

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA**

**VICTORIA SILVEIRA GOMES**

**OCORRÊNCIA DE MINERAIS METÁLICOS E DE ALTERAÇÃO NAS MINAS  
PAREDÃO E OLARIA – LAVRAS DO SUL-RS**

**CAÇAPAVA DO SUL**

**2019**

**VICTORIA SILVEIRA GOMES**

**OCORRÊNCIA DE MINERAIS METÁLICOS E DE ALTERAÇÃO NAS MINAS  
PAREDÃO E OLARIA – LAVRAS DO SUL-RS**

Trabalho de Conclusão de Curso II  
apresentado no Curso de Graduação em  
Geologia da Universidade Federal do  
Pampa, requisito parcial para obtenção  
do título de Bacharel em Geologia.

Orientador: Delia del Pilar Montecinos de  
Almeida

**Caçapava do Sul**

**2019**

Ficha catalográfica elaborada automaticamente com os dados fornecidos  
pelo(a) autor(a) através do Módulo de Biblioteca do  
Sistema GURI (Gestão Unificada de Recursos Institucionais) .

G633o Gomes, Victoria Silveira  
OCORRÊNCIA DE MINERAIS METÁLICOS E DE ALTERAÇÃO NAS MINAS  
PAREDÃO E OLARIA - LAVRAS DO SUL-RS / Victoria Silveira Gomes.  
66 p.

Trabalho de Conclusão de Curso(Graduação)-- Universidade  
Federal do Pampa, GEOLOGIA, 2019.

"Orientação: Delia del Pilar Montecinos de Almeida".

1. Minerais metálicos. 2. Minerais de alteração. 3.  
Elementos Terras Raras. 4. Microscópio Eletrônico de  
Varredura. I. Título.

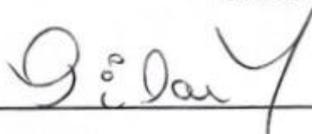
VICTORIA SILVEIRA GOMES

**OCORRÊNCIA DE MINERAIS METÁLICOS E DE ALTERAÇÃO NAS MINAS  
PAREDÃO E OLARIA – LAVRAS DO SUL-RS**

Trabalho de Conclusão de Curso II  
apresentado no Curso de Graduação em  
Geologia da Universidade Federal do  
Pampa, requisito parcial para obtenção do  
título de Bacharel em Geologia.

Trabalho de Conclusão de Curso II defendido e aprovado em: 04 de dezembro de  
2019

Banca examinadora:

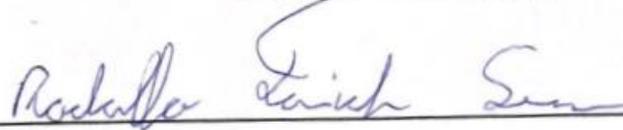


---

Prof.<sup>a</sup>. Dr.<sup>a</sup>. Delia del Pilar Montecinos de Almeida

Orientadora

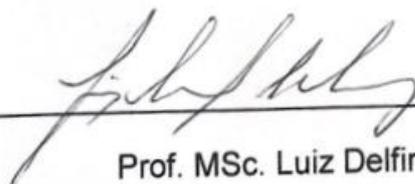
Geologia – UNIPAMPA



---

Rodolfo Tomich Sena

Geólogo – Água Fertilizantes



---

Prof. MSc. Luiz Delfino Teixeira Albarnaz

Geologia – UNIPAMPA

Aos meus pais, que possibilitaram que isso  
acontecasse.

Ao meu melhor amigo e irmão Samuel, e a tudo  
o que passamos juntos.

## **AGRADECIMENTOS**

Meu agradecimento à minha orientadora, professora e amiga Pilar. Ter a oportunidade de trabalhar com a senhora foi uma das melhores coisas que me aconteceram durante a graduação. Obrigada por todos os ensinamentos, conselhos e broncas. É uma honra para mim ter a senhora por perto.

À Camila Esmeris, Débora Gallon e a todos os funcionários da Empresa Amarillo Gold, por permitirem que este estudo tenha sido realizado, bem como toda a ajuda e suporte durante as visitas ao galpão.

Aos técnicos Lenon Ilha, Marcelo Lusa e à Juliana Young, por me acompanharem nas visitas ao galpão da Amarillo Gold e ao meu irmão de rocha Guilherme Pazinato pela ajuda durante a descrição dos testemunhos.

Aos Professores Edinei Koester e Carla Porcher da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, pela realização das análises feitas no Microscópio Eletrônico de Varredura.

Às minhas irmãs Evelyn e Catarine, que estiveram comigo durante estes anos e que dividiram ótimas experiências comigo.

Aos meus amigos Amyr, Daniel, Enzo, Henrique, João Pedro, João Vitor, Matheus, Pedro, Robson e Rodrigo. Se não fosse por vocês, minha vida em Caçapava não seria a mesma. Obrigada a todos pela amizade de vocês.

*Cum mente et malleo*

## RESUMO

Lavras do Sul é um município conhecido desde o século XVIII devido suas ocorrências auríferas. Com a evolução do conhecimento geológico, constatou-se que os depósitos no município possuem outros metais além do ouro, como o cobre, chumbo, zinco e Elementos Terras Raras. Este estudo teve a finalidade de analisar a ocorrência destes minerais metálicos e de outros minerais de alteração, com objetivo de apresentar um modelo da assembleia mineralógica destes nas Minas Paredão e Olaria, com ênfase na presença de ETR. Para isto, foi realizado o levantamento bibliográfico da área, em seguida foi feito o estudo de furos de sondagem fornecidos pela empresa Amarillo Gold. Foram selecionadas as amostras alteradas e mineralizadas para estudo ao Microscópio Petrográfico e ao Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV). A partir destas análises, verificou-se a presença de pirita, calcopirita, galena, esfalerita (sulfetos), barita (sulfato), sericita e sambornita (silicatos) e hematita e ilmenita (óxidos). Na pirita foi detectado Rênio, Disprósio e traços de Prata, já na calcopirita, Índio e Tântalo. Na galena, Lantânio e na esfalerita, Lantânio e Ouro. A barita apresentou Cério, a sambornita, Estanho e Chumbo e a sericita, Praseodímio. Na hematita foi detectado Chumbo. As assembleias minerais e as interações entre alguns elementos sugerem a existência de fluidos que percolaram e alteraram a rocha, depositando os metais que entraram principalmente na estrutura dos sulfetos. A presença de ETR é um indicativo das características do fluido, com altas temperaturas e pH ácido. Este fluido de alteração foi responsável pela formação do depósito (tipo Pórfiro Cuprífero ou Epitermal) e a zona de alteração mais comum é a Sericítica, com assembleia mineral Quartzo-Sericita-Pirita. Sugere-se que sejam feitos estudos mais direcionados ao conteúdo de ETR nos minerais.

**Palavras-Chave:** Minerais de alteração, metálicos, ETR, MEV.

## ABSTRACT

Lavras do Sul is a city known since the 18th century due to its gold occurrences. With the evolution of the geology knowledge, it was found that the city's deposits held other metals besides gold, as copper, lead, zinc and rare Earth Elements. It was able to analyze the occurrences of those metallic and other alteration minerals, aiming to present a model of the mineralogical assembly at the paredão and Olaria Mines, emphasizing the presence of REE. For that, it was made the bibliographical review of the area, followed by the study of drill holes provided by the Amarillo Gold company. It was selected some altered and mineralized samples to study at the petrographic microscope and the Scanning Electron Microscope (SEM). The presence of pyrite, chalcopyrite, galena (sulphides), barite (sulphate), sericite and sambornite (silicates) and also hematite and ilmenite (oxides) were found. In pyrite, it was found Rhenium, Dysprosium and silver traces, in chalcopyrite, Indium and Tantalum. In galena, Lanthanum and in sphalerite, Lanthanum and Gold. The barite presented Cerium, in sambornite, Tin and Lead, and also in sericite, Praseodymium. In hematite, lead was detected. The mineral assemblies and its interactions between some elements suggest the presence of fluids that percolate and altered the rock, depositing the metals that mainly entered the sulphide structure. The presence of REE is indicative of fluid characteristics with high temperatures and acidic pH. This alteration fluid was responsible for the formation of the deposit (Copper Porphyry or Epithermal) and the most common alteration zone found was the Sericitic, containing the mineral assembly Quartz-Sericite-Pyrite. It is suggested to be conducted further studies on the REE mineral contents.

**Keywords:** Alteration minerals, metallics, REE, SEM.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa de Situação e Localização de Lavras do Sul – RS.....	18
Figura 2 - Esquema idealizado da evolução da sequência de alteração hidrotermal. .....	19
Figura 3 - Modelo de um depósito do tipo Pórfiro Cuprífero e suas Zonas de Alteração. Cl=Clorita, Ep=Epidoto, Carb=Carbonato; Adul=Adulária; Ab= Albita, Qz=Quartzo, Kaol=Caulinita; Ser=Sericita; Py=Pirita; KF= Feldspato Potássico; Bi=Biotita, Cpy=Calcopirita.....	23
Figura 4 - Esquema generalizado mostrando a relação entre os tipos de fluidos da zona de alteração nos ambientes de baixa e de alta sulfetação. Qz=Quartzo, Adul=Adulária, Cal=Calcita.....	25
Figura 5 - Mapa geológico dos Terrenos São Gabriel e Taquarembó. 1 = Complexo Ibaré, 2 = Complexo Palma, 3 = Complexo Bossoroca; CM = Ofiolito Cerro Mantiqueira. Corpos graníticos: CS = Caçapava do Sul, J = Jaguari, LS = Lavras do Sul, SA = Santo Afonso, SR = Santa Rita, SS = São Sepé. A área evidenciada em vermelho é referente à área de estudos.....	29
Figura 6 - Mapa Litológico do Complexo Intrusivo Lavras do Sul (CILS). ....	31
Figura 7 - Mapa de Localização dos Furos de Sondagem. ....	35
Figura 8 - Rocha sã presente na porção superficial do furo. ....	37
Figura 9 - Rocha com alteração hidrotermal. ....	37
Figura 10 - Transição entre rocha alterada e sã.....	38
Figura 11 - Rocha pouco alterada.....	38
Figura 12 - Rocha sã.....	39
Figura 13 - Rocha com alteração moderada.....	39
Figura 14 - Veio mineralizado.....	40
Figura 15 - Porção alterada da rocha.....	40
Figura 16 - Evolução da alteração com o aumento da profundidade do furo. ....	41
Figura 17 - (A) Rocha sã e (B) Fraturas preenchidas por quartzo.....	42
Figura 18 - Mineralizações de pirita (dourada) e calcopirita (vermelha).....	42
Figura 19 - Fotomicrografia de minerais de alteração, veios e fraturas preenchidas. Afs=álcali-feldspato, Qz=Quartzo. Ser=Sericita. Aumento de 5x. Luz Transmitida. Nícois Cruzados. ....	43
Figura 20 - Pirita, óxido de ferro e ouro. Aumento de 5X. Luz Refletida. ....	44

Figura 21 - Quartzo, pirita, sericita (sp. 352), barita (sp. 355) e silicato de bário (sp. 360). Py=Pirita, Qz=Quartzo. ....	45
Figura 22 - Intercrescimento de três minerais distintos. ....	46
Figura 23 - Química mineral da barita (sp. 377), pirita (sp. 376) e hematita (sp. 382). .....	46
Figura 24 - Quartzo, pirita e calcopirita (sp. 328). Qz=Quartzo, Py=Pirita.....	47
Figura 25 - Pirita, quartzo e fratura preenchida por galena (sp. 270).....	48
Figura 26 - Alvo de minerais de alteração e inclusões metálicas. Ser=Sericita, Qz=Quartzo, KF=K-feldspato. ....	49
Figura 27 - Química mineral de Pirrotita (sp. 285) e Ilmenita (sp. 286). ....	49
Figura 28 - Intercrescimento de Pirita e Esfalerita (sp. 299). Py=Pirita. ....	50

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 - Relação entre os Furos de Sondagem e a Profundidade.....	35
Tabela 2 - Porcentagem de ETR detectada nos minerais estudados. ....	50

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>15</b>
<b>1.1 Objetivo</b> .....	<b>16</b>
<b>1.1.1 Geral</b> .....	<b>16</b>
<b>1.1.2 Específicos</b> .....	<b>16</b>
<b>2 JUSTIFICATIVA</b> .....	<b>17</b>
<b>3 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA</b> .....	<b>18</b>
<b>4 ESTADO DA ARTE</b> .....	<b>19</b>
<b>4.1 Alteração Hidrotermal</b> .....	<b>19</b>
<b>4.1.1 Elementos Terras Raras</b> .....	<b>20</b>
<b>4.1.2 Elementos Terras Raras no Processo de Alteração Hidrotermal</b> .....	<b>21</b>
<b>4.2 Mineralizações Metálicas</b> .....	<b>22</b>
<b>4.3 Depósitos Associados à Alteração Hidrotermal</b> .....	<b>22</b>
<b>4.3.1 Pórfiros:</b> .....	<b>22</b>
<b>4.3.2 Epitermais:</b> .....	<b>24</b>
<b>5 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>26</b>
<b>5.1 Teoria dos Métodos e Técnicas</b> .....	<b>26</b>
<b>5.1.1 Microscopia Óptica</b> .....	<b>26</b>
<b>5.1.2 Análise por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)</b> .....	<b>26</b>
<b>5.2 Trabalhos Anteriores Aplicados</b> .....	<b>27</b>
<b>6 CONTEXTO GEOLÓGICO</b> .....	<b>29</b>
<b>6.1 Geologia Regional</b> .....	<b>29</b>
<b>6.2 Geologia Local</b> .....	<b>31</b>
<b>6.3 Aspectos Fisiográficos</b> .....	<b>32</b>
<b>7 METODOLOGIA</b> .....	<b>34</b>
<b>8 RESULTADOS</b> .....	<b>35</b>
<b>8.1 Descrição Macroscópica</b> .....	<b>36</b>
<b>8.2 Descrição Microscópica</b> .....	<b>42</b>
<b>8.3 Microscopia Eletrônica De Varredura (MEV)</b> .....	<b>44</b>
<b>8.4 Concentração de ETR</b> .....	<b>50</b>
<b>8.5 Matrizes de correlação</b> .....	<b>51</b>
<b>9 DISCUSSÕES</b> .....	<b>52</b>
<b>10 CONCLUSÕES</b> .....	<b>56</b>

<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>58</b>
<b>ANEXO A.....</b>	<b>63</b>
<b>ANEXO B.....</b>	<b>64</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O município de Lavras do Sul é conhecido desde o final do século XVIII pelo seu potencial aurífero (IGBE, 2017). A exploração do ouro era feita através de garimpos pelos bandeirantes, às margens do Rio das Lavras, guiados pelos índios que habitavam a região. Este potencial atraiu portugueses e espanhóis e favoreceu o desenvolvimento do povoado. Após a guerra do Paraguai, chegou ao município a companhia inglesa Gold Mining, trazendo capital privado, que proporcionou grande progresso para a região. A sede da empresa, construída em 1872 ainda existe, simbolizando os tempos áureos do desenvolvimento.

Atualmente, Lavras do Sul continua sendo uma região favorável à pesquisa e exploração de recursos minerais, não apenas ouro, mas diversos metais, como cobre, chumbo, zinco e prata. Um dos projetos de pesquisa mais recentes pertence à empresa Amarillo Gold, que detém furos de sondagem e análises químicas de diversas minas presentes no município.

Para a realização deste trabalho, foram selecionadas, com o auxílio da Empresa Amarillo Gold, as minas Paredão e Olaria. Ambas as minas são localizadas a 2km a Noroeste do centro do município e situam-se sobre o Complexo Intrusivo Lavras do Sul, que é formado por granitoides de caráter shoshonítico e alcalino (NARDI, 1984) e que sustentam as mineralizações.

Neste estudo foram analisados e descritos dois furos de sondagens da mina Paredão e um furo da mina Olaria, fornecidos pela empresa. Foram estudadas 10 amostras ao microscópio de Luz Transmitida e Refletida com a finalidade de determinar a complexidade dos minerais metálicos e de alteração. Posteriormente, as amostras com maior conteúdo de metálicos foram estudadas no Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV), com o intuito de determinar os minerais presentes através da química mineral e fornecer imagens de alta resolução e ampliação, além de possibilitar a visualização de microtexturas e microestruturas. A empresa forneceu as análises químicas das rochas destas minas e com isso, estes dados serão analisados em conjunto com as análises mineralógicas.

Com os resultados deste trabalho, foram fornecidas informações mais detalhadas acerca da mineralogia, tanto dos produtos de alteração como de metálicos, presentes nas Minas Paredão e Olaria, assim como a paragenese destes. Estas

informações serão agregadas aos estudos de prospecção e exploração mineral, realizados pela empresa Amarillo Gold.

## **1.1 Objetivo**

### **1.1.1 Geral**

Apresentar um modelo da assembleia mineralógica dos minerais de alteração e metálicos das Minas Paredão e Olaria, com ênfase na presença de Elementos Terras Raras.

### **1.1.2 Específicos**

- Contribuir com o conhecimento dos processos de alteração que afetaram a região de Lavras do Sul
- Fornecer informações acerca dos diferentes minerais metálicos existentes na região;
- Determinar a presença de ETR em diferentes minerais;
- Agregar os resultados obtidos para posteriormente elaborar um modelo de alteração e da mineralização para toda a região.

## **2 JUSTIFICATIVA**

O município de Lavras do Sul é um importante alvo para o estudo e a exploração de minerais de interesse econômico. A complexidade geológica do local favorece a presença de metais como Cobre, Chumbo, Zinco, Prata e Ouro.

A proximidade do local de estudo com a Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA) – Campus Caçapava do Sul, faz com que o estudo seja conveniente. Além disso, torna-se ainda mais viável pela possibilidade de produzir lâminas petrográficas e estudá-las na Universidade, além de ter a colaboração da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) para a realização das análises de química mineral através da Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV).

