

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA**

**GABRIEL HENRIQUE COELHO FERREIRA**

**ALTERAÇÃO HIDROTERMAL E MINERALIZAÇÃO NA MINA CANELEIRA,  
LAVRAS DO SUL, RS**

**Caçapava do Sul**

**2016**

**GABRIEL HENRIQUE COELHO FERREIRA**

**ALTERAÇÃO HIDROTERMAL E MINERALIZAÇÃO NA MINA CANELEIRA,  
LAVRAS DO SUL, RS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado  
ao Curso de Geologia da Universidade Federal  
do Pampa, como requisito parcial para  
obtenção do Título de Bacharel em Geologia.

Orientadora: Dra. Delia Del Pilar Montecinos de Almeida

Coorientador: Dr. Tiago Rafael Gregory

**Caçapava do Sul**

**2016**

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) .

F383a Ferreira, Gabriel Henrique Coelho  
ALTERAÇÃO HIDROTHERMAL E MINERALIZAÇÃO NA MINA CANELEIRA,  
LAVRAS DO SUL, RS / Gabriel Henrique Coelho Ferreira.  
135 p.

Trabalho de Conclusão de Curso(Graduação)-- Universidade  
Federal do Pampa, GEOLOGIA, 2016.  
"Orientação: Dra. Delia Del Pilar Montecinos de Almeida".

1. Alteração Hidrotermal. 2. Mineralização Aurífera. 3.  
Controle Estrutural da Mineralização. 4. Mapeamento Geológico.  
I. Título.

**GABRIEL HENRIQUE COELHO FERREIRA**

**ALTERAÇÃO HIDROTHERMAL E MINERALIZAÇÃO NA MINA CANELEIRA,  
LAVRAS DO SUL, RS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado  
ao Curso de Geologia da Universidade Federal  
do Pampa, como requisito parcial para  
obtenção do Título de Bacharel em Geologia.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado:

Banca examinadora:

---

Prof. Dra. Delia Del Pilar Montecinos de Almeida

Orientadora

(UNIPAMPA)

---

Prof. Me. Vinicius Matté

(UNIPAMPA)

---

Me. Marcelo Lusa

(UNIPAMPA)

## AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, Janaina e Marcio, aos meus irmãos, Amanda e Lucas, que sempre me apoiaram e incentivaram a estudar. E obrigado por sempre se fazerem presentes, mesmo estando tão longe. Agradeço as minhas tias, Vera, Tereza e Beatriz, e ao meu tio, Jorge, que sempre me apoiaram e ajudaram nesta jornada geológica. Agradeço ao meu cunhado Mario Trotta pelos ensinamentos geológicos e incentivos durante toda minha graduação e por sempre estar disposto a compartilhar seu conhecimento.

Repasso meus sentimentos de gratidão a minha orientadora Delia Del Pilar e ao meu coorientador Tiago Gregory que muito me ajudou neste trabalho e contribui para minha formação profissional.

Sou grato também a todos os amigos que fiz aqui no Rio Grande do Sul. Aos meus amigos da “Turma do Litrão”: Petita, Rondoninha, Baianinho, Araxá, Everton Guedes Vinícius, Mayra e Corda Crua. Obrigado por todas as histórias felizes que carregamos juntos. Sou grato aos meus colegas Diogo Silva, Renê Coutinho e César Araújo e aos técnicos Sissa Kamaira, Marcelo Lusa, Lenon Ilha e Juliana Young que me auxiliaram na realização deste trabalho.

Sou grato a empresa Amarillo Gold em especial a geóloga Camila Esmeris, o geólogo Luis Silva e aos funcionários da unidade de Lavras do Sul por todo suporte prestado para realização deste trabalho. Também deixo registrado a minha gratidão ao professor André Mexias da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) por todo auxílio nas análises de Difractometria de Raio X no laboratório da UFRGS. Agradeço ao professor Viter Pinto da Universidade Federal de Pelotas (UFPel) pela confecção das lâminas de rocha no laboratório da UFPel. Agradeço ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa de Iniciação Científica e pelo financiamento das análises que exigiram recursos externos, sem a qual este trabalho não poderia ter sido realizado. Sou grato ao professor Marcelo Barcelos da Universidade Federal de Santa Maria coordenador geral do projeto do CNPq.

Por fim, deixo aqui meu obrigado aos professores, aos funcionários, aos motoristas da UNIPAMPA e a todos que de uma maneira ou de outra contribuíram com este trabalho.

## RESUMO

A Mina Caneleira, localizada a oeste da cidade de Lavras do Sul, porção central do estado do Rio Grande do Sul, compreende granitoides (monzogranito, pertita granito e sienogranito) de idade U-Pb em zircão de  $594 \pm 5$  Ma (ediacarana). As rochas que ocorrem na mina apresentam alterações hidrotermais com ocorrências auríferas e de outros metais como cobre, prata, chumbo, zinco e molibdênio. O objetivo deste trabalho foi determinar os tipos de alterações hidrotermais e discutir o arcabouço petrográfico e estrutural da área de estudo. Os métodos utilizados foram além do mapeamento geológico, o estudo macroscópico e microscópico de amostras de testemunhos de sondagens, química mineral (Difratometria de Raios X) e geoquímica de rocha total. As zonas hidrotermalizadas e mineralizadas na Mina Caneleira apresentam forte controle estrutural e sugere estar relacionado com as fraturas de tração geradas durante o regime sinistral da Zona de Falha Palmas Jaques. As intersecções dos lineamentos de direção noroeste-sudeste com os lineamentos de direção nordeste-sudoeste inferidos por sensoriamento remoto apresentaram correlação positiva com as zonas com alteração hidrotermal e mineralização aurífera. Foram identificados três conjuntos principais de tipos de alterações hidrotermais: alterações do tipo 2 e 2.1 com assembleia mineral composta por clorita, illita, epidoto, calcita, sulfetos e por vezes hematita. As alterações hidrotermais do tipo 3 e 3.1 com assembleia mineral composta por illita, quartzo, epidoto, calcita, sulfetos e por vezes clorita, caulinita e hematita. As alterações hidrotermais do tipo 4 e 4.1 com assembleia mineral composta por illita, clorita, quartzo, calcita, epidoto e sulfetos. As assembleias minerais que ocorrem nas rochas com alteração na Mina Caneleira são semelhantes as assembleias minerais que ocorrem em alguns tipos de alterações no depósito modelo cobre pórfiro. As alterações do tipo 2 e 2.1 seriam equivalentes a alteração propilítica. As alterações do tipo 3 e 3.1 seriam equivalentes a alteração fílica. As alterações do tipo 4 e 4.1 seriam equivalentes a alteração potássica silicática. A prospecção de novas áreas hidrotermalizadas e possivelmente mineralizadas em ouro na Mina Caneleira podem ser baseadas em estruturas identificadas por sensoriamento remoto juntamente com o processamento e interpretação de dados geofísicos de aerogamaespectrometria.

Palavras-Chaves: Mina Caneleira, Mapeamento geológico, Controle Estrutural, Alterações Hidrotermais, Depósito Modelo Cobre Pórfiro.

## ABSTRACT

The Caneleira Mine, located west of the city of Lavras do Sul, central portion of Rio Grande do Sul state, comprises granitoids (monzogranite and granite perthite) U-Pb zircon age of  $594 \pm 5$  Ma (Ediacaran). The rocks that occur in the mine present hydrothermal alterations with auriferous occurrences and other metals such as copper, silver, lead, zinc and molybdenum. The objective of this work was to determine the types of hydrothermal alterations and to discuss the petrographic and structural framework of the study area. The methods used were beyond the geological mapping, the macroscopic and microscopic study of samples from drill core, mineral chemistry (Diffraction X-ray) and whole rock geochemistry. The hydrothermal and mineralized zones in the Caneleira Mine have strong structural control and suggest to be related to the tensile fractures generated during the sinistral regime of the Palmas Jaques Fault Zone. The intersections of the northwest-southeast direction lineaments with the northeast-southwest direction lineages inferred by remote sensing showed a positive correlation with the areas with hydrothermal alteration and gold mineralization. Three main sets of hydrothermal alterations were identified: type 2 and type 2.1 alterations with mineral assembly composed of chlorite, illite, epidote, calcite, sulfides and sometimes hematite. Hydrothermal alterations of type 3 and 3.1 with mineral composition by illite, quartz, epidote, calcite, sulfides and sometimes chlorite, kaolinite and hematite. Hydrothermal alterations of type 4 and 4.1 with mineral assembly composed of illite, chlorite, quartz, calcite, epidote and sulfides. The mineral assemblies that occur in rocks with alterations in the Caneleira Mine are similar to mineral assemblies that occur in some types of alterations in the porphyry copper model deposit. Alterations in the type 2 and 2.1 would be equivalent to propylitic alteration. Alterations of type 3 and 3.1 would be equivalent to phyllic alteration. Alterations in the type 4 and 4.1 would be equivalent to silicática potassic alteration. The exploration of new hydrothermal and possibly gold mineralized areas at the Caneleira Mine can be based on structures identified by remote sensing together with the processing and interpretation of geophysical data of aerogamaespectrometry.

Keywords: Caneleira Mine, Geological Mapping, Structural Control, Hydrothermal Alterations, Porphyry Copper Model Deposit.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Mapa rodoviário simplificado do estado do Rio Grande do Sul e localização da área de estudo. ....	21
Figura 2 – Mapa Geotectônico dos escudos do sul do Brasil e do Uruguai. Zonas de cisalhamento dúctil: 1 – Itajaí-Perimbó, 2 – Major Gercino, 3 – Caçapava do Sul, 4 – Dorsal de Canguçu, 5 – Passo do Marinheiro, 6 – Ibaré, 7 – Sarandí del Yí, 8 – Sierra Ballena, 9 – Cerro Amaro, 10 – Arroio Grande.....	25
Figura 3 – Modelo evolutivo para o Escudo Sul-rio-grandense durante o final do Neoproterozoico (595-540 Ma) proposto por Chemale Jr. (2000). Esse modelo apresenta uma nomenclatura desatualizada para as unidades geotectônicas do ESrg onde o Bloco Taquarembó corresponde ao Terreno Taquarembó, o Cinturão Vila Nova corresponde ao Terreno São Gabriel, o Cinturão Tijucas corresponde ao Terreno Tijucas e o Arco Dom Feliciano corresponde ao Batólito de Pelotas.....	26
Figura 4 – Mapa geológico do Complexo Intrusivo Lavras do Sul com o polígono da área de estudo.....	29
Figura 5 – Mapa geológico da Mina Caneleira em escala de detalhe (1:4.500).....	30
Figura 6 – Amostra do monzogranito híbrido que ocorre na zona central, leste e sudoeste na Mina Caneleira. ....	31
Figura 7 – Amostra do pertita granito que ocorre na porção noroeste na Mina Caneleira.....	31
Figura 8 – Fotografias do sienogranito que ocorre na drenagem na Mina Caneleira. A) Afloramento do tipo lajeado na drenagem do sienogranito com presença de enclave máfico. B) Amostra do sienogranito. C) Amostra do sienogranito com presença de enclave máfico. .	32
Figura 9 – Afloramento do tipo lajeado no campo do monzogranito híbrido na Mina Caneleira. Presença de blocos e matacões arredondados. ....	33
Figura 10 – Alforamento do tipo lajeado na encosta do pertita granito na Mina Caneleira.....	34
Figura 11 - Esquema das zonas de alteração hidrotermal do depósito tipo cobre pórfiro. (A) Assembleias mineralógicas diagnósticas das zonas de alteração. (B) Minerais de minério presentes nas zonas de alteração. Clt= clorita, Ept= epidoto, Carb= calcita, Adul= adularia, Alb= albita, Kaol= caulinita, Qz= quartzo, py= pitita, Ser= sericita, Feld K= feldspato alcalino, Mgt= magnetita, Bi= biotita, anid= anidrita, cpy= calcopirita, ga= galena, Au= ouro, Ag= prata, Sl= esfarelita, mbt= molibdenita, tr= quantidades traço. ....	49



Figura 12 – Imagem de satélite do <i>Google Earth Pro</i> da área da Mina Caneleira com os pontos mapeados e as trilhas realizadas durante o mapeamento geológico. ....	53
Figura 13 – Sequência de atividades realizadas durante a etapa de campo na descrição de testemunhos de sondagem. A ordem cronológica das atividades está em ordem alfabética. A) Descrição dos testemunhos em detalhe das estruturas, texturas, alteração e mineralogia e seleção dos intervalos para amostragem. B) Amostragem dos intervalos selecionados na descrição dos testemunhos. C) Identificação com fita adesiva metálica na caixa do testemunho de sondagem do intervalo amostrado. D) Catalogação e armazenamento das amostras extraídas dos testemunhos de sondagem. ....	54
Figura 14 – Orientação das fraturas em relação aos esforços principais. ....	56
Figura 15 – Visão em 3 dimensões do furo DH-01 mostrando a variação dos tipos de alterações ao longo do testemunho de sondagem. As alterações são identificadas através do número de cada tipo de alteração e sua respectiva cor na legenda. ....	63
Figura 16 – Visão em 3 dimensões do furo DH-02 mostrando a variação dos tipos de alterações ao longo do testemunho de sondagem. As alterações são identificadas através do número de cada tipo de alteração e sua respectiva cor na legenda. ....	66
Figura 17 – Visão em 3 dimensões do furo DH-03 mostrando a variação dos tipos de alterações ao longo do testemunho de sondagem. As alterações são identificadas através do número de cada tipo de alteração e sua respectiva cor na legenda. ....	69
Figura 18 – Visão em 3 dimensões dos testemunhos de sondagem estudados mostrando os tipos de alterações hidrotermais ao longo de cada furo. ....	71
Figura 19 – Amostras de rocha dos três furos estudados com presença de alteração hidrotermal do tipo 2. A) Rocha do furo DH-01 do granito vermelho fracamente alterado por hidrotermalismo. B) Rocha do furo DH-02 do granito branco com fraca alteração do tipo 2. C) Rocha do furo DH-03 do granito levemente avermelhado. ....	73
Figura 20 – Amostras de rocha dos três furos estudados com presença de alteração hidrotermal do tipo 2.1. A) Rocha do furo DH-01 com veio de calcita-ilita-clorita-quartzo. B) Rocha do furo DH-02 com veio de clorita-ilita-quartzo e avermelhamento dos feldspatos alcalinos. C) Rocha do furo DH-03 com presença de veio com halo de alteração constituído de clorita-ilita-quartzo. ....	74
Figura 21 – Fotomicrografias das texturas características da rocha portadora do tipo de alteração 2 (A, B, E e F) e 2.1 (C e D). A alteração do tipo 2 e 2.1 preserva a estrutura granítica primária. As transformações são predominantemente associadas aos minerais máficos. A, B, C, D e E estão a nicóis cruzados e E a nicóis paralelos. A) Mostra a	

transformação de biotita para clorita. Observa-se também a substituição parcial do plagioclásio por ilita. B) Cloritização dos minerais máficos associados com agregados de epidoto e minerais opacos (possivelmente sulfeto). C) Veio e agregados de calcita, alteração parcial e total a ilita dos plagioclásios. Ocorrem dois tipos de ilita, uma de granulação fina e outra de granulação média que sugere serem produtos de dois eventos hidrotermais diferentes. D) Veio de clorita associada com agregados de ilita de granulação fina e média. Presença de alteração a ilita dos plagioclásios. E) Feldspato alcalino com textura perítica e inclusão de quartzo sendo cortado por filme de calcita. F) Cloritização dos minerais máficos associado com agregados de minerais opacos (possivelmente sulfetos). Legenda: Am = anfibólio, Ep = epidoto, Qtz = quartzo, Falc = feldspato alcalino, Chl = clorita, Cal = calcita, Ill = ilita, Bt = biotita, Pl = plagioclásio e Op = opaco..... 76

Figura 22 – Difratoograma de raio x da amostra GCF-15-03 do granito com alteração do tipo 2. A rocha apresenta 48,1% de plagioclásio (labradorita - An66), 21,5% clorita, 16,2% de quartzo, 11,2% de ilita e 2,9% de calcita. .... 77

Figura 23–Difratoograma de raio x da amostra GCF-16-01 do granito com alteração do tipo 2.1. A rocha apresenta 75,8% de plagioclásio (labradorita), 11,9% de feldspato alcalino (microclínio), 9,7% de quartzo, 1,5% clorita e 1,3% de calcita. .... 77

Figura 24 – Amostras de rochas com presença de alteração do tipo 3. A) Rocha do furo DH-01 com forte silicificação, forte alteração a ilita e presença de cavidades com cristais projetados de quartzo. B) Rocha do furo DH-01 mostrando o contato entre a brecha hidrotermal e o granito. Presença de veios de ilita-quartzo-clorita. C e D) Rocha furo DH-02 com forte silicificação, forte alteração a ilita e presença de agregados de calcita e veios de ilita-clorita. E e F) Rocha do furo DH-03 mostrando o contato entre a brecha hidrotermal e o granito. Presença de cavidades com cristais de quartzo projetados que sugere ser uma textura de preenchimento. G) Rocha do furo DH-03 apresentando cor verde clara, forte alteração a ilita (principalmente nos interstícios dos grãos de quartzo) e forte silicificação. Esse intervalo apresenta uma variação da cor da alteração do tipo 3 que diverge com as cores encontradas nos outros furos de sondagem estudados..... 79

Figura 25 – Amostras de rocha com alteração do tipo 3.1. A) Rocha do furo DH-01 mostrando o contato entre a rocha e a brecha de falha com forte alteração a ilita e presença de agregados milimétricos de calcita. B) Rocha do furo DH-02 mostrando a presença de inúmeros veios de ilita verde sem orientação, agregados de calcita e cristais de feldspato alcalinos e plagioclásios reliquias. .... 80

Figura 26 – Fotomicrografias das texturas características da rocha portadora da alteração do tipo 3. Alteração é texturalmente destrutiva, com a textura granítica primária não sendo preservada. As transformações são associadas a forte alteração da rocha primária e também a deposição de uma assembleia mineral de alteração em um espaço vazio (possivelmente uma fratura de tração). A, B, C, D e E estão a nicóis cruzados e E a nicóis paralelos. A) Mostra borda de reação de cristal de quartzo com ilita onde ocorrem contatos difusos e interlobados. B) Forte concentração de ilita cortada por veio de calcita. Ocorre incluso no veio de calcita um cristal euédrico de quartzo que sugere ser produto de silicificação. C) Galena (identificada a olho nu) representada pelo mineral opaco em contato com forte alteração a ilita. D) Filmes de calcita cortando grãos de quartzo associado com forte alteração a ilita. E) Agregados de epidoto na cor verde clara (pistachita) associado com grãos de quartzo. F) Ilita de granulação fina e média sugerindo dois episódios hidrotermais de deposição diferentes. Presença de quartzo com bordas de reação com ilita fina. Legenda: Ep = epidoto, Qtz = quartzo, Chl = clorita, Cal = calcita, Ga = galena, Ill = sericita e Op = opaco..... 82

Figura 27 – Fotomicrografias das texturas características das rochas portadoras das alterações do tipo de 3 (C, D, E e F) e 3.1 (A e B). Alteração é texturalmente destrutiva onde a estrutura granítica primária não é preservada. As transformações são associadas a forte alteração da rocha primária e também a deposição de uma assembleia mineral de alteração em um espaço vazio (possivelmente uma fratura de tração). A, B, C, D e E estão a nicóis cruzados e E a nicóis paralelos. A) Mostra agregados de minerais opacos associados com moderada concentração de clorita. B) Agregados de calcita associado com aglomerados de quartzo euédrico que sugerem serem produtos de silicificação. C) Fino veio de quartzo cortando cristal de quartzo sugerindo um evento hidrotermal de silicificação. D) Agregados de quartzo subédricos a euédricos associado com agregados de ilita. E) Agregados de minerais opacos associados com concentração moderada de clorita. F) Plagioclásio reliquiar com bordas de reação e parcialmente alterados a ilita de granulação fina. Presença de cristal reliquiar de zircão. Legenda: Ep = epidoto, Pl = plagioclásio, Qtz = quartzo, Chl = clorita, Cal = calcita, Zrn = zircão, Ill = ilita e Op = opaco..... 83

Figura 28 – Difratograma de raio x da amostra GCF-10-03 da rocha com alteração do tipo 3 com forte silicificação. A rocha apresenta 58,9% de quartzo, 27,9% de ilita, 5,8% de feldspato alcalino (ortoclásio), 4,3% de calcita e 3,1% de plagioclásio (albita)..... 84

Figura 29 – Difratograma de raio x da amostra GCF-08-03 da rocha com alteração do tipo 3 com forte alteração a ilita. A rocha apresenta 54% de ilita, 24,4% de quartzo, 15,5% de feldspato alcalino (microclínio) e 6,1% de calcita. .... 84

