOSTRA PCL 01A

Rocha: Biotita-anfibólio xisto

Minerais identificados macroscopicamente: biotita, anfibólio e pirita

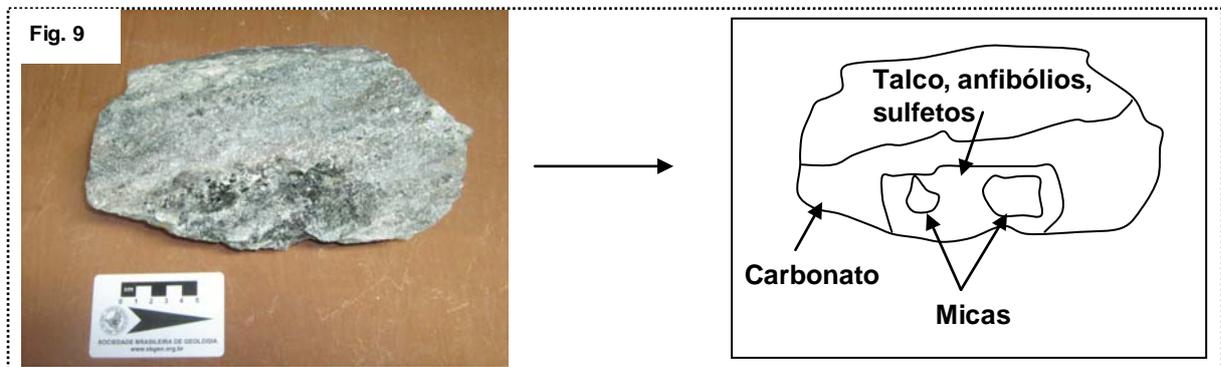


**Figura 8:** Fotografia e representação do Biotita-anfibólio xisto em afloramento (amostra PCL 01A).

AMOSTRA PCL 01C

Rocha: Mármore com assimilação de porções graníticas

Minerais identificados macroscopicamente: carbonato, micas, anfibólios, talco, sulfetos disseminados

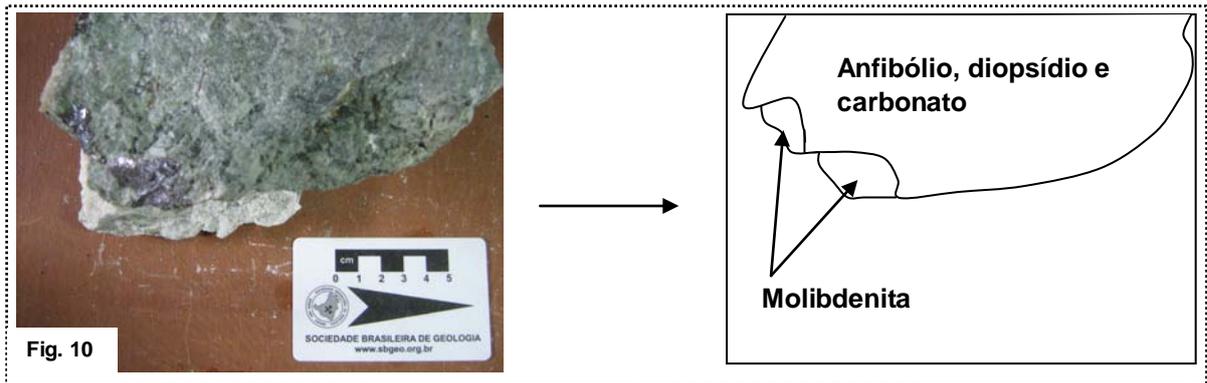


**Figura 9:** Fotografia e representação da amostra PCL 01C.

AMOSTRA PCL 01F

Rocha: Anfibólio-diopsídio escarnito

Minerais identificados macroscopicamente: carbonato, anfibólio, diopsídio, molibdenita

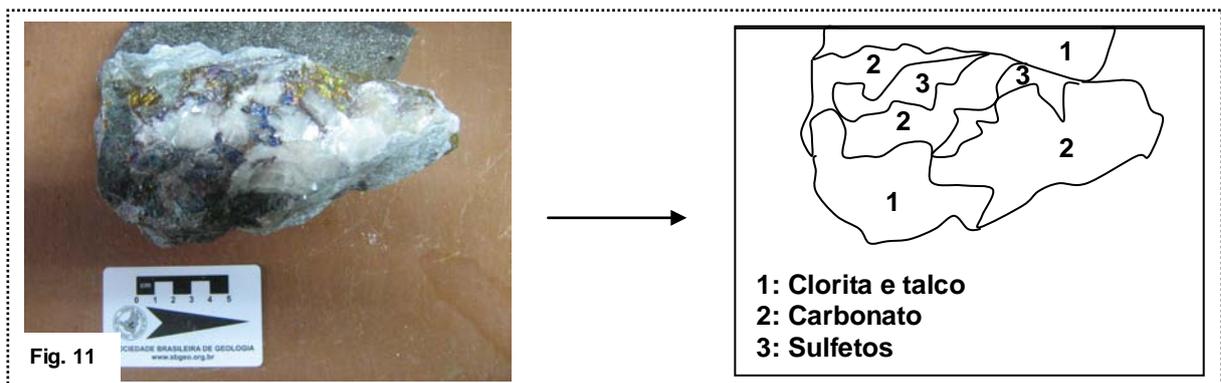


**Figura 10:** Fotografia e representação da amostra PCL 01F.

### AMOSTRA PCL 03C

Rocha: Calcita-clorita escarnito

Minerais identificados macroscopicamente: carbonato, clorita, talco, sulfetos

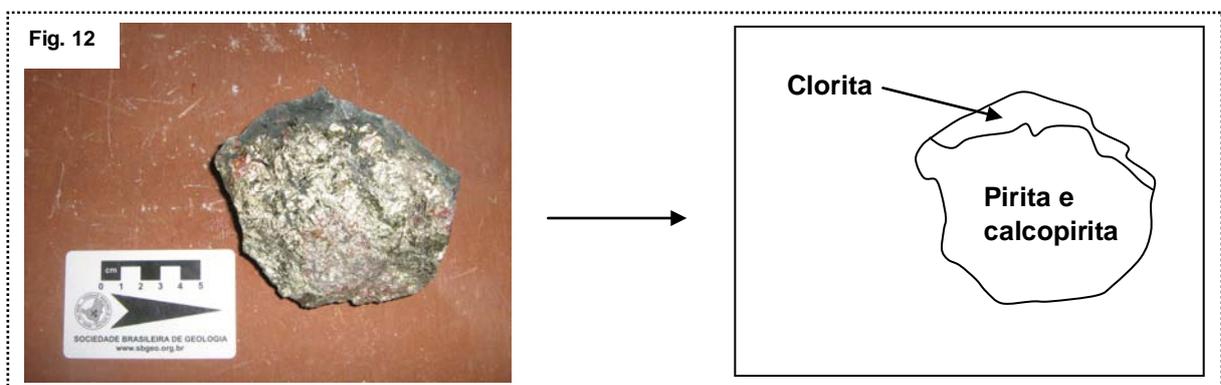


**Figura 11:** Fotografia e representação da amostra PCL 03C.

### AMOSTRA PCL 03D

Rocha: Cloritito mineralizado

Minerais identificados macroscopicamente: clorita, pirita, calcopirita

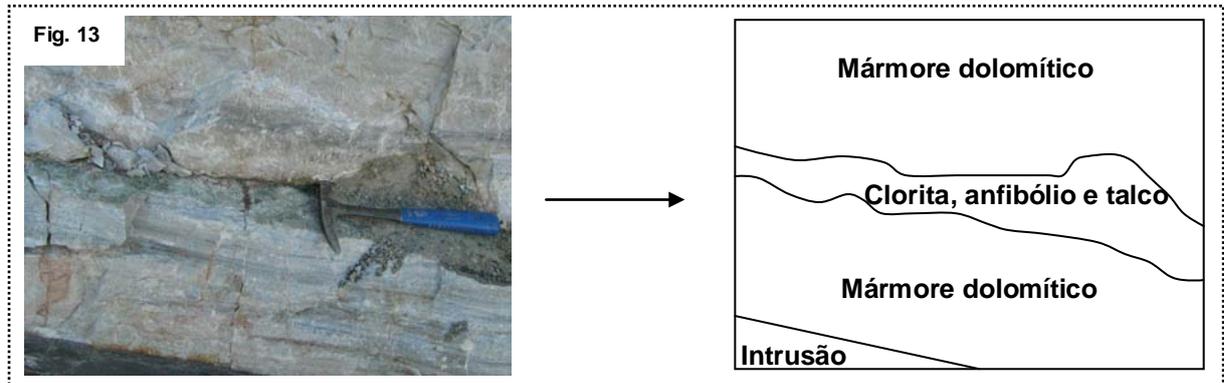


**Figura 12:** Fotografia e representação da amostra PCL 03D.

AMOSTRA PCL 03F

Rocha: Anfibólio-clorita escarnito

Minerais identificados macroscopicamente: carbonato, anfibólio, clorita, talco, sulfetos