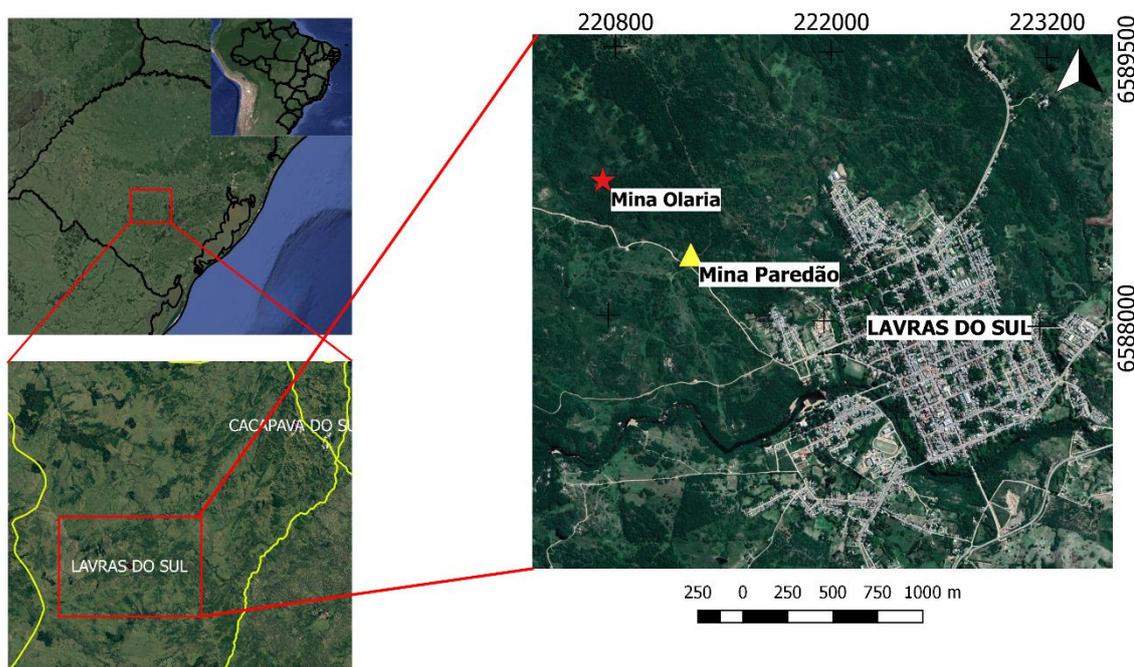
A área escolhida para pesquisa é localizada nas minas Paredão e Olaria, que atualmente estão sob domínio da empresa Amarillo Gold, portanto, este trabalho conta com o apoio desta, que concedeu permissão para os estudos nos locais das minas bem como o estudo dos furos de sondagem. Além disso, a empresa também forneceu informações e mapas para auxílio desta pesquisa.

Espera-se que o presente estudo colabore com o projeto de prospecção e exploração da empresa.

### 3 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA

O município de Lavras do Sul encontra-se na porção Sudoeste do estado do Rio Grande do Sul. Situa-se a aproximadamente 320km a sudoeste da capital Porto Alegre e a aproximadamente 60km a sudoeste do município de Caçapava do Sul (Figura 1).

Figura 1 - Mapa de Situação e Localização de Lavras do Sul – RS.



Fonte: Extraído e modificado de Google Earth.

Este pode ser acessado a partir da capital pela BR-290 sentido Oeste, até chegar no entroncamento com a BR-392 sentido Sudeste, que se destina a Caçapava do Sul e por fim, acessando a RS-357 sentido Sudoeste até chegar no destino final (Figura 1).

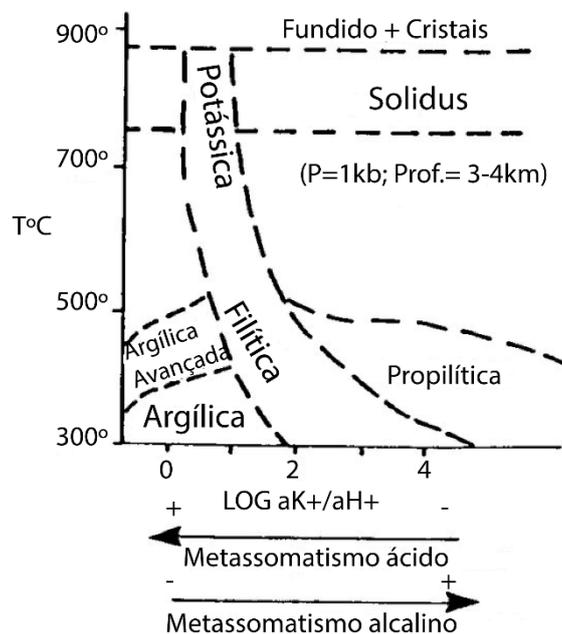
O local de estudo está localizado na Folha Lavras do Sul (SH-22-Y-A-IV-3). A Mina Olaria situa-se nas coordenadas UTM 6.588.750 m/S e 220.750 m/W enquanto a Mina Paredão é situada nas coordenadas 6.588.350 m/S e 221.250 m/W. Estas são encontradas uma ao lado da outra e estão localizadas a menos de 2km do centro do município (Figura 1).

## 4 ESTADO DA ARTE

### 4.1 Alteração Hidrotermal

A alteração hidrotermal é um processo que envolve mudanças mineralógicas, químicas e texturais nas rochas. É resultante da interação entre fluidos aquosos quentes e rochas nas quais os fluidos percolam. Estes fluidos hidrotermais atacam quimicamente os minerais constituintes das rochas, tornando-se necessário que o sistema entre em equilíbrio novamente e forme novas assembleias minerais. A circulação hidrotermal e a alteração relacionada envolve grandes quantidades de fluido, que passa por um grande volume de rochas. Estas rochas devem ter uma permeabilidade e devem permitir a percolação de fluidos através de fraturas e/ou falhas (PIRAJNO, 1992). Na figura 2, o modelo de Pirajno (1992) apresenta um modelo da sequência de alteração hidrotermal, considerando os parâmetros de temperatura, e  $\log aK^+/aH^+$ , que se refere à razão de metassomatismo alcalino e ácido.

Figura 2 - Esquema idealizado da evolução da sequência de alteração hidrotermal.



Fonte: Extraído e modificado de Pirajno (1992)

Os tipos de alteração hidrotermal são:

**i) Potássica:** Muito comum em depósitos tipo pórfiro e epitermais. Caracterizada pela assembleia mineral composta por k-feldspato, biotita (em pórfiros) e adularia (em sistemas epitermais).

**ii) Propilítica:** É caracterizada pela adição de H<sub>2</sub>O e CO<sub>2</sub> no sistema, com pouco S e nenhum H<sup>+</sup>. Os minerais típicos são epidoto, clorita, carbonatos, albita, k-feldspato e pirita.

**iii) Filítica:** Caracterizada pela assembleia quartzo-sericita-pirita (QSP). As fases minerais associadas são k-feldspato, caulinita, calcita, biotita, rutilo, anidrita e apatita. A sericita pode conter maior teor de SiO<sub>2</sub>, MgO e H<sub>2</sub>O, com menor teor de K<sub>2</sub>O (DEER *et al.*, 1967). Este tipo de alteração ocorre devido a desestabilização dos feldspatos pela presença de H<sup>+</sup>, OH<sup>-</sup>, K e S, formando quartzo, muscovita, pirita e calcopirita.

**iv) Argílica:** Caracterizada pela formação de argilominerais devido ao intenso metassomatismo (ácido) em temperaturas entre 100-300°C. Os argilominerais substituem principalmente o plagioclásio e silicatos máficos (biotita e hornblenda). Este tipo de alteração ainda pode ser dividido em:

-Argílica intermediária: Definida pela presença de montmorillonita, illita, clorita, caulinita e pouca sericita, enquanto não há alteração do k-feldspato.

-Argílica avançada: Ocorre devido ao intenso ataque ácido e extração de cátions alcalinos, com a completa destruição dos k-feldspatos e silicatos máficos. Os minerais típicos são caulinita, pirofilita, barita, alunita e diásporo.

#### 4.1.1 Elementos Terras Raras

Os membros do Grupo IIIB da Tabela Periódica são chamados “Elementos Terras Raras (ETR)”. Entretanto, alguns destes não são tão raros quando comparados com alguns metais. Por exemplo, os elementos Ce, La, Y e Nd são mais abundantes em rochas ígneas da crosta do que os elementos Pb, Co, Sn, Mo e W (FELSCHE E HERRMANN, 1978). Este grupo é composto por 17 elementos com raio atômico entre 57 (La) a 71 (Lu). O elemento Y também é considerado como ETR pois suas propriedades físicas são similares. Os elementos que possuem raio atômico menor que o do elemento Eu são considerados ETR leves, e os que possuem raio atômico maior são considerados ETR pesados (FIGUEIREDO, 1985).

Os ETRs são geoquimicamente muito parecidos entre si e são classificados como Litófilos de acordo com a classificação de Goldschmidt (1954). Estes possuem preferência a se ligarem ou substituírem elementos com raio iônico de 0,9-1,0 angstrom (Ex.: Ca, Na) (HANSON, 1980).

As Terras Raras apresentam efeito Oddo-Harkins, na qual os elementos de número atômico par são mais abundantes que seus vizinhos ímpares, devido a maior estabilidade de seus núcleos atômicos. Para eliminar o efeito zigue-zague, é necessário normalizar a concentração de cada elemento, dividindo-a pela concentração de elementos em uma rocha qualquer ou por condritos, que são representativos da composição da Terra (FIGUEIREDO, 1985).

Estes elementos não ocorrem como metais livres na crosta devido ao seu comportamento geoquímico, portanto sua ocorrência se dá na forma de mistura de vários ETR nos minerais. Podem ser encontrados como componentes de minerais acessórios ou na forma de inclusões, preenchendo fraturas de minerais ou como elemento de substituição (LAPIDO-LOUREIRO, 1994)

As ocorrências mais comuns são em silicatos (43%), carbonatos (23%) óxidos (14%) fosfatos e oxissais (14%). A maioria dos minerais é composta por Ce, Y, La e Nd. Os principais minerais hospedeiros de ETRs são as argilas iônicas. Nestas, mais de 70% do conteúdo de Terras Raras na forma de cátions é adsorvida na superfície dos aluminossilicatos, porém o mecanismo é pouco compreendido (CHARKHMOURADIAN e WALL, 2012). A abundância dos Terras Raras em minerais acessórios é muito maior do que nos minerais formadores de rocha (FELSCHE e HERRMANN, 1978). Os principais minerais de Terras Raras são a monazita, bastnaesita, xenotima, apatita, alanita, entre outros (TAKEHARA, 2015).

A fusão parcial e a cristalização fracionada levam ao enriquecimento relativo de ETR leves na fase líquida, enriquecendo as rochas crustais, principalmente as félsicas (FIGUEIREDO, 1985). Além disso, ocorre o enriquecimento destes elementos na solução com a diminuição do pH. Altas temperaturas (230°C), alto conteúdo de Cloro e pH<6 regem o comportamento dos ETRs, pois favorecem a mobilidade destes.

Estes elementos estão presentes em granitos peralcalinos e peraluminosos, pois os líquidos residuais ricos em F, Li, B e P reduzem a T<sub>solidus</sub> e a viscosidade do fluido, facilitando a separação sólido/líquido e conseqüentemente, o enriquecimento do fundido (TAKEHARA, 2015).

#### **4.1.2 Elementos Terras Raras no Processo de Alteração Hidrotermal**

A presença de Terras Raras em depósitos hidrotermais é muito frequente. Kosterin (1959) sugere que a maioria dos ETR em depósitos hidrotermais foram transportados em soluções alcalinas, na forma de complexos carbonatados,

fluorados e sulfetos. O motivo da quebra destes complexos e sua precipitação pode estar vinculado ao decréscimo da pressão, mudança na alcalinidade ou fixação de CO<sub>3</sub>. Felsche e Herrmann (1978) afirmam que os ETR pesados formam complexos mais estáveis, tendendo a permanecer em solução por mais tempo que os ETR leves, concentrando-se nos produtos finais da atividade hidrotermal.

Existe uma variação no enriquecimento de ETRs nos magmas, produtos de cristalização e fluidos residuais. A precipitação é controlada pela mobilidade relativa destes elementos em fluidos de diferentes composições e por interações fluido-rocha (William-Jones *et al.*, 2012).

Michard (1989) afirma que as concentrações de ETR em fluidos hidrotermais são muito baixas, mas tendem a aumentar com a diminuição do pH (em meio ácido).

Hanson (1980) e Michard (1989) comprovaram que, em rochas alteradas hidrotermalmente, a abundância de Terras Raras é afetada significativamente se a água passa pelo sistema diversas vezes.

## **4.2 Mineralizações Metálicas**

Para a formação de um depósito metálico, é necessário que haja o enriquecimento e um processo concentrador na rocha hospedeira. Este enriquecimento pode ocorrer através de fluidos que são liberados durante o resfriamento do magma e que ascendem por processos convectivos para as porções superiores da câmara magmática. Este magma que libera os fluidos deve conter água em sua composição e ser oxidante para poder carregar os íons metálicos. A precipitação dos metais ocorrerá nas fases finais do resfriamento do fluido, quando este encontra-se em temperaturas entre 350-550°C e interage com a rocha hospedeira, podendo ocorrer em veios e vênulas ou ainda de forma disseminada na rocha. Em estágios tardios, quando ocorrer a passagem de água meteórica e envelhecimento do sistema magmático, podem ser formados os depósitos Epitermais (PIRAJNO, 1992).

## **4.3 Depósitos Associados à Alteração Hidrotermal**

### **4.3.1 Pórfiros:**

Pórfiros são grandes depósitos de sulfetos com baixo teor, que ocorrem disseminados ou em veios e *stockworks*, associados a rochas granodioríticas porfíricas, alteradas hidrotermalmente. Também pode estar associado a depósitos

de *skarn*, epitermais de alta sulfetação e de carbonatos. A formação destes depósitos ocorre em zonas instáveis da crosta, onde predomina o magmatismo cálcico-alcálico. (SILLITOE, 2010).

Este tipo de depósito é um dos principais fornecedores de cobre, molibdênio e ouro, além de outros metais base. Sua mineralização ocorre a partir de fluidos liberados a partir do resfriamento do plúton, que reagem com as rochas ao redor, formando as zonas de alteração. Os fluidos que carregam os metais são precipitados em veios ou disseminados, que acabam preenchendo fraturas presentes na rocha.

A mineralogia da zona de alteração pode ser dividida em (Figura 3):

**i) Zona Potássica:** localizada no interior do plúton, podendo ser dividida em Zona Profunda (composta por quartzo, sericita, k-feldspato e clorita) e Zona Potássica (composta por quartzo, biotita, sericita, k-feldspato e anidrita). Podem estar associados os minerais de bornita, calcopirita, molibdenita e ouro. É a zona que apresenta maior contribuição de minério.

**ii) Zona Filítica (ou Fílica):** envolve a porção central do plúton e é composta pela associação Quartzo-Sericita-Pirita, podendo conter ainda rutilo, clorita e ilmenita.

**iii) Zona Sódico-Cálcica:** localizada nas laterais inferiores do plúton, composta pela associação plagioclásio, hornblenda, clorita e magnetita.

**iv) Zona Argílica:** situada nas porções laterais da zona Filítica, composta por caulinita e montmorillonita substituindo o plagioclásio, além de pirita.

**v) Zona Propilítica:** localizada nas bordas superiores do plúton, podendo conter clorita, epidoto, pirita e calcita.

**vi) Zona Argílica avançada:** Localizada na porção superior do plúton, composta por quartzo, alunita, pirofilita e caulinita.

Figura 3 - Modelo de um depósito do tipo Pórfiro Cuprífero e suas Zonas de Alteração. Cl=Clorita, Ep=Epidoto, Carb=Carbonato; Adul=Adulária; Ab= Albita,

Qz=Quartzo, Kaol=Caulinita; Ser=Sericita; Py=Pirita; KF= Feldspato Potássico; Bi=Biotita, Cpy=Calcopirita.



Fonte: Extraído e modificado de EarthSci.org

#### 4.3.2 Epitermais:

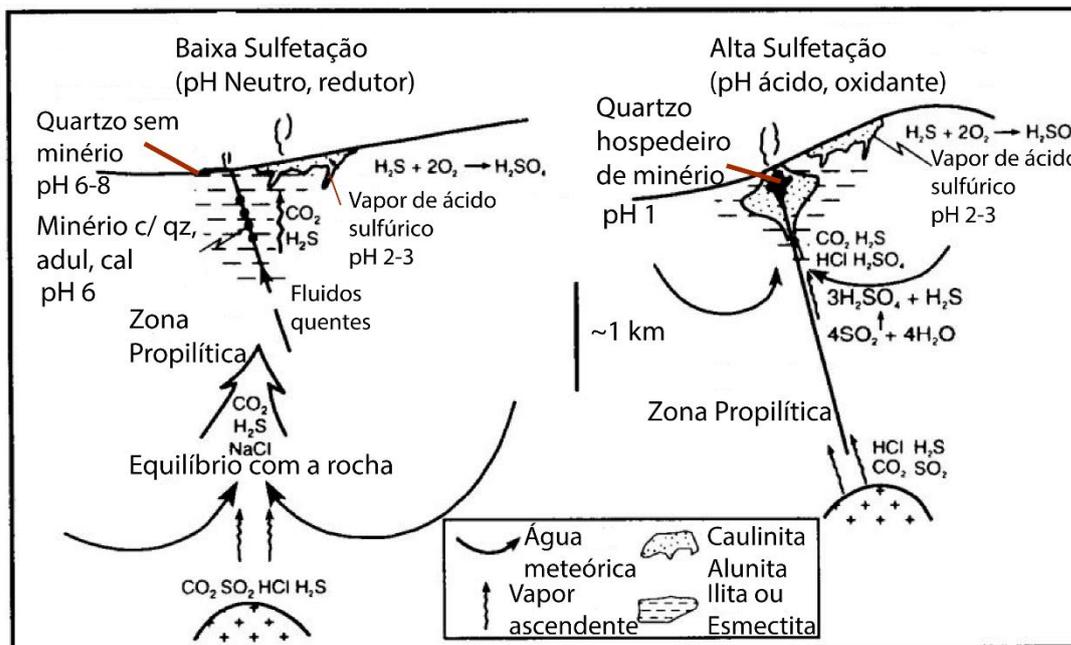
São depósitos formados em profundidades rasas (1-2km), em temperaturas entre 150-300°C. Estes depósitos são típicos de ambientes de arcos de ilha ou continentais (Vulcano-plutônicos), associados a ambientes de subducção e bacias de *back-arc*. Podem ser divididos em ambiente de baixa e de alta sulfetação (WHITE e HEDENQUIST, 1995; Figura 4).