Figura 30 – Difratoograma de raio x da amostra GCF-07-01 da rocha com alteração do tipo 3 com forte silicificação e presença de caulinita. A rocha apresenta 47,2% de quartzo, 28,9% de plagioclásio (labradorita), 10,5% de feldspato alcalino (microclínio), 10% de ilita e 3,4% de caulinita. ....	85
Figura 31– Difratoograma de raio x da amostra GCF-03-03 da rocha com alteração do tipo 3 com forte silicificação e presença de clorita e hematita. A rocha apresenta 58,7% de quartzo, 19,8% de ilita, 14,2% de clorita, 6,2% de plagioclásio (labradorita) e 1,2% de hematita. ....	85
Figura 32 – Difratoograma de raio x da amostra GC-04-02 da rocha com alteração do tipo 3.1 com forte silicificação e presença de clorita. A rocha apresenta 72,7% de quartzo, 13,2% de ilita, 7,6% de clorita e 6,4% de calcita. ....	86
Figura 33 - Difratoograma de raio x da amostra GCF-04-01 da rocha com alteração do tipo 3.1 com moderada silicificação e presença de clorita e caulinita. A rocha apresenta 39,9% de quartzo, 24,9% calcita, 22,5% de plagioclásio (labradorita), 9,9% de ilita e 2,8% de caulinita. ....	86
Figura 34 – Amostras de rochas com presença de alteração do tipo 4. A) Rocha do furo DH-01 com moderada silicificação (próxima a alteração do tipo 3) e presença de veios de clorita-ilita-quartzo estruturadas no estilo <i>stockwork</i> . B) Rocha do furo DH-01 com fraca silicificação e presença de veios de clorita-ilita-quartzo-óxidos. Presença de pirita inclusa nos veios. C) Rocha do furo DH-02 com fraca silicificação e presença de veios de clorita-ilita-quartzo. Ocorrem agregados de calcita, pirita e arsenopirita incluída nos veios (<1cm de largura). D) Rocha do furo DH-02 com moderada silicificação (próxima a alteração do tipo 3) e presença de veios de clorita-ilita-quartzo estruturadas vagamente no estilo <i>stockwork</i> .....	88
Figura 35 – Amostras de rochas com presença de alteração do tipo 4.1. A) Rocha do furo DH-01 com cristais de feldspatos alcalinos imersos em uma matriz verde escura constituída de clorita-ilita-quartzo. B) Rocha do furo DH-01 mostra a alteração a ilita dos feldspatos alcalinos e plagioclásios. C) Rocha do furo DH-02 apresenta os feldspatos alcalinos imersos em uma matriz verde escura constituída de clorita-ilita-quartzo. Presença de veio de clorita-ilita-quartzo ± calcita com inclusões de pirita e pirrotita. D) Rocha do furo DH-02 mostra a alteração a ilita dos feldspatos alcalinos e plagioclásios. Presença de veio (<1cm de largura) de quartzo-ilita-clorita com inclusões de sulfetos. E) Rocha do furo DH-03 apresentando cor verde clara, moderada ilitização e silicificação. F) Rocha do furo DH-03 com presença de veio (<1cm de largura) de clorita-ilita-quartzo-calcita-sulfetos. Próximo ao veio ocorre forte alteração dos feldspatos alcalinos e plagioclásios a ilita e ocorre moderada concentração de sulfetos disseminados como agregados submilimétricos a milimétricos. ....	89

Figura 36 – Fotomicrografias das texturas características da rocha portadora da alteração do tipo 4.1. Alteração é texturalmente retentiva onde a estrutura granítica primária é preservada. As transformações são predominantemente associadas aos minerais máficos e aos feldspatos alcalinos. A, B, C, D e E estão a nicóis cruzados e F a nicóis paralelos. A) Mostra veios (<1cm de largura) de calcita cortando aglomerados de ilita e cristais de quartzo sugerindo estar relacionada a um estágio mais tardio de alteração. B) Agregados de ilita de granulação fina e média sugerindo dois eventos hidrotermais de deposição diferentes. C) Filme de mineral opaco associado com clorita-ilita-quartzo. D) Plagioclásio parcialmente alterado a ilita. E) Agregados de quartzo com formas subédricas a euédricas sugerindo serem produtos de silicificação. F) Agregados de minerais opacos associados com concentração moderada de clorita. Legenda: Qtz = quartzo, Chl = clorita, Pl = plagioclásio, Cal = calcita, Ill = ilita e Op = opaco. .... 91

Figura 37 – Fotomicrografias das texturas características da rocha portadora das alterações do tipo 4.1 (A, B, C e D) e 4 (E e F). Alterações preservam a textura granítica primária. As transformações são predominantemente associadas aos minerais máficos e aos feldspatos alcalinos. A, B, C, D, E e F estão a nicóis cruzados. A) Mostra agregados de clorita associado com ilita e cristais de quartzo. B) Feldspato alcalino parcialmente alterado a ilita. C) Agregados de epidoto e alteração a ilita parcial do feldspato alcalino. D) Agregados de calcita com inclusões de minerais opacos associado com cristais de quartzo e agregados de clorita. E) Cristal de feldspato alcalino parcialmente alterado a ilita sendo cortado por veio (<1cm de largura) de calcita. F) Contato entre veio descontínuo de pirita (vista a olho nu) com a rocha granítica. Presença de forte concentração de clorita associada com ilita-quartzo-calcita. Legenda: Qtz = quartzo, Chl = clorita, Cal = calcita, Falc = feldspato alcalino, Pl = Plagioclásio, Ep = epidoto, Ill = ilita e Op = opaco. .... 92

Figura 38 – Difratoograma de raio x da amostra GCF-03-02 da rocha com alteração do tipo 4 com presença de calcita. A rocha apresenta 21% de quartzo, 66% de plagioclásio (albita), 7,5% de feldspato alcalino (ortoclásio), 3,2% de ilita, 1,4% de clorita e 0,5% de calcita. .... 93

Figura 39 – Difratoograma de raio x da amostra GCF-13-02 da rocha com alteração do tipo 4.1 com presença de fraca silicificação. A rocha apresenta 28,2% de quartzo, 39,9% de feldspato alcalino (microclínio), 11% de plagioclásio (albita), 12% de ilita e 8,9% de clorita. .... 94

Figura 40 – Intervalos nos testemunhos de sondagem que ocorrem sulfetos. A) Rocha do furo DH-01 portadora da alteração do tipo 3 com presença de cristais milimétricos de pirita e galena. B) Rocha do furo DH-01 com presença da alteração do tipo 4.1 com presença de pirita milimétrica incluída dentro do veio. C) Rocha do furo DH-02 portadora da alteração do tipo 4

com presença de veio descontínuo de pirita. D) Rocha do furo DH-02 portadora da alteração do tipo 4 com presença de pirita e arsenopirita incluída nos veios. E) Rocha do furo DH-02 com presença da alteração do tipo 4.1 mostrando vários cristais milimétricos de pirita incluídos no veio. F) Rocha do furo DH-03 com presença da alteração do tipo 4.1 mostrando calcopirita como inclusão no veio e pirita disseminada no halo de alteração hidrotermal. G e H) Amostras do furo DH-03 com presença da alteração do tipo 4.1 onde ocorre aglomerados milimétricos de pirita e *boxwork* de quartzo parcialmente preenchido por pirita. Legenda: Py = pirita, Gn = galena, Apy = arsenopirita e Cp = calcopirita. ....95

Figura 41 – Fotomicrografia sob a luz refletida da rocha do furo DH-01 no intervalo 60,90-60,95m portador da alteração do tipo 4 com presença de lâmina de ouro nativo livre de tamanho inferior a 100 micras incluído no cristal de microclínio do granito. Legenda: gg = granito e Au = ouro..... 98

Figura 42 – Amostras de rocha com presença de alteração hidrotermal do Complexo Ígneo de Goonumbla (A e C) e da Mina Caneleira (B e D). A) Alteração potássica silicática no quartzomonzonito pórfiro sendo cortado por intensos veios no estilo stockwork de quartzo-bornita (KELLEY, 2016). B) Rocha do furo DH-02 (81,00-81,10m) com alteração do tipo 4 cortado por veios de clorita-ilita-quartzo-calcita com inclusões de pirita e arsenopirita. C) Quartzomonzonito pórfiro cortado por intensos veios no estilo stockwork de quartzo-bornita-calcopirita com presença local de ortoclásio hidrotermal. Sobreposta a alteração potássica, ocorre uma fase final de alteração a sericita pervasiva (KELLEY, 2016). D) Rocha do furo DH-01 (62,60-62,70m) portadora da alteração do tipo 4 cortada por veios de clorita-ilita-quartzo-calcita estruturadas no estilo stockwork com inclusões de pirita.....99

Figura 43 – Lineamentos na região da Mina Caneleira. A) Mapas de relevo sombreado sobrepostos com os traços dos principais lineamentos. Os traços contínuos representam os lineamentos com direção NW-SE e os traços pontilhados os de direção NE-SW. B) Diagrama de Roseta das direções dos lineamentos. .... 104

Figura 44 – Imagem de satélite do *Google Earth Pro* mostrando os lineamentos traçados por sensoriamento remoto, as intersecções dos lineamentos e as zonas de alteração hidrotermal mapeadas pela Amarillo Gold (2015) na área da Mina Caneleira..... 106

Figura 45 – Mapa geológico na escala de 1:5.000 confeccionado pela empresa Amarillo Gold (2015) mostrando os lineamentos inferidos por sensoriamento remoto, a intersecção dos lineamentos e os furos de sondagem em planta com os teores de ouro em partes por milhão (ppm) plotados como gráficos de colunas ao longo de cada furo. O mapa também apresenta as zonas de alteração hidrotermal, as drenagens, falhas, os trabalhos (trincheiras) antigos e os

veios de quartzo. É possível visualizar uma correlação positiva da intersecção dos lineamentos com os furos mineralizados em ouro.....	107
Figura 46 – Análise dos dados estruturais coletados nos afloramentos. A) Diagrama de Roseta das direções das fraturas. B) Diagrama de Schmitd-Lambert (hemisfério inferior) mostrando a direção de mergulho dos planos das fraturas (pólos dos planos). .....	108
Figura 47 – Afloramento do monzogranito do tipo lajeado dentro da drenagem, com presença de fratura cisalhante sinistral deslocando uma fratura estilolítica. As setas mostram a cinemática e a linha pontilhada o rejeito da falha. ....	109
Figura 48 – Afloramento do monzogranito do tipo lajeado no campo, com presença de fratura cisalhante dextral deslocando uma fratura estilolítica. As setas mostram a cinemática e a linha pontilhada o rejeito da falha. ....	110
Figura 49 – Diagrama de Schmitd-Lambert (hemisfério inferior) das fraturas semelhantes ao modelo de fraturamento em relação aos esforços principais (FOSSSEN, 2010), sobreposto sobre o Diagrama de Roseta das direções das fraturas medidas no mapeamento geológico. ....	111
Figura 50 – Composição ternária das imagens do Kd, eUd e fator F da área da Mina Caneleira mostrando os lineamentos identificados e inferidos por sensoriamento remoto, as intersecções dos lineamentos e as zonas anômalas. ....	113
Figura 51 – Imagem de satélite do <i>Google Earth Pro</i> da área da Mina Caneleira mostrando os lineamentos identificados e inferidos por sensoriamento remoto, as intersecções dos lineamentos, os pontos GC-72 e GC-73 com indícios de alteração hidrotermal e as zonas anômalas da composição ternária delimitadas por Silva (em preparação). ....	114
Figura 52 – Ponto GC-72 inserido dentro da anomalia geofísica e próximo da intersecção dos lineamentos. A) Afloramento do tipo lajeado no campo, fraturado, fortemente intemperizado e com indício de alteração hidrotermal. B) Granito com moderada alteração a sericita, moderada silicificação e avermelhamento dos feldspatos alcalinos (cor devido a oxidação do ferro incluso nos feldspatos alcalinos conforme MEXIAS, 2000). ....	116

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Assembleias mineralógicas de vários estados de pH, de sulfetação e de oxidação usados para distinguir minérios epitermais. Os hifens entre os minerais indica um conjunto de equilíbrio para os quais todas as fases têm de estar presente. ....	45
Tabela 2 - Relação entre o estado de sulfetação do minério epitermal com a composição da rocha ígnea e o ambiente geotectônico, proposta por Sillitoe & Hedenquist (2003). ....	46
Tabela 3 – Alteração hidrotermal e assembleias mineralógicas formadas em ambiente epitermal. ....	47
Tabela 4 – Identificação utilizada para representar a intensidade dos minerais de alteração na rocha hidrotermalizada. ....	60
Tabela 5 – Espessura total de cada tipo de alteração em cada testemunho de sondagem estudado. ....	70
Tabela 6 – Comparação entre a assembleia mineral das alterações do tipo 2 e 2.1 com a alteração própilitica dos depósitos do tipo cobre pórfiro. Os retângulos vermelhos representam a presença dos minerais de alteração em cada tipo de alteração. ....	96
Tabela 7 – Comparação entre a assembleia mineral das alterações do tipo 4 e 4.1 com a assembleia mineral da alteração potássica silicática dos depósitos do tipo cobre pórfiro. Os retângulos amarelos representam a presença dos minerais de alteração em cada tipo de alteração. ....	100
Tabela 8 – Comparação entre a assembleia mineral das alterações do tipo 4 e 4.1 com a assembleia mineral da alteração potássica silicática dos depósitos do tipo cobre pórfiro. Os retângulos amarelos representam a presença dos minerais de alteração em cada tipo de alteração. ....	101
Tabela 9 – Direção das mineralizações de acordo com cada autor e com a divisão do CGL feita por Nardi (1984). ....	103
Tabela 10 – Valores médios de ouro (Au), prata (Ag), arsênio (As), potássio (K), urânio (U) e tório (Th) para cada tipo de alteração hidrotermal identificado na Mina Caneleira. Au, Ag estão medidos em partes por bilhão (ppb), As, U e Th estão medidos em partes por milhão (ppm) e K está medido em porcentagem (%). ....	115



## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>19</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS GERAIS E ESPECÍFICOS</b> .....	<b>19</b>
<b>3</b>	<b>JUSTIFICATIVA</b> .....	<b>19</b>
<b>4</b>	<b>LOCALIZAÇÃO E ASPECTOS FISIAGRÁFICOS DA ÁREA DE ESTUDO</b> .....	<b>20</b>
<b>5</b>	<b>CONTEXTO GEOLÓGICO</b> .....	<b>22</b>
	<b>5.1. Região de Lavras do Sul</b> .....	<b>27</b>
<b>6</b>	<b>CONTEXTO DAS MINERALIZAÇÕES</b> .....	<b>34</b>
<b>7</b>	<b>ESTADO DA ARTE</b> .....	<b>42</b>
	<b>7.1 Conceito de reações hidrotermais</b> .....	<b>43</b>
	<b>7.2 Gênese das mineralizações auríferas no Distrito Aurífero de Lavras do Sul</b> .....	<b>43</b>
	<b>7.3 Características dos depósitos modelos</b> .....	<b>44</b>
	<b>7.3.1 Depósito do tipo epitermal</b> .....	<b>44</b>
	<b>7.3.2 Depósitos do tipo cobre pórfiro</b> .....	<b>47</b>
<b>8</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>50</b>
	<b>8.1. Etapa pré-campo</b> .....	<b>50</b>
	<b>8.1.1 Aquisição e Compilação de Dados</b> .....	<b>50</b>
	<b>8.1.2 Sensoriamento Remoto</b> .....	<b>50</b>
	<b>8.2. Etapa de campo</b> .....	<b>51</b>
	<b>8.2.1. Trabalhos de Campo</b> .....	<b>51</b>
	<b>8.3. Etapa pós-campo</b> .....	<b>55</b>
	<b>8.3.1. Tratamento dos dados estruturais</b> .....	<b>55</b>
	<b>8.3.2. Análise Petrográfica</b> .....	<b>56</b>
	<b>8.3.3. Difratometria de Raio X (DRX)</b> .....	<b>57</b>
	<b>8.3.4. Tratamento dos dados geoquímicos de rocha total</b> .....	<b>59</b>

<b>9</b>	<b>RESULTADOS</b> .....	59
<b>9.1</b>	<b>Alteração hidrotermal</b> .....	59
<b>9.1.1</b>	<b>Introdução</b> .....	59
<b>9.1.2</b>	<b>Descrições macroscópicas dos testemunhos de sondagem</b> .....	60
<b>9.1.2.1</b>	<b>Furo DH-01</b> .....	60
<b>9.1.2.2</b>	<b>Furo DH-02</b> .....	63
<b>9.1.2.3</b>	<b>Furo DH-03</b> .....	66
<b>9.1.2.4</b>	<b>Discussão</b> .....	69
<b>9.1.3</b>	<b>Descrição detalhada de cada tipo de alteração hidrotermal</b> .....	72
<b>9.1.3.1</b>	<b>Alteração do tipo 2</b> .....	73
<b>9.1.3.2</b>	<b>Alteração do Tipo 2.1</b> .....	73
<b>9.1.3.3</b>	<b>Alteração do tipo 3</b> .....	78
<b>9.1.3.4</b>	<b>Alteração do tipo 3.1</b> .....	78
<b>9.1.3.5</b>	<b>Alteração do tipo 4</b> .....	87
<b>9.1.3.6</b>	<b>Alteração do tipo 4.1</b> .....	87
<b>9.1.3.7</b>	<b>Discussão</b> .....	94
<b>9.2</b>	<b>Análise estrutural</b> .....	103
<b>9.2.1</b>	<b>Discussão</b> .....	112
<b>10</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	117
<b>11</b>	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	119
	<b>APÊNDICE A</b> .....	129

## **1 INTRODUÇÃO**

Os eventos hidrotermais são processos complexos de mudanças físico-químicas das rochas pré-existentes a partir da interação com fluidos aquecidos. Os fluidos associados à alteração hidrotermal são sabidamente um dos processos geológicos mais importantes na concentração e deposição de elementos metálicos, dentre eles o ouro (Au), a prata (Ag), o cobre (Cu), o chumbo (Pb) e o zinco (Zn).

Este estudo busca resultados na mina inativa Caneleira, localizada no distrito mineiro de Lavras do Sul, no estado do Rio Grande do Sul. As rochas que ocorrem na mina possuem idade ígnea ediacariana (U-Pb SHRIMP em zircão) de  $594 \pm 5$  Ma (REMUS et al., 2000) e são portadoras de mineralizações de Au±Cu±Ag (NARDI; LIMA, 1988). As mineralizações são do tipo filoniana ou encontram-se nos halos de alteração hidrotermal.

Esta pesquisa faz parte do projeto do CNPq “Pesquisa em Terras Raras na região central do Rio Grande do Sul: programa de pós-graduação em química (PPGQ-UFSM), ciências farmacêuticas (PPGCF-UFSM) e em tecnologia mineral (PPGTM-UNIPAMPA)” sob o processo 405806/2013-2. Todos os métodos de investigação utilizados nesta pesquisa que exigiram recursos externos foram financiados pelo projeto citado.

## **2 OBJETIVOS GERAIS E ESPECÍFICOS**

De forma geral, este trabalho busca aprimorar o detalhamento da geologia da Mina Caneleira, no que se refere aos processos e controles mineralizadores.

Em carácter mais específico, os principais objetivos desse trabalho são: i) determinar os tipos de alterações presente nas rochas com alteração hidrotermal; ii) discutir o arcabouço petrográfico e estrutural da Mina Caneleira.

## **3 JUSTIFICATIVA**

Este estudo se justifica pelo fato do monzogranito, pertita granito e do sienogranito que ocorrem na Mina Caneleira não disporem de informações mais detalhadas relacionadas com a mineralização e a alteração hidrotermal. E pelo motivo do mapa de detalhe na escala de 1:5.000 fornecido pela empresa Amarillo Gold carecer de informações estruturais

representativas da área de estudo. Sendo assim, espera-se determinar o tipo de alteração e sua respectiva assembleia mineral e discutir sobre o arcabouço petrográfico e estrutural na Mina Caneleira. Cabe mencionar também, a facilidade para a realização deste estudo, já que a mina encontra-se na cidade de Lavras do Sul que é relativamente perto da cidade de Caçapava do Sul e recebeu apoio da empresa Amarillo Gold com o fornecimento de dados da área de estudo.

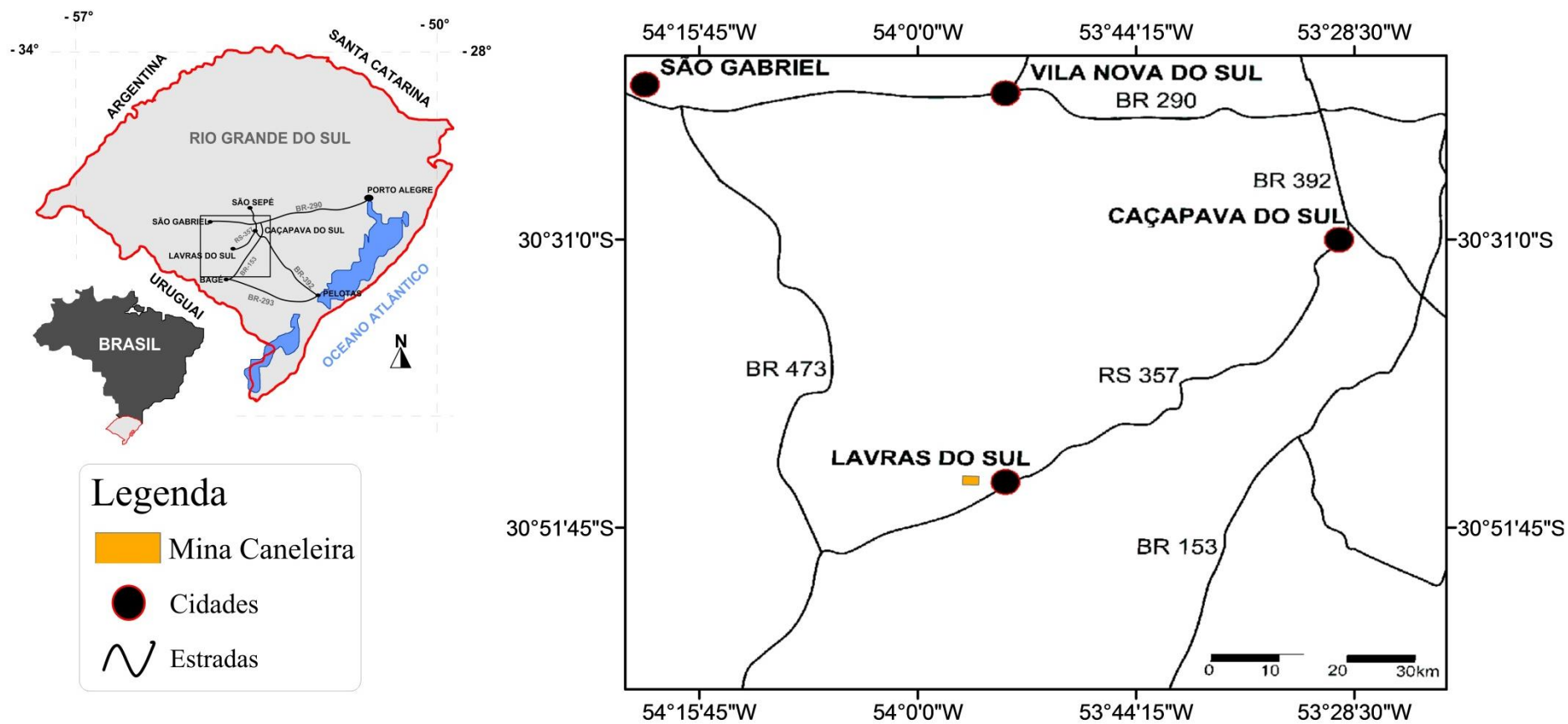
Este trabalho irá contribuir para o conhecimento da geologia da Mina Caneleira e fornecer dados para o “Projeto de Pesquisa em Terras Raras”.