**Figura 13:** Fotografia e representação do afloramento.

AMOSTRA PCL 03G

Rocha: Mármore

Minerais identificados macroscopicamente: carbonato, talco

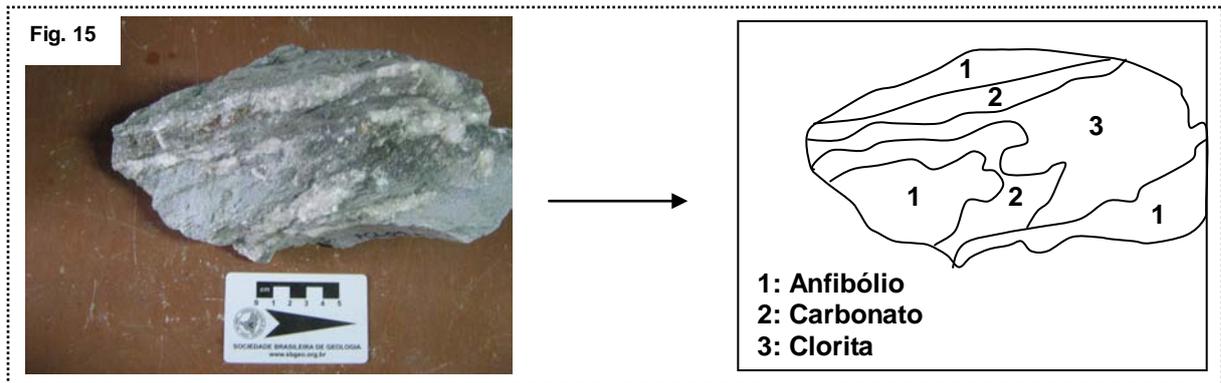


**Figura 14:** Amostra PCL 03G digitalizada em *scanner*.

AMOSTRA PCL 04A

Rocha: Mármore

Minerais identificados macroscopicamente: carbonato, anfibólio, talco, clorita, sulfetos

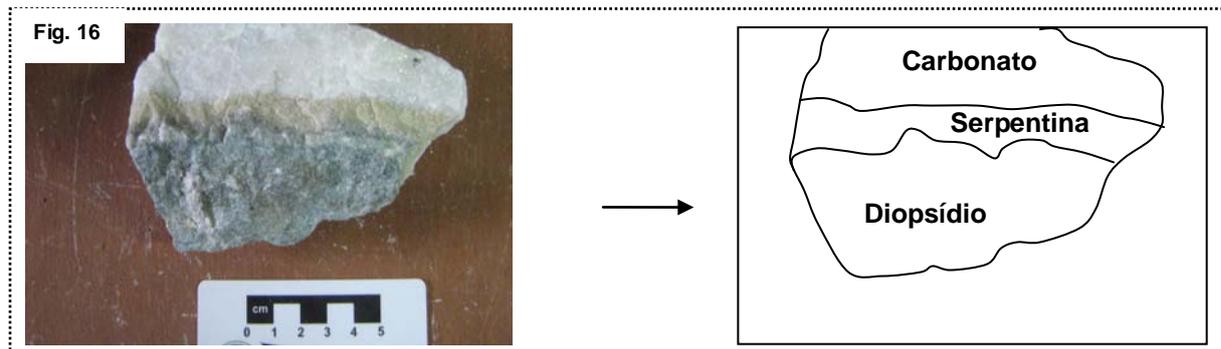


**Figura 15:** Fotografia e representação da amostra PCL 04A.

### AMOSTRA PCL 04D

Rocha: Mármore

Minerais identificados macroscopicamente: carbonato, veio zonado com diopsídio e serpentina



**Figura 16:** Fotografia e representação da amostra PCL 04D.

### AMOSTRA PCL 04E

Rocha: Anfibólio-diopsídio escarnito

Minerais identificados macroscopicamente: carbonato, talco, anfibólio, diopsídio, molibdenita



**Figura 17:** Amostra PCL 04E digitalizada em *scanner*.

### **6.3. Descrição petrográfica**

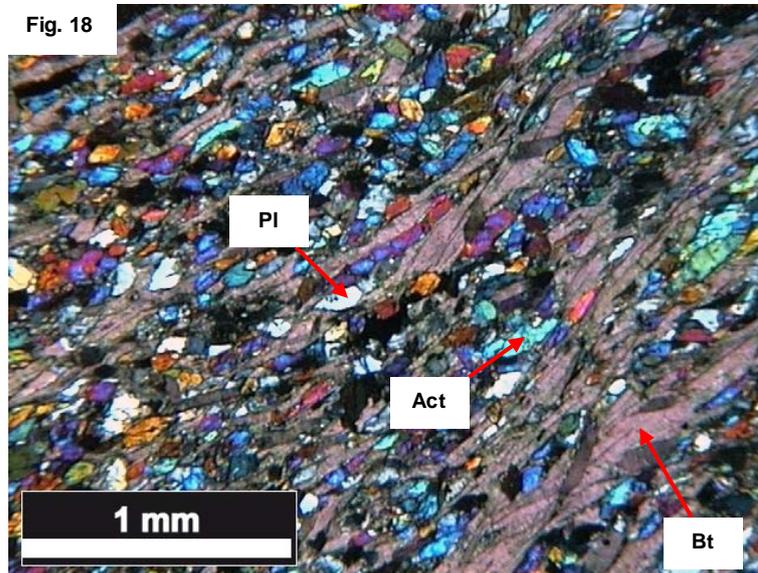
As 10 lâminas delgadas foram observadas e fotografadas, com o uso de um microscópio petrográfico modelo Leitz Aristomet, com câmera acoplada. Além disso, foi montada uma tabela para cada uma das lâminas, especificando a mineralogia encontrada.

Esse processo facilitou a quantificação mineralógica, já que, ao iniciar as contagens, já se sabia quais os minerais contidos em cada lâmina.

As microfotografias e representações das lâminas estão listadas a seguir.

## LÂMINA PCL 01A

Minerais identificados microscopicamente: biotita, actinolita, plagioclásio e piritita

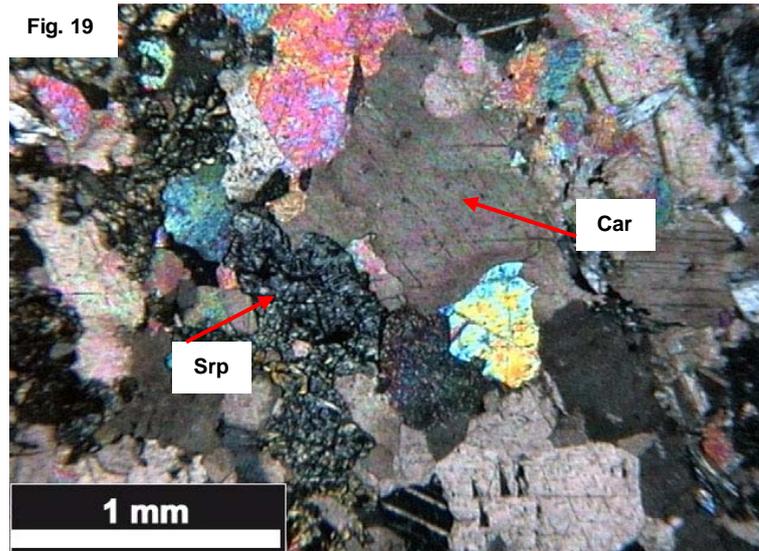


**Figura 18:** Fotomicrografia da amostra PCL 01A. Biotita (Bt), plagioclásio (Pl) e actinolita (Act) em Biotita-anfibólio Xisto. Aumento de 25x, polizadores cruzados.

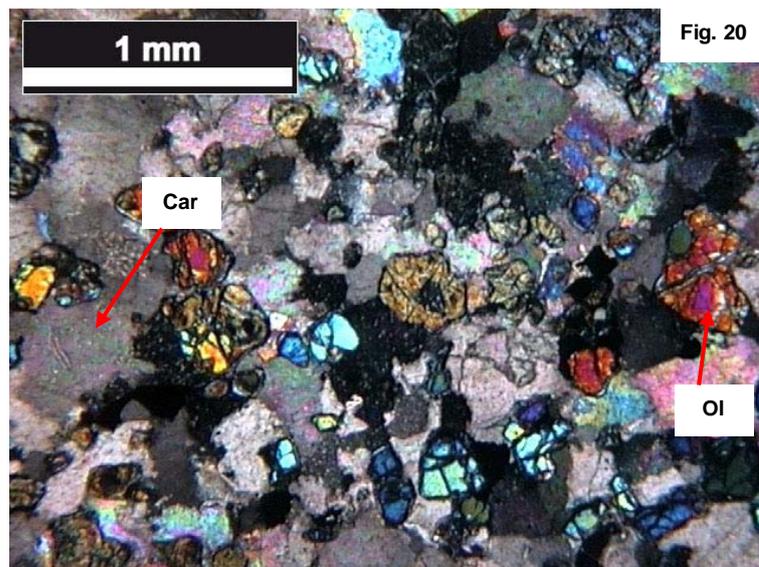
### LÂMINA PCL 01C

Minerais identificados microscopicamente: carbonato, olivina, serpentina, flogopita, espinélio, clinocloro, pirita, calcopirita, bornita, talco, diopsídio, tremolita e argilomineral.

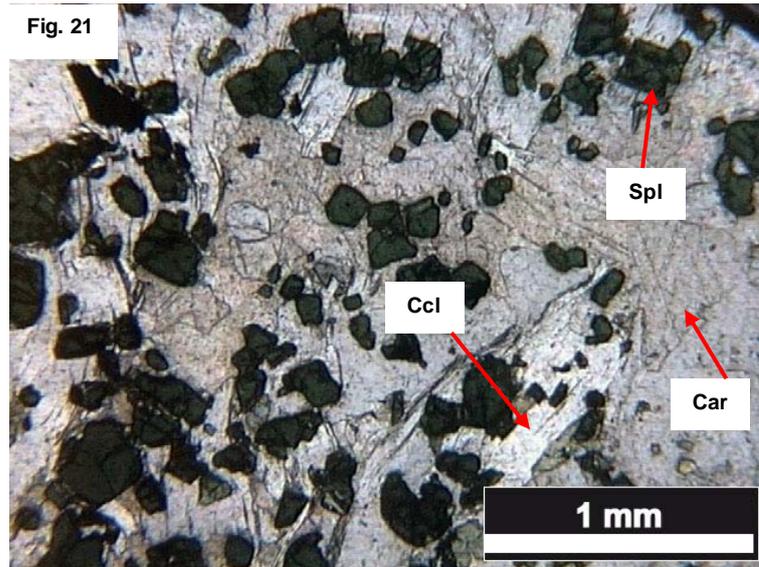
As texturas principais são a lepidoblástica e a granoblástica.