**Baixa Sulfetação:** Nestes ambientes, os fluidos mineralizantes, de pH aproximadamente neutro e redutores, são drenados a partir de sistemas geotérmicos ativos (HENLEY e ELLIS, 1983). A maioria dos depósitos são formados por veios que preenchem cavidades ou *stockworks*. Os minerais de minério destes depósitos refletem as condições redutoras do fluido, formado sulfetos como esfalerita e

arsenopirita. A assembleia mineralógica típica da rocha é formada por quartzo, calcedônia, adularia, ilita e barita.

**Alta Sulfetação:** Este ambiente está associado a fluidos ácidos e oxidantes, formados em ambientes magmáticos-hidrotermais, adjacentes à vulcões jovens (HEDENQUIST *et al.*, 1994). Os depósitos são formados pelo minério disseminado que substitui os minerais da rocha lixiviada. Os minerais de minério mais comuns são compostos por minerais de cobre, como galena e enargita, e a mineralogia da rocha é formada por quartzo, caulinita, pirofilita, diásporo e alunita.

Figura 4 - Esquema generalizado mostrando a relação entre os tipos de fluidos da zona de alteração nos ambientes de baixa e de alta sulfetação. Qz=Quartzo, Adul=Adulária, Cal=Calcita.



Fonte: Extraído e modificado de White e Hedenquist (1995)

## **5 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **5.1 Teoria dos Métodos e Técnicas**

#### **5.1.1 Microscopia Óptica**

A microscopia é utilizada para identificação de minerais que não podem ser vistos a olho nu. O microscópio petrográfico é composto pela associação de duas lentes convergentes (chamadas objetiva e ocular) e a adição de dois polarizadores, posicionados acima e abaixo da seção a ser examinada (NARDY *et al.*, 2009). Os minerais podem ser estudados através de:

**Luz Transmitida:** O material a ser analisado é colocado entre a fonte de luz e a objetiva. Sua espessura deve ser inferior a 0,03mm para que seja possível que a luz o atravesse. Nesta, é possível observar a maioria dos minerais formadores de rocha.

**Luz Refletida:** Os minerais que se apresentam opacos na Luz Transmitida recebem a luz em sua superfície e a refletem em direção à objetiva. Nesta, podem ser diferenciadas as variedades de minerais metálicos, que posteriormente serão identificados pelo MEV.

#### **5.1.2 Análise por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)**

A Microscopia Eletrônica de Varredura é um método de observação a nível eletrônico. Sua capacidade de aumento, em equipamentos mais modernos, pode chegar a 300 mil vezes (DEDAVID, GOMES e MACHADO, 2007).

O método combina o imageamento de alta resolução com grandes profundidades de foco, através da capacidade de foco dos elétrons de ondas curtas, utilizando lentes eletrostáticas e eletromagnéticas (STOCKES, 2008).

Este método fornece informações acerca da morfologia e identificação de elementos químicos de uma amostra sólida. A vantagem deste é a aparência tridimensional da imagem resultante da profundidade, bem como a geração de pequenos aumentos com grande profundidade de foco. Logo, a imagem eletrônica é complementar às informações obtidas pela microscopia óptica (DEDAVID GOMES e MACHADO, 2007).

Para este estudo foi utilizado o microscópio eletrônico *Jeol 6610-LV* com detectores de elétrons secundários (SEM), elétrons primários (BSE) e detector de energia dispersada (EDS) *Noran*, pertencentes ao Laboratório de Geologia Isotópica (LGI) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).

## 5.2 Trabalhos Anteriores Aplicados

As minas Paredão e Olaria encontram-se inseridas no Granito Lavras e apresentam diferentes minerais de alteração e metálicos. Nesta seção, será apresentada uma síntese do estudo das mineralizações.

A região de Lavras do Sul desperta interesse econômico desde o século passado. Os primeiros estudos realizados foram de Carvalho (1932), que fez a determinação dos teores de ouro para o local (~5-40g/ton.). O autor ainda mostra a preferência do cobre sobre as rochas vulcânicas da Formação Hilário em comparação às rochas do Complexo Intrusivo Lavras do Sul. Por fim, o autor faz menção ao preenchimento dos veios de quartzo pela alteração hidrotermal, em ambas as litologias, e que estes veios têm direção preferencial de N50°W.

No estudo realizado por Teixeira & Leinz (1942), é descrita a geologia local e as estruturas mineralizadas hidrotermalmente. Os autores argumentam que o ouro é encontrado de forma disseminada na rocha granítica e fizeram a cubagem de determinada reserva, calculando-se aproximadamente 400.000t de minério, com teores a 2,4 g/ton. (Equivalentes a 1200kg de ouro).

Os estudos realizados por Goñi (1961), foram de grande relevância para a área. O autor realizou análises microscópicas nas rochas mineralizadas, destacando que o cobre pode ocorrer tanto nas rochas graníticas quanto nas rochas andesíticas. Ainda, fez a descrição cronológica dos eventos de deposição dos minerais hidrotermais e reconheceu a presença dos minerais metálicos, como a titanomagnetita, ilmenita, hematita, calcopirita, pirita e galena. Por fim, mostrou que a direção dos filões segue N-W e atribuiu a origem das mineralizações à intrusão do granito e seus efeitos de difusão iônica.

Estudos posteriores foram realizados por Kaul & Zir F<sup>o</sup> (1974), que fizeram a apresentação da tipologia, controle tectônico e aspectos genéticos da mineralização aurífera. Os autores fizeram a descrição das principais ocorrências e a classificação do ouro quanto ao seu tipo (disseminado), tanto nas rochas graníticas quanto nas rochas vulcânicas encaixantes. Estes defendem que o cobre está associado às vulcânicas e apresentam ligação genética entre ambos. Ainda, argumentam que os filões mineralizados bem como as estruturas estão encaixadas em falhas de tensão causadas por esforços compressivos direcionais (E-W). Por fim, foram responsáveis pela denominação do Distrito Aurífero de Lavras do Sul.

O estudo de Reischel (1980) advogou a origem das mineralizações à intrusão dos sienogranitos da borda do Granito Lavras do Sul. O autor salienta o caráter pós-tectônico deste corpo e que suas mineralizações se encontram como lentes ou filões. Ainda, reforça que as mineralizações se concentram principalmente nas rochas graníticas marginais do bordo intrusivo.

Nardi (1984) faz a descrição das zonas de alteração hidrotermal e defende que o ouro é de origem magmática, estando associado a fusão e lixiviação de rochas arqueanas.

Mexias *et al.* (1990a, b) e Mexias (2000) sugerem que as características do depósito e dos produtos de alteração são coerentes com os padrões de depósitos tipo Pórfiros. Por fim, defendem que a fonte de calor que gerou o sistema hidrotermal foi gerada pelo Granito Lavras do Sul.

Diversos trabalhos têm sido realizados sob o ponto de vista geofísico pelos alunos da UNIPAMPA. Pode-se mencionar o trabalho de Leandro (2017), na Mina Cerro Rico, além de Miotto (2019), na Mina Paredão, que estão contribuindo para uma melhor compreensão das mineralizações em Lavras do Sul.

Do ponto de vista geológico, é possível mencionar os trabalhos de conclusão dos alunos do curso de Geologia da UNIPAMPA, como o de Martins (2015) realizado na Mina Dourada, além de Duarte (2016), na Mina Cerritos, Araújo (2016) na Mina Cerro Rico, bem como Ferreira (2016) na Mina Caneleira os quais também têm contribuído para o melhor entendimento das mineralizações no município.

## 6 CONTEXTO GEOLÓGICO

### 6.1 Geologia Regional

O Escudo Sul Rio Grandense (ESrg) pode ser dividido em quatro unidades geotectônicas: Bloco Taquarembó, Cinturão Vila Nova, Cinturão Tijucas e Cinturão Dom Feliciano (CHEMALE, 2000). Estas são delimitadas por lineamentos, anomalias magnéticas ou zonas de cisalhamento (Figura 5).

A área de estudo encontra-se na unidade geotectônica denominada por Chemale (2000) de Cinturão Vila Nova.

O Cinturão Vila Nova, limitado a Sul pelo Lineamento Ibaré e paralelo à Anomalia Magnética Caçapava do Sul corresponde a unidades formadas por acreção juvenil de rochas derivadas do manto Neoproterozoico (BABINSK *et al.*, 1996; CHEMALE *et al.*, 1999). Este pode ser dividido em duas assembleias tectônicas: i) Terreno Metamórfico de Acreção Palma e ii) Associação plutono-vulcânico-sedimentar Seival. A configuração geológica do município de Lavras do Sul está inserida no contexto da segunda assembleia.

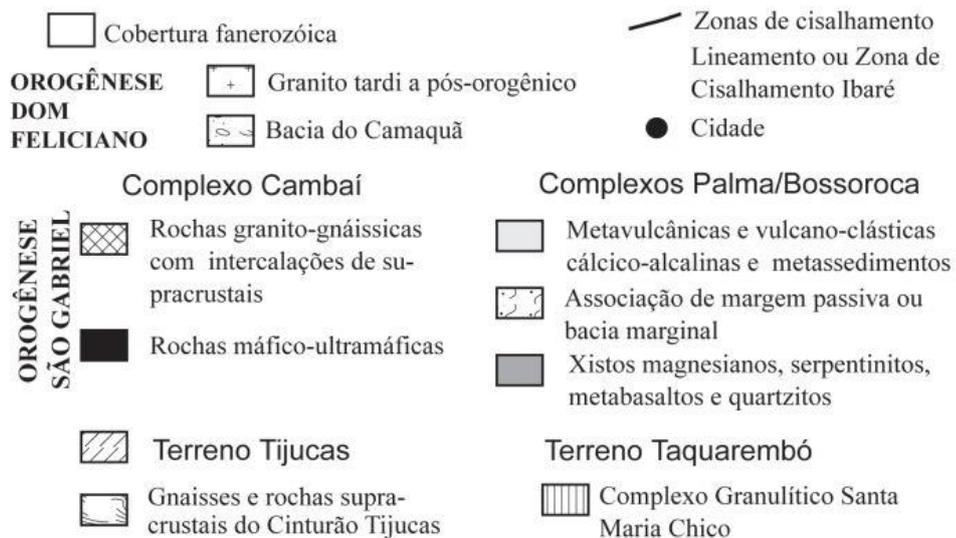
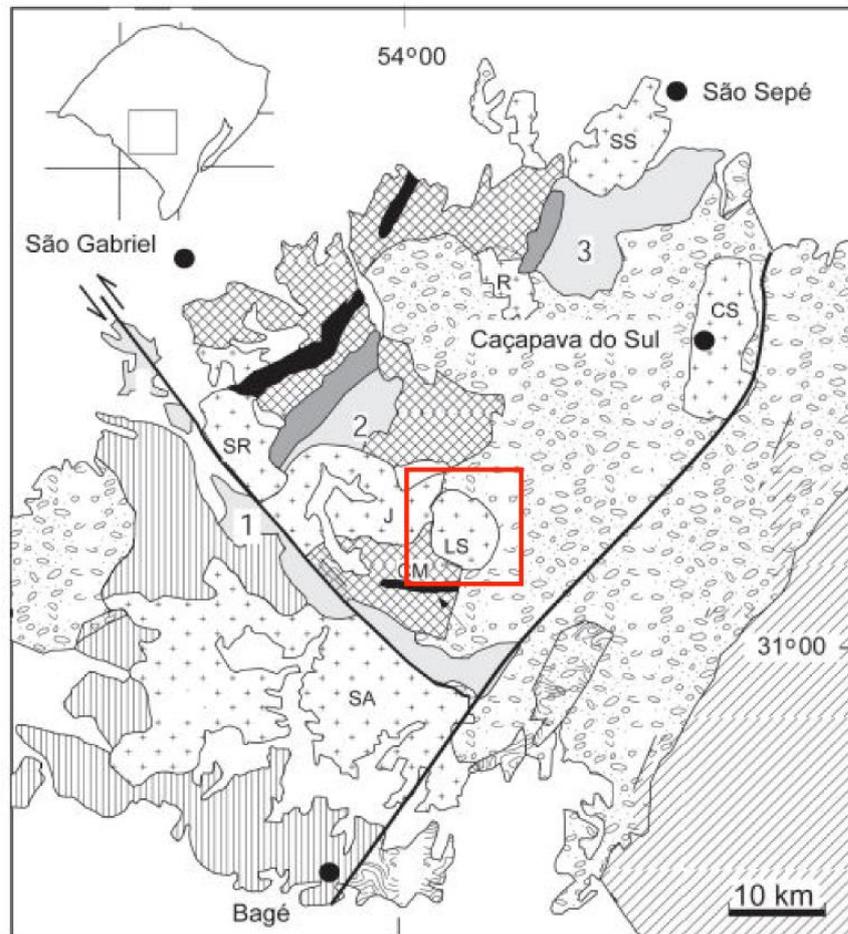
A assembleia plutono-vulcano-sedimentar Seival representa uma associação de rochas formadas pela subducção da Placa Kalahari (Leste) e Placa Rio de la Plata (Oeste). Esta ainda pode ser individualizada em duas associações.

A primeira associação é composta por rochas vulcanossedimentares da Bacia do Camaquã, que representa uma bacia com características de retroarco formada nos estágios finais do Brasiliano (FRAGOSO-CESAR *et al.*, 1984; GRESSE *et al.*, 1996).

Além das rochas vulcanossedimentares, a associação também contém rochas plutônicas, que são divididas em dois grupos principais. O primeiro representa corpos graníticos com forte contribuição juvenil, que pode ser visto em rochas de afinidade shoshonítica e alcalina (Ex: Complexo Intrusivo Lavras do Sul, evidenciado em vermelho na Figura 5) e é neste grupo que se encontra a área de estudo. O segundo representa rochas com contribuição crustal, e podem ser observadas em rochas alcalinas e subalcalinas (Ex: Granito Caçapava).

Figura 5 - Mapa geológico dos Terrenos São Gabriel e Taquarembó. 1 = Complexo Ibaré, 2 = Complexo Palma, 3 = Complexo Bossoroca; CM = Ofiolito Cerro Mantiqueira. Corpos graníticos: CS = Caçapava do Sul, J = Jaguari, LS = Lavras do

Sul, SA = Santo Afonso, SR = Santa Rita, SS = São Sepé. A área evidenciada em vermelho é referente à área de estudos.



Fonte: Extraído e modificado de Hartmann, Chemale Jr e Philipp, 2007.

## 6.2 Geologia Local

O município de Lavras do Sul está inserido no Complexo Intrusivo Lavras do Sul (CILS), representado por um corpo alongado segundo N-S, com dimensões de 12x18km e que intrude nas formações Maricá e Hilário (RIBEIRO *et al.*, 1966) a sul-sudeste e leste-nordeste, respectivamente. Estas formações representam as unidades basais da Bacia do Camaquã (PORCHER e LOPES, 2000).

Nardi (1984) define o CILS como um núcleo granodiorítico que foi parcialmente assimilado por magmas graníticos mais jovens. O autor ainda menciona que esta assimilação gerou os pertita-granitos presentes nas bordas sul, oeste e norte do núcleo e deu origem a rochas híbridas com características transicionais entre o granito e o granodiorito. Esta hibridização foi responsável por formar a textura *rapakivi*, que é característica do CILS. Por fim, Nardi (1984) classifica os pertita-granitos marginais como pertencentes à série magmática alcalina e os granodioritos do núcleo como pertencentes à série magmática shoshonítica.

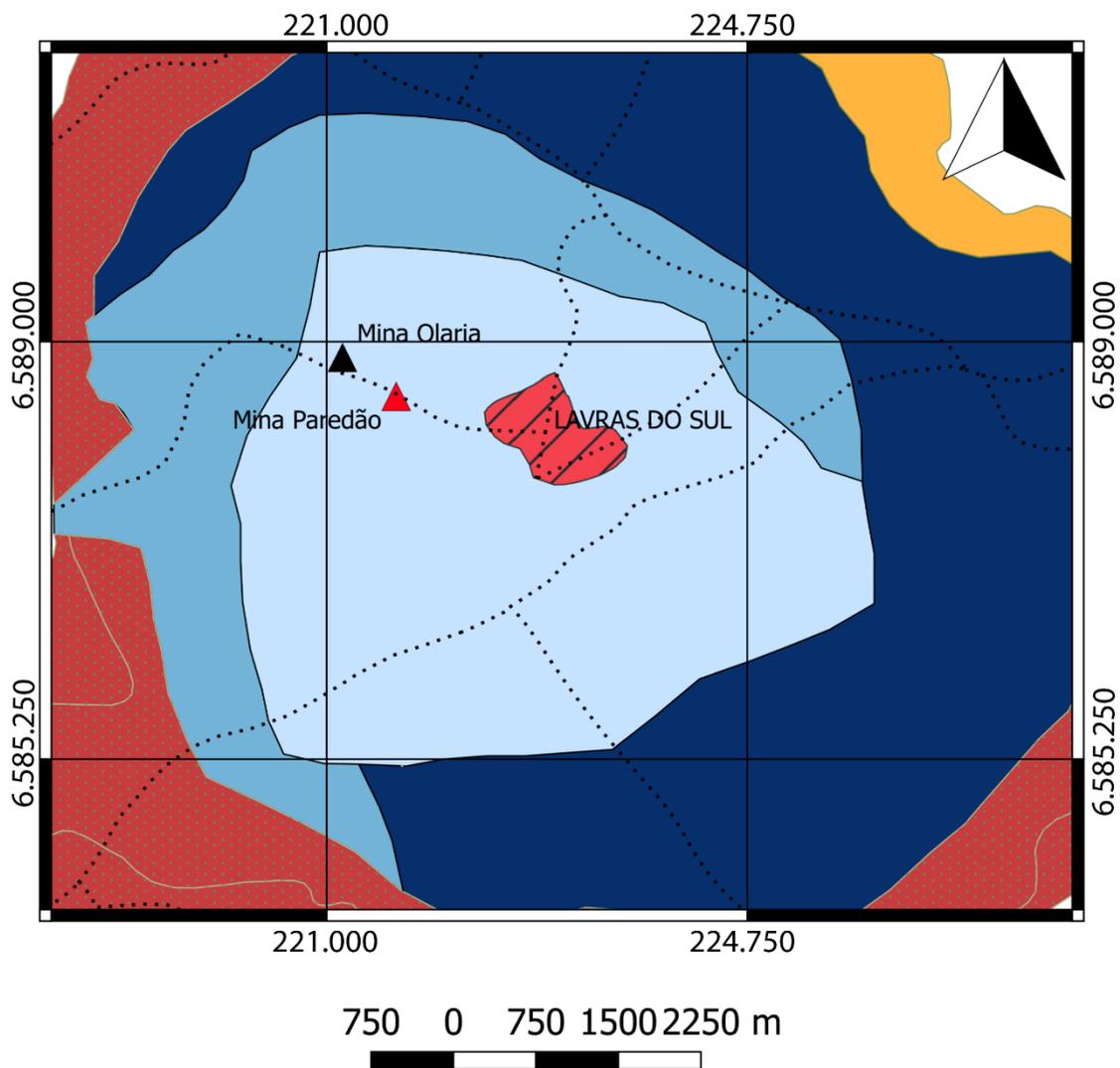
De acordo com Gastal *et al.* (2006), o CILS pode ser dividido em três setores: Monzonito Tapera (MT), Monzodiorito Arroio dos Jacques (MAJ) e Granito Lavras (GL) (Figura 6).