#### **4 LOCALIZAÇÃO E ASPECTOS FISIAGRÁFICOS DA ÁREA DE ESTUDO**

A área de estudo está localizada na região central do estado do Rio Grande do Sul. O acesso à área realiza-se (Figura 1), de Porto Alegre a Lavras do Sul, pela BR-290 para oeste até o entroncamento desta com a BR-392, de onde se segue para sul até a cidade de Caçapava do Sul. A partir deste, percorre-se aproximadamente 62 quilômetros pela RS-357 para sudoeste até a cidade de Lavras do Sul, que se situa a leste da área de estudo. O acesso até a Mina Caneleira é feito pela estrada vicinal não pavimentada que é uma continuação da Rua Barão do Rio Branco. A Mina Caneleira possui aproximadamente 2,2 km<sup>2</sup> e está delimitada pelas coordenadas UTM 218064 e 219946 mE e 6587620 e 6588805 mS, fuso 22J, utilizando o datum SIRGAS 2000.

Na área da Mina Caneleira o relevo é suavemente ondulado em forma de colinas com topos convexos e altitudes variando de 310 a 370 m. Os afloramentos de rocha ocorrem em locais pontuais no campo, como lajeados de aproximadamente 1 até 15 metros de dimensão e também nas porções mais elevadas como lajeados de encosta de grande dimensão (superiores a 15 metros de dimensão). Na drenagem também ocorrem lajeados de 5 até 15 metros de extensão que por vezes encontram-se fortemente fraturados. No campo também se verificam blocos e matacões arredondados. A vegetação da área é caracterizada por tapete de gramíneas com a presença de arbustos e árvores baixas, tanto isoladas como na forma de capões. Segundo a classificação climática de Köppen-Geiger (KOTTEK *et al.*, 2006) a região de Lavras do Sul pertence a classe Cfa, caracterizado por um clima temperado úmido com verão quente. A temperatura média é 18°C e a pluviosidade média anual é de 1408 mm. A melhor época para os trabalhos de campo é nos meses de dezembro, janeiro, fevereiro e março, que

Figura 1 – Mapa rodoviário simplificado do estado do Rio Grande do Sul e localização da área de estudo.



Fonte: adaptado de DNIT (2002).

são os meses mais quentes com poucos períodos chuvosos. Os dados climáticos da região de Lavras do Sul foram extraídos de Climate-data (2016).

## 5 CONTEXTO GEOLÓGICO

De acordo com Almeida *et al.* (1977, 1981), a Província Mantiqueira (PM) é uma grande (aproximadamente 700.000 km<sup>2</sup>) e complexa província estrutural, originada durante o Ciclo Brasileiro/Panafricano na América do Sul, desde o Neoproterozoico até o início do Paleozoico (900 – 480 Ma). Segundo aqueles autores, a PM é paralela à costa do Oceano Atlântico e se estende desde o Uruguai (lat. 33°S) até o sul do estado da Bahia (lat. 15°S). No estado do Rio Grande do Sul, o setor meridional da PM (ALMEIDA; HASUI, 1984) faz parte da Província Geomorfológica denominada de Escudo Sul-rio-grandense (ESrg).

De acordo com Chemale Jr. (2000), o ESrg pode ser compartimentado nas seguintes unidades geotectônicas: Terreno Taquarembó, Terreno São Gabriel, Terreno Tijucas e Batólito de Pelotas (Figura 2). O Terreno Taquarembó e o Terreno São Gabriel foram denominados anteriormente como Bloco São Gabriel (JOST; HARTMANN, 1984).

O Terreno Taquarembó (Terrenos Paleoproterozoicos na Figura 2) é constituído pelo Complexo Granulítico Santa Maria Chico, composto por gnaisses félsicos (trondhjemíticos e tonalitos) e máficos, corpos de metaultramafitos (espinélio lherzolitos), granada-silimanita gnaisses, quartzo-magnetita BIFs e por rochas supracrustais metamorfisadas em condições de fácies granulito, com retrometamorfismo de fácies anfibólio e xisto verde (NARDI; HARTMANN, 1979; HARTMANN, 1998). Segundo Nardi e Hartmann (1979), as rochas paleoproterozoicas do Terreno Taquarembó foram retrabalhadas durante o Ciclo Brasileiro (representado pelos Blocos Rivera, Valentines e Nico Perez localizados no Uruguai segundo SOLIANI Jr., 1986), cortados por intrusões graníticas Brasileiras de composição granodiorítica a monzogranítica, representadas pela Suíte Santo Afonso (HARTMANN; NARDI, 1982), e cobertas por rochas vulcano-sedimentares da Bacia do Camaquã e sedimentares da Bacia do Paraná. A datação por U-Pb SHRIMP de zircões mostra idades variadas de acreção dos magmas do complexo granulítico entre 2,5 e 2,1 Ga, tendo o evento colisional gerador dos granulitos ocorrido em 2,02 Ga (HARTMANN *et al.*, 1999, 2000). O Terreno Taquarembó ao norte é limitado pelo lineamento Ibaré (FRAGOSO-CESAR, 1991),

ao leste pela Anomalia Magnética de Caçapava do Sul (AMCS) (COSTA, 1997) e a oeste e sul pela cobertura sedimentar da Bacia do Paraná.

O Terreno São Gabriel é dividido em duas unidades petrotectônicas segundo Chemale Jr. (2000): o Terreno Metamórfico de Acreção Palma (TMAP) e a Associação Plutono Vulcano-Sedimentar Seival (APVSS).

O TMAP é representado pelo Complexo Cambaí (CC) e pelo Supercomplexo Vacacaí (SV), compostos por rochas de assinatura isotópica juvenil (930 – 680 Ma) (CHEMALE Jr., 2000). Segundo aquele autor, o CC é representado por gnaisses de composição monzogranítica, granodiorítica, diorítica, tonalítica e thondhemítica, com intercalações de anfibolitos, meta-ultramafitos, mármores e metapelitos metamorfizados em fácies anfibolito médio a inferior. O SV é constituído por complexos de rochas vulcano-sedimentares deformadas e metamorfizadas em fácies xisto-verde a anfibolito inferior, além de corpos básico-ultrabásicos estratiformes (CHEMALE Jr., 2000). Em termos gerais, Chemale Jr. (2000) relata que o SV apresenta as seguintes sequências de rochas: i) xistos magnesianos, serpentinitos, metabasaltos (com lentes de quartzito), mármores e metapelitos; ii) associações de metapelitos, anfibolitos, anfibólio xistos, metagabros e metavulcanoclásticas ácidas a intermediárias e, subordinadamente, xistos magnesianos, lentes de mármores e basaltos com estruturas almofadadas; e iii) rochas metavulcânicas e vulcanoclásticas ácidas a básicas cálcio alcalinas que são intercaladas com rochas epiclásticas e químicas.

A APVSS (CHEMALE Jr. *et al.*, 1995) consiste em rochas siliciclásticas, vulcânicas básicas a ácidas e intrusões graníticas sin- a tardi-orogênicas (pós-colisional segundo SILVA *et al.*, 2005) em relação ao Evento Dom Feliciano/Brasiliano (610-470 Ma), em situação de retroarco relacionada à subducção da crosta oceânica do Oceano Adamastor com mergulho para oeste na margem leste da microplaca Encantadas (CHEMALE Jr., 2000). As rochas do Complexo Intrusivo Lavras do Sul, inseridas na APVSS, são relacionadas à fase pós-colisional conforme Silva *et al.* (2005). No sul do Brasil, o magmatismo pós-colisional perfaz o maior volume de granitoides expostos em uma faixa de direção NE que se estende desde Santa Catarina ao Uruguai (NARDI; BITENCOURT, 1993; BITENCOURT; NARDI, 2000). O magmatismo plutônico foi controlado em sucessivas etapas pela mesma descontinuidade de escala litosférica associada à tectônica transpressiva, ativa no intervalo de 650 a 580 Ma, e referida como Cinturão de Cisalhamento Sul-brasileiro (BITENCOURT; NARDI, 2000). Dados reunidos por Nardi e Bitencourt (1993), Bitencourt e Nardi (2000), Philipp *et al.*

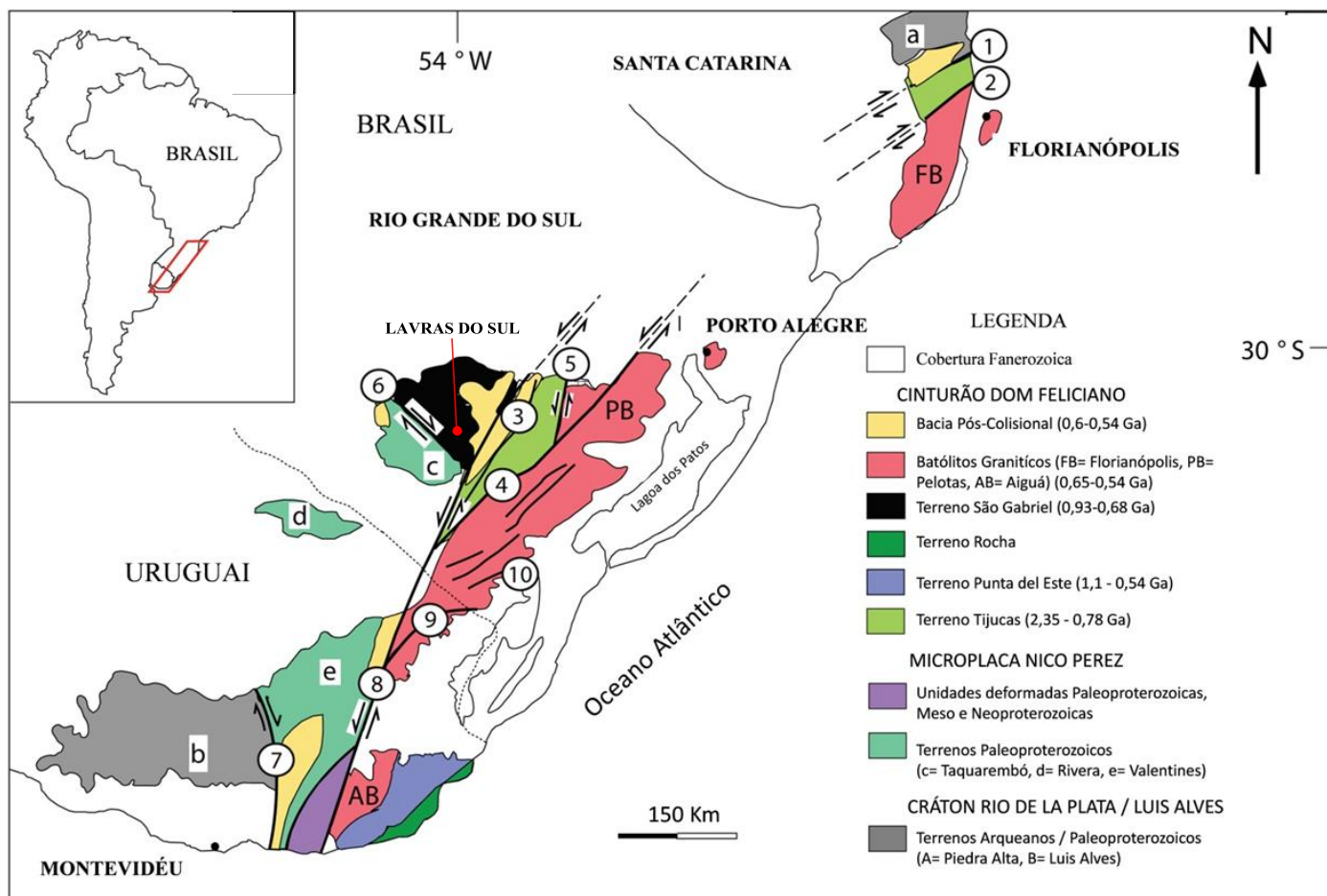
(2000) e Florisbal *et al.* (2007) permitiram estabelecer a dominância de granitoides cálcio-alcalinos alto-K e leucogranitos peraluminosos precoces em relação à tectônica transcorrente, que evoluem para granitoides de afinidade shoshonítica e, eventualmente, alcalina metaluminosa de caráter tardi- a pós-transcorrente. O Terreno São Gabriel no sul é limitado pelo lineamento Ibaré, ao leste pelo sistema de falhas paralelo à AMCS e ao norte e oeste é coberto por rochas sedimentares da Bacia do Paraná.

De acordo com Chemale Jr. (2000), o Terreno Tijucas compreende o Complexo Encantadas (idade U-Pb SHIRIMP em zircão de 2,2 – 2,0 Ga), representado por rochas granito-gnáissicas e anfibolíticas, o Complexo Metamórfico Porongos (800 – 700 Ma), composto por rochas supracrustais e plutônicas (vulcanismo cálcico-alcalino), as rochas sedimentares siliciclásticas da sub-bacia Piquiri/Boici e Guaritas, deformadas em ambiente dúctil-rúptil (620 – 540 Ma) e os granitoides gerados e deformados do evento Dom Feliciano (595 – 543 Ma). Segundo aquele autor, no sul e ao norte o Terreno Tijucas está coberto por rochas sedimentares da Bacia do Paraná, a oeste é limitado pela AMCS e a leste pela Zona de Cisalhamento Dorsal de Canguçu (ZCDC).

Chemale Jr. (2000) caracterizou o Batólito de Pelotas como composto predominantemente de rochas graníticas com idade entre 650 e 550 Ma. No entanto, Philipp e Machado (2005) e Philipp *et al.* (2007) discriminaram no Batólito de Pelotas um complexo granítico-gnáissico e sete suítes, sendo seis graníticas e uma sienítica, relacionadas à atuação de zonas de cisalhamento. Segundo aqueles autores, o magmatismo granítico do Batólito de Pelotas (idade  $T_{DM}$  900 – 2000 Ma) foi gerado a partir de fontes mistas, com importante componente crustal (contribuição variável de unidades paleoproterozoicas do embasamento) e pequena participação de material juvenil (fontes neoproterozoicas). Segundo Chemale Jr. (2000), o Batólito de Pelotas no Rio Grande do Sul é limitado a oeste pelas ZCDC e Zona de Cisalhamento Passo Marinheiro (ZCPM), a leste pelos sedimentos da Planície Costeira e a norte pelas rochas sedimentares da Bacia do Paraná.



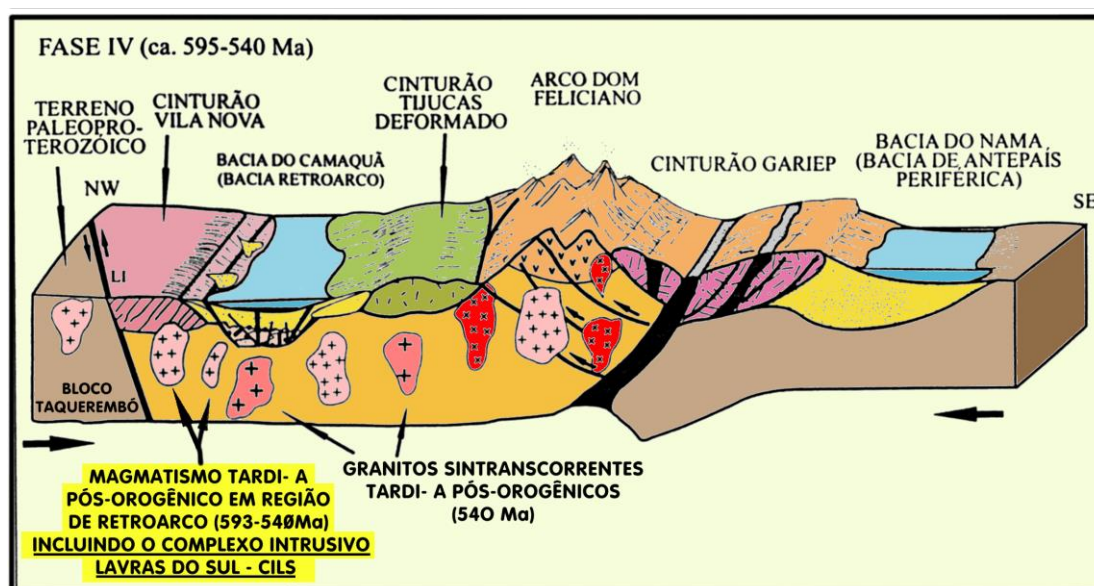
Figura 2 – Mapa Geotectônico dos escudos do sul do Brasil e do Uruguai. Zonas de cisalhamento dúctil: 1 – Itajaí-Perimbó, 2 – Major Gercino, 3 – Caçapava do Sul, 4 – Dorsal de Canguçu, 5 – Passo do Marinheiro, 6 – Ibaré, 7 – Sarandí del Yí, 8 – Sierra Ballena, 9 – Cerro Amaro, 10 – Arroio Grande.



Fonte: extraído e adaptado de Philipp *et al.* (2016).

Na Figura 3 é apresentado o modelo tectônico evolutivo proposto por Chemale Jr. (2000) para o ESrg durante o final Neoproterozoico (595-540 Ma). Do ponto de vista geotectônico, no modelo proposto por aquele autor, destaca-se o magmatismo tardi a pós-orogênico em região de retroarco (593-540 Ma) ressaltado na Fase IV, pois é nele que está contida a manifestação plutônica e vulcânica em que se encontram as rochas às quais estão associadas às mineralizações da região de Lavras do Sul. Cabe mencionar que o modelo de geração de grande volume de magma no Batólito de Pelotas em ambiente de arco magmático proposto por Chemale Jr. (2000) está caindo em desuso, devido à publicação de dados geocronológicos mais recentes (principalmente de idades modelo  $T_{DM}$ ), que sugerem que a geração do magmatismo ocorreu em ambiente pós-colisional, com forte contribuição crustal (embasamento Transamazônico do cinturão) e pouca contribuição juvenil (neoproterozoica) (BITENCOURT; NARDI, 2000; PHILIPP; MACHADO, 2005; PHILIPP *et al.*, 2007).

Figura 3 – Modelo evolutivo para o Escudo Sul-rio-grandense durante o final do Neoproterozoico (595-540 Ma) proposto por Chemale Jr. (2000). Esse modelo apresenta uma nomenclatura desatualizada para as unidades geotectônicas do ESrg onde o Bloco Taquarembó corresponde ao Terreno Taquarembó, o Cinturão Vila Nova corresponde ao Terreno São Gabriel, o Cinturão Tijuca corresponde ao Terreno Tijuca e o Arco Dom Feliciano corresponde ao Batólito de Pelotas.



Fonte: extraído de Mexias (2000).

### 5.1. Região de Lavras do Sul

O Complexo Granítico Lavras (CGL) é um batólito granítico com zonação concêntrica reversa (NARDI, 1984). Ele é formado por um núcleo granodiorítico e monzogranítico designado como zona central, de afinidade geoquímica shoshonítica, parcialmente assimilado por magmas graníticos alcalinos (sienogranitos e pertita granitos) mais ao sul, oeste e norte do plúton (NARDI, 1984). A partir deste processo de assimilação, rochas híbridas teriam sido formadas com características transicionais entre os dois tipos de magma. Segundo aquele autor, os granodioritos e monzogranitos da zona central e o pertita granito periférico teriam origens independentes, sendo a associação dessas litologias atribuída ao seu posicionamento ao longo de zonas de fraquezas ativas ao longo de períodos geológicos. Aquele autor ainda sugere que, de acordo com a zonação concêntrica reversa que ocorre no CGL, o alojamento dos granitoides pode ter relação com mecanismos de subsidência de caldeira.

Mais a leste, o CGL está em contato com a sequência vulcânica da Formação Hilário (RIBEIRO; FANTINEL, 1978). Nardi e Lima (2000) identificaram nesta sequência vulcânica lópili-tufos, tufos líticos a cristal e a pó, e aglomerados e brechas piroclásticas intercalados com lavas de traquibasaltos e traquiandesitos. Em porções localizadas, depósitos epiclásticos e ignimbritos são descritos. A intrusão do CGL nas rochas da Formação Hilário gerou uma auréola de metamorfismo de contato de grau médio, com aproximadamente 50 metros de espessura (RIBEIRO, 1983).

Circunda este complexo, a sul, a sequência sedimentar da Formação Maricá, representada pela estratificação rítmica de arenitos arcoseanos e siltitos (RIBEIRO, 1983). Segundo aquele autor, a intrusão granítica nessas rochas gerou, assim como na Formação Hilário, uma zona de metamorfismo de contato de cerca de 50 metros de espessura.

A oeste, o CGL está em contato com o Granito Jaguari (GJ), representado por granitos leucocráticos equigranulares (NARDI, 1984) e com rochas gnáissicas e matagranitoides do Complexo Cambaí (CC; KRAEMER, 1995). O CGL é intrudido pelo GJ.

Gastal e Lafon (1998) redefiniram o CGL (*sensu* NARDI, 1984) como Complexo Intrusivo Lavras do Sul (CILS), incluindo monzodioritos, monzonitos e quartzo monzonitos que ocorrem a norte, e reinterpretaram as suas fácies graníticas. As fácies transicionais designadas por Nardi (1984) foram divididas em dois conjuntos: um deles foi agrupado às fácies monzograníticas e granodioríticas do núcleo e as demais individualizadas como sienogranitos.