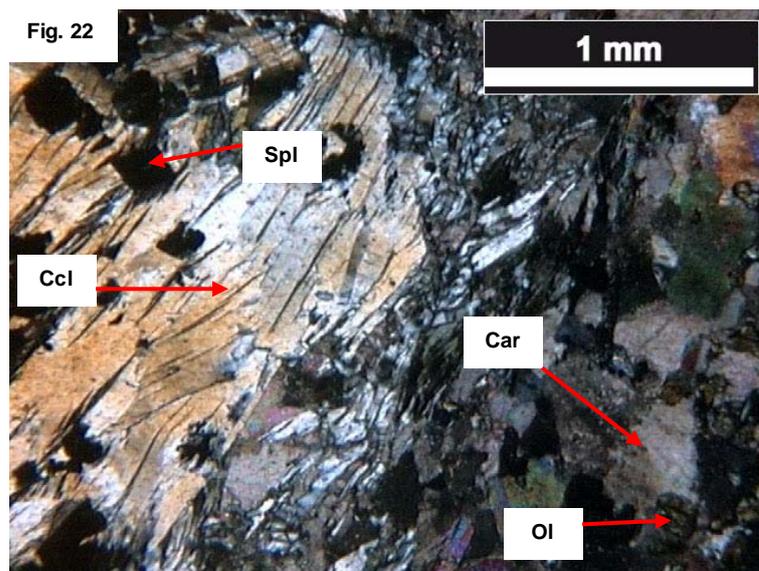
**Figura 19:** Fotomicrografia da amostra PCL 01C. Serpentina (Srp) derivada de olivina e carbonato (Car) em mármore impuro. Aumento de 25x, polarizadores cruzados.



**Figura 20:** Fotomicrografia da amostra PCL 01C. Grãos subédricos de olivina (Ol) e carbonato (Car). Aumento de 25x, polarizadores cruzados.



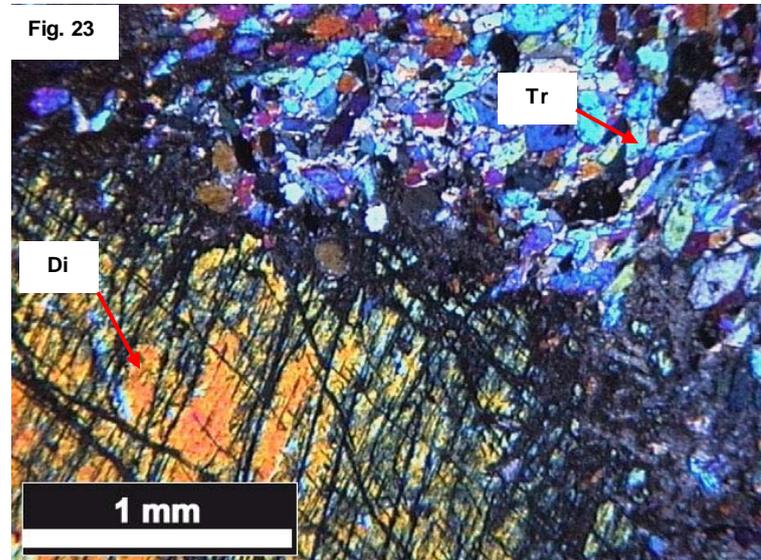
**Figura 21:** Fotomicrografia da amostra PCL 01C. Grãos de espinélio (Spl), clinoclino (Ccl) e carbonato (Car). Aumento de 25x, luz polarizada.



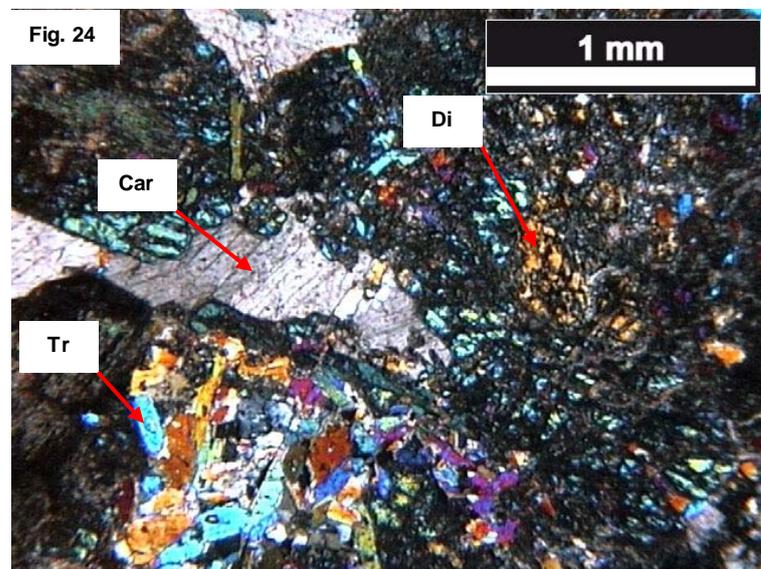
**Figura 22:** Fotomicrografia da amostra PCL 01C. Clinoclino (Ccl), carbonato (Car), espinélio (Spl) e olivina (Ol). Aumento de 25x, polarizadores cruzados.

## LÂMINA PCL 01F

Minerais identificados microscopicamente: carbonato, tremolita, diopsídio, molibdenita



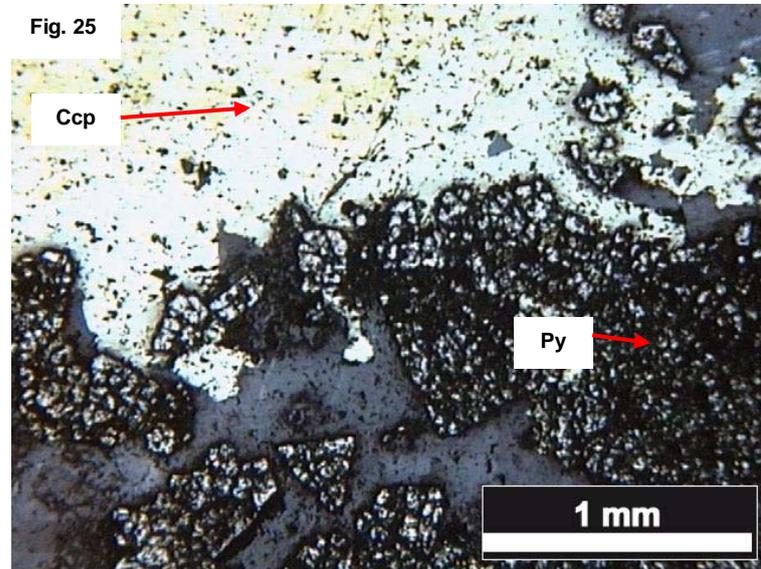
**Figura 23:** Fotomicrografia da amostra PCL 01F. Grão de diopsídio (Di) e grãos prismáticos de tremolita (Tr) em escarnito. Aumento de 25x, polarizadores cruzados.



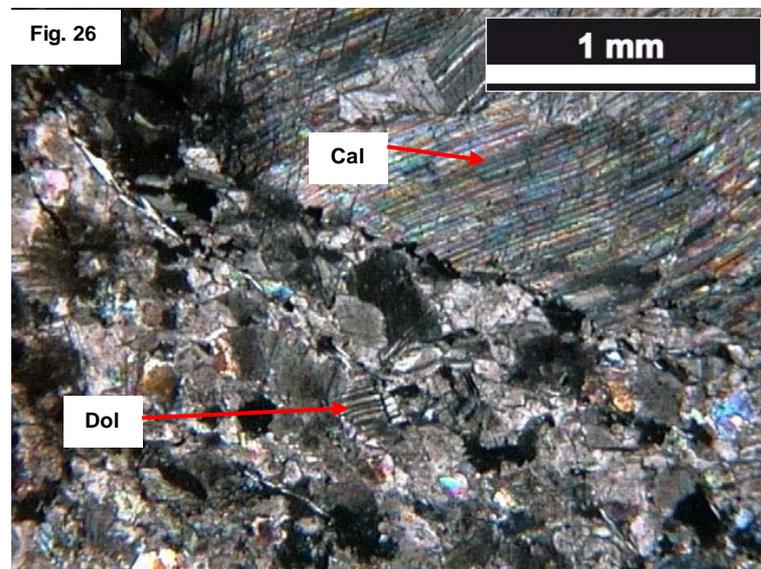
**Figura 24:** Fotomicrografia da amostra PCL 01F. Carbonato (Car), diopsídio (Di) e tremolita (Tr). Aumento de 25x, polarizadores cruzados.