O MT é uma intrusão no formato de meia-lua que está localizado a Norte do CILS e é constituído por quartzo-monzonitos, monzonitos, monzodioritos e dioritos com zonação normal (LIMA, 1995; UFRGS, 2003). A ocorrência de quartzo-monzonito no interior do corpo é interpretada como a fácies porfírica deste, uma vez que seu contato com o monzogranito é de caráter transicional.

O MAJ é um corpo alongado, posicionado a leste-nordeste do CILS, que é composto por diorito com ortopiroxênio e monzodiorito.

Já o corpo principal do CILS, denominado Granito Lavras (GL) refere-se a uma intrusão granítica com zonação reversa de fácies (GASTAL *et al.*, 2006), com núcleo cálcico-alcalino e bordas alcalinas. O núcleo apresenta duas fácies: biotita-granodiorito, localizado no centro, que exibe variações texturais devido a exsolução de voláteis e que é circundada por anfibólio-biotita monzogranito. A borda apresenta fácies sienogranítica e exibe leve afinamento da granulação no sentido centro-borda. É comum encontrar enclaves microgranulares nas fácies monzoníticas e sieníticas.

Figura 6 - Mapa Litológico do Complexo Intrusivo Lavras do Sul (CILS).



### Legenda

- Rede Viária
- ▨ Área Urbana
- ▲ Mina Paredão
- ▲ Mina Olaria
- Complexo Intrusivo Lavras do Sul (CILS)
- ▨ Monzonito Tapera
- ▨ Monzodiorito Arroio dos Jacques
- Granito Lavras
- ▨ Granodiorito
- ▨ Monzogranito
- ▨ Sienogranito

Fonte: Extraído e modificado Geobank CPRM.

### 6.3 Aspectos Fisiográficos

De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Lavras do Sul possui 2.600 km<sup>2</sup> de extensão. O local apresenta estações bem definidas, com

invernos frios e verões quentes. A pluviosidade é bem distribuída ao longo do ano, com variações entre 1000 e 2000mm. O clima, de acordo com a Classificação de Koeppen-Geiger pode ser considerado como Mesotérmico Úmido, com dois subtipos climáticos: Subtropical com verão quente (Cfa) e Temperado com verão ameno (Cfb). É muito comum a ocorrência de ventos regionais, como o Minuano, que se origina no deserto da Patagônia Argentina e o Pampeiro, que provoca chuvas e reduz bruscamente a temperatura.

O relevo é composto por Planaltos Residuais, que são feições esculpidas normalmente em rochas cristalinas. Apresentam topo convexo e vales pouco profundos, com declividade suave. A vegetação é classificada como Estepe Gramíneo-Lenhosa, que corresponde aos campos limpos e com pastos típicos dos Planaltos Meridionais e da Campanha Gaúcha. No município, podem ser encontrados solos, de acordo com a Classificação de Solos da EMBRAPA, do tipo Neossolo (R), ou seja, um solo em formação, pouco evoluído e com horizonte B pouco definido, com espessura máxima de até 50cm, e do tipo Argissolo (P), ou seja, um solo com processos de acumulação de argila.

## 7 METODOLOGIA

Inicialmente, realizou-se um levantamento bibliográfico preliminar, a fim de estudar o contexto geológico do local onde as minas estão inseridas, bem como para entender os processos que ocorreram na região que a tornaram alvo de exploração. Esta etapa é de extrema importância, pois facilita e direciona melhor as observações em campo.

Posteriormente, efetuou-se o estudo e descrição de três furos de sondagem selecionados pela empresa Amarillo Gold, em quatro dias de visita. A descrição macroscópica dos testemunhos permitiu separar áreas alteradas e não alteradas, além de áreas com e sem mineralização. Posteriormente foram selecionados 15 intervalos dos testemunhos que apresentavam maior conteúdo de minerais metálicos e de alteração.

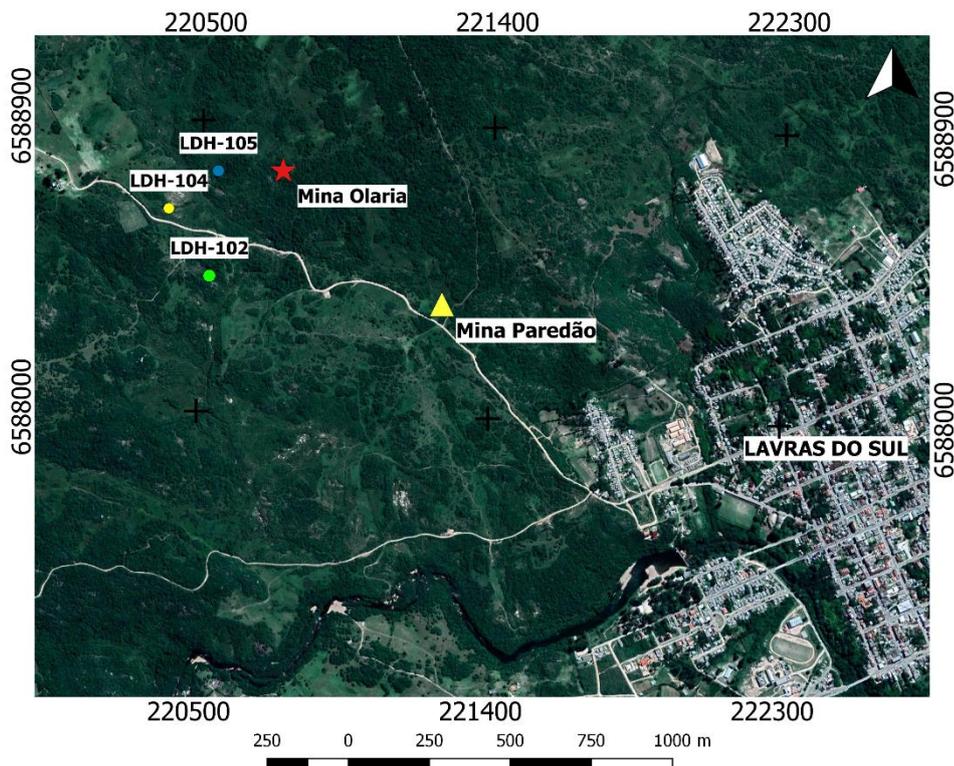
Por fim, após seleção e preparação das lâminas petrográficas, estas foram estudadas ao Microscópio Petrográfico à Luz Transmitida para determinação dos minerais de alteração presentes, bem como à Luz Refletida para determinação da presença de minerais metálicos, os quais posteriormente foram quantificados quimicamente e analisados quanto à microtexturas e inter-relações no Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV).

A empresa Amarillo Gold forneceu as análises químicas feitas nos furos, que foram analisadas em conjunto com as análises mineralógicas, para que estas pudessem contribuir na melhor compreensão dos processos que podem ter ocorrido na região.

## 8 RESULTADOS

Neste trabalho, a sistemática seguida foi: estudo e descrição macroscópica de três furos de sondagem (LDH-102, LDH-104 e LDH-105, figura 7). A partir destes furos, foram selecionadas, preparadas e estudadas de lâminas delgadas e por fim, estudo de química mineral no MEV e análise dos resultados.

Figura 7 - Mapa de Localização dos Furos de Sondagem.



Fonte: Extraído e modificado Google Earth.

A partir destes furos, foram retiradas porções para confecção de lâminas delgadas. Na Tabela 1 encontra-se a relação entre o furo, a profundidade na qual foi retirada a amostra e a lâmina delgada que foi confeccionada a partir deste.

Tabela 1 - Relação entre os Furos de Sondagem e a Profundidade.

Furo	Comprimento (m)	Lâmina
LDH-102	24-25.6	VG201/ <u>VG202</u>
	25.9-27	VG203/ <u>VG204</u> /VG205
	59-60	VG206

	109.5-109.7	VG401
<b>LDH-104</b>	115.5-115.7	VG402
	118.6-118.8	VG403
	121.1-121.3	VG404
	36-36.3	VG501/VG502/ <u><b>VG503</b></u> /VG504
<b>LDH-105</b>	37.1-37.25	VG505
	40.2-40.3	VG506
	43.8-44	VG507
	109.4-109.6	VG508
	160.7-161	VG509/ <u><b>VG510</b></u>

Fonte: Autora.

Após descrição petrográfica destas lâminas para verificação dos minerais de alteração e metálicos existentes, foram selecionadas quatro lâminas que apresentaram melhor conteúdo destes minerais, os quais foram analisadas através do Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV), para obtenção precisa da química mineral e presença de microestruturas e microtexturas. As lâminas que foram analisadas ao MEV encontram-se sublinhadas na Tabela 1.

## 8.1 Descrição Macroscópica

### LDH-102

0-24m (Figura 8): solo, saprólito e rocha sã. A rocha apresenta granulação fanerítica média que evolui para grossa com o aumento da profundidade. Sua coloração é rosa clara no início e vermelho no final (Figura 8). Podem ser observados veios preenchidos por calcita. A mineralogia é composta por plagioclásio, k-feldspato, quartzo, biotita e sericita. São observadas texturas *rapakivi*, mirmequítica e zonação composicional dos plagioclásios. Na rocha, existem porções maciças e porções fraturadas. À medida que aumenta a profundidade, o plagioclásio e o k-feldspato ficam mais avermelhados e a quantidade de sericita aumenta.

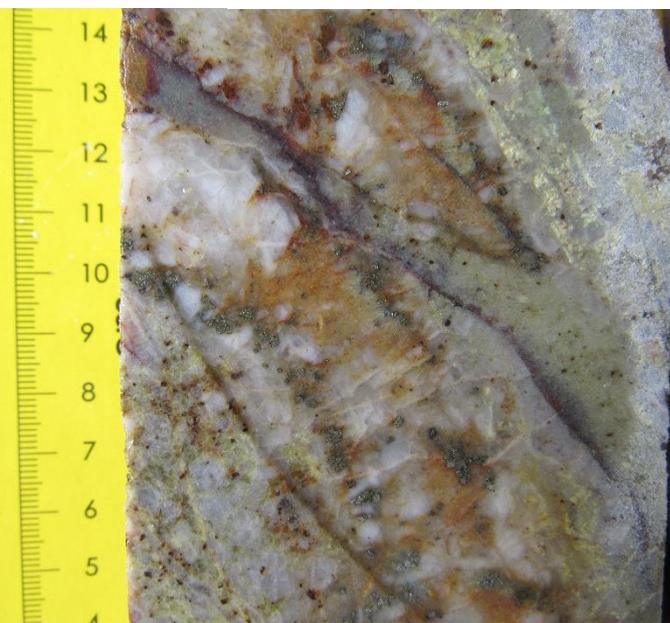
24-44m (Figura 9): alteração Sericítica. A rocha possui coloração verde clara, com presença de veios de quartzo em todo seu comprimento, além de fraturas avermelhadas pela oxidação. Não são observados os minerais originais da rocha, apenas próximo do final da alteração, na qual o quartzo e o k-feldspato encontram-se malformados e alterados.

Figura 8 - Rocha sã presente na porção superficial do furo.



Fonte: Autora.

Figura 9 - Rocha com alteração hidrotermal.



As mineralizações presentes são a pirita, de coloração dourada, encontrada na forma cúbica e disseminada dentro dos veios de quartzo, além de calcopirita, de coloração vermelho metálico, sempre junto da pirita, e por fim, galena, de coloração azul metálico (Figura 9).

Fonte: Autora.

44-77,5m (Figura 10): mudança transicional (fim da alteração e início da rocha sã). Observa-se a diminuição da oxidação nos minerais, tornando o k-feldspato rosado e o plagioclásio branco, ambos antes avermelhados. Também é observado aumento dos minerais máficos, possivelmente biotita. As texturas presentes são *rapakivi*, mirmequítica e zonação composicional do plagioclásio (Figura 10).

Figura 10 - Transição entre rocha alterada e sã.



Fonte: Autora.

#### **LDH-104**

0-10m (figura 11): Solo, saprólito e rocha sã.

10-30m: Alteração sericítica (Figura 11).

Figura 11 - Rocha pouco alterada.

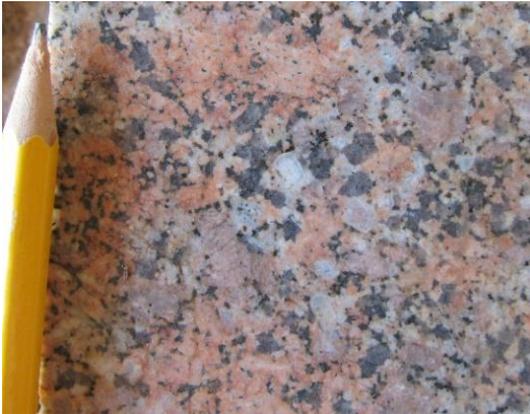


Observa-se o aumento gradual no nível da alteração sericítica. Inicialmente há a preservação da textura original da rocha, mas esta é perdida gradativamente. A rocha possui coloração esverdeada e alguns veios preenchidos por quartzo. Ocorre a concentração de pirita próxima às fraturas e galena dentro dos veios de quartzo.

Fonte: Autora.

Ao final da alteração, é possível observar a textura original da rocha, com a presença de plagioclásio, minerais máficos (possivelmente biotita) não magnéticos, veios preenchidos por calcita, pouco k-feldspato e ausência de mineralizações.

Figura 12 - Rocha sã.



Fonte: Autora.

30-105m (Figura 12): Rocha sã. A rocha possui cor marrom clara, granulação fanerítica média a grossa, composta por k-feldspato, plagioclásio, quartzo e biotita. As texturas presentes são *rapakivi* e zonação composicional do plagioclásio. A estrutura da rocha é maciça.

Figura 13 - Rocha com alteração moderada.



Fonte: Autora.

**105-123m:** Zona de alteração, subdividida em 3 porções:

-105-114m (Figura 13): Alteração sericítica de coloração esverdeada. Preservação moderada da textura original da rocha. Presença de quartzo (incolor), sericita substituindo o k-feldspato, clorita substituindo a biotita, pirita disseminada e veios de calcita e quartzo juntos.

-114-119,3m (Figura 14): Alteração potássica. Textura original da rocha pobremente preservada. Coloração rosada. Presença de quartzo, poucos minerais máficos (biotita), alguns k-feldspatos fraturados e/ou anédricos e pirita contida dentro dos veios de quartzo. Os veios são dispostos vertical a subverticalmente, com espessura variando de 1 a 5mm.

Figura 14 - Veio mineralizado.



Fonte: Autora.

Figura 15 - Porção alterada da rocha.

-119,3-123,8m (Figura 15): Alteração sericítica.

Preservação moderada da textura original da rocha. Coloração esverdeada. Presença de quartzo, k-feldspato, plagioclásio substituído por sericita, biotita e pirita. É observada a textura *rapakivi* com as bordas de plagioclásio sericitizadas (verdes). As fraturas são preenchidas por quartzo e calcita.

123,8-158,5m: Rocha sã.

Fonte: Autora.



## LDH-105

0-6m: Solo, saprólito e rocha sã.

6-36m (Figura 16): Alteração sericítica. A rocha adquire coloração cada vez mais esverdeada com o aumento da profundidade, iniciando com a substituição do k-feldspato e do plagioclásio por sericita (Figura 16 A e B), até que a rocha toda esteja alterada, voltando à textura original no final da alteração. As fraturas são preenchidas inicialmente por calcita e depois passam a ser preenchidas por quartzo, sem orientação preferencial e de espessura milimétrica. Pode ser encontrada galena e

pirita dentro dos veios de quartzo, sempre ocorrendo juntas (Figura 16 C). No final da alteração, também pode ser vista calcopirita (Figura 16 D).

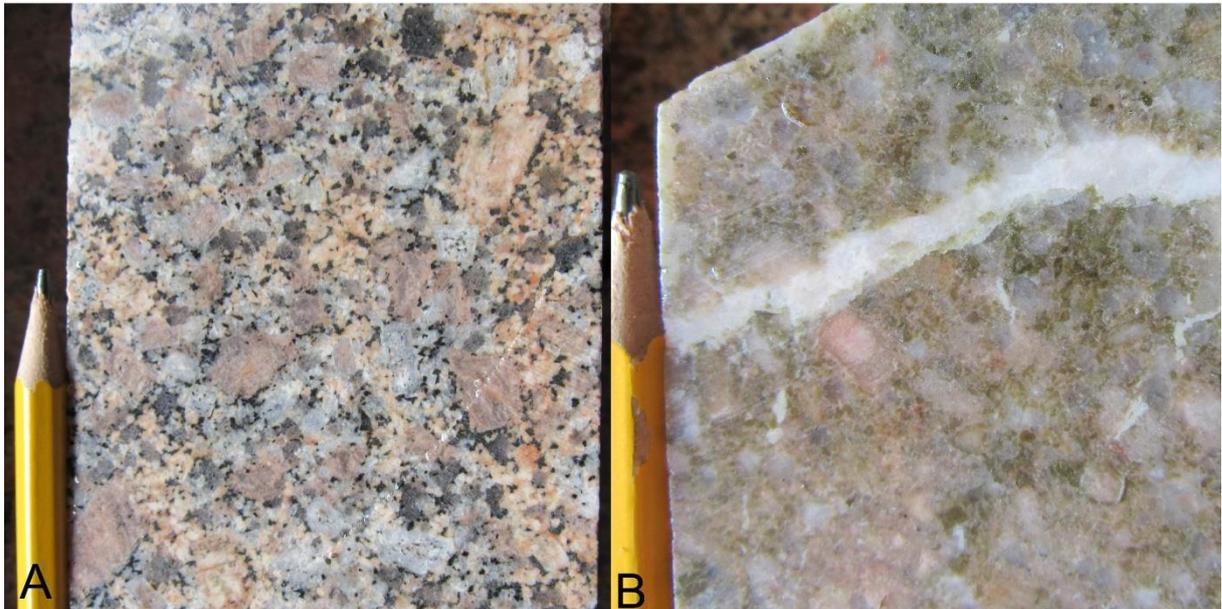
Figura 16 - Evolução da alteração com o aumento da profundidade do furo.