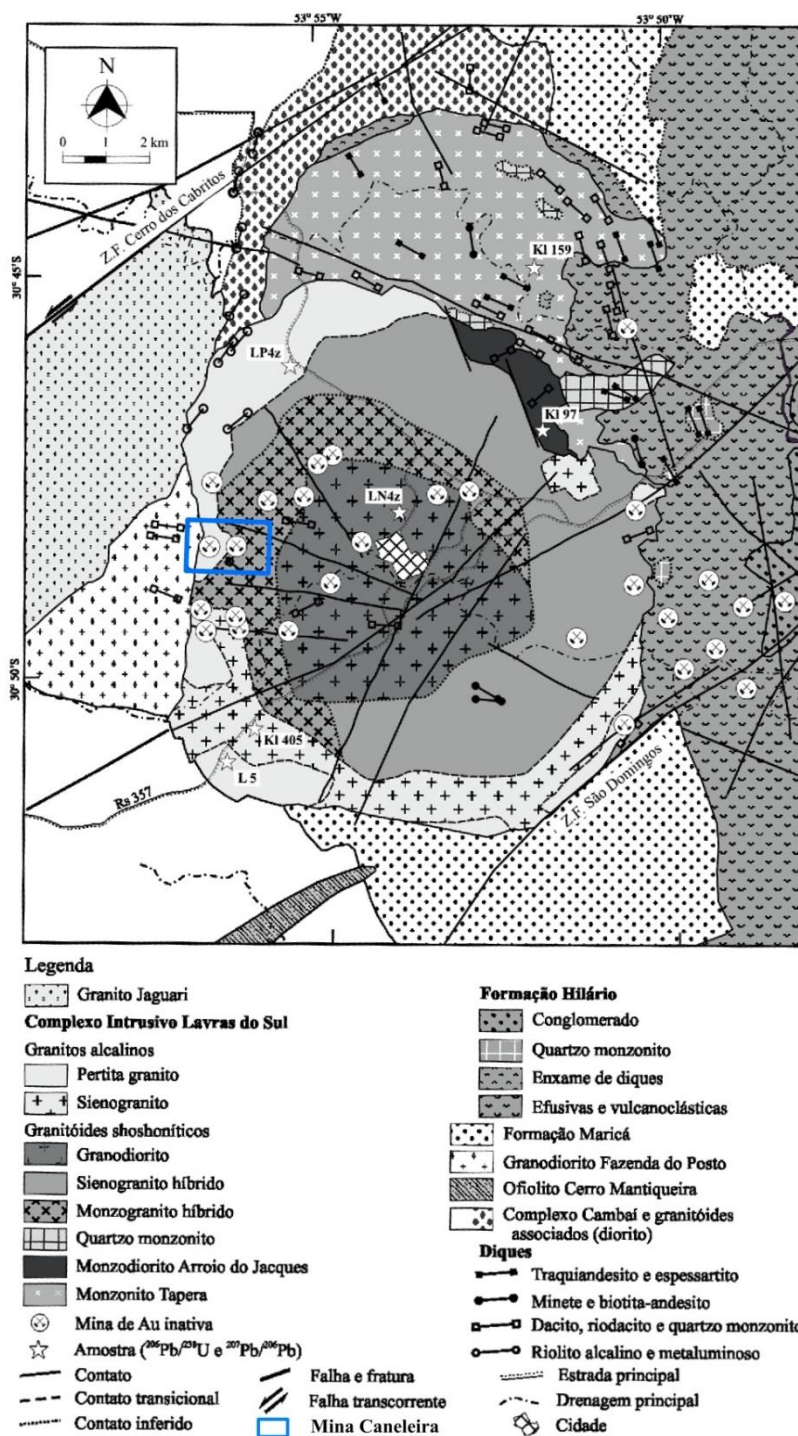
Segundo Gastal *et al.* (2015), o CILS é alongado na direção N-S e apresenta dimensões aproximadas de 10,3 x 16,2 km. Já o granito Lavras (GL) é grosseiramente circular em planta e apresenta dimensões próximas de 12,2 x 10,4 km (GASTAL *et al.*, 2015). Segundo Gastal e Lafon (1998), os eventos que deram origem às rochas shoshoníticas e alcalinas são contemporâneos, com base nas relações de campo, critérios texturais e dados geocronológicos U-Pb. No entanto, aqueles autores admitem que os granitoides alcalinos dispostos na borda são relativamente mais tardios e menos abundantes e os granitoides shoshoníticos na zona central são as fácies dominantes. Segundo Gastal *et al.* (2015), diques máficos-ultramáficos lamprofíricos de direção WNW-ESE ocorrem indistintamente no GL, sendo frequentes junto as zonas mineralizadas em testemunho de sondagem. Gastal *et al.* (2005) apresentou para uma amostra de minete aflorante, a idade Ar-Ar em flogopita de  $590 \pm 2$  Ma. Gastal *et al.* (2006) sugerem que o alojamento ou posicionamento do CILS pode ter sido por processos de ressurgência pós colapso. Na Figura 4 é apresentado o mapa geológico do CILS proposto por Gastal *et al.* (2006).

As rochas de afinidade shoshonítica da zona central do CILS fazem parte da Associação Shoshonítica Lavras do Sul (ASLS) (NARDI; LIMA, 1985). Estão incluídas nesta associação de rochas, os quartzo-monzonitos e monzonitos da porção norte do CILS e o Monzodiorito Arroio dos Jaques. Lima & Nardi (1998) também incluem as rochas da Formação Hilário, localizadas a oeste do CILS e representadas por conglomerados vulcânicos, traquibasaltos a traquiandesitos associados com algumas rochas piroclásticas. Lima e Nardi (1998) ainda incluem na ASLS o Maciço Granítico Santo Antônio e o Complexo Granítico Santa Rita.

O pertita granito do CGL (NARDI, 1984), ou o pertita granito e sienogranito do CILS (GASTAL; LAFON, 1998), ambos de afinidade geoquímica alcalina, estão

inseridos na Suíte Intrusiva Saibro (SIS), termo designado por Hartmann e Nardi (1982) em referência ao reconhecimento de intrusões alcalinas no oeste do ESrg.

Figura 4 – Mapa geológico do Complexo Intrusivo Lavras do Sul com o polígono da área de estudo.

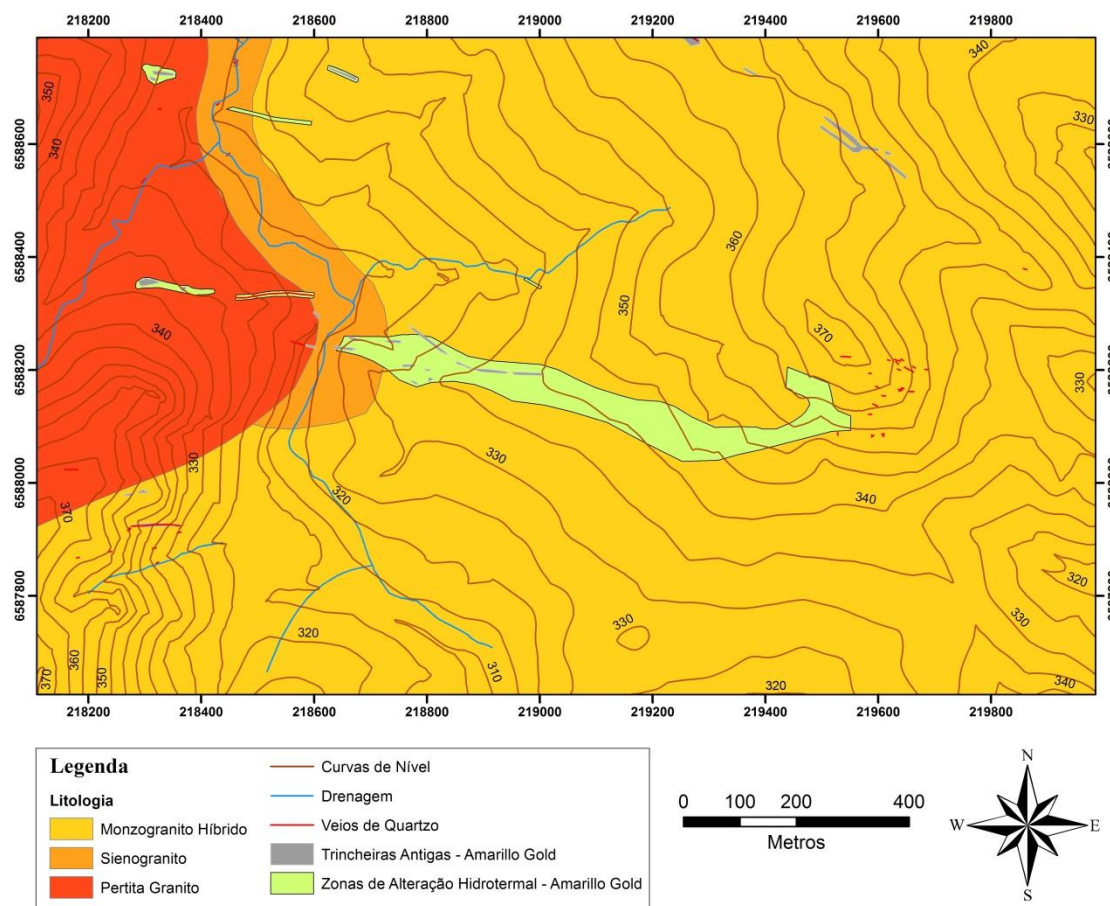


Fonte: extraído e adaptado de Gastal *et al.* (2006).

Segundo Gastal (1999), as rochas da SIS são divididas em dois grupos: fortemente alcalinas e metaluminosas *sensu strictu*. Segundo aqueles autores, o pertita granito pertence ao grupo das rochas fortemente alcalinas e se caracteriza por apresentar uma forte assinatura mantélica.

Na Figura 5 é apresentado o mapa geológico da Mina Caneleira gerado a partir dos dados do mapeamento geológico realizado neste trabalho.

Figura 5 – Mapa geológico da Mina Caneleira em escala de detalhe (1:4.500).



Fonte: autor.

De acordo com o mapeamento geológico realizado, na porção central, leste e sudoeste da Mina Caneleira ocorre o monzogranito híbrido (Figura 6) pertencente aos granitoides shoshoníticos do CILS (GASTAL *et al.*, 2006). Ele apresenta cor rosa a

branco, com textura inequigranular, composto por aproximadamente 25% de quartzo fumê globular (<4mm), 40% feldspato alcalino euédrico pertítico, 30% de plagioclásio anédrico a euédrico, 5% de anfibólio e biotita subédricos a anédricos (<2mm). Ocorrem alguns cristais de feldspato alcalino com textura magmática rapakivi.

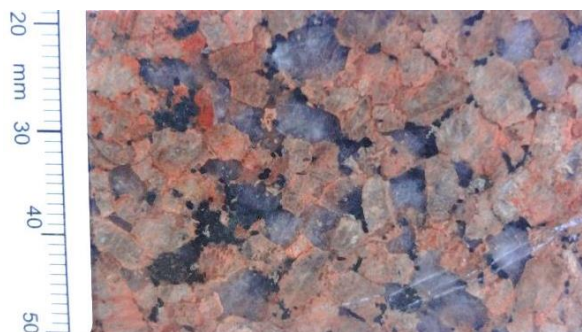
Figura 6 – Amostra do monzogranito híbrido que ocorre na zona central, leste e sudoeste na Mina Caneleira.



Fonte: autor.

Mais a noroeste, ocorre o pertita-granito pertencente aos granitos alcalinos do CILS (GASTAL *et al.*, 2006) com cor vermelha, textura equigranular média, composto por aproximadamente 60% de feldspato alcalino pertítico anédrico a subédrico (<10mm), 36% de quartzo subédrico (<10mm) e 4% de anfibólio subédrico (<3mm) (Figura 7).

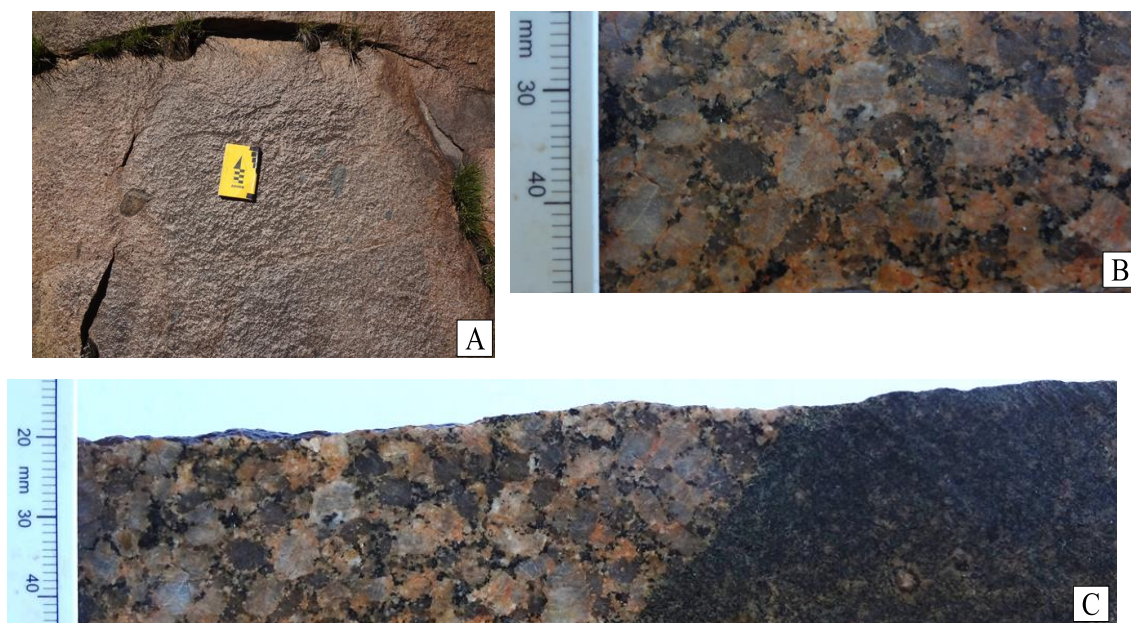
Figura 7 – Amostra do pertita granito que ocorre na porção noroeste na Mina Caneleira.



Fonte: autor.

Não foi identificado no campo o contato brusco entre essas duas litologias. No entanto, foi identificada uma rocha na drenagem que sugere ser o granito transicional de Nardi (1984) ou o sienogranito alcalino identificado por Gastal e Lafon (1998). Essa litologia apresenta características intermediárias entre o monzogranito híbrido e o pertita granito e ocorre a presença de enclaves máficos centimétricos. O sienogranito ocorre como um fino corpo entre o monzogranito híbrido e o pertita granito na porção noroeste da Mina Caneleira. Na Figura 8 é apresentada uma foto do afloramento do tipo lajeado na drenagem e uma amostra do sienogranito com presença de enclave máfico.

Figura 8 – Fotografias do sienogranito que ocorre na drenagem na Mina Caneleira. A) Afloramento do tipo lajeado na drenagem do sienogranito com presença de enclave máfico. B) Amostra do sienogranito. C) Amostra do sienogranito com presença de enclave máfico.



Fonte: autor.

De acordo com o mapa geológico proposto por Nardi (1984), o pertita granito está em contato com o gnaissé do Complexo Cambaí. Já o mapa geológico do CILS, proposto por Gastal *et al.* (2006), o pertita granito está em contato com o Granodiorito Fazenda do Posto. Na região central foi identificado pela empresa Amarillo Gold uma zona de alteração hidrotermal de aproximadamente 1000 m de comprimento por 100 metros de largura, com direção WNW-ESE. Outras zonas menores de alteração



hidrotermal foram identificadas ao longo da área e apresentam direção preferencial WNW-ESE. A maioria dessas zonas hidrotermalizadas não afloram na superfície e foram delimitadas pela empresa através de dados geofísicos e geoquímicos de solos.

Os afloramentos do monzogranito híbrido ocorrem na área como lajeados no campo e na drenagem de 1 a 15 metros de dimensão (Figura 9). Ocorrem também a presença de blocos e matacões arredondados no campo desta litologia.

Figura 9 – Afloramento do tipo lajeado no campo do monzogranito híbrido na Mina Caneleira. Presença de blocos e matacões arredondados.



Fonte: autor.

O pertita granito ocorre como lajeados na encosta de dimensões superiores a 15 metros (Figura 10). Em alguns afloramentos ocorrem indícios de alteração hidrotermal e presença de enclaves máficos.

Figura 10 – Alforamento do tipo lajeado na encosta do pertita granito na Mina Caneleira.



Fonte: autor.

Algumas das trincheiras antigas presentes na área foram transformadas em pastagens para gado e outras estão cobertas por vegetação e suas paredes estão fortemente intemperizadas. Blocos de veios de quartzo ocorrem no campo em maior parcela na porção leste da área, conforme o mapa da Amarillo Gold (2015) e confirmado no mapeamento realizado.

## **6 CONTEXTO DAS MINERALIZAÇÕES**

Durante o levantamento das referências para este tópico, optou-se por compilar parcialmente de alguns trabalhos as revisões das mineralizações na região de Lavras do Sul.

Carvalho (1932), estudando as jazidas auríferas de Lavras do Sul, identificou dois campos auríferos: um sobre o granito (Pitangueiras e Caneleira) e outro ligado ao andesito a leste da cidade (Campos de Vista Alegre). O levantamento dos vieiros ou veios metalíferos em ambos os campos indica uma direção dominante N50°W, tanto no granito quanto no andesito. No entanto, aquele autor salienta que normal (ortogonal) à direção dominante, o granito apresentava uma série de fraturas entre as quais se inclui os vieiros metalíferos da Mina Dourada.

Carvalho (1932) relata que os minérios carbonatados de cobre predominam no andesito. Porém, aquele autor sugere que esta diferença possa ser apenas aparente, pois nos escombros dos poços abertos no granito ocorrem os mesmos minérios de cobre. Aquele autor considera que o “enchimento” dos veio de quartzo em ambos os campos auríferos teria se dado pela alteração hidrotermal. Carvalho (1932) apresentou o primeiro relato da determinação de ouro nos filões de diferentes frentes de lavra, que oscilavam entre 2-40 gramas por tonelada, e que o concentrado de pirita (processo de beneficiamento do minério realizado naquela época) nos vieiros metalíferos nas jazidas da Caneleira produzia uma média de 750 gramas de ouro por tonelada de pirita.

Pode-se destacar a seguir o trabalho de Teixeira e Leinz (1942, *apud* MEXIAS, 2000), que apresenta resultados dos estudos geológicos na jazida do Bloco Butiá, situada a 4-5 km a oeste da cidade de Lavras do Sul. Apesar da inversão na cronologia geológica do andesito com o granito, o trabalho mostra uma completa descrição da geologia local e das estruturas mineralizadas com base em testemunhos de sondagens e na exposição do jazimento devido aos trabalhos de exploração que estavam em andamento. Foi o primeiro trabalho que descreveu o minério “pirítico” disseminado na rocha granítica de Lavras do Sul, sendo que na época não havia registros de ocorrências similares no Brasil, sendo raras no mundo. Aqueles autores ainda relataram a ocorrência de alguns veios de quartzo com ouro nativo próximos das zonas com alteração hidrotermal.

Posteriormente, Goñi (1961, *apud* MEXIAS, 2000) destacou que o cobre não ocorre apenas nos andesitos, mas também é encontrado nas rochas graníticas. Goñi (1961) reconheceu nas rochas graníticas mineralizadas a presença de titanomagnetita, ilmenita, hematita, calcopirita, pirita e galena. Já nos andesitos ele discriminou que

ocorrem magnetita (com martitização avançada), titanomagnetita, além dos sulfetos de Cu, Fe e Pb. Seguindo a escola francesa do início do século XX, no sentido metassomático, aquele autor sugere uma “granitização” dos sedimentos encaixantes como teoria para origem do Complexo Granítico Lavras (CGL). Concentrando suas observações nos filões das jazidas Vista Alegre e Volta Grande, aquele autor estabeleceu a seguinte ordem de cristalização: i) pirita; ii) hematita I e calcopirita; iii) calcosina azul e branca, bornita rosa e lilás, hematita II, covelita primária e ouro; iv) blenda e galena; e v) covelita secundária, crisocola, malaquita, azurita, cuprita e piromorfita. Assim, como os outros autores já citados, Goñi (1961) também observou que as direções de posicionamento dos filões estavam predominantemente NW e atribui à origem das mineralizações, tanto no CGL como nos andesitos, ao granito e seus efeitos de “difusão iônica”.

Estudando o minério de cobre na região de Volta Grande, Barbosa e Constantino (1961) defendem a influência positiva do granito no andesito mineralizado, discutindo a influência do magmatismo granítico *versus* andesítico na formação das jazidas do Seival e Camaquã.

Kaul e Zir F<sup>o</sup>. (1974) classificaram as ocorrências do tipo filoneana e disseminadas tanto nas rochas graníticas como na sequência vulcânica encaixante. Eles demonstraram, a partir de um estudo estrutural/tectônico detalhado, que os esforços compressivos de direção próxima a E-W atuaram sobre os granitos e as rochas vulcânicas do Distrito Aurífero de Lavras do Sul, denominado pela primeira vez por aqueles autores. Esses esforços, por sua vez, teriam gerado falhas de tensão onde preferencialmente estariam encaixadas as estruturas e filões mineralizados, tanto nas rochas graníticas como nas rochas da sequência vulcânica. Kaul e Zir F<sup>o</sup>. (1974) ainda defendem a ligação genética do cobre com os andesitos e demonstram que as quantidades de cobre nos granitos são insignificantes.

Reischel (1980), comparando a potenciabilidade econômica entre o granito central e o de borda, mostrou que o pertita granito e sienogranito (borda) seriam pós-tectônicos com mineralizações lenticulares (Bloco Butiá) e filoneanas. Ainda segundo aquele autor, o granito de borda apresenta pirita, galena, blenda, molibdenita, arsenopirita e secundariamente calcopirita. Já no granito central, a molibdenita e a

arsenopirita foram encontradas de forma mais subordinada que a calcopirita. Sendo assim, os granitos de borda apresentam um *background* para Cu, Pb e Zn maior, assim como o volume maior da mineralização em relação ao granito central. Reischel (1980) também salientou que as mineralizações disseminadas no pertita granito (granito de borda) estão confinadas em fraturas E-W ao longo de zonas de alteração hidrotermal. Já os veios de quartzo sulfetados que ocorrem no granito central e transicional são controlados por fraturas de direção N60°W. Aquele autor associou a origem das mineralizações ao evento magmático responsável pela intrusão dos sienogranitos de borda. Aquele autor também apresenta um mapa do complexo granítico e da encaixante mais detalhado e preciso até então publicado, que serviram de base para o trabalho de Nardi (1984).

Como já citado anteriormente no contexto geológico, Nardi (1984) separa o CGL em zona central (ZC), rochas transicionais (RTr) e pertita granito (PG). De acordo com aquele autor, a ZC e as RTr contém predominantemente abundância de quartzo (em comparação com o PG) associado com sulfetos de cobre e ouro, apesar de ocorrer galena, esfarelita e molibdenita preenchendo pequenas fraturas. Já o PG contém principalmente pirita associada com ouro e ocasionalmente esfarelita e galena, disseminadas ao longo de zonas de fraturas com alteração hidrotermal (NARDI, 1984). Na sequência vulcano-sedimentar, aquele autor descreve que encaixados próximo ao CGL, sulfetos de cobre são dominantes e mais a leste do contato o mesmo ocorre associado com sulfeto de chumbo e zinco e com prata.