### LÂMINA PCL 03C

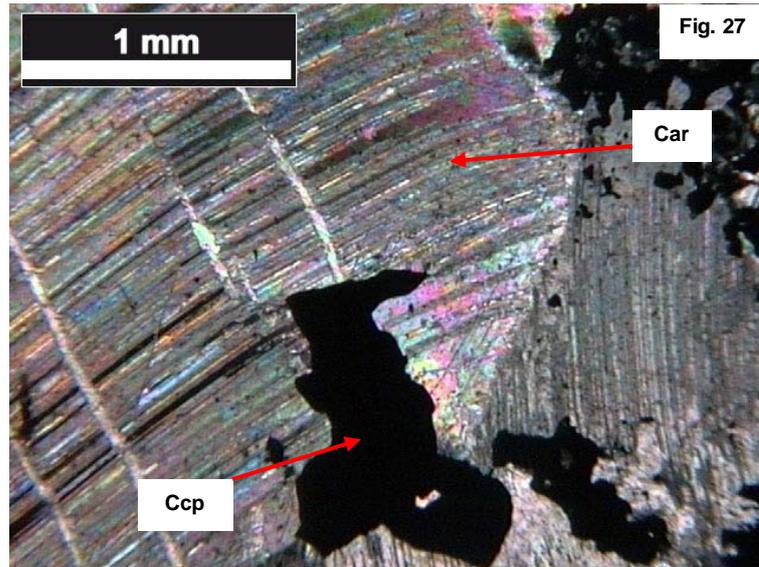
Minerais identificados microscopicamente: carbonato, pirita, calcopirita, clinocloro, hematita, talco, clorita



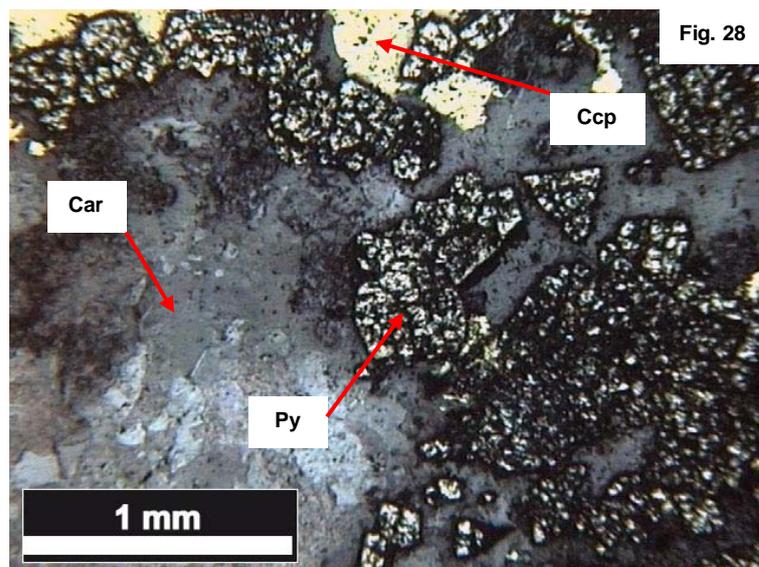
**Figura 25:** Fotomicrografia da amostra PCL 03C. Calcopirita (Ccp) e pirita (Py) em escarnito mineralizado. Aumento de 25x, polarizadores cruzados, luz refletida.



**Figura 26:** Fotomicrografia da amostra PCL 03C. Carbonato metamórfico de granulometria fina (Dol) e carbonato hidrotermal em grãos grossos (Cal). Aumento de 25x, polarizadores cruzados.



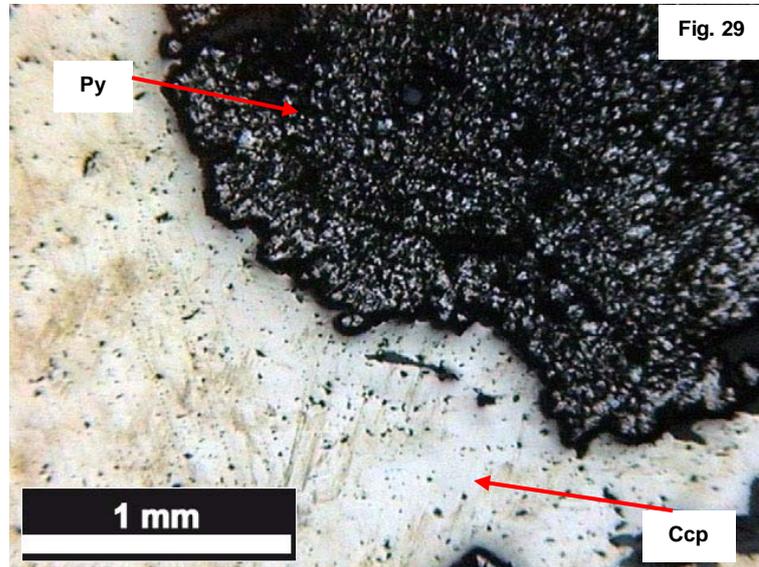
**Figura 27:** Fotomicrografia da amostra PCL 03C. Carbonato (Car) e calcopirita (Ccp). Aumento de 25x, polarizadores cruzados.



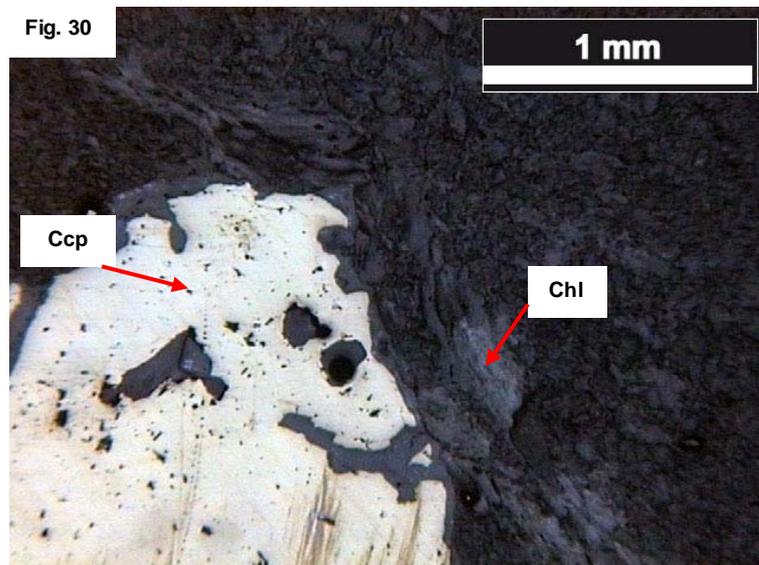
**Figura 28:** Fotomicrografia da amostra PCL 03C. Calcopirita (Ccp), pirita (Py) e carbonato (Car) em escarnito mineralizado. Aumento de 25x, polarizadores cruzados e luz refletida.

### LÂMINA PCL 03D

Minerais identificados microscopicamente: carbonato, pirita, calcopirita, clorita, hematita, magnetita, esfeno, zircão



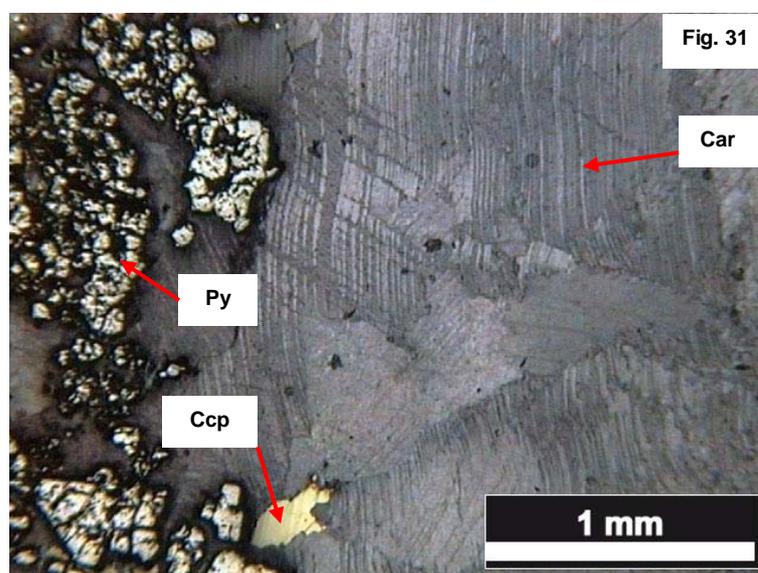
**Figura 29:** Fotomicrografia da amostra PCL 03D. Calcopirita (Ccp) e pirita (Py) em cloritito mineralizado. Aumento de 25x, luz polarizada e luz refletida.



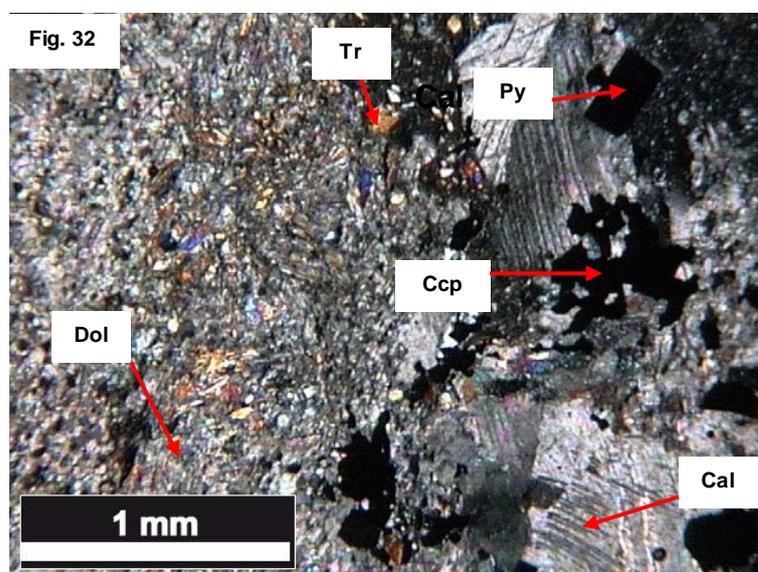
**Figura 30:** Fotomicrografia da amostra PCL 03D. Calcopirita (Ccp) e clorita (Chl). Aumento de 25x, luz polarizada e luz refletida.