Fonte: Autora.

36-110m (Figura 17): Rocha sã, de coloração rosada. Sua granulação é fanerítica média a grossa. Presença de plagioclásio (que aumenta gradativamente com a profundidade), k-feldspato e quartzo (que diminuem progressivamente com a profundidade) e máficos (possivelmente biotita) com magnetismo (Figura 17A). Gradativamente, a rocha torna-se mais marrom. As texturas observadas são *rapakivi*, perítica e zonação composicional do plagioclásio. As fraturas são preenchidas por calcita, de espessura milimétrica a centimétrica.

Figura 17 - (A) Rocha sã e (B) Fraturas preenchidas por quartzo.



Fonte: Autora.

Com o aumento da profundidade, estas fraturas passam a ser preenchidas por quartzo (Figura 17 B) e a rocha volta a adquirir coloração avermelhada. O plagioclásio torna-se escasso. A quantidade de fraturas oxidadas (avermelhadas) e sericitizadas (amareladas) aumenta. Observa-se o aparecimento de pirita, calcopirita e galena.

Figura 18 - Mineralizações de pirita (dourada) e calcopirita (vermelha)



110-169m (Figura 18): Alteração sericitica. A rocha possui coloração esverdeada, com presença de muitas fraturas preenchidas por calcita. A textura original da rocha é moderadamente preservada. Observa-se o aumento progressivo na quantidade de pirita e calcopirita.

Fonte: Autora.

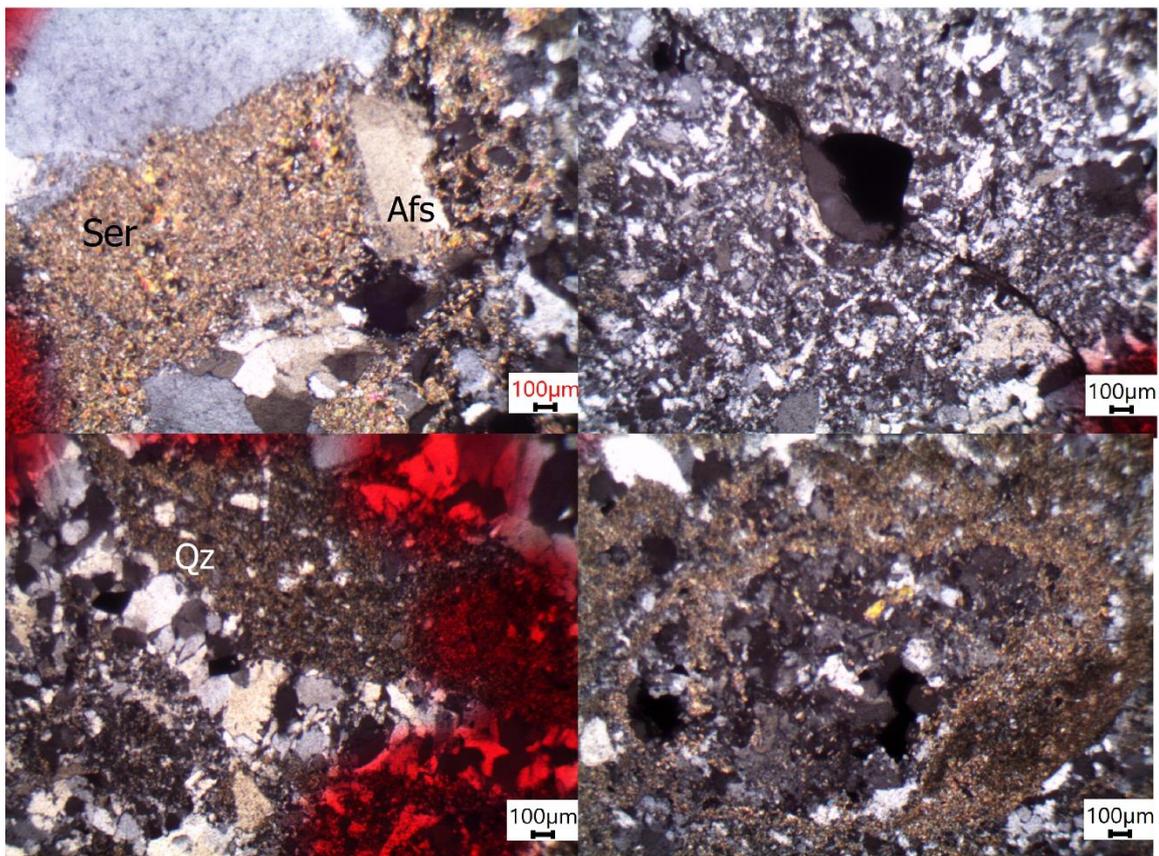
## 8.2 Descrição Microscópica

As lâminas estudadas foram: VG201, VG202, VG203, VG204, VG205, VG501, VG502, VG503, VG509 e VG510.

### Luz Transmitida

Nas lâminas em geral a textura predominantemente é hipidiomorfica granular, com quartzo, álcali-feldspato e pouco plagioclásio. Sericita como alteração e opacos. Alguns álcali-feldspatos possuem textura *rapakivi* e por vezes encontram-se alterados, tendo suas bordas substituídas por sericita. Também foram observados veios milimétricos de quartzo, algumas fraturas e oxidações de coloração avermelhada.

Figura 19 - Fotomicrografia de minerais de alteração, veios e fraturas preenchidas. Afs=álcali-feldspato, Qz=Quartzo. Ser=Sericita. Aumento de 5x. Luz Transmitida. Nicóis Cruzados.



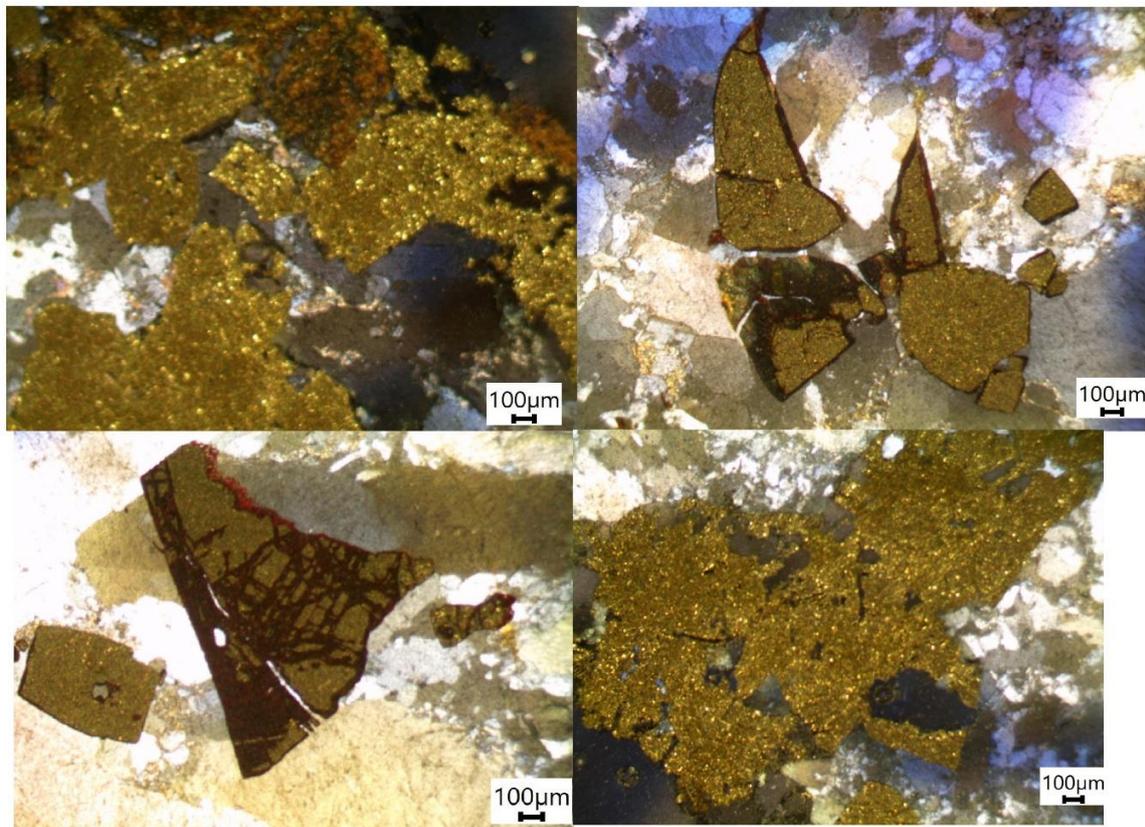
Fonte: Autora.

### Luz Refletida

Nestas lâminas, foram encontrados três minerais principais. Coloração amarela escura e contornos angulosos, provavelmente pirita, com alguns pontos dourados em

sua superfície, sendo provavelmente ouro. Nas suas bordas, pode ser encontrado outro mineral de cor avermelhada, possivelmente sendo óxido de ferro.

Figura 20 - Pirita, óxido de ferro e ouro. Aumento de 5X. Luz Refletida.



Fonte: Autora.

### 8.3 Microscopia Eletrônica De Varredura (MEV)

A Microscopia Eletrônica de Varredura foi utilizada para identificação dos minerais opacos (óxidos, sulfatos e sulfetos) e de alteração (principalmente argilominerais) através da composição química fornecida, juntamente com o percentual de peso normativo de cada elemento.

Foram identificados os sulfetos pirita, calcopirita, galena, pirrotita e esfalerita e o sulfato barita. Os óxidos identificados foram a hematita e a ilmenita. Além disso, foram identificados alguns silicatos, como sericita e silicato de bário. Alguns destes minerais apresentam teores de metais, como Prata, Chumbo, Estanho Molibdênio, Índio e Ouro, além de teores de ETR, como Cério, Disprósio, Praseodímio e Lantânio.

As lâminas que foram analisadas através da MEV foram: VG202, VG204, VG503 e VG510. A análise foi feita a partir de alvos, divididos em minerais de

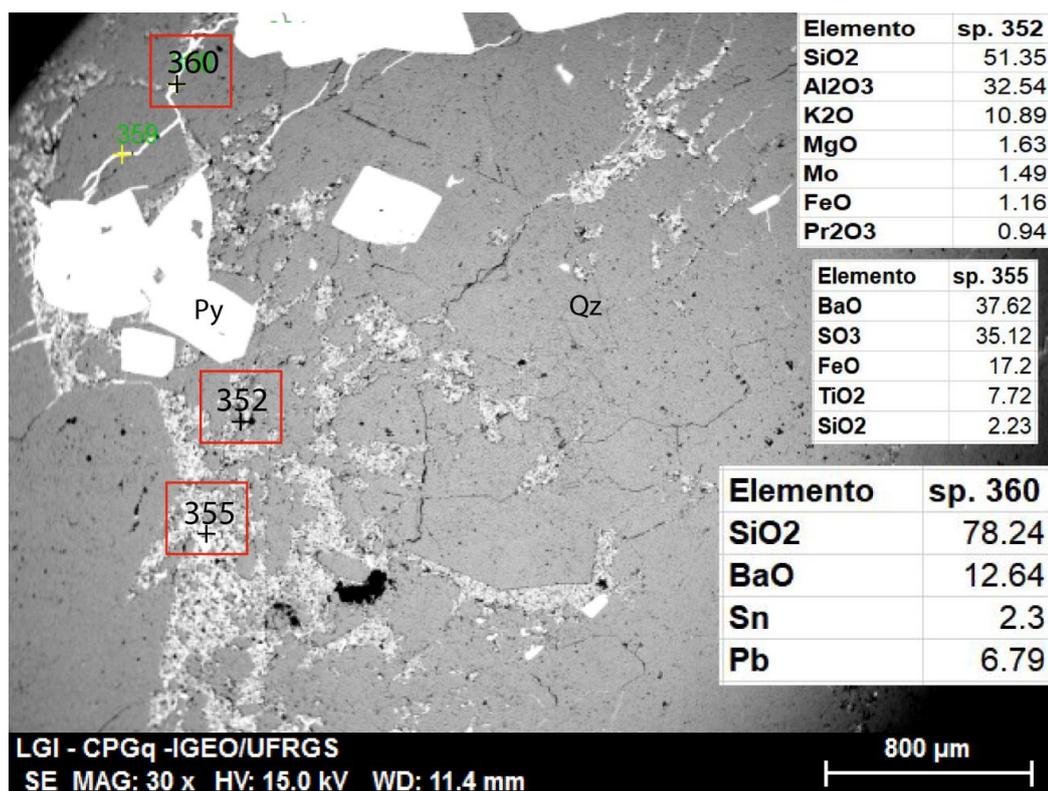
alteração hidrotermal e minerais metálicos. Os pontos marcados nos alvos são denominados “sp”, seguido do número do ponto.

Os minerais mais comuns identificados através da MEV foram a Pirita (Py), composta por  $\text{SO}_3$  e  $\text{FeO}$ , contendo quantidades de  $\text{Dy}_2\text{O}_3$ , Rênio e Prata, e o Quartzo (Qz), composto por  $\text{SiO}_2$  e quantidades de Estanho.

## VG202

No alvo dos minerais de alteração (Figura 21) foi possível identificar a presença de quartzo e pirita de alteração com veios de silicato de bário (sp. 360) associados, juntamente com o intercrescimento de sericita (sp. 352) e barita (sp. 355).

Figura 21 - Quartzo, pirita, sericita (sp. 352), barita (sp. 355) e silicato de bário (sp. 360). Py=Pirita, Qz=Quartzo.



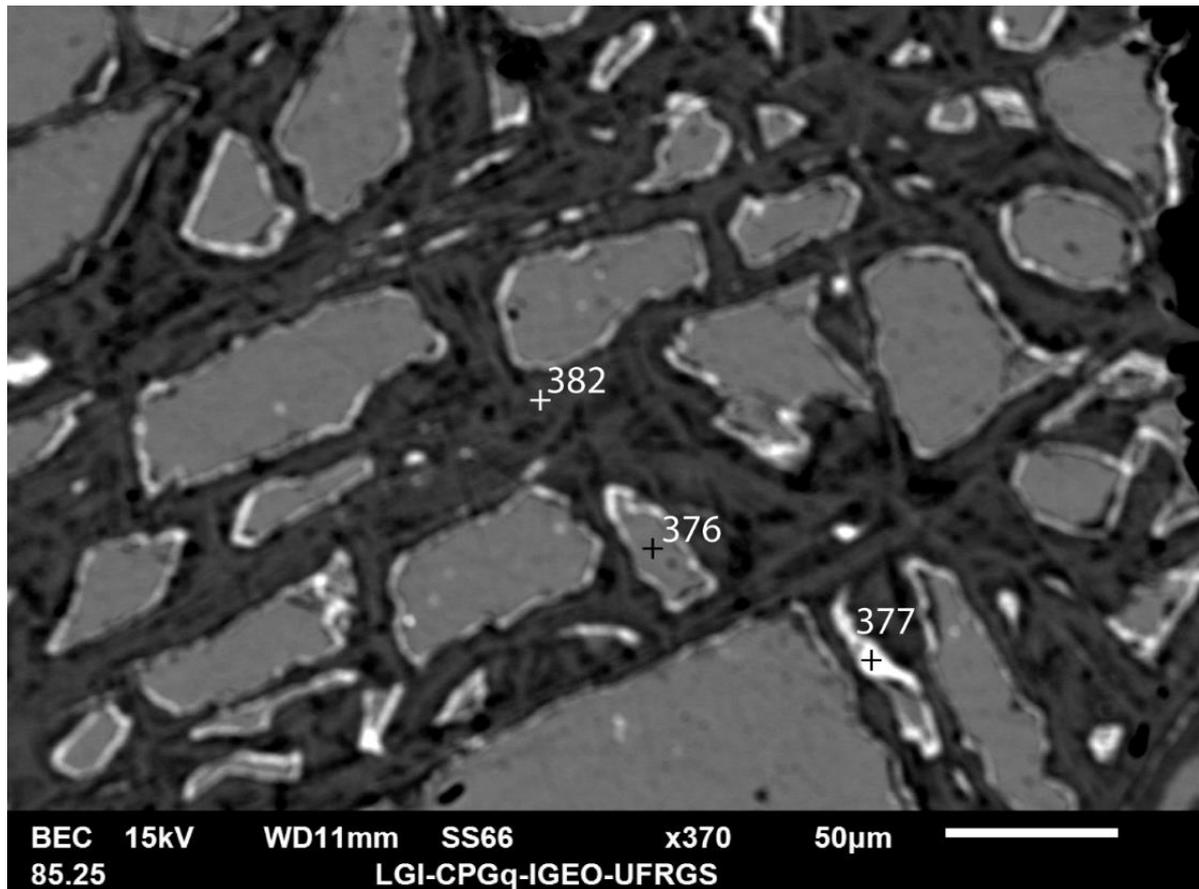
Fonte: Autora.

A química mineral da sericita mostra quantidades do elemento Praseodímio, enquanto o silicato de Bário mostra quantidades dos elementos Sn e Pb.

Nos minerais metálicos é possível observar três minerais distintos (Figura 22). O primeiro (sp. 382) trata-se da hematita (em cinza escuro), a segunda (sp. 376) é referente à pirita (em cinza claro) e por fim, a barita (sp. 377, em branco). A sequência

de cristalização destes pode ser desenvolvida em três fases: a primeira, com a formação da hematita (fase de óxidos), e a segunda (fase dos sulfetos), com a formação de pirita nos interstícios da hematita e a última, a formação de barita (fase sulfato) nas bordas da pirita.