Os veios de quartzo sulfetados inclusos na ZC e nas RTr ocorrem geralmente associados a zonas de alteração hidrotermal, onde os feldspatos tornam-se avermelhados enquanto que os plagioclásios e os anfibólios e as biotitas são substituídos por clorita + epidoto ± calcita (NARDI, 1984). Ainda segundo aquele autor, as rochas da ZC e as RTr foram afetadas por alteração propilítica próxima das zonas mineralizadas (20 a 30 metros a partir dos veios de quartzo sulfetados). Em direção à mineralização, a alteração sericítica se torna gradualmente mais forte e ele a caracteriza como a substituição de clorita e minerais máficos para sericita, calcita substituindo grandes porções da rocha, plagioclásios completamente substituídos para sericita + calcita, feldspatos alcalinos mais avermelhados e presença de sulfetos e ouro disseminados (NARDI, 1984). Aquele autor relata que os produtos de alteração hidrotermal que ocorrem nas rochas da ZC

associados com mineralizações de calcopirita mostram forte empobrecimento de quartzo e são constituídos predominantemente por calcita + sericita ± albita e pirita disseminada.

Segundo Nardi (1984), o pertita granito (PG) apresenta grandes zonas de intensa propilitização ao longo de zonas de fraturas, com completa substituição da mineralogia preexistente, descritos primeiramente por Texeira & Leinz (1942) como minério “pirítico” disseminado. Estudos microscópicos realizados por Nardi (1984) mostraram que as zonas de alteração propilitica apresentam as seguintes transformações: os feldspatos alcalinos são “turvos” e avermelhados e os anfibólios são transformados para clorita + calcita + epidoto e calcita por vezes preenchendo pequenas fraturas; o ortoclásio é transformado em sericita e depois em albita; o quartzo é gradualmente substituído para calcita + sericita e ocorre presença disseminada de pirita, calcopirita e ouro. Nardi (1984) preferiu denominar tal produto de alteração pelo termo “episienito”, em referência aos produtos de alterações hidrotermais similares identificados por Strong (1982 *apud* NARDI, 1984) nas rochas graníticas com mineralizações de molibdênio e urânio.

Nardi (1984) também relata que nas rochas sericitizadas associadas com veios de quartzo ocorre ouro (Au), em alguns casos chegando até 5 ppm. Em geral, sugere que as pesquisas prospectivas para Au podem ser balizadas pelo aumento da perda ao fogo e correlação positiva com arsênio (As) e prata (Ag).

Nardi (1984) conclui que as mineralizações do CGL ocorrem geralmente associadas com sericitização, carbonatização, propilitização, albitização, silicificação e sulfetação. Ele sugere a seguinte zonação para mineralização: i) Au-Fe no pertita granito; ii) Au-Fe-Cu nas rochas da ZC e nas RTr (ocasionalmente acompanhada de Mo); iii) Cu-Au nas rochas vulcânicas próximas; e iv) Pb-Ag (Au?) na sequência vulcano-sedimentar mais afastada do CGL. Aquele autor sugere que as soluções hidrotermais geradas durante a colocação do pertita granito e outras rochas alcalinas seriam as responsáveis pelas mineralizações no CGL bem como nas rochas vulcânicas e na sequência vulcano-sedimentar.

Estudando a região de Volta Grande (leste da cidade de Lavras do Sul), Mexias (1990) identificou padrões de zonação de alteração hidrotermal que se assemelham aos

observados nos depósitos tipo cobre pórfiro. Aquele autor identifica vários episódios de atividade hidrotermal, que foram responsáveis pela zonação hidrotermal, remobilização e concentração de metais (ouro, cobre, chumbo e zinco), formando assim os depósitos de minério.

Mexias (2000), em estudo de detalhe nas áreas das minas Bloco Butiá, Boa Vista e Saint Clement (oeste da cidade de Lavras do Sul, sudoeste da Mina Caneleira), relata que na área estudada ocorrem os três tipos graníticos descritos por Nardi (1984) no CGL. Segundo aquele autor, os contatos litológicos entre essas litologias não são bruscos e nem justapostos. Porém, devido aos deslocamentos pelos falhamentos e fraturamentos E-W a N70°W, os granitoides são colocados lado a lado, apresentando assim contatos justapostos. Mexias (2000) sustenta que as zonas hidrotermalizadas e mineralizadas estão concentradas preferencialmente no pertita granito e em menor quantidade nos sienogranitos e monzogranitos. Elas estariam encaixadas ao longo de estruturas E-W  $\pm 20^\circ$  subverticais, com mergulho em geral para NNE (MEXIAS, 2000).

A partir de estudos de testemunhos de sondagem, Mexias (2000) estabelece algumas generalizações a cerca dos efeitos das alterações hidrotermais no pertita granito hospedeiro das mineralizações: i) silicificação é rara nas rochas; ii) a rocha, próximo de zonas com forte alteração hidrotermal, apresenta quartzo esbranquiçado e avermelhamento dos feldspatos alcalinos e é cortada por veios de clorita + calcita (equivalente à alteração propilítica dos depósitos do tipo cobre pórfiros); iii) ocorrem porções com grande concentração de filossilicatos (chegando até 90% de mica branca), sulfetação e desaparecimento do quartzo, representando zonas fortemente alteradas por fluidos hidrotermais onde se destruiu completamente a textura original do pertita granito. Essa alteração seria equivalente à alteração fílica dos depósitos tipo cobre pórfiros, porém diferente em relação à ausência de quartzo na rocha; iv) carbonatação é um evento hidrotermal mais tardio e ocorre de forma intensa e monótona na área estudada, como finos veios e preenchendo espaços vazios deixados pelas alterações anteriores e transformando as fases secundárias formadas precocemente.

Mexias (2000) caracterizou a alteração propilítica representada pelo feldspato alcalino avermelhado devido à micro inclusões de hematita sub-microscópica, quartzos esbranquiçados gerados pelas inúmeras imperfeições do grão e centenas de trilhas de

inclusões fluidas, e transformação do anfibólio (ferro-edenítico) para clorita (thuringita) e, em menor importância, quartzo, calcita, anatásio e monazita.

Mexias (2000) identificou que ocorrem episienitos nas três minas estudadas, e os descreve como uma rocha com ausência de quartzo e aspecto cavernoso, que ocorrem associados à alteração fílica com a cristalização de mica branca (fengita) + pirita e outros sulfetos nos espaços vazios deixados pela dissolução de quartzo.

Mexias (2000) ainda sintetiza que as áreas estudadas apresentam Au disseminado na rocha (“minério piritoso”) e não livre em veios de quartzo, devido ao episienito estar empobrecido em quartzo. Ele ainda estabelece, com base nos seus estudos, uma ordem cronológica para os mais importantes tipos de alteração identificados:

- a) Episienitos – Rocha vacuolar formada pela dissolução seletiva do quartzo primário gerando alta porosidade/permeabilidade, onde os feldspatos não se destroem. Ele associa essa alteração a fluidos meteóricos com pH alcalino, baixa salinidade e concentração de voláteis (F<sup>-</sup> e Cl<sup>-</sup>) e subsaturados em quartzo;
- b) Propilitização – Transformação do anfibólio ferro-edenítico em clorita ferrosa I + quartzo + calcita + anatásio + monazita;
- c) Cloritização – Deposição de clorita ferrosa II nas cavidades deixadas pela dissolução de quartzo no processo de formação dos episienitos;
- d) Alteração Fílica – Principal processo de alteração e mineralização aurífera, onde ocorre a cristalização de duas gerações de fengitas com a concentração podendo atingir até 90% da rocha. Ele associa esta alteração a fluidos de pH neutro a ácido responsáveis pela dissolução de feldspato alcalino magmático;
- e) Carbonatação – Cristalização de calcita tardia (carbono abiogênico) de forma pervasiva e preenchendo os vazios e clorita ferrosa III na forma de vênulos com aproximadamente 1 mm de espessura. Este é o último processo de alteração no sistema hidrotermal identificado por Mexias (2000).

Posteriormente, Bongiolo (2006) desenvolveu estudos no Distrito Mineiro de Lavras do Sul realizando levantamentos de campo, petrografia e análises geoquímicas em diversas escalas. Conforme já dito por vários autores, Bongiolo (2006) sustenta que as mineralizações ocorrem em veios, brechas de quartzo e também em halos de



alteração hidrotermal com direção preferencial N40°W a E-W. Ele relata que as rochas graníticas do CILS e as rochas vulcanogênicas apresentam como minerais principais de alteração hidrotermal sericita e clorita. Segundo Bongioiolo (2006), as fengitas, ilitas e interestratificados ilita/esmectita (I/S) (tipo ordenado  $R \geq 1$ ) descritos nos estágios da alteração fílica são identificados por inúmeros autores em depósitos do tipo pórfiro e epitermal. Aquele autor afirma que as rochas do CILS passaram por processos complexos de alteração hidrotermal, que evoluíram de uma maior temperatura para condições próximas as encontradas em campos geotermiais atuais.

Estudando os diques latílicos portadores de ouro que cortam os monzonitos hipabissais, os andesitos e os lamprófiro da Associação Shoshonítica Lavras do Sul (ASLS), Müller (2011) sugere que os magmas lamprofíricos possam ser a fonte principal do ouro e do enxofre do sistema e que a possível mistura de magmas latílicos com magmas lamprofíricos poderia ser responsável por um aumento do potencial de oxidação. Segundo Müller (2011), os voláteis no sistema desencadeariam a separação bem como a desestabilização dos complexos e precipitação dos sulfetos magmáticos portadores de Au e também a formação das soluções hidrotermais.

Gastal *et al.* (2015) realizaram um estudo detalhado do granito Lavras, integrando dados geológicos, geofísicos e estruturais originais e compilados, em consonância com a evolução do centro vulcano-plutônico. Segundo Gastal *et al.* (2015), enclaves microgranulares máficos são distribuídos ao longo da porção externa do granito Lavras (parte sul do CILS). Esses enclaves sugerem estar relacionado com uma estrutura circular profunda vinculada à alimentação de magmas máficos. Segundo aqueles autores, as estruturas rúpteis regionais exibem alto ângulo de mergulho ( $>60^\circ$ ) e obliquidade baixa a moderada ( $<30-40^\circ$ ).

Segundo Gastal *et al.* (2015), as estruturas rúpteis ativadas durante o regime sinistral da Zona de Falha Palma Jaques (ZFPJ) constituem o principal controle da mineralização no distrito aurífero Lavras do Sul. As mineralizações estão distribuídas próximas ou nas intersecções de falhas WNW-ESE ( $\pm$ NW-SE) com as NE-SW e NNE-SSW. Segundo Gastal *et al.* (2015), a interação entre segmentos *en-écheleon* de diques máficos sugere a atividade ígnea durante a fase tectônica. Aqueles autores admitem que as mineralizações estejam associadas com os últimos episódios de ressurgência de

câmara magmática, ocasionados por magmas máficos-ultramáficos lamprofíricos. De acordo com Gastal *et al.* (2015), as intrusões anulares decorrentes seriam capazes de reter fluidos e magma a um nível epizonal ( $\geq 4$  km), requisito-chave para depósitos do tipo pórfiro.

Martins (2015) realizou um estudo de detalhe na Mina Dourada localizada a nordeste da cidade de Lavras do Sul. Segundo aquele autor, na Mina Dourada ocorre uma zona em que as rochas são portadoras da alteração potássica e circundando esta zona, ocorre a rocha portadora da alteração argílica avançada. Com base nas assembleias minerais de alteração Martins (2015) conclui que as alterações hidrotermais encontradas nas rochas da Mina Dourada seriam equivalentes a algumas alterações encontradas nos depósitos do tipo cobre pórfiro.

Realizando estudo de detalhe na Mina Cerro Rico localizada a leste da cidade de Lavras do Sul, Araujo (2016) identificou três paragêneses minerais que foram: pirita, clorita, quartzo, calcita, e actinolita e barita, equivalente a uma zona com alteração propilítica; arsenopirita, calcopirita, pirita, calcita, barita e adularia, semelhante a zonas de alterações em depósitos do tipo epitermal de baixa sulfetação; esfarelita, pirita, calcopirita, pirofilita, semelhante a assembleias minerais de alteração presentes em depósitos do tipo epitermal de alta sulfetação. Por fim, Araujo (2016) relata que as rochas com alterações hidrotermais na Mina Cerro Rico apresentam características semelhantes a depósito do tipo cobre pórfiro e a depósito tipo epitermal (ora de alta de sulfetação e ora de baixa sulfetação).

## **7 ESTADO DA ARTE**

A seguir é descrito alguns conceitos de reações hidrotermais, a forma como alguns autores atribuem a gênese das mineralizações no CILS e nas suas encaixantes e por fim as características dos depósitos modelos que, segundo alguns autores, mais se assemelham as ocorrências auríferas do Distrito Aurífero de Lavras do Sul.

## 7.1 Conceito de reações hidrotermais

Carvalho (1932), Nardi (1984), Mexias (2000), Gastal *et al.* (2015) entre outros autores atribuem as mineralizações auríferas geradas no CILS e nas rochas encaixantes como formadas a partir de reações hidrotermais, com exceção de Goñi (1961) que atribui à origem das mineralizações ao granito e seus efeitos de “difusão iônica”.

De acordo com Byrappa (2012), não existe um consenso sobre a definição do termo hidrotermal. Segundo aquele autor, geralmente se refere a qualquer reação heterogênea com a presença de solventes aquosos ou mineralizadores que, sob condições de alta pressão e temperatura, é capaz de dissolver ou recristalizar materiais que são insolúveis em condições normais. Morey & Niggli (1913) definem hidrotermal no sentido de que os componentes estão sujeitos à ação de água geralmente a temperaturas perto e muitas vezes acima da temperatura crítica da água (~370°C) em “bombas fechadas” e, por conseguinte, sob pressões elevadas. Rabenau (1985) define como síntese hidrotermal as reações heterogêneas em meios aquosos acima de 100°C e 1 bar. Entretanto, Inoue (1995) define hidrotermalismo como aquelas transformações mineralógicas que ocorrem na crosta terrestre.

Com base nas várias publicações dos últimos anos relacionadas às condições hidrotermais, Byrappa (2012, p. 7) propõe a seguinte definição para reação hidrotermal: “qualquer reação química heterogênea na presença de um solvente (aquoso ou não aquoso) acima da temperatura ambiente e a uma pressão superior a 1 atm num sistema fechado”.

Com base nas definições citadas acima, não se restam dúvidas que as zonas de alteração, bem como as mineralizações que ocorrem no CILS estejam relacionadas a reações hidrotermais.

## 7.2 Gênese das mineralizações auríferas no Distrito Aurífero de Lavras do Sul

A gênese das mineralizações no Distrito Aurífero Lavras do Sul foram vinculadas diretamente aos granitos por diversos autores, como Nardi (1984), Reischel (1980), Remus *et al.* (2000) e Bongioiolo (2006). Mexias (2000) e Bongioiolo (2006) descrevem assembleias minerais equivalentes a depósitos do tipo cobre pórfiro e apenas

o último a depósitos do tipo epitermal. Por outro lado, Müller (2011) e Gastal *et al.* (2015) atribuem às ocorrências auríferas no CILS a magmas máficos lamprofíricos tardios que seriam capazes de gerar depósitos similares aos depósitos do tipo pórfiro e epitermal.

Gastal *et al.* (2015) ainda sugerem que a zonalidade na região de Lavras do Sul de Au *versus* Cu-Pb possa ser explicada pelo modelo descrito por Richards (2009). Esse modelo relaciona depósitos em posições isoladas nos arcos continentais e em ambiente pós-colisional, sendo a mineralização cuprífera relacionadas a depósitos Cu-Au pórfiro (equivalente ao distrito Seival (Cu), a norte de Lavras) e as ocorrências auríferas a depósito do tipo Au-epitermal (equivalente ao distrito Lavras Au-Cu).

### **7.3 Características dos depósitos modelos**

Nesta seção são apresentadas as características dos depósitos modelos que mais se assemelham com as mineralizações auríferas no CILS e nas suas encaixantes.

#### **7.3.1 Depósito do tipo epitermal**

De acordo com Simmons *et al.* (2005), os depósitos epitermais são importantes fontes de ouro e prata e se formam a profundidades rasas na crosta (<1,5 km) a temperaturas menores que 300°C e estão associados principalmente a sistemas hidrotermais subaéreos. Eles apresentam uma classificação dos depósitos epitermais baseada nos estados de pH do fluido, de sulfetação e de oxidação (Tabela 1).

Tabela 1 – Assembleias mineralógicas de vários estados de pH, de sulfetação e de oxidação usados para distinguir minérios epitermais. Os hifens entre os minerais indica um conjunto de equilíbrio para os quais todas as fases têm de estar presente.

<b>pH ácido</b>		<b>pH neutro</b>
Alunita, caulinita (dickita), pirofilita residual, quartzo vesicular (“vuggy”)		Quartzo-adulária ± ilita, calcita
<b>Alta sulfetação</b>	<b>Intermediária sulfetação</b>	<b>Baixa sulfetação</b>
Pirita-enargita, ± luzonita, covelita-digenita, famatinita, orpimento	Tennantita, tetraedrita, hematita-pirita-magnetita, pirita, calcopirita, esfarelita-pirita pobre em Fe	Arsenopirita-loellinguita-pirrotita, pirrotita, pirita-esfarelita rica em Fe
<b>Oxidado</b>		<b>Redução</b>
Alunita, hematita-magnetita		Magnetita-pirita-pirrotita, clorita-pirita

Fonte: extraído e traduzido de Simmons *et al.* (2005).

Segundo Simmons *et al.* (2005), os depósitos epitermais estariam associados com magmatismo cálcio-alcálico e alcálico nas configurações de margens de placas convergentes em arcos vulcânicos, intra-arco, retro-arco e riftes pós-colisionais (Tabela 2).

Tabela 2 - Relação entre o estado de sulfetação do minério epitermal com a composição da rocha ígnea e o ambiente geotectônico, proposta por Sillitoe & Hedenquist (2003).

Estado de Sulfetação	Composição rocha ígnea	Ambiente Geotectônico
Alto	Cálcio-alcálica, andesito-dacito	Arco magmático em um meio neutro a ligeiramente estado de tensão levemente extensional; estado de tensão de compressão incomum, mas serve para suprimir a atividade vulcânica.
Intermediário	Cálcio-alcálica, andesito-riolito	Arco magmático em um meio neutro a ligeiramente estado de tensão levemente extensional; estado de tensão de compressão raro.
Baixo	Cálcio-Alcálica, alcálica, toleítica bimodal basalto-riolito	Arco magmático passando por extensão levando ao rifting; rifting pós-colisional.

Fonte: extraído e traduzido de Simmons *et al.* (2005).

Segundo aqueles autores, os depósitos epitermais são classificados com base na alteração hidrotermal, nas assembleias de minerais, no conteúdo metálico, no conteúdo de sulfetos, bem como na assembleia de minerais de sulfeto (Tabela 3), ressaltando que cada esquema de classificação tem seus méritos.

Tabela 3 – Alteração hidrotermal e assembleias mineralógicas formadas em ambiente epitermal.

Alteração	Mineralogia	Ocorrência e origem
Propilitica	Quartzo, K-feldspato (adulária), albita, ilita, clorita, calcita, epidoto, pirita	Desenvolve a temperatura >240°C, nas porções profunda no ambiente epitermal, por meio de águas de pH perto de neutro.
Argílica	Ilita, esmectita, clorita, argilas intercaladas (interestratificadas), pirita, calcita (siderita), calcedônia	Desenvolve a temperatura <180°C, na periferia e no ambiente epitermal raso, através da alteração por vapor - águas aquecidas ricas em CO <sub>2</sub> .
Argílica Avançada (vapor -aquecida)	Opala, alunita (branca, em pó, granulação fina, pseudocúbica), caulinita, pirita, marcassita	Desenvolve a temperatura <120°C, com água sob pressões atmosférica no ambiente mais raso, através da alteração por vapor - águas aquecidas ácida - sulfata.
Argílica Avançada (hidrotermal magmática)	Quartzo, alunita (tabular), dickita, pirofilita, (diásporo), zunyita	Desenvolve a temperatura >200°C, dentro do ambiente epitermal por meio da alteração por água ácida de origem magmática.
Argílica Avançada (supergênico)	Alunita, caulinita, halloysita, jarosita, óxidos de Fe	Desenvolve a temperatura <40°C, por meio do intemperismo e oxidação de rochas que carregam sulfetos.

Fonte: extraído e traduzido de Simmons *et al.* (2005).