### LÂMINA PCL 03F

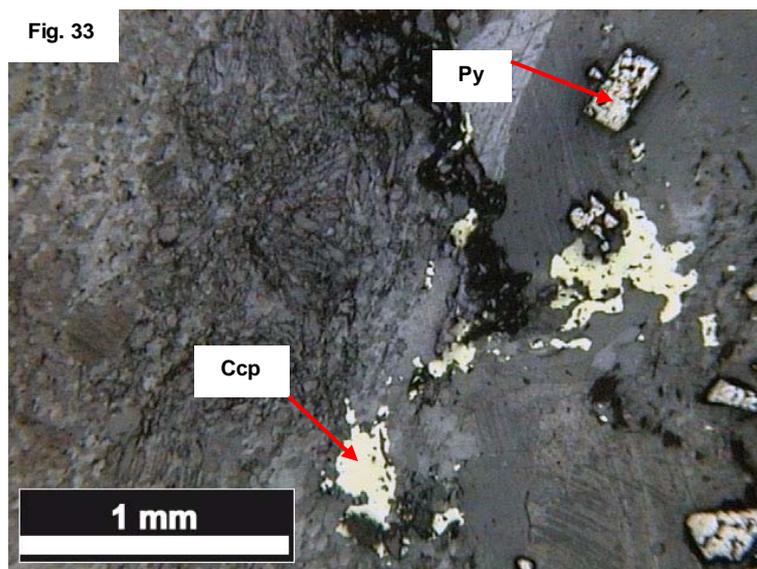
Minerais identificados microscopicamente: carbonato, pirita, calcopirita, tremolita, clorita, talco



**Figura 31:** Fotomicrografia da amostra PCL 03F. Calcopirita (Ccp), pirita (Py) e carbonato (Car) em escarnito mineralizado. Aumento de 25x, polarizadores cruzados e luz refletida.



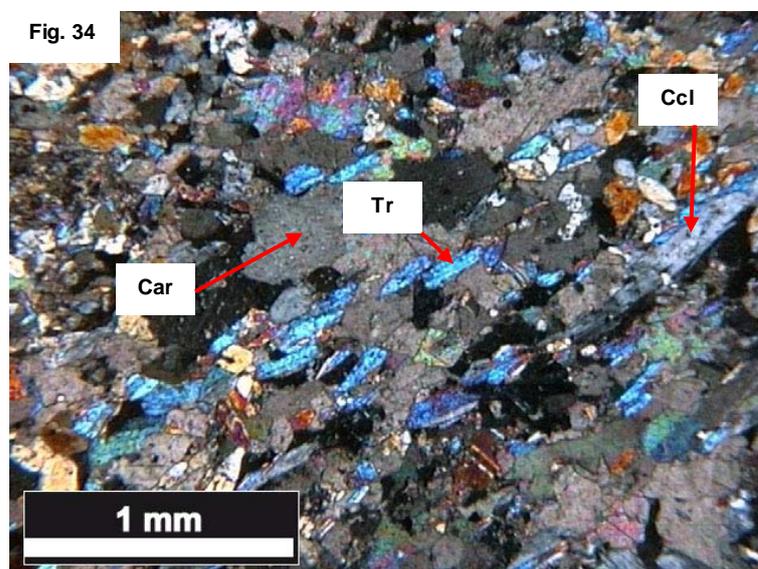
**Figura 32:** Fotomicrografia da amostra PCL 03F. Carbonato metamórfico de granulometria fina (Dol), carbonato hidrotermal de granulometria grossa (Cal), tremolita (Tr), pirita (Py) e calcopirita (Ccp). Aumento de 25x, polarizadores cruzados.



**Figura 33:** Fotomicrografia da amostra PCL 03F. Pirita (Py) e calcopirita (Ccp). Aumento de 25x, luz refletida.

### LÂMINA PCL 03G

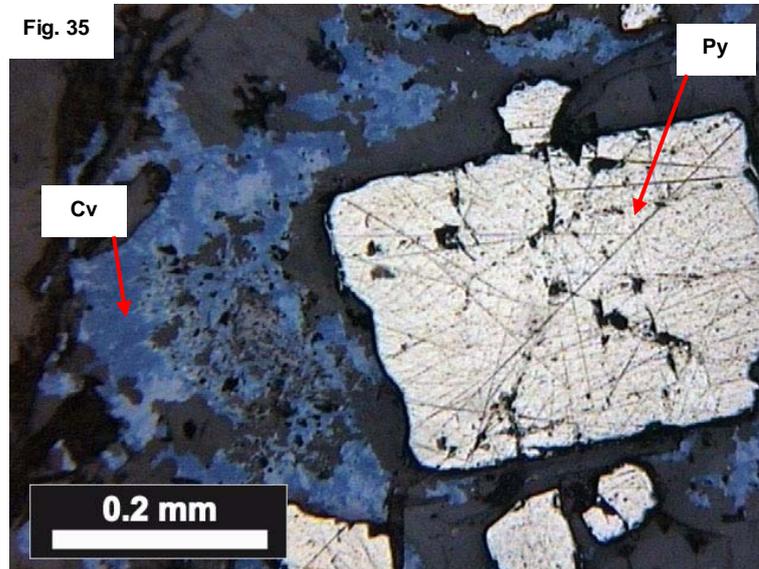
Minerais identificados microscopicamente: carbonato, talco, clinocloro, tremolita



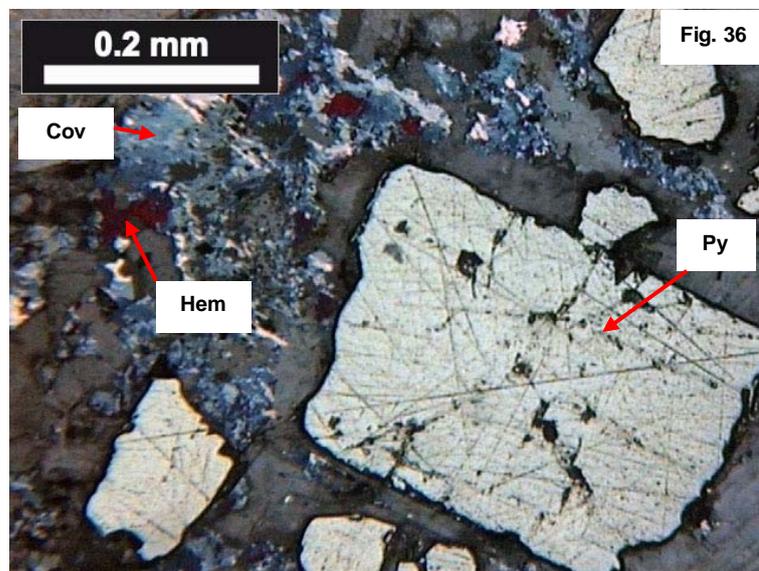
**Figura 34:** Fotomicrografia da amostra PCL 03G. Carbonato (Car), tremolita (Tr) e clinocloro (Ccl) em mármore influenciado pelo fluido granítico. Aumento de 25x, polarizadores cruzados.

### LÂMINA PCL 04A

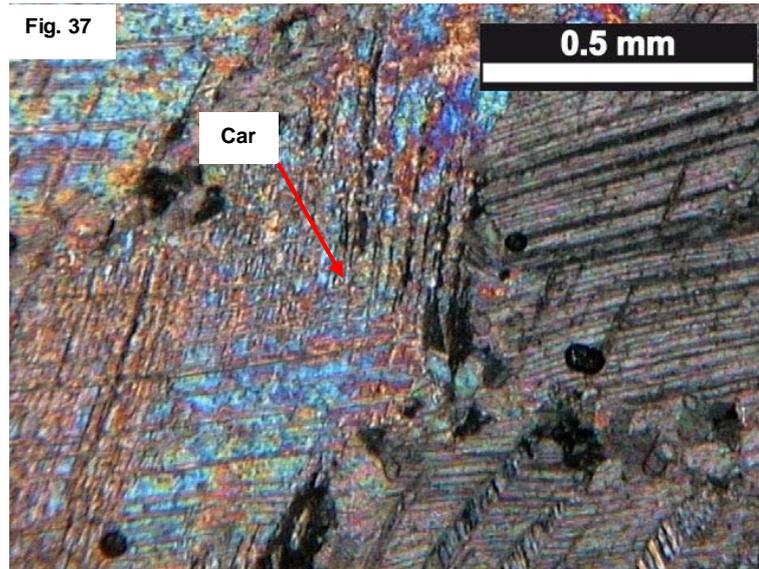
Minerais identificados microscopicamente: carbonato, tremolita, talco, clorita, pirita, calcopirita, covelita, hematita



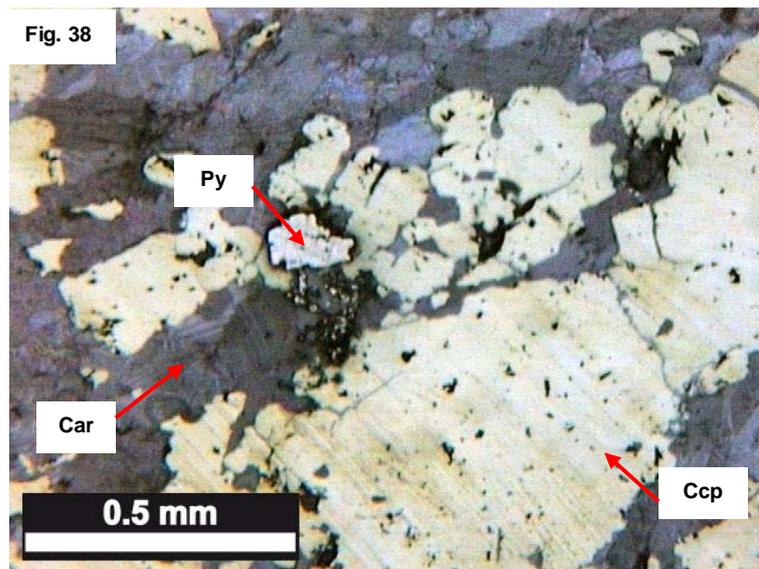
**Figura 35:** Fotomicrografia da amostra PCL 04A. Pirita (Py) e covelita (Cv). Aumento de 100x, luz polarizada e luz refletida.