Figura 22 - Intercrescimento de três minerais distintos.



Fonte: Autora.

Através da química mineral são observadas na pirita quantidades de Disprósio, Rênio e Prata, além de Titânio, Estrôncio e Cério na barita (Figura 23).

Figura 23 - Química mineral da barita (sp. 377), pirita (sp. 376) e hematita (sp. 382).

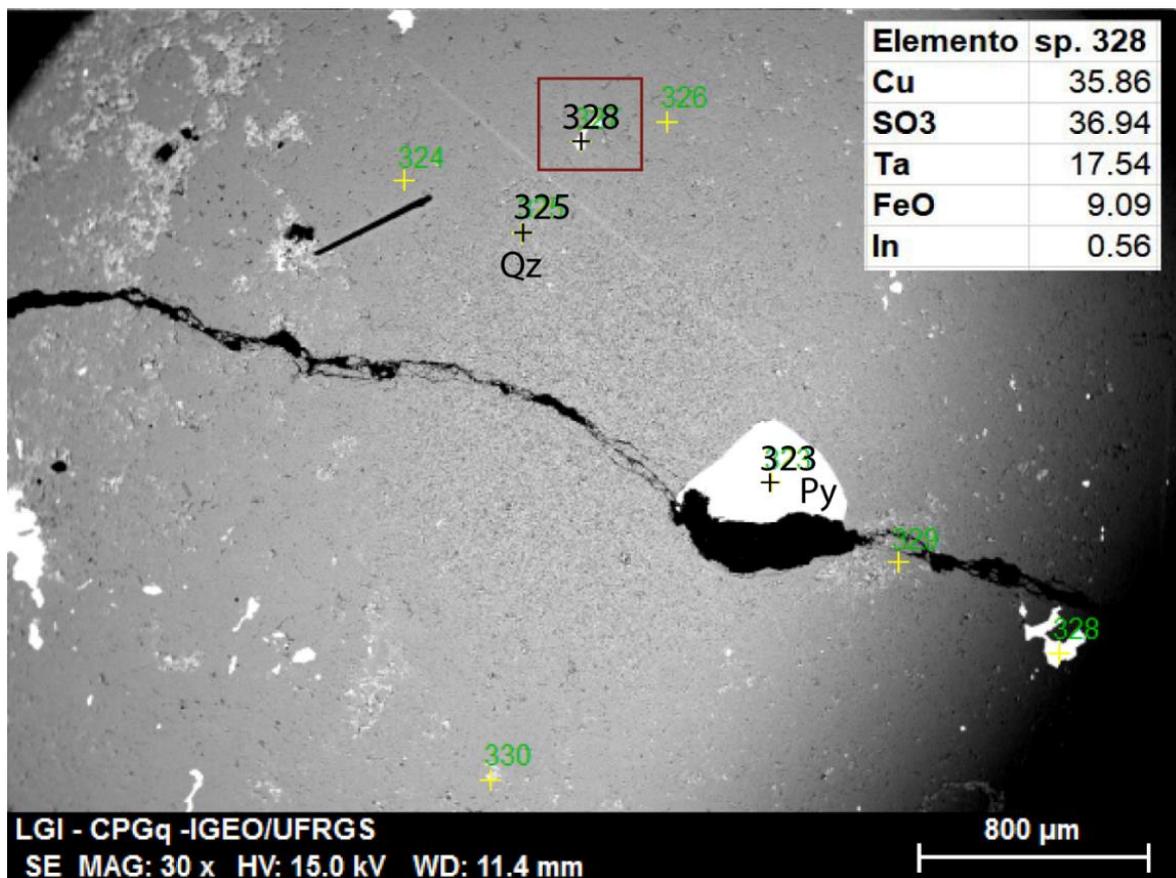
Elemento	sp. 377	Elemento	sp.376	Elemento	sp. 382
SO3	34.72	SO3	62.93	FeO	88.94
FeO	2.91	FeO	23.61	SiO2	6.65
BaO	31.51	Dy2O3	9.4	Na2O3	2.25
TiO2	10.51	Re	3.19	MgO	1.15
SrO	13.16	Ag	0.87	Pb	0.65
Ce2O3	6.34				
Na2O	0.69				

Fonte: Autora.

### VG204

Com relação aos minerais metálicos (Figura 24) observa-se a presença de quartzo (Qz) e pirita (Py), além de um sulfeto de Cobre e Ferro (sp. 328), possivelmente calcopirita, que contém Tântalo e Índio

Figura 24 - Quartzo, pirita e calcopirita (sp. 328). Qz=Quartzo, Py=Pirita.

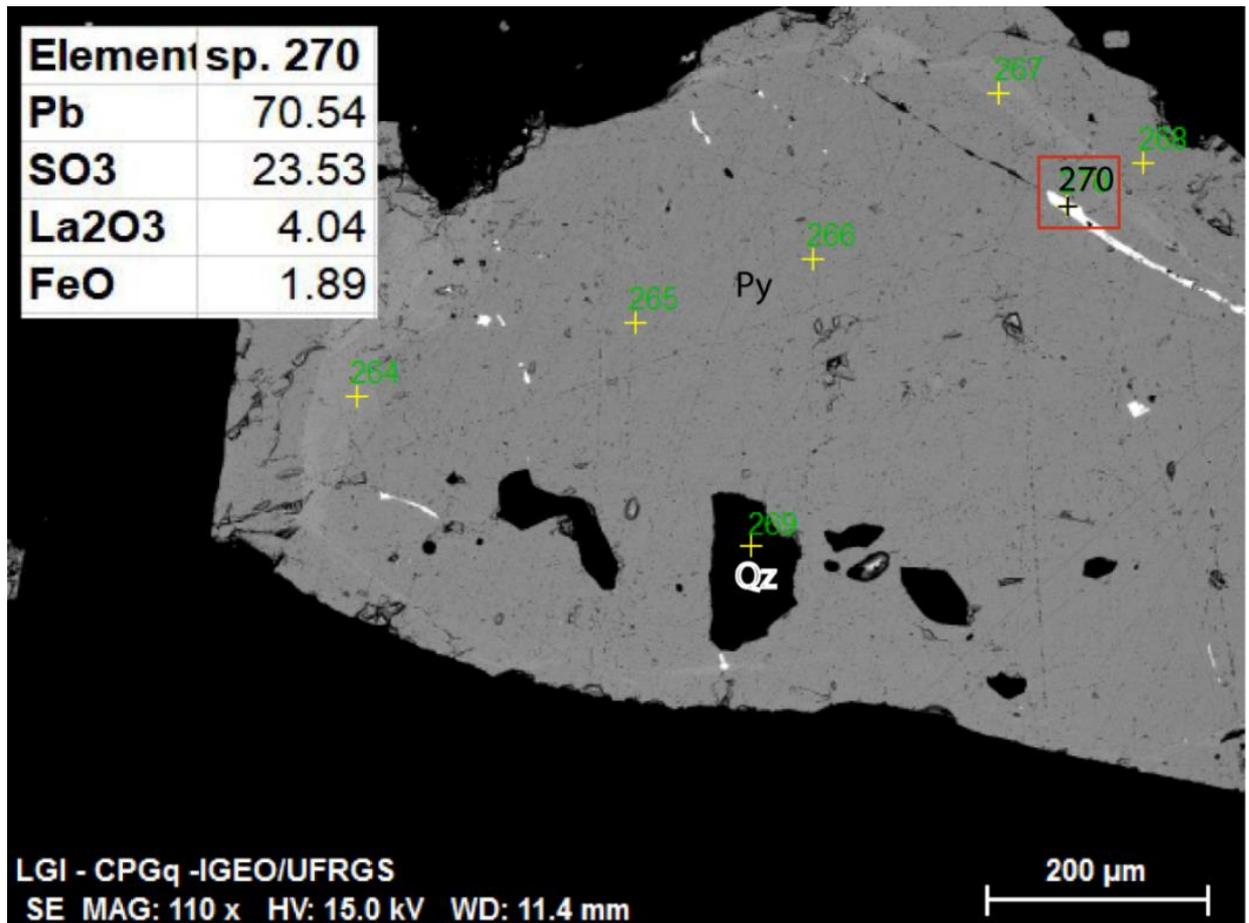


Fonte: Autora.

### VG503

Dentre os minerais metálicos (Figura 25) é possível observar um cristal de pirita com inclusões de quartzo e uma fratura preenchida por sulfeto de chumbo, possivelmente galena (sp. 270), que contém Lantânio.

Figura 25 - Pirita, quartzo e fratura preenchida por galena (sp. 270).

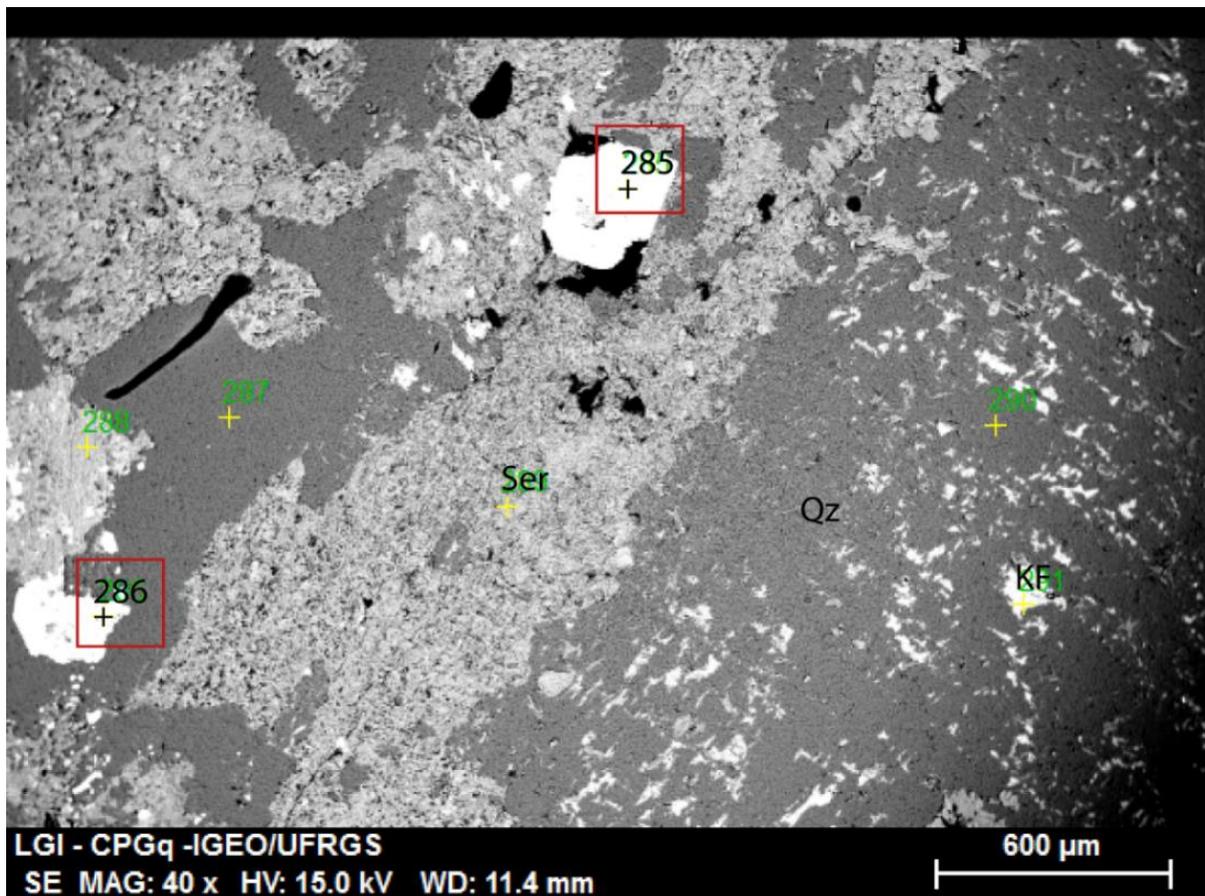


Fonte: Autora.

### VG510

Nos minerais de alteração (Figura 26) observa-se o intercrescimento de quartzo e K-feldspato contendo sericita na borda, além de duas inclusões, uma de sulfeto de ferro e magnésio, possivelmente Pirrotita (sp. 285) com quantidades de Prata e outra de Óxido de Titânio, possivelmente Ilmenita (sp. 286) com quantidades de Alumínio, Potássio e Ferro (Figura 27).

Figura 26 - Alvo de minerais de alteração e inclusões metálicas. Ser=Sericita, Qz=Quartzo, KF=K-feldspato.



Fonte: Autora.

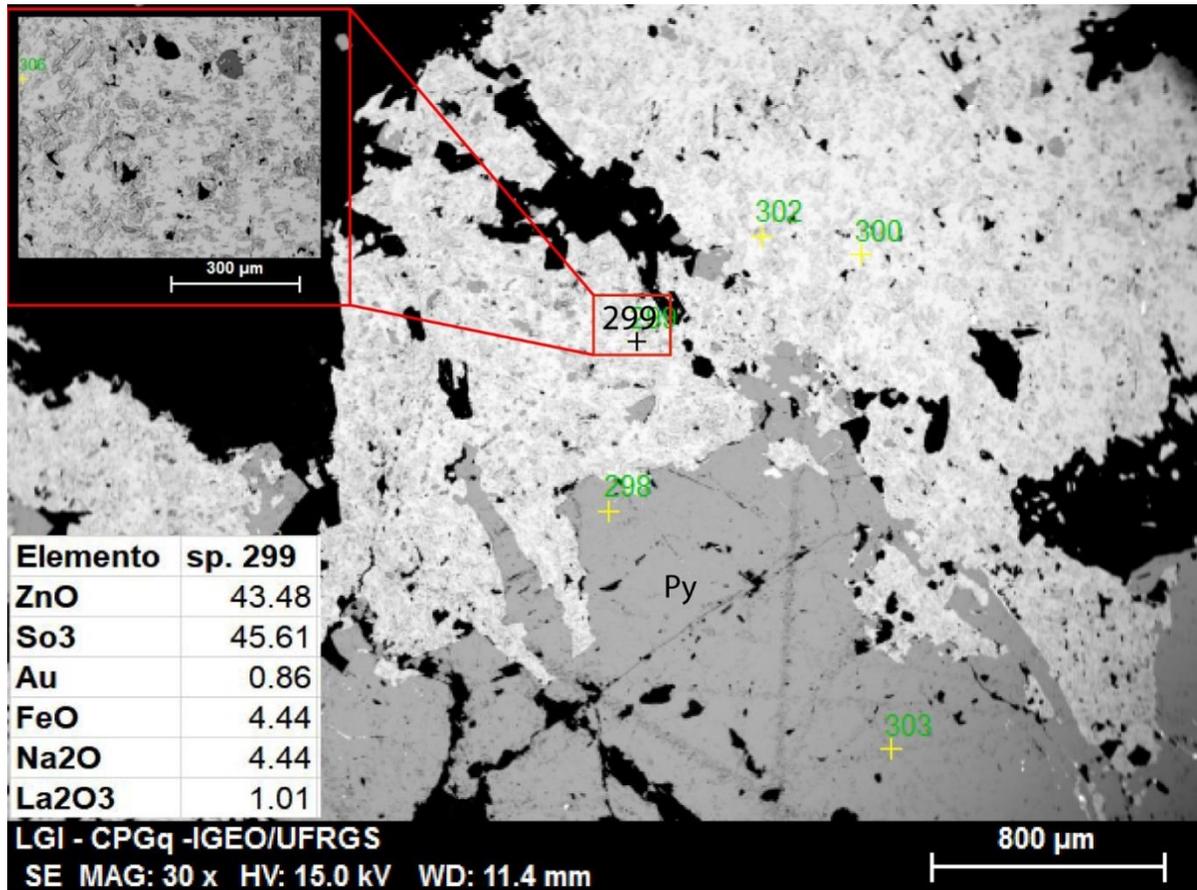
Figura 27 - Química mineral de Pirrotita (sp. 285) e Ilmenita (sp. 286).

Elemento	sp. 285	Elemento	sp. 286
SO3	65.8	SiO2	16.96
FeO	31.86	TiO2	67.03
MgO	1.21	Al2O3	11.42
Ag	1.12	K2O	3.36
		FeO	1.02

Fonte: Autora.

Nos minerais metálicos (Figura 28), mostra-se o intercrescimento de Pirita e um sulfeto de zinco, possivelmente Esfalerita (sp. 299), com quantidades de Ferro, Sódio, Lantânio e Ouro.

Figura 28 - Intercrescimento de Pirita e Esfalerita (sp. 299). Py=Pirita.



Fonte: Autora.

#### 8.4 Concentração de ETR

Dada a presença significativa de alguns Elementos Terras Raras nos minerais, foi elaborada a Tabela 2. A tabela foi feita com a finalidade de comparar os teores obtidos com os valores da literatura. A porcentagem de ETR é calculada dividindo a massa do ETR pela massa total do óxido de TR e multiplicando pela porcentagem no mineral.

Tabela 2 - Porcentagem de ETR detectada nos minerais estudados.

Óxido de TR	Mineral Hospedeiro	% no Mineral	% ETR
Pr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Sericita	0.94	0.81
Dy <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Pirita	9.4	8.19
Ce <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Barita	6.34	5.41
La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Galena	4.04	3.45
La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Esfalerita	1.01	0.86

Fonte: Autora

## **8.5 Matrizes de correlação**

As matrizes de correlação (Anexo B – Matrizes 1 a 6) evidenciam alguns comportamentos entre os diferentes elementos do depósito. Cabe ressaltar que somente foram consideradas as análises correspondentes aos intervalos estudados. Foram consideradas correlações fortes aquelas acima de 0,8.

No furo LDH-102, todos os elementos maiores (Matriz 1), apresentaram correlação acima de 0,9 (Al, Ca, Mg, Mn, Na, P e Ti), com exceção do Fe e K, que não apresentaram correlação com nenhum outro elemento. Os elementos traço (Matriz 2) que apresentaram correlação maior que 0,86 foram o Au com Cu e Pb e maior que 0,88 foram o Pb com o Zn.