### 7.3.2 Depósitos do tipo cobre pórfiro

Os depósitos tipo cobre pórfiro são gerados em configurações de margens de placas convergentes em ambientes de arco ou retro-arco e durante ou logo após a subducção, sob tectônica compressional e extensional (SILLITOE, 1998). Segundo Cooke *et al.* (2005), esses depósitos são importantes fontes de cobre, ouro e molibdênio e são comumente encontrados em arcos continentais e oceânicos do Terciário e Quaternário. No entanto, aqueles autores salientam que esses depósitos também têm sido descobertos em cinturões de dobramentos antigos. A classe deste depósito é

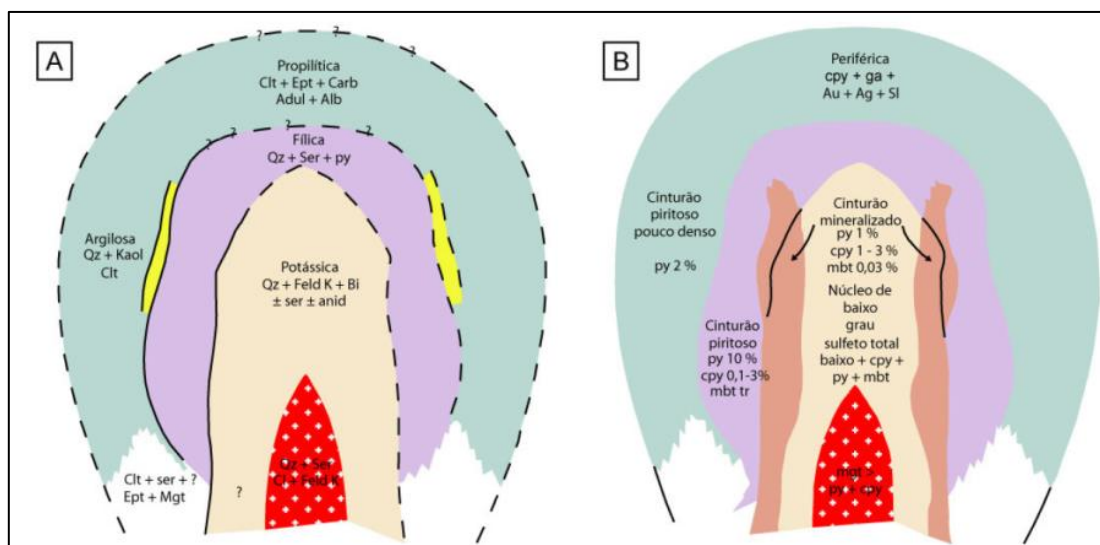
unificada por uma estreita associação temporal e genética entre complexos intrusivos porfíricos subvulcânicos (o “pórfito”), associações minerais de mineralização hipógena e zonas de alteração hidrotermal que ocorrem dentro e em torno dos complexos (HOLLIDAY; COOKE, 2007). Cooke *et al.* (1998) reconhecem que esse tipo de depósito apresenta zonas de alteração hidrotermal, dispostas lateralmente e verticalmente em faixas aproximadamente concêntricas (Figura 11). Nestes ambientes foram reconhecidas as seguintes zonas de alteração hidrotermal (compiladas da revisão feita por BONGIOLO, 2006):

- a) Alteração Ca-Na silicática: constituída por assembleias mineralógicas contendo quartzo, albita ou oligoclásio, epidoto e em menor quantidade, actinolita, esfero, rutilo e clorita. Este tipo de alteração é associado a zonas profundas dos depósitos, geralmente com poucos sulfetos e pouco desenvolvida (por vezes, difícil de separá-la espacialmente da alteração potássica devido à formação de zonas híbridas);
- b) Alteração potássica silicática: assembleia mineral constituída de biotita hidrotermal em vênulas ou substituindo outros minerais junto com K-feldspato, magnetita, quartzo e anidrita. Algumas assembleias podem conter actinolita, clorita, albita e raramente epidoto. Pode ocorrer calcopirita, bornita, pirita e molibdenita em vênulas e disseminados na zona K-silicática. Nessa zona também é identificado uma variedade de gerações de veios de quartzo estruturalmente controlados ou *stockworks*. O ouro comumente ocorre como bolhas de exsolução na calcopirita e/ou na bornita;
- c) Alteração propilítica: constitui halos externos às intrusões. Comumente ocorre a alteração dos minerais máficos originais para clorita e coexistem em equilíbrio com calcita, albita e subordinadamente epidoto. Magnetita e minerais não essenciais, como sericita, montmorilonita e hematita também podem ocorrer nessa zona de alteração. Pirita é o sulfeto dominante. No entanto, pode ocorrer calcopirita, tetraedrita, esfarelita e galena em veios e vênulas associados com quartzo-calcita;
- d) Alteração argílica intermediária: assembleia mineral constituída de sericita de granulção fina, caulinita ou illita e clorita tardia como pseudomorfos de minerais máficos. Esmectita ocorre por vezes como substituição final do plagioclásio. Calcita é comumente a fase acessória, e raramente ocorre epidoto. Magnetita (martitizada),



- pirita, hematita especular e calcopirita de forma subordinada ocorrem como vênulas e aglomerados disseminados;
- e) Alteração fílica (ou sericítica): esta alteração comumente destrói parcialmente ou completamente a textura e mineralogia pré-existentes e se desenvolve nas porções superiores dos depósitos. Constituindo grande parte do minério, esta alteração contém a assembleia mineralógica quartzo-sericita-pirita, sendo a pirita (na forma de veios ( $\pm$ quartzo) e disseminada) o sulfeto principal;
- f) Alteração argílica avançada: ocorre na porção superior destes depósitos. Apresenta como assembleia mineral quartzo (calcedônia, *vuggy* quartzo), alunita, pirofilita, diásporo, dickita, caulinita e gibsita. Importante mineralização de Cu-Au pode ocorrer associado com enargita, luzonita e covelita hipógena. Barita e enxofre nativo podem ocorrer como veios nos estágios finais. A pirita pode ocorrer em corpos semi-maciços ou agregados de marcassita, acompanhada de calcedônia ou quartzo-alunita.

Figura 11 - Esquema das zonas de alteração hidrotermal do depósito tipo cobre pórfiro. (A) Assembleias mineralógicas diagnósticas das zonas de alteração. (B) Minerais de minério presentes nas zonas de alteração. Clt= clorita, Ept= epidoto, Carb= calcita, Adul= adularia, Alb= albita, Kaol= caulinita, Qz= quartzo, py= pitita, Ser= sericita, Feld K= feldspato alcalino, Mgt= magnetita, Bi= biotita, anid= anidrita, cpy= calcopirita, ga= galena, Au= ouro, Ag= prata, Sl= esfarelita, mbt= molibdenita, tr= quantidades traço.



Fonte: extraído de Biondi (2003).

## **8 MATERIAIS E MÉTODOS**

Nesta seção são apresentados os materiais e métodos utilizados neste trabalho. Os métodos foram divididos em etapas: etapa pré-campo, etapa de campo e etapa pós-campo.

### **8.1. Etapa pré-campo**

A etapa pré-campo compreendeu a revisão bibliográfica e as análises de sensoriamento remoto, com o uso de imagens de satélites e fotografias aéreas.

#### **8.1.1 Aquisição e Compilação de Dados**

A revisão bibliográfica consistiu na compilação de dados publicados para reunir um conjunto de informações sobre a área de estudo e o tema do trabalho. Foram utilizados livros, teses, dissertações, monografias e artigos científicos para dar subsídio teórico para o desenvolvimento do trabalho, para a delimitação do tema e caracterização do problema científico.

Também foram utilizados mapas, banco de dados e relatórios técnicos internos que foram cedidos pela empresa Amarillo Gold, os quais se referem à área de estudo e arredores.

#### **8.1.2 Sensoriamento Remoto**

As análises de imagens de satélites e fotografias aéreas (escala 1:25.000) foram realizadas como uma etapa pré-campo com o objetivo de planejar os trabalhos de campo, identificar as principais estruturas (lineamentos e falhas) e possíveis afloramentos a serem visitados. As fotos aéreas foram analisadas com a utilização de estereoscópio de mesa. Já as imagens de satélite foram analisadas com o auxílio do software QGIS 2.18<sup>®</sup>.

Foram utilizados nesta etapa os seguintes tipos de imagens: imagem de satélite de modelo digital de elevação do terreno derivado do SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*, NASA-USGS, 2000) com pixel de 30 metros, obtidas junto ao U.S. Geological Survey (USGS). A partir da imagem derivado do SRTM foram gerados mapas de relevo sombreado iluminados em azimutes diferentes para ressaltar as estruturas noroeste e nordeste respectivamente. Os mapas foram sobrepostos através de transparência. Imagens de satélite de alta resolução foram obtidas através do *Google Earth Pro*; e fotografias aéreas (escala 1:25.000) foram fornecidas pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM).

## **8.2. Etapa de campo**

Esta etapa consistiu no mapeamento geológico da área da Mina Caneleira com ênfase na coleta de dados estruturais e amostragem de rochas. Também incluído nesta etapa está a descrição e a amostragem dos testemunhos de sondagens.

### **8.2.1. Trabalhos de Campo**

Esta fase consistiu no mapeamento geológico básico na escala de 1:4.500. Durante o mapeamento foram utilizados carta topográfica na escala 1:50.000 do Serviço Geográfico do Exército (Folha Lavras do Sul SH-22-Y-A-IV-3) e o mapa geológico confeccionado pela empresa Amarillo Gold na escala de 1:5.000 (Amarillo Gold, 2015).

Foram realizados sete dias de campo na área de estudo (com saída e retorno para Caçapava do Sul no mesmo dia). Durante os trabalhos, foram descritos e georreferenciados 81 pontos distribuídos em malha irregular, que compreendem afloramentos de rocha e pontos de controle. Nos afloramentos de rocha foram descritos a cor, textura, alteração, estruturas e mineralogia das rochas. Nos afloramentos fraturados foram realizados os levantamentos sistemáticos de medidas de direções e mergulhos de fraturas. Quando possível, procurou-se classificar os tipos de fraturas (conjugados de cisalhamento, fraturas de tração e fraturas estilolíticas). Na Figura 12 é

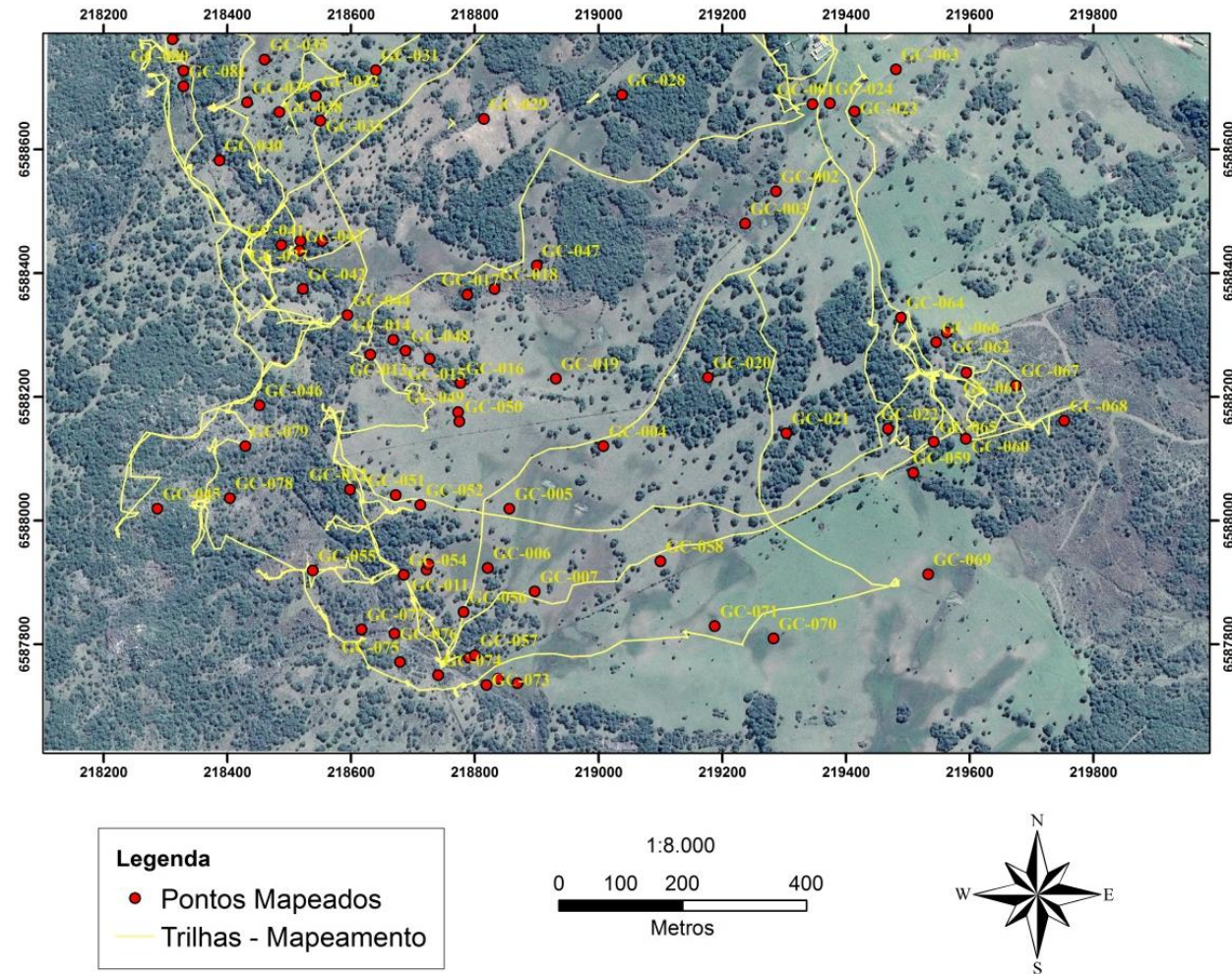
apresentada a imagem de satélite do *Google Earth Pro* da área da Mina Caneleira com os pontos mapeados e as trilhas realizadas durante o mapeamento geológico de detalhe.

Adicionalmente, foram realizadas as descrições e também as amostragens de testemunhos de sondagens da área da Mina Caneleira, disponibilizados pela empresa Amarillo Gold. Durante este trabalho, 3 furos de sondagem foram estudados. Os furos estão alinhados em uma mesma direção e estão espaçados entre 150 e 200 metros. Com base em análise de sensoriamento remoto, acredita-se que esses furos estejam relacionados a uma única estrutura. Foram realizadas amostragem nos testemunhos de sondagem de forma que se consiga identificar as fases de alteração hidrotermal. Sendo assim, foram coletadas amostras de rocha com pouca alteração hidrotermal (marcado pela alta susceptibilidade magnética devido à presença de magnetita), rochas com moderada alteração hidrotermal e rochas com forte alteração hidrotermal (em locais associados ou não com teores anômalos de ouro). A partir das amostras retiradas dos testemunhos foram confeccionadas lâminas delgadas para microscopia em luz transmitida. A descrição dos testemunhos teve como objetivo descrever em detalhe as estruturas, texturas, alteração e mineralogia das rochas em profundidade de uma maneira menos alterada por processos de intemperismo. A Figura 13 apresenta a sequência em ordem das atividades realizadas na etapa de campo durante a descrição de testemunhos de sondagem.

Para as atividades do trabalho de campo foram utilizados os materiais tradicionais: caderneta de campo, martelo, marreta, bússola, lupa de mão, ácido clorídrico 30%, canivete, GPS, máquina fotográfica, saco plástico, fita adesiva, pincel marcador permanente e borrifador de água.

As amostras de rocha coletadas durante o mapeamento geológico foram identificadas (com fita adesiva colada no saco plástico) com o prefixo “GC-” seguido da ordem numérica crescente (Exemplo: GC-001, GC-002). No entanto, quando retirada mais de uma amostra em um mesmo ponto foi acrescentado à sequência alfabética (Exemplo: GC-001A, GC-001B). Já as amostras retiradas dos testemunhos de sondagem foram identificadas no saco plástico com o auxílio de pincel marcador permanente com o prefixo “GCF-” seguido do número do furo, intervalo de profundidade em que a mesma se encontra e o número da caixa do testemunho de

Figura 12 – Imagem de satélite do *Google Earth Pro* da área da Mina Caneleira com os pontos mapeados e as trilhas realizadas durante o mapeamento geológico.



Fonte: autor.

Figura 13 – Sequência de atividades realizadas durante a etapa de campo na descrição de testemunhos de sondagem. A ordem cronológica das atividades está em ordem alfabética. A) Descrição dos testemunhos em detalhe das estruturas, texturas, alteração e mineralogia e seleção dos intervalos para amostragem. B) Amostragem dos intervalos selecionados na descrição dos testemunhos. C) Identificação com fita adesiva metálica na caixa do testemunho de sondagem do intervalo amostrado. D) Catalogação e armazenamento das amostras extraídas dos testemunhos de sondagem.



Fonte: autor.

sondagem. Essa sistemática visou garantir a melhor organização dos dados.

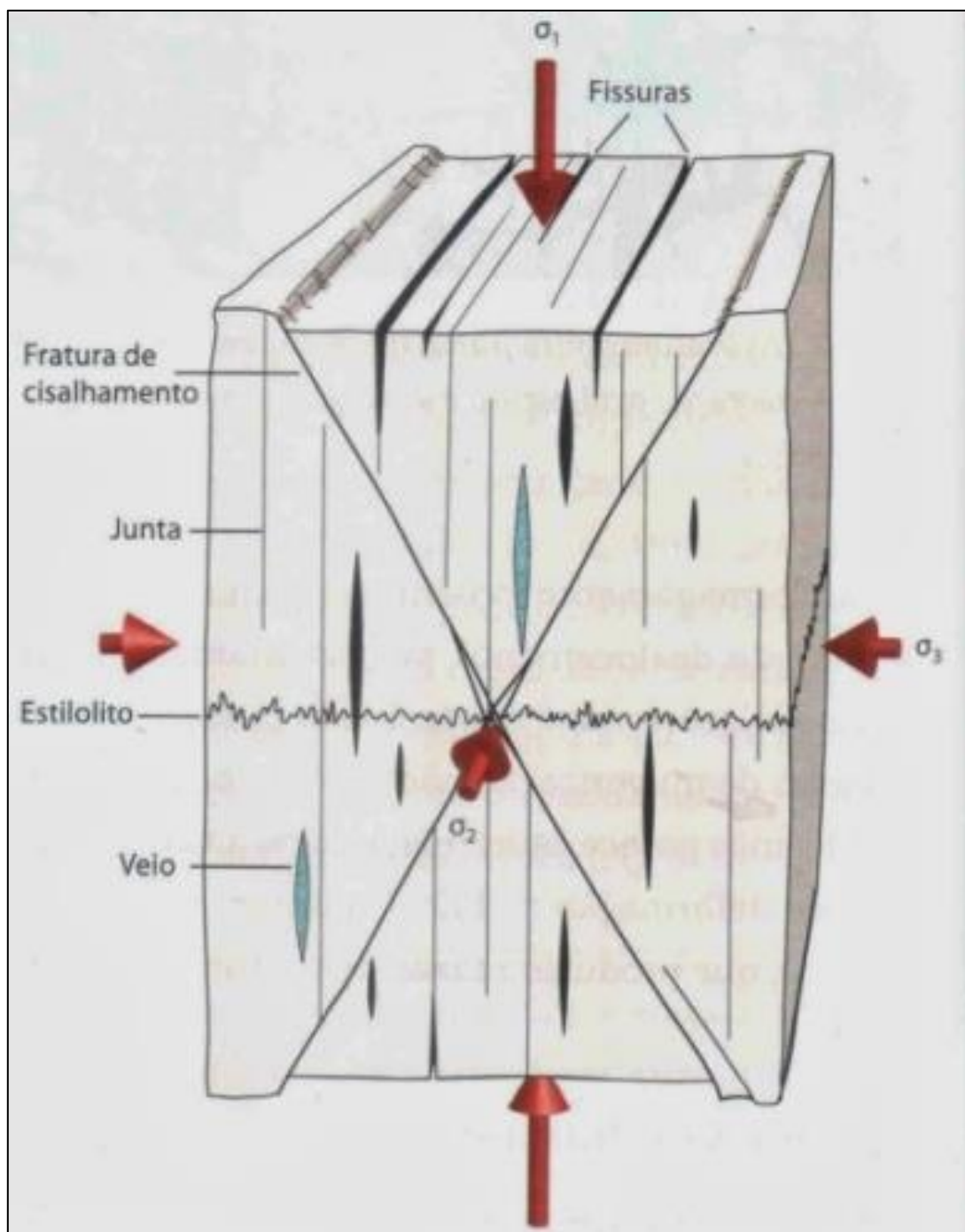
### **8.3. Etapa pós-campo**

Esta etapa consistiu no tratamento dos dados estruturais coletados no campo e nas seguintes análises petrográficas: i) descrição macroscópica e microscópica ótica convencional, realizadas no Laboratório de Microscopia da UNIPAMPA; ii) utilização da técnica de Difractometria de Raio X (DRX), realizada no laboratório da Universidade Federal do Rio Grande do Sul sob responsabilidade do Dr. André Sampaio Mexias. Também incluído nesta etapa está o tratamento dos dados geoquímicos de rocha total fornecidos pela empresa Amarillo Gold das amostras de testemunhos de sondagem dos 3 furos estudados. A integração e interpretação dos dados obtidos a partir de todas as etapas foram fundamentais na realização desta pesquisa.

#### **8.3.1. Tratamento dos dados estruturais**

Nesta etapa foram confeccionados estereogramas e diagramas (utilizando o *software* RockWorks Demo 17<sup>®</sup>) a partir dos dados estruturais coletados nos trabalhos de campo. O objetivo desta etapa foi confrontar os dados de estrutural compilados na revisão bibliográfica com os dados coletados no campo para discussão do condicionamento estrutural das zonas hidrotermalizadas e mineralizadas na Mina Caneleira. Em dois pontos foram medidos e classificados as fraturas seguindo o modelo (Figura 14) da orientação das fraturas em relação aos esforços principais (FOSSSEN, 2010). Essa classificação teve o objetivo de ter uma ideia da posição dos esforços principais na área de estudo bem como a orientação das fraturas de tração (extensão) que são as prováveis hospedeiras do minério aurífero.

Figura 14 – Orientação das fraturas em relação aos esforços principais.



Fonte: Fossen (2010).

### 8.3.2. Análise Petrográfica

Esta etapa consistiu na análise macroscópica e microscópica das amostras coletadas e laminadas, utilizando microscópios de transmissão. O objetivo desta análise



foi avaliar as transformações que ocorreram entre a mineralogia da rocha sem alteração hidrotermal e da rocha hidrotermalizada, bem como determinar o tipo de alteração e individualização de cada fase de alteração. As amostras foram catalogadas e fotografadas macro e microscopicamente.

A análise macroscópica foi realizada através da descrição de amostras de mão coletadas durante a etapa de campo, tanto as obtidas no mapeamento como as obtidas na descrição dos testemunhos. Essa análise visou a descrição em laboratório com o auxílio de lupa binocular das rochas que ocorrem na área de estudo. A partir da descrição da textura, mineralogia e tipo de alteração visível macroscopicamente, foram selecionadas amostras representativas para confecção de lâminas delgadas. Foram confeccionadas 16 laminas de rocha no Laboratório de Geologia da Universidade Federal de Pelotas (UFPel)

Depois de realizado as etapas anteriores, foram realizadas as análises microscópicas convencionais, com a descrição das variedades texturais, fases minerais e tipo de alteração. Após definido os tipos de alterações, foram gerados Figuras em 3 dimensões dos furos estudados com os tipos de alterações ao longo do testemunho de sondagem utilizando o *software* RockWorks Demo 17<sup>®</sup>. A análise macroscópica e microscópica óptica convencional foi realizada no Laboratório de Microscopia da UNIPAMPA, Campus Caçapava do Sul.