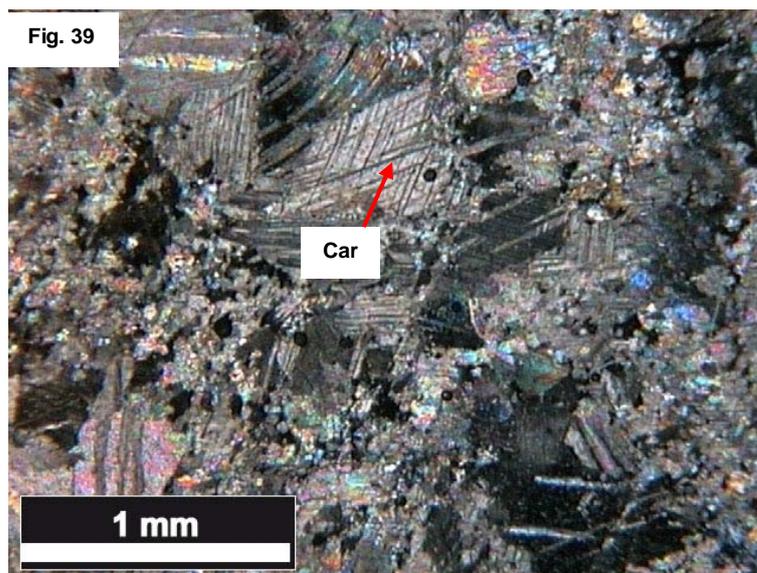
**Figura 36:** Fotomicrografia da amostra PCL 04A. Pirita (Py), covelita (Cv) e hematita (Hem). Aumento de 100x, luz refletida, polarizadores cruzados.



**Figura 37:** Fotomicrografia da amostra PCL 04A. Carbonato (Car). Aumento de 50x, polarizadores cruzados.



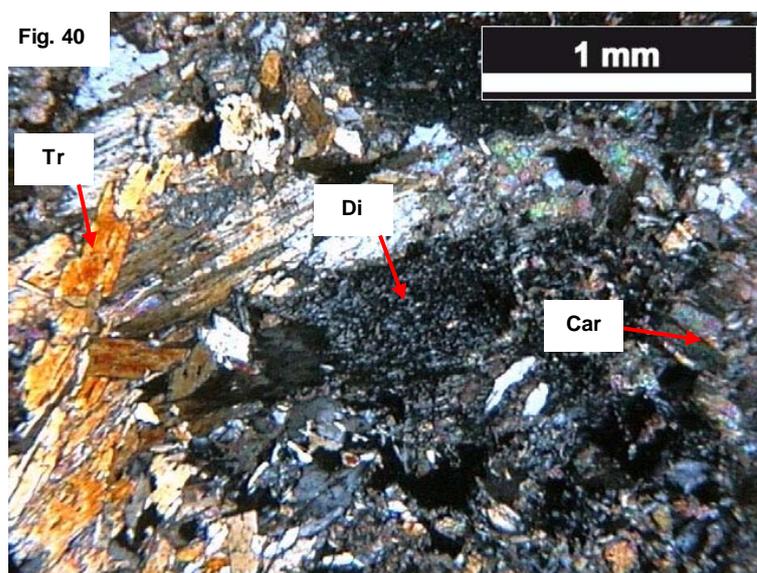
**Figura 38:** Fotomicrografia da amostra PCL 04A. Pirita (Py), calcopirita (Ccp) e carbonato (Car). Aumento de 50x, luz polarizada e luz refletida.



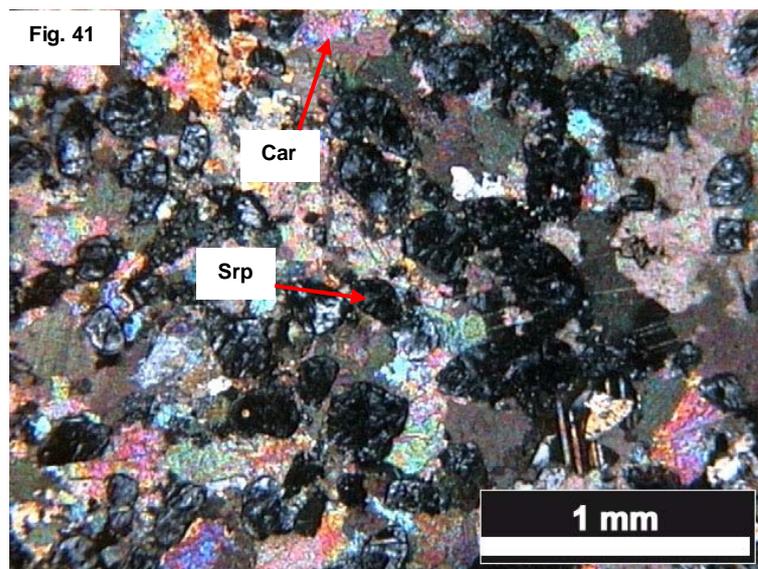
**Figura 39:** Fotomicrografia da amostra PCL 04A. Carbonato (Car) com evidências de deformação. Aumento de 25x, polarizadores cruzados.

#### LÂMINA PCL 04D

Minerais identificados microscopicamente: carbonato, serpentina, diopsídio, tremolita, clinocloro



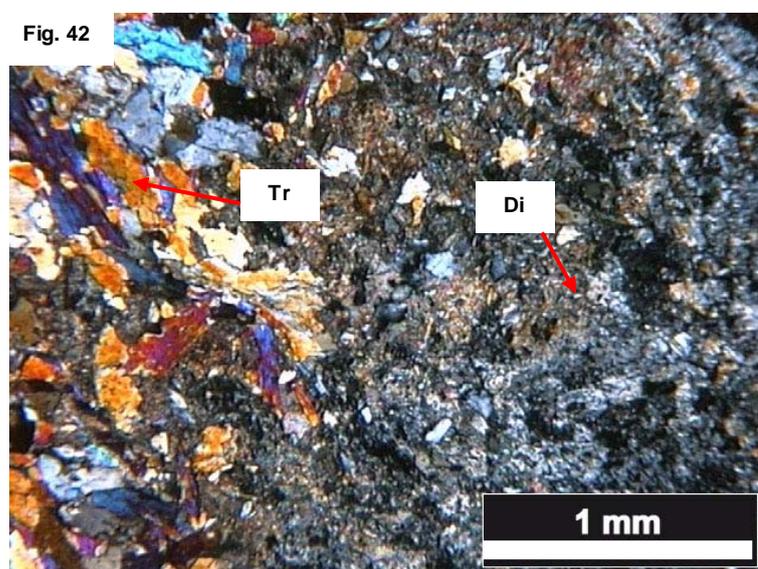
**Figura 40:** Fotomicrografia da amostra PCL 04D. Carbonato (Car), diopsídio (Di) e tremolita (Tr). Aumento de 25x, polarizadores cruzados.



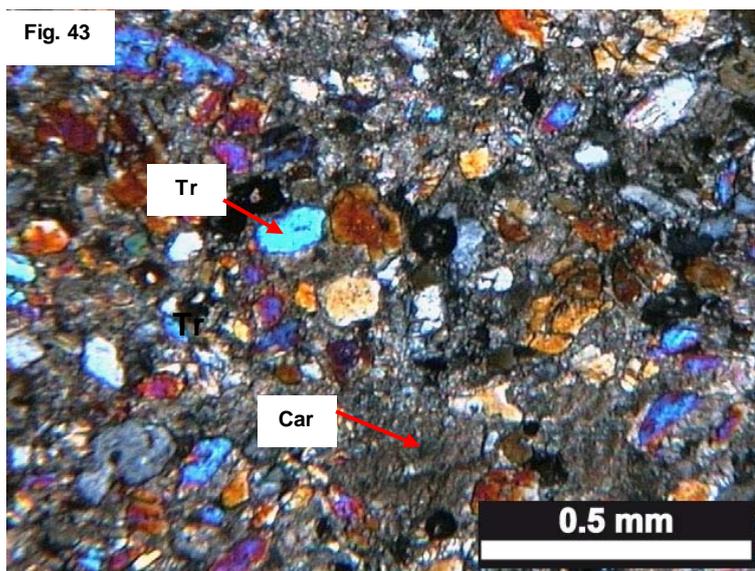
**Figura 41:** Fotomicrografia da amostra PCL 04D. Carbonato (Car) e olivina totalmente serpentinizada (Srp) em mármore impuro. Aumento de 25x, polarizadores cruzados.

#### LÂMINA PCL 04E

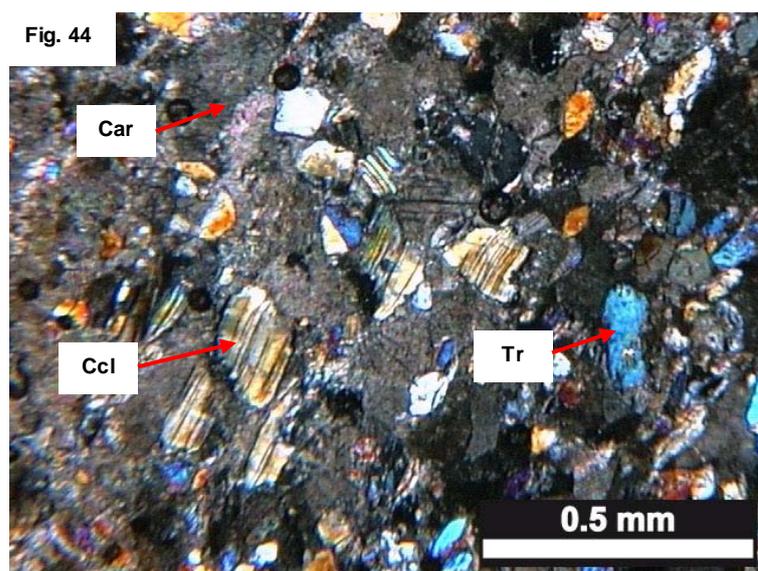
Minerais identificados microscopicamente: carbonato, tremolita, talco, diopsídio, clinoclóro



**Figura 42:** Fotomicrografia da amostra PCL 04E. Tremolita (Tr) e diopsídio (Di). Aumento de 25x, polarizadores cruzados.