No furo LDH-104, os elementos maiores (Matriz 3) que apresentaram correlação foram o Ca com o Fe e Mg, maior que 0,85, além do Fe com o Mg que apresentaram correlação maior que 0,96. Os elementos traço (Matriz 4) que apresentaram correlações foram o Au com o Pb (maior que 0,92) e o Cu com o Zn (maior que 0,8).

Nos elementos maiores do furo LDH-105 (Matriz 5), o Al apresentou correlação maior que 0,87 com o Mg e o Ca apresentou correlação maior que 0,82 com o K. Nos elementos traço (Matriz 6), o Au apresentou correlação maior que 0,96 com o Cu, Mo e Pb.

## 9 DISCUSSÕES

A análise da descrição dos testemunhos em conjunto com a química mineral tornou possível o esclarecimento de alguns processos ocorridos na rocha hospedeira da mineralização.

Foi constatado a partir da descrição dos testemunhos a existências de zonas mais propícias à ocorrência das mineralizações. Nas porções não alteradas, a presença de minerais metálicos foi muito rara ou inexistente. Somente na rocha alterada decoloração esverdeada e textura original obliterada, é que foram localizadas as principais ocorrências metálicas.

A alteração hidrotermal que modificou a rocha foi do tipo sericítica, constatada a partir da associação Quartzo-Sericita-Pirita e verificada através da Microscopia Eletrônica de Varredura. Esta alteração foi responsável pelo transporte e concentração de elementos metálicos na rocha, como o ferro, cobre, chumbo, estanho e o zinco, além de ouro e prata, que foram detectados em algumas análises de química mineral (Figuras 21, 22, 24 25, 26 e 28). Estes elementos constituem os minerais como pirita, calcopirita, esfalerita, galena, hematita e ilmenita. Através da MEV, foi detectado que alguns destes minerais contém Ta, Re e In, além de alguns ETR como La, Ce, Pr e Dy.

O elemento tântalo normalmente ocorre na natureza junto a óxidos e silicatos de Fe e Fe-Ti (em piroxênios, anfibólios, biotitas, magnetitas, ilmenitas, esfenos e rutilos) podendo ser enriquecidos em rochas alcalinas (aproximadamente 2,25 a 3,9 ppm) (WEDEPOHL, 1978). A abundância do elemento pode aumentar junto com o aumento do conteúdo de SiO<sub>2</sub> durante a diferenciação magmática. Beus e Sitnin (1968) demonstram que em rochas graníticas e seus minerais, o conteúdo de Ta pode estar relacionado aos efeitos da alta temperatura de metassomatismo. Em contrapartida, foi detectada através da química mineral, concentrações relativamente altas de Ta (17,54%) na calcopirita (sulfeto de cobre e ferro). Apesar de não ser citado o enriquecimento em sulfetos, possivelmente este elemento foi agregado à estrutura da calcopirita devido à sua afinidade com o Ferro no do mineral.

O elemento rênio ocorre principalmente em minerais que são compostos por outros elementos, ou seja, não é o principal elemento na estrutura (MORRIS e SHORT, 1978). Este é separado na cristalização do magma durante os estágios iniciais da fração dos sulfetos, as fontes mais ricas no elemento estão em sulfetos de

cobre. Consequentemente, óxidos e silicatos são pobres em Re. O elemento possui similaridades com o Molibdênio (raio iônico e eletronegatividade muito parecidos), que é um elemento calcófilo (GOLDSCHMIDT, 1954). A ocorrência de rênio foi detectada através da química mineral dentro da pirita, confirmando a afinidade do elemento com os sulfetos.

O elemento índio exibe comportamento calcófilo na crosta terrestre (GOLDSCHMIDT, 1954). Este ocorre em soluções sólidas nos minerais de sulfetos com ligações tetraédricas entre metal-enxofre (Ex.: stannita, calcopirita e esfalerita) (WITTMANN, 1973) e permanece no magma até os estágios finais de cristalização. É um elemento raro nos minerais comuns, ocorrendo na forma de inclusões ou ocupando os interstícios no mineral principal (LINN e SCHMITT, 1972). Ivanov (1963) e Voland (1969) notaram que o conteúdo de In em granitos tende a aumentar com o aumento do conteúdo de ferro. Nos estágios finais da formação de sulfetos, o índio se concentra nos sulfetos de cobre/zinco, sulfetos que contém ferro e carbonatos (IVANOV e ROZBIANSKAY, 1961), especialmente nos produtos de alteração hidrotermal. A presença do elemento foi detectada pela química mineral na calcopirita, reforçando as afirmações da ocorrência em sulfetos de cobre e ferro.

A presença de Elementos Terras Raras, detectadas através da química mineral, indica que o fluido que alterou a rocha era de composição ácida, uma vez que estes elementos só são móveis em  $\text{pH} < 6$ , além de possuírem alta temperatura ( $> 230^\circ\text{C}$ ). Foi detectada a presença dos ETR leves La, Ce e Pr, bem como a presença do ETR pesado Dy. A maioria destes elementos foi encontrada em minerais sulfetados, contrariando a hipótese de que estes elementos estão presentes somente em carbonatos, silicatos e óxidos (CHARKHMOURADIAN e WALL, 2012).

Apenas uma ocorrência foi detectada em um silicato: a sericita apresentou teor de 0,94% de  $\text{Pr}_2\text{O}_3$ . Por se tratar de um aluminossilicato, segundo Chakhmouradian e Wall (2012), a presença de ETR pode ser explicada pela adsorção destes na superfície do alumínio. Antoniassi (2017) fornece a média de  $\text{Pr}_2\text{O}_3$  em monazitas de 2,28% e Walters *et al.* (2012), a média de 1,01% em alanitas. Os valores detectados nas sericitas (0,98%) são bem próximos daqueles encontrados em alanitas.

Teores entre 6,34% e 7,12% de  $\text{Ce}_2\text{O}_3$  foram encontrados na barita. Walters *et al.* (2012) mencionam o teor médio de  $\text{Ce}_2\text{O}_3$  em alanita é de 8,26%. Antoniassi (2017) apresenta valores de 20,1% em monazitas e 27,9% em bastnaesita. Os valores de  $\text{Ce}_2\text{O}_3$  da barita são similares ao valor citado por Walters *et al.* (2012) na alanita.

Também foram encontrados teores de  $\text{La}_2\text{O}_3$  na galena (4,04%) e na esfalerita (1,01%). Nas monazitas, o teor médio apresentado por Antoniassi (2017) foi de 17%, enquanto na bastnaesita, o teor médio é de 20,1% enquanto Walters *et al.* (2012) apresenta teores de 5,52% em alanitas. O conteúdo de  $\text{La}_2\text{O}_3$  na galena é similar aos valores obtidos em alanitas, e em menor proporção, ao conteúdo na esfalerita. Esta comparação com silicatos deve-se à ausência de dados do conteúdo de dados de ETR em sulfetos, já que, como mencionado no Item 4.1.1, os ETR não estão associados à sulfetos e sulfatos.

Por fim, foram encontrados teores de 9,4% de  $\text{Dy}_2\text{O}_3$  na pirita. Augusto *et al.* (2008) aponta teores médios de  $\text{Dy}_2\text{O}_3$  em xenotima de 6,56%. A xenotima também é um mineral conhecido por seu aporte de ETR, e os valores encontrados na pirita (que é um sulfeto) são superiores ao valor encontrado no fosfato. Diferente dos ETR citados acima, o elemento Dy faz parte dos ETR pesados, possuindo maior afinidade com minerais que contém Fe e Mg.

Salienta-se que, os teores de ETR encontrados por Paludo *et al.* (2018) na galena em pegmatitos foram utilizados para fins de comparação com os valores obtidos através da química mineral nos sulfetos (Anexo A). Estes valores servem de referência para avaliar o enriquecimento dos elementos nos minerais, e foi escolhido pois pouco se fala sobre ETR em sulfetos. Conforme a Tabela 2, o teor de La em esfalerita (0,81%) e Pr em sericita (0,86%) são ligeiramente mais altos que o valor médio de 0,48% de TR na galena, obtido por Paludo *et al.* (2018). Já os teores de La na galena (3,45%) Ce na barita (5,41%) mostram alto teor destes elementos, quando comparados com o conteúdo de todas as TR presentes no Anexo A. Os valores de Dy na pirita (8,19%) revelam muito alto conteúdo deste elemento no mineral.

Além da presença destes elementos, foram observadas interações entre alguns minerais através da MEV.

Nos minerais de alteração presentes na lâmina VG202, é possível observar a relação de contemporaneidade na formação da sericita e da barita. Além disso, verifica-se a existência de veios de silicato de bário (sambornita?), a qual atravessa o quartzo e está próxima à pirita. Não são conhecidos muitos silicatos de bário, levando a crer que estes veios são originados a partir da interação entre barita e soluções ricas em sílica provenientes de veios de quartzo. Aliado a isso, pode-se supor que os elementos metálicos (Sn e Pb) presentes neste silicato entraram na estrutura do mineral, aproveitando-se do raio iônico muito grande do bário.

Nos minerais metálicos da lâmina VG202 (pirita e hematita), se observa a interação destes com a barita (Figura 22) sendo possível supor a sequência de formação a partir desta interação. Primeiro ocorre a formação de óxidos (hematita), seguida pela formação de sulfetos (pirita) nos interstícios do primeiro mineral, e por fim, a formação de sulfatos (barita) nas bordas da pirita. Supõe-se que a sequência foi gerada a partir da solução hidrotermal, favorecida pela incompatibilidade dos elementos.

A correlação entre o ouro e o cobre, chumbo e Molibdênio além da correlação entre chumbo e zinco, encontrada em dois furos é esperada, uma vez que essa associação é típica de depósitos tipo Pórfiro e Epitermais. Além disso, a correlação entre alumínio, cálcio, magnésio e sódio também é esperada pelo fato destes serem minerais formadores de rocha e também estarem presentes na maioria das análises feitas pelo MEV. Por fim, a correlação entre ferro e magnésio é igualmente previsto devido à afinidade geoquímica destes metais.

## 10 CONCLUSÕES

Os estudos realizados nas Minas Paredão e Olaria, aliados ao levantamento bibliográfico, permitiram elaborar hipóteses acerca dos eventos de alteração hidrotermal e da mineralização ocorridos na rocha e suas consequências.

Nos furos, a existência de intervalos mais propensos à ocorrência de mineralizações sugere que o fluido alterou certas porções da rocha, evidenciada pela presença de determinados minerais. Os fluidos de alteração podem ter percolado através de falhas e fraturas. Além disso, foram observados diferentes níveis de alteração (baixo, moderado e alto), indicando a não homogeneidade da alteração.

Esta heterogeneidade também pode ser verificada pela ocorrência de diferentes tipos de minerais ocorrendo juntos. Nas análises feitas pelo MEV, observou-se a assembleia mineral óxido-sulfeto-sulfato (Hematita-Pirita-Barita), sugerindo pelo menos três eventos de alteração. Também é observada a presença da assembleia silicato-sulfato (sericita-quartzo-sambornita-barita), além de sulfeto (pirita-esfalerita) e sulfeto-óxido (pirrotita-ilmenita). Esta heterogeneidade de assembleias sugere a presença de diferentes íons no líquido de alteração.

Além disso, a existência de determinados elementos químicos, como os Terras Raras, pode indicar as condições do fluido percolante, uma vez que a mobilidade destes elementos ocorre em altas temperaturas e pH baixo. Em controvérsia à afinidade destes elementos com silicatos, carbonatos e fosfatos, as análises feitas mostraram que a maioria destes é encontrada nos sulfetos. Isso pode indicar que a estrutura dos sulfetos também é favorável à ocorrência de ETR leves (como o lantânio, cério e praseodímio), bem como dos ETR pesados (disprósio).

As análises de química mineral junto com as análises químicas de rocha total sugerem que as Minas Paredão e Olaria correspondem a um depósito tipo Pórfiro Cuprífero ou Epitermal, especialmente considerando a presença de esfalerita e galena. A correlação positiva entre ouro, cobre e molibdênio ou entre cobre e zinco reforçam esta classificação. Estes depósitos são formados a partir da alteração hidrotermal e possuem determinada zonation. A zona de alteração sericítica com assembleia mineral Quartzo-Sericita-Pirita é a mais comum na área estudada.

Por fim, sugere-se que sejam feitas mais análises químicas neste depósito (Ex.: microsonda) para obtenção de mais informações acerca dos Elementos Terras Raras

e suas preferências por minerais, visto que também são elementos de grande interesse econômico.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANTONIASSI, J.L. **Caracterização tecnológica de recursos minerais de terras raras em complexos alcalinos e alcalino-carbonatíticos do Brasil**. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica, São Paulo, 210p., 2017.
- ARAÚJO, C.A.S. **Alteração hidrotermal e paragênese mineral da mina Cerro Rico – Lavras do Sul, RS – novos dados e interpretações**. Trabalho de Conclusão de Curso - Curso de Geologia, Universidade Federal do Pampa, Caçapava do Sul, 128 f., 2016.
- AUGUSTO, R, MONTEIRO, L, XAVIER, R, FILHO, C. **Zonas de alteração hidrotermal e paragênese do minério de cobre do Alvo Bacaba, Província Mineral de Carajás (PA)**. Revista Brasileira de Geociências. 38. 263-277, 2008.
- BABINSKI, M., CHEMALE, F., HARTMANN, L.A., VAN SCHMUS, W.R., & SILVA, L.C. da,. **Juvenile accretion at 750-700 Ma in Southern Brazil**. Geology, 24(5): 439-442, 1996.
- BEUS, A.A., SITNIN, A.A.: **Geochemical features of the distribution of tantalum in granitoids**. Geochem. Intern. 5, 490, 1968.
- CARVALHO, P.F., **Reconhecimento geológico do Estado do Rio Grande do Sul**. Bol. Serv. Mineral. Rio de Janeiro, 66: 1-72, 1932.
- CHAKHMOURADIAN, A, WALL, F. **Rare Earth Elements: Minerals, Mines, Magnets (and More)**. Elements. 8. 333-340, 2012.
- CHEMALE JR., F., WILDNER, W., LIMA, E.F., & VAN SCHMUS, W.R. **Isotopic studies of Brasiliano retro-arc magmatism in Southern Brazil**. *Submetido ao Journal of South America Earth Sciences*, 1999.
- CHEMALE Jr., F. **Evolução geológica do Escudo Sul-rio-grandense**. In: Holz M. & De Ros L.F. (eds.) Geologia do Rio Grande do Sul. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil, p.13-52, 2000.
- CPRM. Geobank. Disponível em: <geobank.cprm.gov.br>. Acesso em Outubro de 2019.
- DEDAVID, B.A., GOMES, C.I., MACHADO, G. **Microscopia eletrônica de varredura: aplicações e preparação de amostras: materiais poliméricos, metálicos e semicondutores** – Porto Alegre: EDIPUCRS, 2007.
- DEER W A, HOWIE R A, ZUSSMAN J., **Rock forming minerals**, vol3. Longmans, London, 270 pp, 1967.
- DUARTE, A.T.S. **Caracterização das zonas hidrotermais das Minas Cerrito, Lavras do Sul (RS)**. Trabalho de Conclusão de Curso - Curso de Geologia, Universidade Federal do Pampa, Caçapava do Sul, 91 f., 2016.

Earth Science Australia. 1995-2018. **Porphyry Deposits**. Disponível em: <[http://earthsci.org/mineral/mindep/phor\\_dep/por\\_dep.html](http://earthsci.org/mineral/mindep/phor_dep/por_dep.html)>. Acesso em: Novembro de 2019.

FELSCHE J, HERRMANN, A G., Yttrium and lanthanides. In: Wedepohl K H (ed) Handbook of Geochemistry, vol 11/5. Springer, Berlin, Heidelberg, New York, pp 57-71-0, 1978.

FERREIRA, G.H.C. **Alteração hidrotermal e mineralização na Mina Caneleira, Lavras do Sul, RS**. Trabalho de Conclusão de Curso - Curso de Geologia, Universidade Federal do Pampa, Caçapava do Sul, 135 f., 2016.

FIGUEIREDO, M.C.H. **Introdução a geoquímica dos elementos terras raras**. Boletim IG-USP. Série Científica, 16, 15-31, 1985.

FRAGOSO-CESAR, A.R.S., LAVIAN, E.L.C., PAIM, P.S.G. & FACCINI, U.F., **A antefossa molássica do Cinturão Dom Feliciano no Escudo do Rio Grande do Sul**. *Congr. Bras. De Geol.*, 3372-3283, 1984.

GASTAL M.C., LAFON J.M., FERREIRA F.J.F., MAGRO F.U.S., REMUS M.V.D., SOMMER C.A. **Reinterpretação do Complexo Intrusivo Lavras do Sul – RS, de acordo com os sistemas vulcano plutônicos de subsidência. Parte I: Geologia, geofísica e geocronologia (207Pb/206Pb e 206Pb/238U)**. Revista Brasileira de Geociências, 36:109 124, 2006.

GOÑI, J. C. **O Rapakivi Lavras, Jazidas Metalíferas associadas**, Rio Grande do Sul, Brasil. Bol. Esc. Geol. da UFRGS, 7,91 p., Porto Alegre. 1961.

GRESSE, P.G., CHEMALE JR., F., SILVA, L.C., WALRAVEN, F. & HARTMANN, L.A. **Late- to post-orogenic basins of the Pan-African-Brasiliano collision orogen in southern Africa and southern Brazil**. *Basin Research*, 8: 157-171, 1996.

GOLDSCHMIDT, V.M. **Geochemistry**. Oxford : Clarendon Press,1954.

GOOGLE. Google Earth website. Disponível em: <<http://earth.google.com/>>. Acesso em Outubro de 2019.

HANSON G N., **Rare earth elements in petrogenetic studies of igneous systems**. *Annu Rev Earth Planet Sci* 8:371-406, 1980.

HARTMANN, L.A. & CHEMALE Jr., F., PHILLIPP, R.P., **Evolução geotectônica do Rio Grande do Sul no Pré-Cambriano**. in book: 50 ANOS de Geologia: Instituto de Geociências. Contribuições. Porto Alegre: Comunicação e Identidade, 2007. 399 p., Edition: 1, Chapter: 9, Publisher: Editora da UFRGS, Editors: Roberto Iannuzzi, José Carlos Frantz, pp.97-123, 2007.