### **8.3.3. Difratomia de Raio X (DRX)**

A DRX teve como objetivo complementar os trabalhos de microscopia óptica com a identificação das principais fases minerais de alteração (silicatos, sulfetos/sulfatos e óxidos) das rochas com alteração hidrotermal (preferencialmente das amostras provenientes dos testemunhos de sondagem).

A técnica de Difratomia de Raio-X é utilizada para medir as distâncias interplanares na estrutura dos minerais a partir de um feixe de radiação monocromática em um material cristalino, com a finalidade de se obter a identificação das fases minerais presentes na amostra. Os planos de difração e suas respectivas distâncias interplanares, bem como as densidades de átomos ao longo de cada plano cristalino, são

características específicas e únicas de cada cristal. Portanto, um composto pode ser identificado comparando os espaçamentos interplanares e as intensidades dos picos da amostra com os padrões de DRX (banco de dados). No entanto, o DRX tem suas limitações na detecção, ou seja, como trabalha com a caracterização de estruturas, substâncias amorfas ou pouco cristalinas não são identificáveis.

Na interpretação de um difratograma deve-se observar que podem ocorrer picos muito próximos e que pertencem a diferentes minerais, o que pode gerar erro se não interpretados corretamente. Outro problema enfrentado é ocorrer fases modais abaixo do limite de detecção do aparelho, o que pode ocasionar uma interpretação equivocada de não ocorrência do mineral.

Para a análise por difração de raios-X foi utilizado o método do pó, onde aproximadamente 1 grama do material é pulverizado/desagregado e depositado em um sulco na lâmina de vidro, procurando preservar a desorientação das partículas de forma a se obter o maior número possível de reflexões onde os minerais e estruturas são analisados. Já para a identificação dos argilominerais e outros filossilicatos foi utilizada a técnica de amostragem orientada para salientar as faces 001, o que permitiu a distinção destes minerais. Para a análise é aplicado a varredura do goniômetro de 1 segundo para  $0,02^\circ$  de degrau do goniômetro de  $2^\circ$  a  $72^\circ 2\theta$ .

Os minerais são identificados por semelhança dos padrões de picos das fases minerais do banco de dados do computador (*Powder Diffraction File*) com o conjunto de picos identificados na análise da amostra. O *software* utilizado para a identificação das fases minerais das amostras é o DiffracPlus<sup>®</sup> Siemens-Bruker-Axs, Versão 11. Utilizou-se como base para descrever os princípios desta técnica a apostila técnica idealizada por Kahn (2009).

O difratômetro utilizado para o desenvolvimento do referido estudo é o SIEMENS BRUKER AXS, Model D5000, com goniômetro  $\theta-\theta$  controlado por computador, do laboratório de Difractometria de Raios X do Centro de Estudos em Petrologia e Geoquímica (CPGq) do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. A radiação é  $K\alpha$  em tubo de cobre nas condições de 40 kV e 25 mA.

#### **8.3.4. Tratamento dos dados geoquímicos de rocha total**

Esta etapa consistiu em comparar a geoquímica de rocha total dos diferentes tipos de alterações hidrotermais presentes nos testemunhos de sondagem estudados. Foram selecionados intervalos nos três testemunhos estudados com presença de cada tipo de alteração para realização da média ponderada pela espessura de cada elemento químico. Para auxiliar na comparação foi utilizado o *software* Microsoft Office Excel<sup>®</sup>. O objetivo desta etapa foi complementar a caracterização dos tipos de alterações com base nas mudanças geoquímicas das rochas com alteração hidrotermal.

## **9 RESULTADOS**

Nesta seção são apresentados os resultados obtidos nas etapas pré-campo, etapa de campo e etapa pós-campo.

### **9.1 Alteração hidrotermal**

Esta seção apresenta as características dos tipos de alterações hidrotermais identificadas nos testemunhos de sondagem.

#### **9.1.1 Introdução**

A seguir é descrito os tipos de alterações hidrotermais identificados nos testemunhos de sondagem com base nos estudos macroscópicos, microscópicos e de química mineral por meio de análises de Difractometria de Raio X (ênfase em argilominerais). Ao invés de usar terminologias genéricas de alterações hidrotermais como propilítica, fílica, potássica, entre outras, optou-se usar uma assembleia mineral de alteração para representar cada tipo de alteração hidrotermal. Cada mineral de alteração foi classificado quanto a sua intensidade na rocha conforme a Tabela 4.

Tabela 4 – Identificação utilizada para representar a intensidade dos minerais de alteração na rocha hidrotermalizada.

Intensidade	
1	Presença
2	Moderadamente
3	Fortemente

Fonte: autor.

Esta decisão garante uma maior clareza para o leitor das características das zonas hidrotermalizadas na Mina Caneleira. Cada tipo de alteração hidrotermal foi identificado com um número inteiro (Ex: 1, 2, 3...) que representa zonas com a mesma assembleia mineral de alteração. No entanto, alguns tipos de alterações hidrotermais apresentaram pequenas variações, mas manteve a mesma assembleia mineral e foi subdividida atribuindo ponto e um número inteiro (Ex: 1.1, 2.1, 3.1...).

Dentre os minerais de alteração, cabe salientar que o termo sericita é uma generalização de uma variedade de composições químicas em filossilicatos dioctaédricos, incluindo muscovita, illita, fengita, paragonita, pirofilita, flogopita e uma grande quantidade de argilominerais interestratificados, como discutido por Beane (1982) e Meyer e Hemley (1967) *apud* Bongiorno (2006).

### 9.1.2 Descrições macroscópicas dos testemunhos de sondagem

Nesta seção é apresentada a descrição macroscópica de cada testemunho de sondagem estudado na etapa de campo. O Apêndice A apresenta a descrição detalhada de cada furo estudado.

#### 9.1.2.1 Furo DH-01

O furo DH-01 possui 149,1 metros de profundidade e está orientado no azimute 198° com inclinação de -60°.

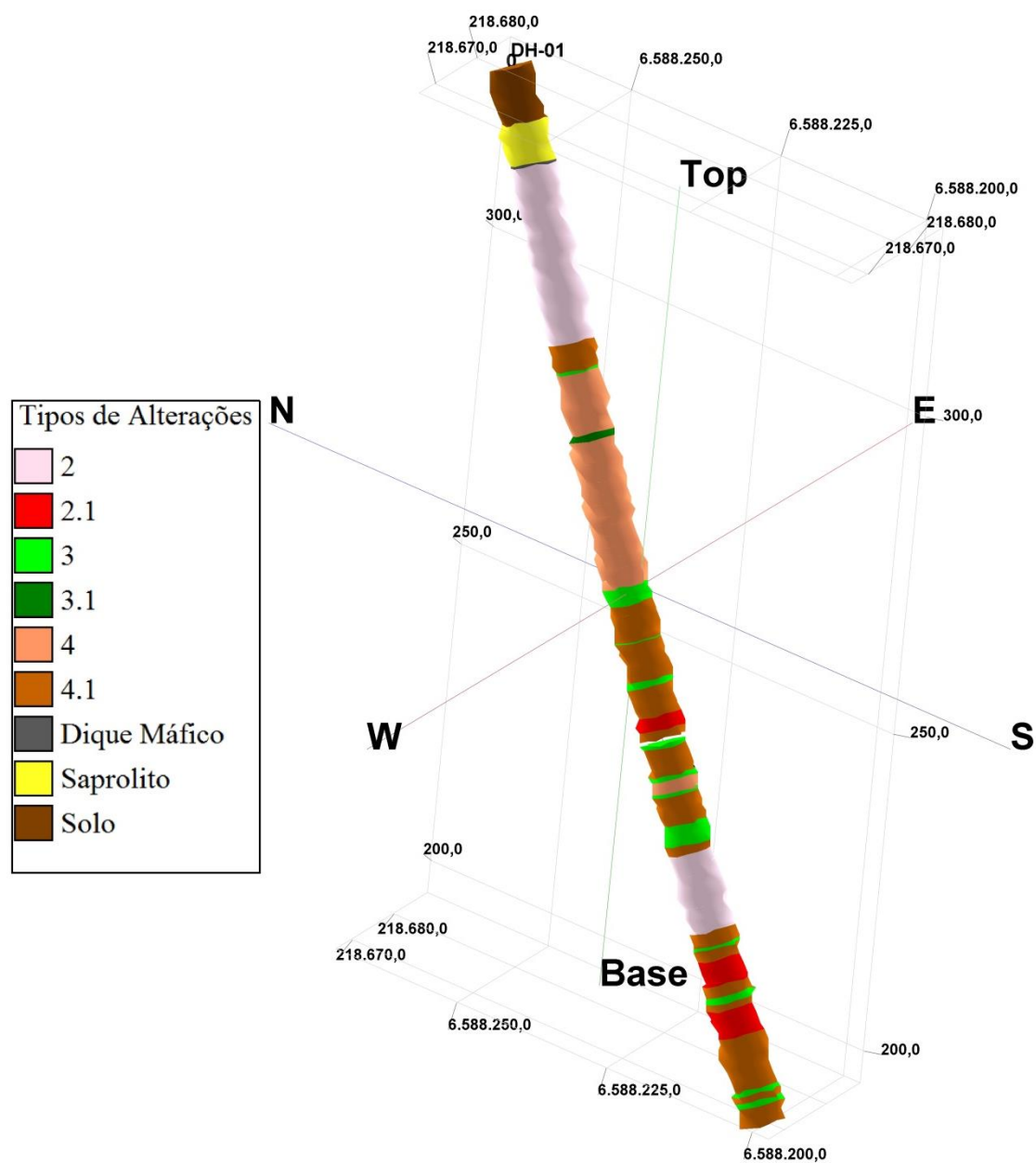
Os primeiros 7,65m apresentam um solo marrom areno-argiloso mal selecionado, com pouca matéria orgânica, constituído predominantemente por quartzo e feldspato alcalino. De 7,65-13,40m apresenta uma intercalação de saprolito com granitoide marrom fortemente intemperizado. Ocorrem finos veios (<1cm de largura) de clorita-sericita-quartzo-calcita e poucos sulfetos disseminados como agregados submilimétricos. De 13,40-13,80m ocorre um dique máfico porfirítico, verde escuro com matriz afanítica e fenocristais secundários de clorita. De 13,80-36,60m a sondagem atravessa o granito branco a levemente avermelhado com textura inequigranular, fracamente alterado por processos hidrotermais (alteração do tipo 2). Esse intervalo em que a rocha apresenta-se pouco transformada onde ocorre fraca sericitização, parcial cloritização, sendo por vezes total nos minerais máficos. Alguns intervalos ocorrem a oxidação do ferro incluso nos feldspatos alcalinos dando a tonalidade vermelha para rocha (mudança de cor conforme identificado por MEXIAS, 2000). A rocha fracamente alterada vai tornar a ocorrer nos intervalos 109,20-121,50m. Em outras zonas ocorrem intercalando com a rocha pouco alterada pequenas quantidades de veios (<1cm de largura) de clorita-sericita-quartzo-calcita (alteração do tipo 2.1). Na zona de influência dos veios ocorrem pequenos halos de alteração hidrotermal com fraca silicificação e moderada alteração a sericita e por vezes quantidade moderada de clorita. As rochas com presença de alteração do tipo 2.1 ocorrem nos intervalos 91,00-94,30m, 124,00-130,57m e 132,50-136,40m.

De 38,60-42,40m ocorre o primeiro intervalo moderadamente hidrotermalizado (alteração do tipo 4.1) onde a rocha apresenta fraca silicificação, moderada sericitização e cloritização total nos minerais máficos. Esta rocha é por vezes, característica da proximidade de zonas com forte alteração hidrotermal, sendo frequentemente atravessada por inúmeros veios (<1cm de largura) de sericita-clorita-quartzo-calcita. Os sulfetos ocorrem como aglomerados submilimétricos inclusos nos veios e disseminados nas porções cloritizadas. A alteração hidrotermal é texturalmente retentiva, onde é preservada a estrutura granítica primária. Ocorre a alteração preferencial dos feldspatos alcalinos a sericita e dos minerais máficos a clorita. Algumas zonas desse tipo de alteração a rocha apresenta fenocristais de feldspato alcalinos parcialmente alterados e imersos em uma matriz verde escura constituída de clorita-sericita-quartzo. Este tipo de alteração representada pelo número 4.1 vai tornar a ocorrer nos intervalos 75,30-

80,34m, 80,58-86,00m, 87,00-91,00m, 93,00-94,30m, 95,80-99,40m, 102,30-106,20m, 109,20-110,50m, 121,50-123,80m, 124,00-125,50m, 129,00-130,60m, 131,50-132,50m, 136,40-144,00m, 144,68-145,59m e 146,31-149,10m. Ocorre uma variação deste tipo de alteração (alteração do tipo 4) onde a rocha é atravessada por inúmeros veios (<2cm de largura) de sericita-clorita-quartzo-calcita estruturados por vezes no estilo *stockworks*. Essas zonas com alteração do tipo 4 ocorrem nos intervalos de 42,75-51,30m, 52,17-72,80m e 100,00-101,80m.

De 42,40-42,75m a rocha está fortemente alterada por processos hidrotermais (alteração do tipo 3). Ela é caracterizada como uma brecha hidrotermal fortemente silicificada, com forte alteração a sericita, fraca e pontualmente moderada concentração de clorita e presença de agregados de epidoto. Presença de veios (<2cm de largura) de sericita-quartzo-calcita. Os sulfetos por sua vez, ocorrem de forma disseminada como aglomerados submilimétricos a milimétricos. Este tipo de alteração volta a ocorrer nos intervalos 72,80-75,30m, 80,34-80,58m, 86,00-87,00m, 94,30-95,80m, 99,40-100,00m, 101,80-102,30m, 106,20-109,20m, 123,80-124,00m, 130,60-132,50m, 144,00-144,68m e 145,59-146,31. No intervalo 51,30-52,17m ocorre uma brecha hidrotermal aparentemente sustentada pela matriz constituída por sericita (alteração do tipo 3.1), com moderada silicificação, forte alteração a sericita e por vezes concentração moderada de clorita. Presença de agregados milimétricos de calcita, veios (<2cm de largura) de sericita-quartzo ± clorita. Os sulfetos ocorrem disseminados como aglomerados submilmétricos. Nas duas zonas (3 e 3.1) é possível identificar alguns cristais reliquias de feldspato alcalino. Em pequenos intervalos dentro das zonas com alteração do tipo 3 a rocha apresenta cavidades com cristais projetados de quartzo e por vezes de pirita que sugere ser uma textura de preenchimento (conforme as características de texturas de preenchimento descritas por TAYLOR, 2009). A Figura 15 apresenta o furo DH-01 numa visão em 3 dimensões mostrando a variação dos tipos de alterações ao longo do testemunho de sondagem.

Figura 15 – Visão em 3 dimensões do furo DH-01 mostrando a variação dos tipos de alterações ao longo do testemunho de sondagem. As alterações são identificadas através do número de cada tipo de alteração e sua respectiva cor na legenda.



Fonte: autor.

### 9.1.2.2 Furo DH-02

O furo DH-02 possui 201,25 metros de profundidade e está orientado no azimute  $196^\circ$  com inclinação de  $-60^\circ$ .

Os primeiros 17,50m apresentam um solo marrom areno-argiloso mal selecionado, com pouca matéria orgânica, constituído predominantemente por quartzo e feldspato alcalino. De 17,50-34,00m apresenta uma intercalação de saprolito com o granito marrom a branco fortemente intemperizado. Presença de poucos sulfetos disseminados como agregados submilimétricos. De 34,00-37,00m ocorre o granito com textura inequigranular, fracamente alterado por processos hidrotermais (alteração do tipo 2). Esse intervalo em que a rocha apresenta-se pouco transformada ocorre fraca sericitização, cloritização parcial nos minerais máficos e por vezes oxidação do ferro incluso nos feldspatos alcalinos, dando a tonalidade vermelha para rocha (mudança de cor conforme identificada por MEXIAS, 2000). Presença de poucos sulfetos como agregados submilimétricos associados com as porções cloritizadas. A rocha pouco alterada representada pela alteração do tipo 2 volta a ocorrer no intervalo 39,00-45,50m e 180,50-192,70m. Em outras zonas ocorrem intercalando com a rocha pouco alterada pequenas quantidades de veios (<1cm de largura) de clorita-sericita-quartzo-calcita. Na zona de influência dos veios ocorrem pequenos halos de alteração hidrotermal com fraca silicificação e moderada alteração a sericita e quantidade moderada de clorita. Ocorrem poucos sulfetos como inclusões nos veios e como agregados submilimétricos disseminados nas porções cloritizadas. A rocha fracamente alterada com presença de veios (alteração do tipo 2.1) ocorre nos intervalos 48,00-65,00m, 70,90-76,50m, 128,70-136,00m, 136,80-143,00m, 146,00-156,00m, 164,80-176,90m e 195,50-201,25m.

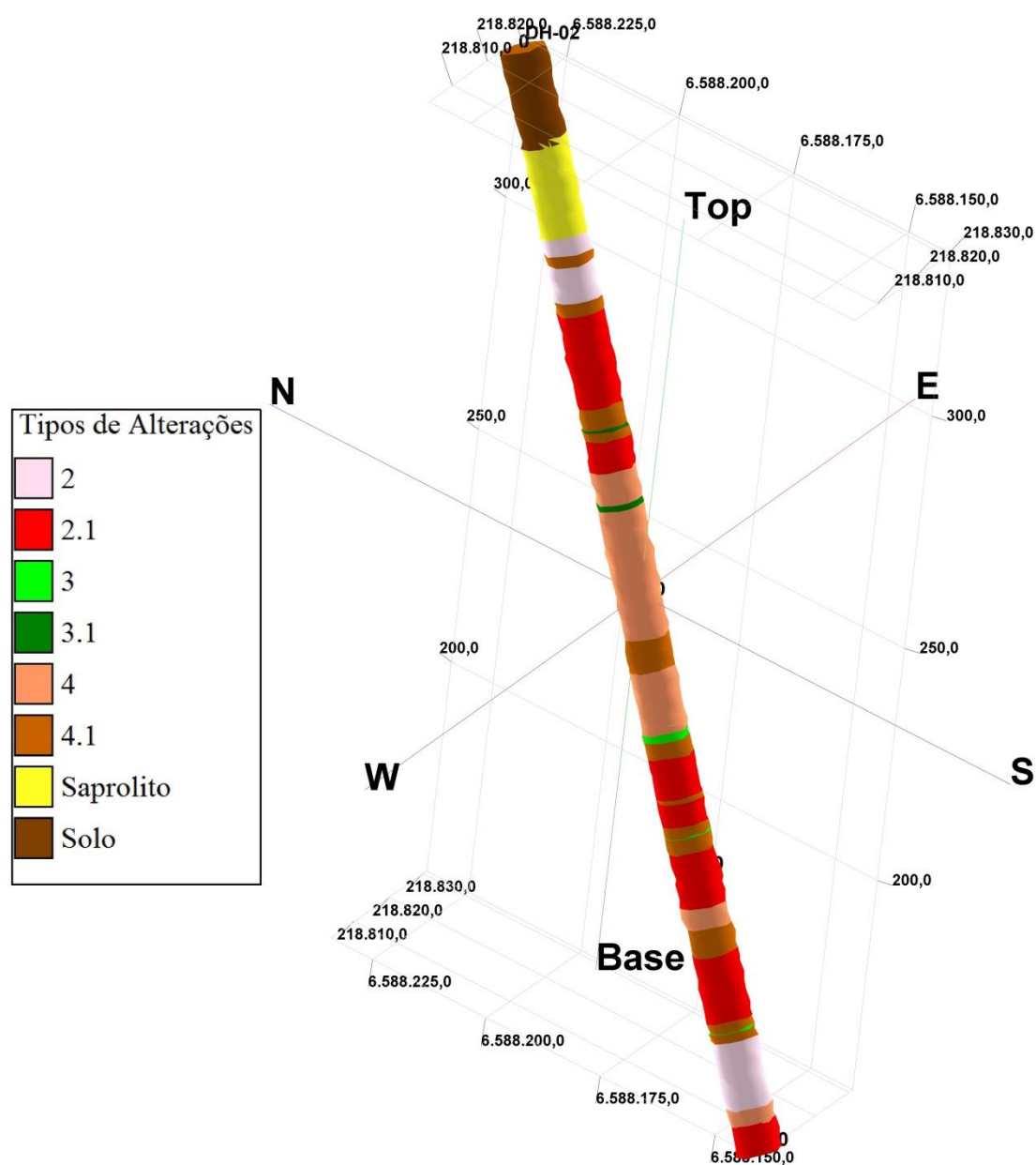
De 37,00-39,00m ocorre o granito moderadamente hidrotermalizado (alteração do tipo 4.1) com fraca silicificação, moderada sericitização e cloritização total nos minerais máficos. Esta rocha por vezes, apresenta característica da proximidade de zonas com forte alteração hidrotermal, sendo frequentemente atravessado por veios (<1cm de largura) de clorita-sericita-quartzo-calcita. Os sulfetos ocorrem como agregados submilimétricos e como inclusões nos veios. O tipo de alteração hidrotermal preserva a textura original da rocha granítica. Ocorre a transformação preferencialmente dos feldspatos alcalinos a sericita e dos minerais máficos a clorita. Algumas zonas a rocha apresenta fenocristais de feldspato alcalinos parcialmente alterados e imersos em uma matriz verde clara a escura constituída de clorita-sericita-quartzo. Este tipo de alteração representada pelo número 4.1 vai tornar a ocorrer nos intervalos 45,50-48,00m, 65,00-68,70m, 69,30-70,90m, 107,00-113,00m, 125,65-128,70m, 136,00-



136,80m, 141,00-143,00m, 143,15-146,00m, 159,80-164,80m, 176,90-178,64m e 178,86-180,50m. Ocorre uma variação deste tipo de alteração (alteração do tipo 4) onde a rocha é atravessada por inúmeros veios (<2cm de largura) de clorita-sericita-quartzo-calcita estruturados por vezes no estilo *stockworks*. A rocha com alteração do tipo 4 ocorre nos intervalos de 76,50-82,40m, 83,50-107,00m, 113,00-124,30m, 156,00-159,80m e 192,70-195,70m.