**Figura 43:** Fotomicrografia da amostra PCL 04E. Tremolita (Tr) e massa carbonática (Carb). Aumento de 50x, polarizadores cruzados.



**Figura 44:** Fotomicrografia da amostra PCL 04E. Carbonato (Carb), tremolita (Tr) e clinocloro (Ccl). Aumento de 50x, polarizadores cruzados.

#### 6.4. Quantificação mineralógica

Para se realizar a quantificação mineralógica das amostras, utilizou-se um microscópio petrográfico modelo Leitz Aristomet, com *charriot* de 0,3 mm acoplado.

A técnica consiste em se escolher um ponto na lâmina e, a partir dele, contar 800 pontos, um a cada giro do *charriot* e anotar na tabela, previamente definida, o mineral correspondente a cada ponto observado.

Essa quantificação permite estimar a porcentagem de cada mineral presente na amostra e auxilia na definição da relação entre a mineralogia e a ocorrência do minério de cobre.

As tabelas obtidas com a quantificação das amostras foram agrupadas do seguinte modo:

Tabela 1: amostras que contêm molibdenita

Tabela 2: amostras que contêm calcopirita

Tabela 3: amostras sem evidências de mineralização de cobre

Nas tabelas a seguir, os espaços em cinza representam minerais não contidos na amostra e os quadros com o número zero representam minerais que não foram captados na quantificação, mas que foram observados na descrição macroscópica ou microscópica.

Cada amostra teve 800 pontos quantificados e, nas tabelas, estão citadas as porcentagens de cada mineral, de acordo com a quantificação desses pontos.

**Tabela 1:** Amostras contendo molibdenita.

	<b>PCL 01F</b>	<b>PCL 04E</b>
Carbonato	9,0	35,1
Clinocloro		1,6
Diopsídio	58,9	28,2
Molibdenita	0,0	0,0
Talco		11,8
Tremolita	32,1	23,3
<b>TOTAL</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>

**Tabela 2:** Amostras contendo mineralização de cobre (calcopirita).

	<b>PCL 01C</b>	<b>PCL 03 C</b>	<b>PCL 03D</b>	<b>PCL 03F</b>	<b>PCL 04A</b>
Argilomineral	4,4				
Bornita	0,3				
Calcopirita	0,6	26,6	65,3	5,5	16,6
Carbonato	69,6	49,2	9,1	62,6	67,8
Clinocloro	0,9	1,8			
Clorita		1,3	12,9	2,0	4,5
Covelita					0,5
Diopsídio	0,0				
Esfeno			0,0		
Espinélio	1,4				
Flogopita	1,8				
Hematita		0,8	4,1		0,0
Magnetita			0,0		
Olivina	11,0				
Pirita	0,5	11,5	8,6	24,6	2,3
Serpentina	9,5				
Talco	0,0	8,8		1,0	5,9
Tremolita	0,0			4,3	2,4
Zircão			0,0		
<b>TOTAL</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>

**Tabela 3:** Amostras sem evidências de mineralização de cobre.

	<b>PCL 01A</b>	<b>PCL 03G</b>	<b>PCL 04D</b>
Actinolita	44,8		
Biotita	40,1		
Carbonato		72,8	50,5
Clinocloro		1,9	4,9
Diopsídio			16,4
Pirita	0,8		
Plagioclásio	14,3		
Serpentina			20,1
Talco		20,3	
Tremolita		5,0	8,1
<b>TOTAL</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>

## 7. DISCUSSÕES

Os estudos de campo e as descrições de amostras macroscópicas e de lâminas, incluindo quantificações, permitiram observar particularidades e relações entre os minerais constituintes das rochas da área estudada.

A primeira tabela (tab. 1), contendo aquelas amostras nas quais se encontrou sulfetos de molibdênio, foi composta pelas amostras PCL 01F e PCL 04E. Em nenhuma das duas quantificações foi possível fixar percentuais para a molibdenita, já que o mineral foi identificado apenas nas descrições de amostras macroscópicas e nas observações em campo, e não foi captado na contagem dos 800 pontos.

A amostra PCL 01F, com maior quantidade de diopsídio, apresentou, ainda, tremolita e carbonato e na amostra PCL 04E, com maior quantidade de carbonato, identificou-se diopsídio e tremolita, com talco e clinocloro como minerais secundários.

Agrupou-se, na segunda tabela (tab. 2), aquelas amostras nas quais se identificou presença de sulfetos de cobre (calcopirita).

Das amostras agrupadas nessa segunda tabela, a que apresentou maior porcentagem de sulfeto de cobre foi a amostra PCL 03D, classificada como um cloritito mineralizado, contendo (além de sulfeto de cobre e clorita) carbonato, hematita e pirita.

Entre as demais amostras, todas com porcentagens expressivas de carbonato, as que se destacaram, contendo quantidades intermediárias de sulfeto de cobre foram PCL 03C, classificada como escarnito com clorita, clinocloro, hematita, pirita e talco, e PCL 04A, classificada como mármore dolomítico impuro, com clorita, covelita, pirita, talco e tremolita.

A amostra PCL 03F classificada como escarnito com clorita, talco e tremolita, apresentou baixa porcentagem de calcopirita e a mais elevada porcentagem de pirita, entre as amostras analisadas.

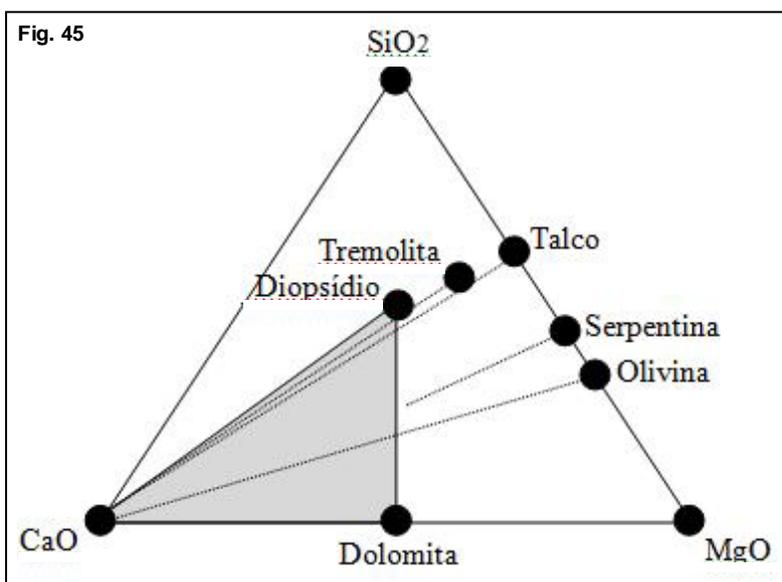
A amostra PCL 01C, mármore dolomítico com porções assimiladas da intrusão, foi a que apresentou menor quantidade de calcopirita. Nessa amostra foram identificados, ainda: bornita, clinocloro, espinélio, flogopita, olivina sã e serpentinizada, argilomineral e pirita.

Na terceira tabela montada (tab. 3) foram listadas aquelas amostras nas quais não foi identificada porcentagem expressiva de nenhum mineral de minério. Essas

amostras, PCL 01A, PCL 03G e PCL 04D, foram classificadas como biotita-anfibólio xisto, mármore e mármore, respectivamente.

A presença dos silicatos de cálcio e magnésio são resultado da entrada de fluido rico em sílica, proveniente do granito, que interagiu com o mármore dolomítico e produziu em ordem decrescente de temperatura: olivina, diopsídio, tremolita, talco e calcita. O enriquecimento do fluido em ferro, enxofre, cobre e molibdênio permitiu a deposição de clorita, e de sulfetos de cobre (calcopirita) e ferro (pirita), além de molibdenita. Este último sulfeto aparece associado a diopsídio ou diopsídio+olivina, indicando sua deposição em alta temperatura. A presença de espinélio verde (oticamente classificado como hercinita), encontrado apenas em uma amostra e associado com clinocloro, indica a presença de metadomínios com composição rica em alumínio e magnésio, que permitiram sua formação. A outra condição básica para a geração desses espinélios é a alta temperatura necessária para a decomposição do clinocloro, que requer condições comparáveis ao fácies granulito.