HEDENQUIST, J.W., MATSUHISA, Y., IZAWA, E., WHITE, N.C., GIGGENBACH, W. F. and AOKI, M., **Geology, geochemistry, and origin of high sulfidation Cu-Au**

**mineralization in the Nansatsu district, Japan:** Economic Geology, v. 89, p. 1-30, 1994.

HENLEY R W, ELLIS A J., **Geothermal systems ancient and modern: a geological review.** Earth Sci Rev 19:1-50, 1983.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). **Banco de Dados de Informações Ambientais.** Disponível em: <<https://bdiaweb.ibge.gov.br/#/home>>. Acesso em Março de 2019.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). **Município de Lavras do Sul.** Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rs/lavras-do-sul/panorama>>. Acesso em Março de 2019.

IVANOV, V.V. **Indium in some igneous rocks of the USSR.** Geochemistry (English Transl.) 12, 115, 1963.

IVANOV, V.V., ROZBIANSKAYA, A.A. **Geochemistry of indium in cassiterite-silicate-sulfide ores.** Geochemistry (English Transl.) 1, 71, 1961.

KAUL, P. F. T.; ZIR Filho, J. A. **Mineralizações Auríferas de Lavras do Sul: tipos, controle tectônico, aspectos genéticos e guias para a localização de novos corpos mineralizados.** In.: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 27, Porto Alegre, Anais... Porto Alegre, SBG, 1974.

KOSTERIN, A.V.: **The possible modes of transport of the rare earths by hydrothermal solutions.** Geochemistry (USSR), English Transl., 381-387, 1959.

LAPIDO- LOUREIRO, F.E.V. **Terras raras no Brasil: depósitos, recursos identificados e reservas.** Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 189 p,1994.

LEANDRO, C.G. **Integração de dados geofísicos aéreos e terrestres e a sua contribuição para prospecção aurífera na área da Mina Cerro Rico, Lavras do Sul (RS).** Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Mineral) Universidade Federal do Pampa, Caçapava do Sul, 135 f., 2017.

LIMA, E.E de. **Petrologia das rochas vulcânicas e hipoabissais da Associação Shoshonítica de Lavras do Sul, RS.** Tese de Doutorado em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 338p., 1995.

LINN Jr, T.A., SCHMITT, R.A. **Indium.** In: K.H. Wedepohl (Ed), Handbook of Geochemistry, Vol. II/4. 898 S., 113 Abb. Berlin–Heidelberg–New York: Springer-Verlag, pp.570-594, 1974

MARTINS, L. **Geologia e identificação da paragênese mineral na mina dourada e correlação com minas da borda leste do complexo intrusivo Lavras do Sul – RS.** Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Geologia, Universidade Federal do Pampa, Caçapava do Sul, 2015

MEXIAS, A. S. **Alteração Hidrotermal e Mineralizações de Ouro Associada no Distrito Aurífero de Lavras do Sul/RS – A área do Bloco Butiá**. Tese de Doutorado em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 360 p., 2000.

MEXIAS, A. S.; FORMOSO, M. L. L.; MEUNIER, A. & BEAUFORT, D. **Composition and Crystallization of Corrensite in Volcanic and Piroclastic Rocks of Hilario Formation (RS)**. Brasil. Sciences Geologiques, Mem., 88:135-143, 1990.

MICHARD A., Rare earth element systematics in hydrothermal fluids. *Geochim Cosmochim Acta* 53:745-750, 1989.

MIOTTO, R.P. **Mina de ouro Paredão: um estudo prospectivo geofísico e geológico em Lavras do Sul – RS**. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Geologia, Universidade Federal do Pampa, Caçapava do Sul, 50 f, 2019.

MORRIS D.F.C., SHORT, E.L. **Rhenium**. In: Wedepohl K H (ed) *Handbook of Geochemistry*, vol 11/5. Springer, Berlin, Heidelberg, New York, pp 290-314, 1978.

NARDI, L.V.S. **Geochemistry and Petrology of the Lavras Granite Complex, RS**, Brasa. Londres, Tese de Doutorado, Universidade de Londres. 268 p., 1984.

NARDY, A.J.R., MACHADO, F.B., ZANARDO, A., GALEMBECK, T.M.B., **Mineralogia óptica de cristais transparentes – parte prática** – São Paulo: Cultura Acadêmica: Universidade Estadual Paulista, Pró-Reitoria de Graduação, 2009.

PALUDO C.M., BASTOS NETO, A.C., PEREIRA, V.P., BOTELHO, N.F. **Mineralogia e geoquímica de pegmatitos ricos em ETR, F e metais alcalinos associados à fácies albita granito no depósito de Sn-Nb-Ta- (F, ETR, U, Th) Madeira (mina Pitanga, AM, Brasil)**. *Pesquisas em Geociências*, 45: e0747, 2018.

PIRAJNO, F., *Hydrothermal Mineral Deposits: Principles and Fundamental Concepts for the Exploration Geologist*. xviii + 709 pp. Berlin, Heidelberg, New York, London, Paris, Tokyo, Hong Kong: Springer-Verlag, 1992.

PORCHER, C.A. & LOPES, R.C. **Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil- Cachoeira do Sul (folha SH.22-Y-A)**, CPRM/DNPM, (CD-ROM), 2000.

REISCHEL, J. L. **Mineralizações auríferas associadas ao Complexo Granítico Lavras do Sul - RS**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 32, Camboriú. Anais... Camboriú: SBG, v. 3, p. 1700 – 1712, 1980.

RIBEIRO, M, BOCCHI, P.R., FIGUEIREDO FILHO, P.M, TESSARI, R.I. **Geologia da quadrícula de Caçapava do Sul, RS**. *Boletim da Divisão de Geologia e Mineralogia DPM-DNPM*, 127, 232p., 1966.

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBREAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; ARAUJO FILHO, J. C. de; OLIVEIRA, J. B. de; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 356 p. il. Color, 2018.

SARTORI, P.L.P., **Petrologia do Complexo Granítico São Sepé, RS.** São Paulo, USP, Tese de Doutorado, 196 p., 1978.

SILLITOE, R., **Porphyry Copper Systems.** Economic Geology. 105. 3-41. 10.2113/gsecongeo.105.1.3, 2010.

STOCKES, D. **Principles and practice of variable pressure: environmental scanning electron microscopy (VP-ESEM).** John Wiley & Sons. 2008.

TAKEHARA, L. **Avaliação do potencial de Terras Raras no Brasil.** / Organizado por Lucy Takehara. – Brasília: CPRM, 218 p.: il., 2015.

TEIXEIRA, E. A.; LEINZ, V. **Ouro no Bloco do Butiá.** Rio de Janeiro, Boletim da Divisão de Fomento da Produção Mineral, DNPM, n. 50, p. 1 - 81, 1942.

UFRGS. **Mapeamento de parte da folha Arroio América (1: 50000).** Curso de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 60p., 2003.

VOLAND, B.: **Die Verteilung des Indiums in Eruptivgesteinen.** Ein Beitrag zur Geochemie des Indiums. Freiburger Forschungsh. C 246, 67, 1969.

WALTERS, A.S., GOODENOUGH, K.M. HUGHES, H.S.R. ROBERTS, N.M.W. GUNN, A.G. RUSHTON, J. LACINSKA. A. **Enrichment of Rare Earth Elements during magmatic and postmagmatic processes: a case study from the Loch Loyal Syenite Complex, northern Scotland.** Contributions to Mineral Petrology. 166: 1177-1202, 2013.

WEDEPOHL, K.H. **Tantalum.** In: Wedepohl K H (ed) Handbook of Geochemistry, vol 11/5. Springer, Berlin, Heidelberg, New York, pp 222-241, 1978.

WHITE, C.N and HEDENQUIST J. W., **Epithermal Gold Deposits: Styles, Characteristics And Exploration.** in SEG Newsletter, No. 23, pp. 1, 9-13, 1995

WILLIAMS-JONES A.E., MIGDISOV A.A., SAMSON I.M. **Hydrothermal mobilisation of the rare earth elements: A tale of “ceria” and “yttria.”** Elements 8: 355-360, 2012.

WITTMANN, A. **Indium.** In: K.H. Wedepohl (Ed), Handbook of Geochemistry, Vol. II/4. 898 S., 113 Abb. Berlin–Heidelberg–New York: Springer-Verlag, pp.554-563, 1974.

## ANEXO A

Tabela utilizada como parâmetro de ETR na galena em pegmatitos.

Amostra	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
S (%)	13,15	13,2	13,16	13,21	13,01	13,18	13,1	11,5	13,7	13,28
Pb	86,23	86,06	86,38	85,81	86,14	87,08	86,58	87,56	84,74	85,49
Zn	0	0	0	0	0,04	0	0,01	0	0	0,09
Fe	0,06	0,02	0	0,04	0	0	0,01	0,03	0	0,02
Cd	0,06	0,02	0,08	0,19	0,11	0,09	0,15	0,06	0,25	0,09
Se	0,049	0,012	0,028	0,058	0,047	0	0,018	0,016	0,097	0,048
Sb	0,094	0,015	0,164	0,018	0,332	0,11	0,018	0,183	0,169	0,118
U	0,058	0,129	0,396	0,396	0,125	0,157	0,056	0,019	0,425	0,077
ETR	0,31	0,34	0,32	0,41	0,45	0,29	0,33	1,13	0,6	0,5
Total	100,011	99,796	100,528	100,132	100,254	100,91	100,272	100,498	99,981	99,713
S (apfu)	0,495	0,497	0,494	0,497	0,491	0,493	0,492	0,457	0,508	0,497
Pb	0,502	0,501	0,502	0,499	0,503	0,504	0,503	0,538	0,486	0,496
Zn	0	0	0	0	0,001	0	0	0	0	0,002
Fe	0,001	0	0	0,001	0	0	0	0,001	0	0
Cd	0,001	0	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002	0,001	0,003	0,001
Se	0,001	0	0	0	0,001	0	0,001	0,001	0,001	0,001
Sb	0,001	0,001	0,001	0	0,001	0,001	0	0	0,001	0,001
U	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0	0,001	0,001
ETR	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002	0,001	0,001	0,003	0,002	0,002

Fonte: Extraído de Paludo *et al.*, 2018.

## ANEXO B

### LDH-102

Matriz 1- Correlação para Elementos Maiores (%) do furo LDH-102.

%	Al	Ca	Fe	K	Mg	Mn	Na	P	Ti
<b>Al</b>	1								
<b>Ca</b>	<b>0.95657</b>	1							
<b>Fe</b>	0.28886	0.55536	1						
<b>K</b>	-0.34868	-0.29274	0.02367	1					
<b>Mg</b>	<b>0.92333</b>	<b>0.91617</b>	0.37867	-0.64625	1				
<b>Mn</b>	<b>0.95279</b>	<b>0.99991</b>	0.56592	-0.29277	<b>0.91525</b>	1			
<b>Na</b>	<b>0.95097</b>	<b>0.99982</b>	0.57079	-0.28982	<b>0.91361</b>	<b>0.99998</b>	1		
<b>P</b>	<b>0.95279</b>	<b>0.99991</b>	0.56592	-0.29277	<b>0.91525</b>	1	<b>0.99998</b>	1	
<b>Ti</b>	<b>0.99415</b>	<b>0.97635</b>	0.37116	-0.39373	<b>0.95124</b>	<b>0.97385</b>	<b>0.97243</b>	<b>0.97385</b>	1

Fonte: Autora.

Matriz 2 - Correlação para Elementos Traço (ppm) do furo LDH-102.

ppm	Au	Ba	Be	Cr	Cu	La	Li	Pb	Sr	V	Y	Zn	Zr
<b>Au</b>	1												
<b>Ba</b>	-0.85402	1											
<b>Be</b>	0.34021	-0.54632	1										
<b>Cr</b>	-0.91211	0.56859	-0.05751	1									
<b>Cu</b>	<b>0.89598</b>	-0.83968	0.03825	-0.78765	1								
<b>La</b>	-0.81689	<b>0.98641</b>	-0.67648	0.51006	-0.74549	1							
<b>Li</b>	-0.61105	0.1916	0.48327	<b>0.84591</b>	-0.65539	0.07265	1						
<b>Pb</b>	<b>0.86677</b>	-0.90801	0.1485	-0.68581	0.9827	-0.82742	-0.50482	1					
<b>Sr</b>	-0.82235	<b>0.98831</b>	-0.6676	0.51788	-0.75388	<b>0.99992</b>	0.08416	-0.8343	1				
<b>V</b>	0.40995	-0.81789	0.70424	0	0.4317	-0.858	0.3927	0.58707	-0.8539	1			
<b>Y</b>	-0.8816	<b>0.99844</b>	-0.52766	0.61363	-0.85973	<b>0.98131</b>	0.24164	-0.91839	<b>0.98367</b>	-0.78496	1		
<b>Zn</b>	0.59142	-0.6449	-0.27609	-0.48198	<b>0.88798</b>	-0.51311	-0.5503	<b>0.8885</b>	-0.52262	0.36772	-0.65232	1	
<b>Zr</b>	-0.6092	<b>0.93155</b>	-0.54602	0.24015	-0.6852	<b>0.92672</b>	-0.10017	-0.80667	<b>0.92647</b>	-0.95107	<b>0.91052</b>	-0.62009	1

Fonte: Autora.

## LDH-104

Matriz 3 - Correlação para Elementos Maiores (%) do Furo LDH-104.

%	Al	Ca	Fe	K	Mg	Mn	Na	P	Ti
Al	1								
Ca	-0.57843	1							
Fe	-0.91466	<b>0.85749</b>	1						
K	0.64999	-0.50555	-0.63168	1					
Mg	-0.82927	<b>0.90883</b>	<b>0.96352</b>	-0.76267	1				
Mn	-0.26404	0.79212	0.57735	0.12157	0.52538	1			
Na	0.79749	-0.65419	-0.84465	0.14343	-0.68111	-0.70789	1		
P	0.79212	-0.19803	-0.57735	<b>0.85096</b>	-0.58719	0.33333	0.26743	1	
Ti	0.10342	0.72392	0.30151	0.10581	0.37121	<b>0.87039</b>	-0.28753	0.52223	1

Fonte: Autora.

Matriz 4 - Correlação para Elementos Traço (ppm) do Furo LDH-104.

ppm	Au	Ba	Be	Cu	La	Li	Pb	Sr	V	Y	Zn	Zr
Au	1											
Ba	0.78038	1										
Be	0.46109	<b>0.8176</b>	1									
Cu	0.29408	0.33792	0.73385	1								
La	0.65325	0.76678	0.28324	-0.3343	1							
Li	-0.57563	-0.85057	-0.98935	-0.75677	-0.31768	1						
Pb	<b>0.92724</b>	0.61719	0.47021	0.55669	0.32367	-0.59351	1					
Sr	-0.51728	-0.12784	-0.28331	-0.76494	0.30973	0.38617	-0.79933	1				
V	-0.59335	-0.824	-0.97749	-0.80188	-0.26813	<b>0.99628</b>	-0.63906	0.4637	1			
Y	-0.2158	-0.31074	-0.74227	-0.99542	0.36927	0.75138	-0.47809	0.70759	0.79212	1		
Zn	0.59335	0.824	<b>0.97749</b>	<b>0.80188</b>	0.26813	-0.99628	0.63906	-0.4637	-1	-0.79212	1	
Zr	0.757	<b>0.99134</b>	0.88254	0.4546	0.67602	-0.91211	0.6358	-0.20331	-0.89113	-0.43131	<b>0.89113</b>	1

Fonte: Autora.

## LDH-105

Matriz 5 - Correlação para Elementos Maiores (%) do Furo LDH-105.

%	Al	Ca	Fe	K	Mg	Mn	Na	P	Ti
<b>Al</b>	1								
<b>Ca</b>	0.67853	1							
<b>Fe</b>	0.01529	-0.18692	1						
<b>K</b>	0.73707	<b>0.82332</b>	0.11409	1					
<b>Mg</b>	<b>0.87997</b>	0.5653	0.23852	0.51341	1				
<b>Mn</b>	0.78169	<b>0.92624</b>	0.15878	<b>0.87609</b>	0.75373	1			
<b>Na</b>	0.58705	-0.12645	-0.15869	0.03191	0.45	-0.04523	1		
<b>P</b>	<b>0.9818</b>	0.71828	-0.14639	0.68018	<b>0.85305</b>	0.75926	0.58374	1	
<b>Ti</b>	0.53825	0.12755	-0.29841	-0.13866	0.65807	0.14151	0.69222	0.61971	1

Fonte: Autora.

Matriz 6 - Correlação para Elementos Traço (ppm) do Furo LDH-105.

ppm	Au	Ba	Cu	La	Li	Mo	Ni	Pb	Sr	V	Y	Zn	Zr
<b>Au</b>	1												
<b>Ba</b>	-0.5643	1											
<b>Cu</b>	<b>0.97261</b>	-0.5823	1										
<b>La</b>	-0.9079	0.40237	-0.9681	1									
<b>Li</b>	0.45206	0.25998	0.51237	-0.6458	1								
<b>Mo</b>	<b>0.96846</b>	-0.5904	<b>0.99791</b>	-0.9625	0.53164	1							
<b>Ni</b>	-0.309	-0.241	-0.4548	0.6559	-0.7636	-0.4424	1						
<b>Pb</b>	<b>0.9689</b>	-0.5318	<b>0.887</b>	-0.7903	0.32095	<b>0.87729</b>	-0.1359	1					
<b>Sr</b>	-0.62	<b>0.97443</b>	-0.6038	0.41726	0.31157	-0.5998	-0.2606	-0.6282	1				
<b>V</b>	-0.9552	0.52047	-0.9636	<b>0.92106</b>	-0.6171	-0.9761	0.38637	-0.8731	0.51443	1			
<b>Y</b>	-0.9226	0.73639	-0.9519	<b>0.87565</b>	-0.322	-0.957	0.24765	-0.8389	0.73038	<b>0.92268</b>	1		
<b>Zn</b>	0.15198	0.08565	-0.0793	0.20632	-0.2709	-0.0976	0.55629	0.3881	-0.0847	0.0343	0.10748	1	
<b>Zr</b>	-0.9017	0.52926	-0.9759	<b>0.9822</b>	-0.6011	-0.9787	0.58642	-0.7676	0.51311	<b>0.94113</b>	<b>0.92244</b>	0.28501	1

Fonte: Autora.