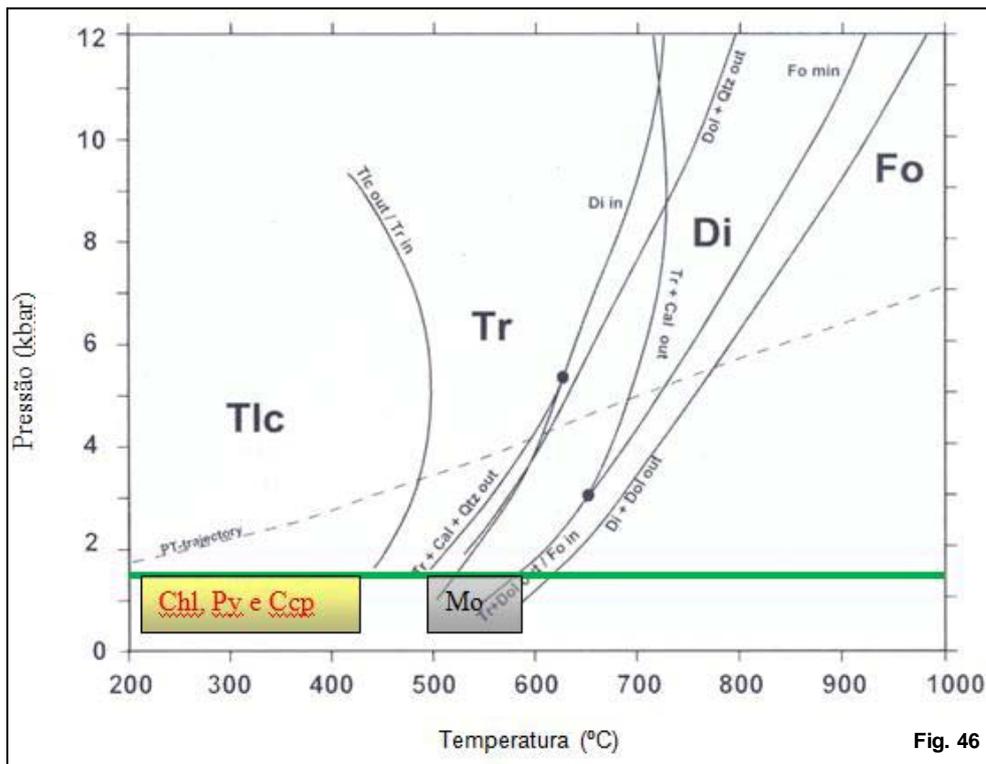
O diagrama composicional (fig. 45) a seguir (Bucher e Frey, 2002) demonstra os minerais encontrados na Pedreira Coronel Linhares, a partir da entrada de sílica no sistema, devido à intrusão do Granito Caçapava.



**Figura 45:** Diagrama composicional CaO-MgO-SiO<sub>2</sub> mostrando os minerais que ocorrem nos mármores e escarnitos da Pedreira Coronel Linhares (modificado de Bucher e Frey, 2002).

O diagrama de fases (fig. 46) a seguir demonstra a distribuição de pressão e temperatura dos minerais encontrados na Pedreira Coronel Linhares. Além disso, foi inserida uma linha, para identificar o padrão da sequência relativa de aparecimento dos minerais com o resfriamento, e os campos nos quais se propõe que tenham surgido as mineralizações de cobre, ferro e molibdenita.

A pressão de CO<sub>2</sub> é um parâmetro importante na estabilidade das fases minerais de sistemas carbonáticos e deve ser avaliada em trabalhos futuros para se estabelecer a influência que exerce no equilíbrio das paragêneses encontradas.



**Figura 46:** Diagrama de fases mostrando a distribuição dos minerais encontrados na Pedreira Coronel Linhares nos diferentes campos de pressão e temperatura. A linha verde indica um padrão, sugerido nesse trabalho, para a sequência de minerais depositados durante o resfriamento dos fluidos em baixa pressão, e a posição relativa sugerida para o aparecimento dos sulfetos.

## 8. CONCLUSÕES

Os estudos petrográficos e de campo permitiram chegar às seguintes conclusões sobre a ocorrência do minério de cobre na região e sua relação com os escarnitos:

1) O sulfeto de cobre presente nas amostras, identificado como calcopirita (bornita rara), ocorre, geralmente, associado a sulfeto de ferro (pirita), clorita e calcita de granulação grossa.

2) A maior porcentagem de calcopirita encontra-se associada ao cloritito, derivado do metamorfismo metassomático provocado pela intrusão do Granito Caçapava.

Como citado no trabalho de Remus et al., 2000, o forte metassomatismo magnésiano pode ter transformado, progressivamente, as camadas de biotita-granodiorito da intrusão em camadas ricas em clorita, e gerado, ao longo dos contatos com o mármore dolomítico, os clorititos. As apófises do Granito Caçapava assimilaram magnésio e enxofre das rochas regionais e produziram a forte alteração clorítica e a saturação em enxofre nos fluidos.

3) A calcopirita aparece associada a paragêneses de baixa temperatura, principalmente a cloritas e carbonatos e, subordinadamente, a tremolita e talco, o que indica que o cobre esteve concentrado nos fluidos tardios.

4) A molibdenita, minério de alta temperatura identificado nas descrições de campo e das amostras macroscópicas, aparece associada aos escarnitos com diopsídio e, levando-se em consideração observações de campo, esse mineral de minério pode estar associado, também, a olivina.

5) A origem dos corpos de escarnito com minério de Cu-Fe-Mo (Au) está associada a interação de fluidos de fácies ricos em biotita do Granito Caçapava. Os fluidos relativamente ricos em sílica reagiram com o mármore e produziram silicatos de cálcio e filossilicatos, que se depositaram paralelamente aos sulfetos, mostrando um padrão comparável a série de Bowen, com o abaixamento progressivo de temperatura: Olivina → Diopsídio → Tremolita → Talco → Clorita e, paralelamente, Molibdenita → Calcopirita ± Pirita.

6) A hematita e a covelita são minerais tardios, sendo que a hematita substitui a pirita e a covelita é produto de alteração, e ocorre substituindo a calcopirita.

## 9. REFERÊNCIAS

- BITENCOURT, M. F. 1983. Metamorfitos da Região de Caçapava do Sul, RS – Geologia e Relações com o Corpo Granítico. In: I Simpósio Sul-Brasileiro de Geologia, Porto Alegre, RS. 1983. p.37-47.
- BITENCOURT, M.F., HARTMANN, L.A., 1984a. Reconhecimento geoquímico dos xistos magnesianos da região do Passo Feio, Caçapava do Sul, RS. Anais do XXXIII Congresso Brasileiro de Geologia (Rio de Janeiro, Brasil) 6, 2607-2614.
- BITENCOURT, M.F., HARTMANN, L.A., 1984b. Geoquímica das rochas anfíbolíticas da região de Caçapava do Sul, RS. Parte I: Caracterização geológica e petrográfica, elementos maiores e menores. Anais do XXXIII Congresso Brasileiro de Geologia (Rio de Janeiro, Brasil) 9, 4253-4265.
- BORTOLOTTI, O.J., 1987. Petrografia dos mármore de Caçapava do Sul, RS. Ciência e Natura, Santa Maria, v.9, p. 37–65.
- BOWMAN, J.R. 1998. Basic Aspects and applications of phase Equilibria in the Analysis of metassomatic Ca-Mg-Al-Fe-Si skarns. In: LENTZ, D.R. 1998. Mineralogical Association of Canada Short Course Series - Mineralized intrusion-related skarn systems, Québec City, Québec, v.26, p.1-49.
- CORDANI, U.G., HALPERN, N., BERENHOLC, M., 1974. Idades Radiométricas de Rochas do Escudo Sul-Riograndense e sua significação tectônica. X Carta do Brasil ao Milionésimo, Folha de Porto Alegre, DNPM.
- NARDI, L.V.S.; BITENCOURT, M. F., 1989. Geologia, petrologia e geoquímica do Complexo Granítico de Caçapava do Sul, RS. Revista Brasileira de Geociências, v.19, n.2, p. 153-169.
- REMUS, M.V.D., HARTMANN, L.A., RIBEIRO, M., 1991. Nota sobre a geologia dos metamorfitos de pressão intermediária e granitóides associados da região de Pinheiro Machado/RS. Acta Geológica Leopoldensia XIV (34), 175-190.
- REMUS, M.V.D., McNAUGHTON, N.J., HARTMANN, L.A., GROVES, D.I., 1996. SHRIMP U/Pb zircon dating at 2448 Ma of the oldest igneous rock in Southern Brazil: Identification of the westernmost border of the Dom Feliciano Belt. In: Symposium on Archaean Terranes of the South American Plataform (Brasília-DF): Extended Abstracts, pp. 67-70.
- REMUS, M. V. D.; HARTMANN, L. A.; McNAUGHTON, N. J.; GROVES, D. I. & FLETCHER, I. R. 2000. The link between hydrothermal epigenetic copper mineralization and the Caçapava Granite of the Brazilian Cycle in southern Brazil. Journal of South American Earth Sciences, v. 13, p. 191-216.

RIBEIRO, M.J.; BOCCHI, P. R.; FIGUEIREDO F<sup>o</sup>, P. M.; TESSARI, R. I. 1966. Geologia da Quadrícula de Caçapava do Sul, Rio Grande do Sul. Boletim n<sup>o</sup>.127, Departamento Nacional da Produção Mineral, Rio de Janeiro. 1966.

RIBEIRO, M. J. 1978. Mapa Previsional do Cobre no Escudo Sul-Rio-Grandense – Nota explicativa. Ministério de Minas e Energia, Departamento Nacional da Produção Mineral, Série Geologia n<sup>o</sup> 3, Seção Geologia Econômica, n<sup>o</sup>1. Brasília, DF, 104 p.

SARTORI, P.L.P., KAWASHITA, K., 1985. Petrologia e geocronologia do batólito granítico de Caçapava do Sul. In: Atas do II Simpósio Sul-Brasileiro de Geologia (Florianópolis, Brasil), pp. 102-115.

SARTORI, P.L.P., KAWASHITA, K., 1989. Petrologia e geocronologia do stock granítico Santos Ferreira e sua correlação com o batólito de Caçapava do Sul, RS. Acta Geológica Leopoldensia XII (29), 131-142 (IV Simpósio Sul-Brasileiro de Geologia, Porto Alegre, Brasil).

SILVA, R. R., 2007. Monografia (Graduação) - Petrografia e geoquímica dos metabasitos da Porção Norte do Complexo Metamórfico Passo Feio, Caçapava do Sul, RS. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

SOLIANI, E. Jr., 1986. Os Dados Geocronológicos do Escudo Sul-Riograndense e Suas Implicações de Ordem Geotectônica. Unpublished Ph.D. Thesis, Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil, 239 p.