No intervalo 68,70-69,30m ocorre uma brecha hidrotermal aparentemente sustentada pela matriz composta por sericita (alteração do tipo 3.1), com forte silicificação, forte sericitização e por vezes moderada cloritização. Presença de agregados submilimétricos a milimétricos de calcita, veios (<2cm de largura) de sericita-clorita-quartzo-calcita. Os sulfetos ocorrem disseminados como aglomerados submilimétricos. A alteração do tipo 3.1 torna a ocorrer no intervalo 82,40-83,50m. De 124,30-125,65m a rocha está fortemente alterada por processos hidrotermais onde a estrutura granítica primária é totalmente alterada (alteração do tipo 3). Ela é caracterizada como uma brecha hidrotermal fortemente silicificada, com forte sericitização, fraca e pontualmente moderada cloritização. Presença de agregados de epidoto e veios (<2cm de largura) de sericita-quartzo-calcita. Os sulfetos por sua vez, ocorrem de forma disseminada como aglomerados submilimétricos a milimétricos. Este tipo de alteração volta a ocorrer nos intervalos 143,00-143,15m e 178,64-178,86m. Nas duas zonas de alterações (3 e 3.1) é possível identificar alguns cristais reliquiares de feldspato alcalino. Em pequenos intervalos inseridos dentro das zonas fortemente hidrotermalizadas portadoras da alteração do tipo 3 a rocha apresenta cavidades com cristais projetados de quartzo e por vezes de pirita, que sugere ser uma textura de preenchimento (conforme as características de texturas de preenchimento descritas por TAYLOR, 2009). A Figura 16 apresenta o furo DH-02 numa visão em 3 dimensões mostrando a variação dos tipos de alterações ao longo do testemunho de sondagem.

Figura 16 – Visão em 3 dimensões do furo DH-02 mostrando a variação dos tipos de alterações ao longo do testemunho de sondagem. As alterações são identificadas através do número de cada tipo de alteração e sua respectiva cor na legenda.



Fonte: autor.

### 9.1.2.3 Furo DH-03

O furo DH-03 possui 302,90 metros de profundidade e está orientado no azimute  $190^\circ$  com inclinação de  $-60^\circ$ .

Os primeiros 9,00m apresentam um solo marrom areno-argiloso mal selecionado, com pouca matéria orgânica, constituído predominantemente por quartzo e feldspato alcalino. De 9,00-11,70m ocorre uma intercalação de saprolito com o granito marrom a branco fortemente intemperizado e com presença de alteração hidrotermal. A rocha apresenta moderada sericitização, cloritização total nos minerais máficos e quantidade moderada de manchas de óxidos. Presença de *boxwork* de quartzo parcialmente preenchido por sulfetos e veios (<3cm de largura) de sericita-quartzo-calcita. Os sulfetos ocorrem associados preferencialmente como inclusões nos veios e nos halos de alteração formado próximo as estruturas de preenchimento.

De 11,70-15,00m ocorre o granito moderadamente hidrotermalizado (alteração do tipo 4.1) com fraca silicificação, moderada sericitização, cloritização total nos minerais máficos e moderada quantidade de manchas de óxidos e hidróxidos de ferro. Está rocha por vezes, apresenta característica da proximidade de zonas com forte alteração hidrotermal, sendo frequentemente atravessada por inúmeros veios (<2cm de largura) de sericita-clorita-quartzo-calcita. Os sulfetos ocorrem inclusos nos veios como aglomerados submilimétricos a milimétricos. Próximos aos veios ocorrem forte alteração a sericita e concentração moderada a forte de sulfetos disseminados. O tipo de alteração hidrotermal preserva a estrutura granítica primária. Ocorre a alteração preferencial dos feldspatos alcalinos a sericita e dos minerais máficos a clorita. Algumas zonas a rocha alterada apresenta fenocristais de feldspato alcalinos parcialmente sericitizados e imersos em uma matriz verde clara a escura constituída de sericita-clorita-quartzo. Este tipo de alteração representada pelo número 4.1 vai tornar a ocorrer nos intervalos 15,80-20,00m, 33,00-35,00m, 40,00-42,00m, 53,00-57,80m, 59,20-60,20m, 63,20-91,50m, 93,70-116,00m, 127,00-129,50m, 131,50-132,50m, 156,00-162,80m, 164,70-174,60m, 181,00-198,16m, 208,00-209,00m, 212,00-240,00m, 244,00-265,10m, 270,50-272,70m e 297,00-297,50m.

De 15,00-15,80m a rocha está fortemente alterada por processos hidrotermais (alteração do tipo 3). Ela é caracterizada como uma brecha hidrotermal fortemente silicificada, com forte alteração a sericita, fraca e pontualmente moderada concentração de clorita e presença de agregados de epidoto. Presença de veios (<2cm de largura de largura) de sericita-quartzo-calcita. Os sulfetos por sua vez, ocorrem de forma disseminada como aglomerados submilimétricos a milimétricos. Este tipo de alteração

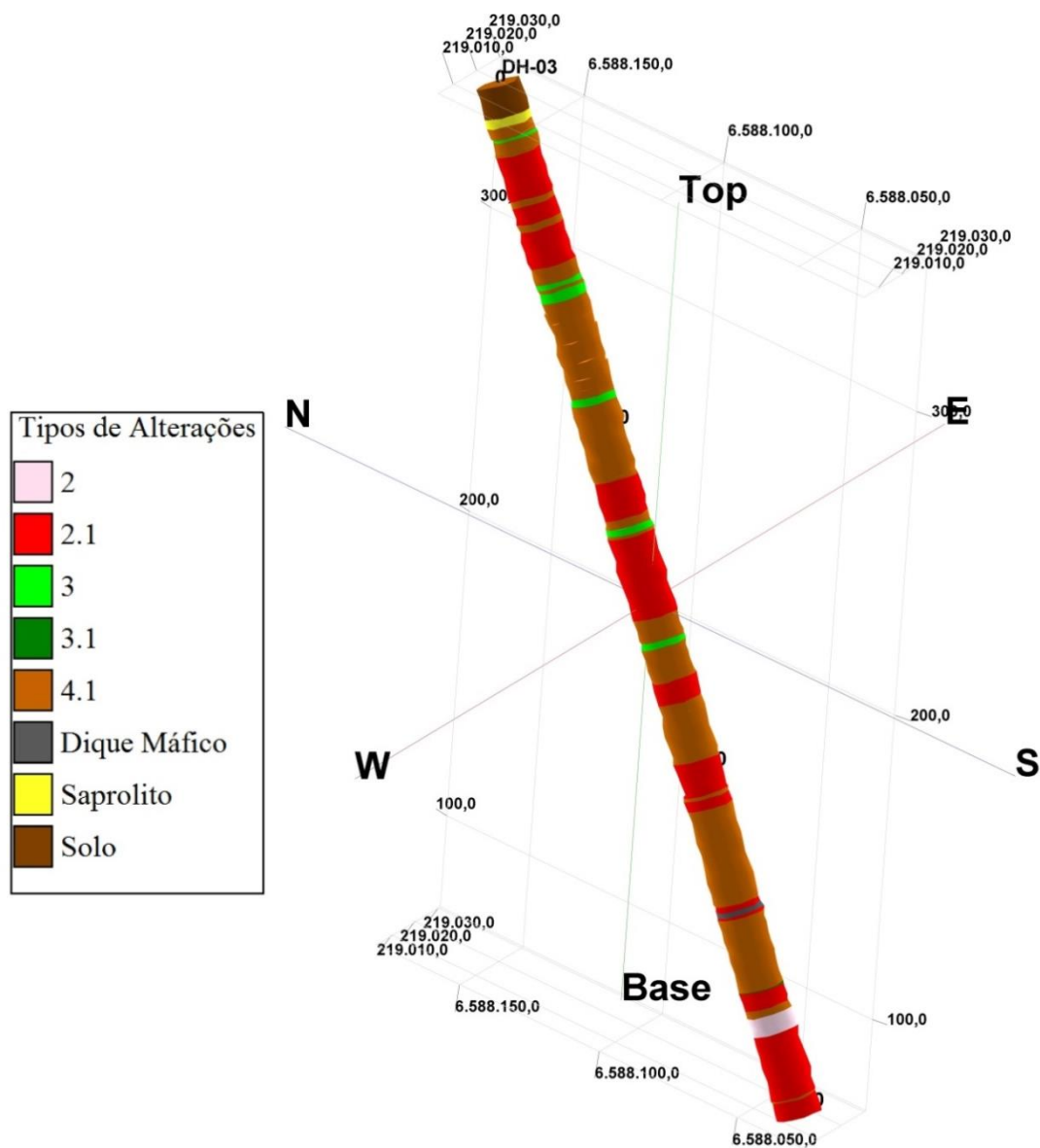
volta a ocorrer nos intervalos 57,80-59,20m e 60,20-63,20m, 91,50-93,70m, 129,50-132,00m e 162,80-164,70m.

De 241,50-243,20m ocorre um dique máfico verde escuro de granulação fina com forte concentração de clorita e calcita (lamprófiro?). Presença de veios (<1cm de largura) de calcita-óxidos e agregados de calcita.

No intervalo 265,10-265,40m ocorre uma brecha hidrotermal aparentemente sustentada pela matriz constituída de sericita-clorita (alteração do tipo 3.1), com moderada silicificação, moderada alteração a sericita e concentração forte de clorita. Presença de agregados milimétricos de calcita e veios (<2cm de largura) de sericita-clorita-calcita. Os sulfetos ocorrem disseminados como aglomerados submilmétricos. Nas duas zonas de alterações (3 e 3.1) ocorrem cristais reliquiares de feldspato alcalino. Em pequenos intervalos inseridos nas alterações do tipo 3 a rocha apresenta cavidades com cristais projetados de quartzo que sugere ser uma textura preenchimento (conforme as características de texturas de preenchimento descritas por TAYLOR, 2009).

De 272,00-278,00m ocorre o granito com textura inequigranular, fracamente alterado por processos hidrotermais (alteração do tipo 2). Esse intervalo em que a rocha apresenta-se pouco transformada ocorre fraca sericitização, cloritização parcial dos minerais máficos e por vezes a oxidação do ferro incluso nos feldspatos alcalinos, dando a tonalidade vermelha para rocha (mudança de cor conforme identificada por MEXIAS, 2000). Em alguns intervalos ocorre intercalando com a rocha pouco alterada pequenas quantidades de veios (<1cm de largura) de clorita-sericita-quartzo-calcita. Na zona de influência dos veios ocorrem pequenos halos de alteração hidrotermal com fraca silicificação e moderada alteração a sericita e quantidade moderada de clorita. A rocha fracamente alterada com presença de veios (alteração do tipo 2.1) ocorre nos intervalos 20,00-33,00m, 35,00-40,00m, 42,00-53,00m, 93,70-127,00m, 132,00-156,00m, 174,00-181,00m, 198,16-208,00m, 209,00-212,00m, 240,00-241,56m, 243,20-244,00m, 265,40-270,50m, 278,20-297,00m e 297,50-302,90. A Figura 17 apresenta o furo DH-03 numa visão em 3 dimensões mostrando a variação dos tipos de alterações ao longo do testemunho de sondagem.

Figura 17 – Visão em 3 dimensões do furo DH-03 mostrando a variação dos tipos de alterações ao longo do testemunho de sondagem. As alterações são identificadas através do número de cada tipo de alteração e sua respectiva cor na legenda.



Fonte: autor.

#### 9.1.2.4 Discussão

O furo DH-01 apresenta um total de 35,80m da alteração do tipo 2 e 9,40m da alteração do tipo 2.1. Para alteração do tipo 3 ele apresenta um total de 11,49m e para alteração do tipo 3.1 0,87m. Ocorre uma espessura total de 30,80m para alteração do tipo 4 e para alteração do tipo 4.1 46,06m.

O furo DH-02 apresenta um total de 21,70m da alteração do tipo 2 e para alteração do tipo 2.1 61,40m. Para alteração do tipo 3 ele apresenta um total de 1,72m e para alteração do tipo 3.1 1,70m. Ocorre uma espessura total de 47,50m para alteração do tipo 4 e para alteração do tipo 4.1 32,88m.

O furo DH-03 apresenta um total de 5,50m da alteração do tipo 2 e para alteração do tipo 2.1 114,40m da. Para alteração do tipo 3 ele apresenta um total de 11,30m e para alteração do tipo 3.1 0,30m. Ocorre uma espessura total de 158,06m para alteração do tipo 4.1. A Tabela 5 resume a espessura total das alterações hidrotermais em cada testemunho de sondagem estudado.

Tabela 5 – Espessura total de cada tipo de alteração em cada testemunho de sondagem estudado.

<b>Alterações DH-01</b>	<b>Espessura-01</b>	<b>Alterações DH-02</b>	<b>Espessura-02</b>	<b>Alterações DH-03</b>	<b>Espessura-03</b>
2 e 2.1	45,2m	2 e 2.1	83,1m	2 e 2.1	119,9m
4 e 4.1	76,86m	4 e 4.1	80,38m	4.1	158,6m
3 e 3.1	12,36m	3 e 3.1	3,42m	3 e 3.1	11,6m

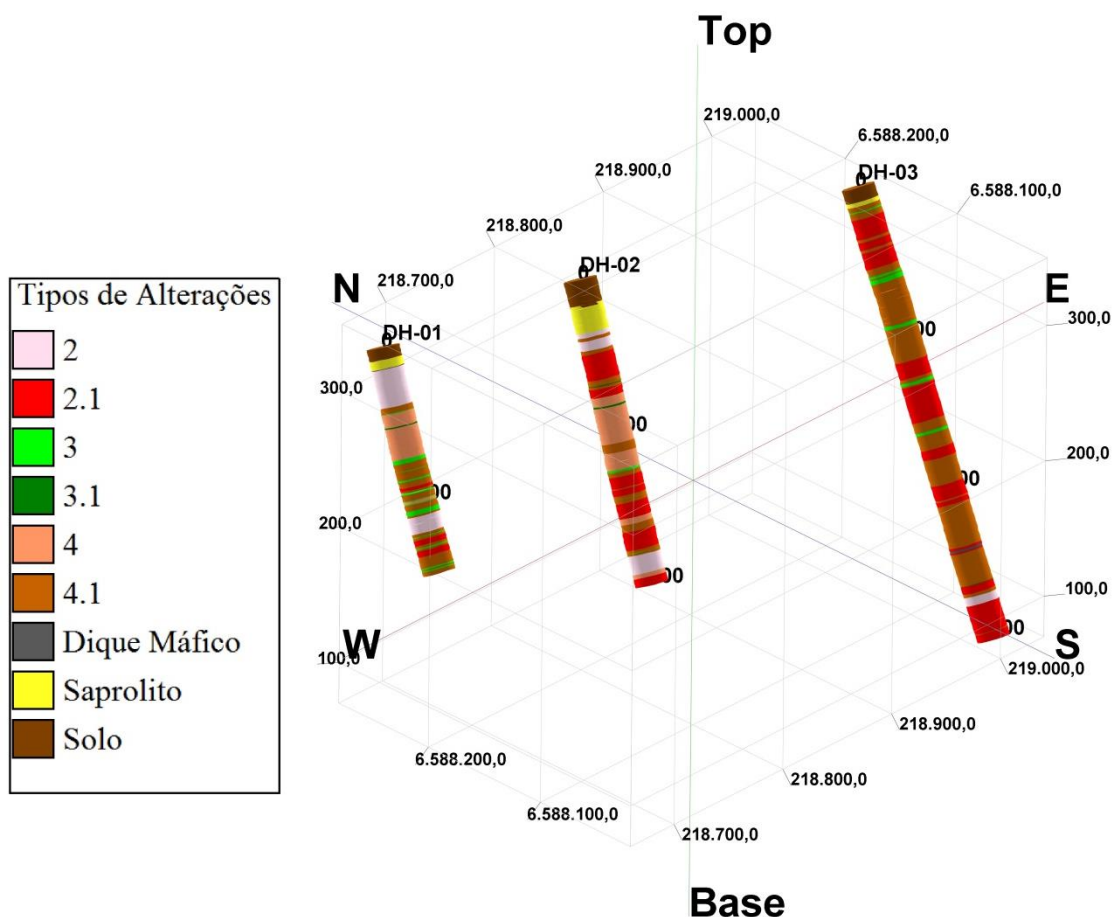
Fonte: autor.

Todos os tipos de alterações estão presentes nos três testemunhos de sondagem estudados, com exceção da alteração do tipo 4 que não ocorre no furo DH-03. No entanto observa-se que nos furos DH-01 e DH-03 a alteração mais abundante é do tipo 4 e 4.1 e no furo DH-02 a mais abundante é a alteração do tipo 2 e 2.1. Nos três furos a alteração do tipo 3 e 3.1 ocorre em menor parcela. A Figura 18 apresenta uma visão em 3 dimensões dos três testemunhos de sondagem estudados juntos mostrando os tipos de alterações ao longo de cada furo.

A silicificação ocorre nos três testemunhos de sondagem estudados e está bem representada nas alterações do tipo 3 e 3.1. Os intervalos portadores desses tipos de alterações, nos testemunhos de sondagem estudados, geralmente se encontram mineralizadas em ouro. Essa alteração tem um caráter destrutivo das estruturas originais do granito e está associada com forte sericitização e por vezes cloritização moderada.

Os sulfetos ocorrem moderadamente de forma disseminada como aglomerados submilimétricos a milimétricos. A presença de cavidades com cristais euédricos de

Figura 18 – Visão em 3 dimensões dos testemunhos de sondagem estudados mostrando os tipos de alterações hidrotermais ao longo de cada furo.



Fonte: autor.

quartzo e pirita projetados sugere ser produto de uma textura de preenchimento. Sendo assim, esses intervalos representam condutos fossilizados (possivelmente fraturas de tração) na rocha onde o fluido hidrotermal rico em sílica passou e precipitou a assembleia mineral de alteração composta de Ilita (DRX), quartzo, epidoto, calcita, sulfetos,  $\pm$  clorita,  $\pm$  caulinita (DRX),  $\pm$  hematita.

Geralmente a rocha característica da proximidade das zonas fortemente hidrotermalizadas e que as envelope apresenta-se moderadamente alterada, com presença das alterações do tipo 4 e 4.1. Essas alterações são texturalmente retentivas, ou seja, preservam a estrutura granítica primária. Nos testemunhos de sondagem estudados esses intervalos geralmente também se encontram mineralizados em ouro nas zonas próximas das alterações do tipo 3 e 3.1. Presença de fraca silicificação (tende a ficar moderada em direção a alteração do tipo 3 e 3.1), moderada alteração a sericita (forte nos halos de alteração associados com os veios), alteração parcial a clorita, sendo por vezes total, nos minerais máficos. Devido a oxidação do ferro que ocorre como inclusão nos cristais de feldspatos alcalinos (conforme identificado por MEXIAS, 2000), a rocha por vezes apresenta cor avermelhada. Presença de veios de clorita-sericita-quartzo-calcita-óxidos estruturados por vezes estruturados no estilo *stockworks*.

A rocha fracamente alterada por processos hidrotermais envelope as rochas moderadamente hidrotermalizadas e por vezes está mineralizada com teores muito baixos de ouro. É possível identificar uma mudança gradativa na assembleia mineral de alteração. Partindo da alteração do tipo 2 e 2.1 até a alteração do tipo 3 e 3.1 ocorre um aumento gradual de sílica-sericita-sulfetos. Isso sugere que o fluido que passou e precipitou nos condutos fossilizados na rocha afetou fortemente a rocha encaixante formando halos de alterações hidrotermais. Esses halos de alteração tendem a se tornar mais fracos em porções mais afastadas das estruturas de preenchimento (zonas com presença das alterações do tipo 2 e 2.1). A extensão dos halos de alteração está fortemente associada com a dimensão do conduto que passou o fluido hidrotermal, sendo que pequenos condutos formaram pequenos halos de alteração e grandes condutos formaram grandes halos de alteração nas rochas encaixantes. A alteração intermediária entre a rocha fracamente alterada e a rocha fortemente alterada é representada pelas alterações do tipo 4 e 4.1.

### **9.1.3 Descrição detalhada de cada tipo de alteração hidrotermal**

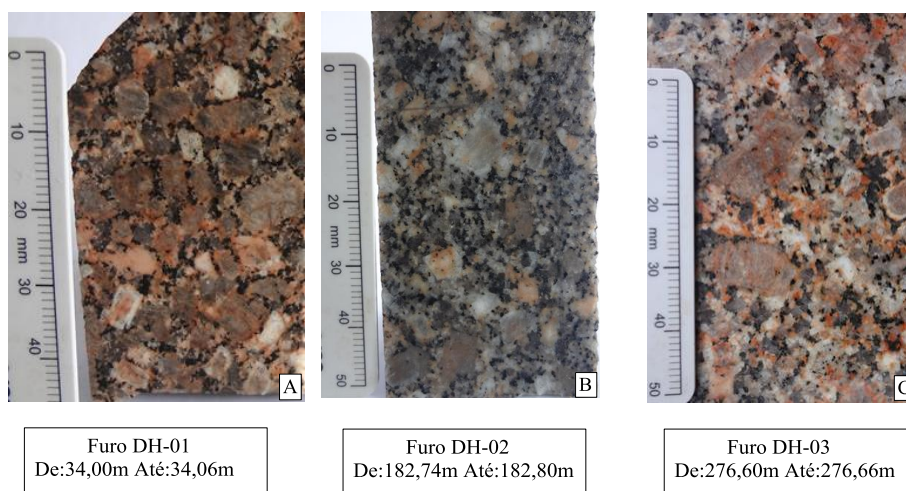
A seguir é descrito detalhadamente cada tipo de alteração hidrotermal identificado nos testemunhos de sondagem estudados.



### 9.1.3.1 Alteração do tipo 2

A alteração do tipo 2 é caracterizada pela rocha fracamente alterada por processos hidrotermais composta pela seguinte assembleia mineral: clorita (2), ilita (1 – DRX), epidoto (1), calcita (1), sulfetos (1) e por vezes hematita (1). A rocha apresenta textura primária pouco alterada, cor branca e por vezes vermelha que segundo Mexias (2000), essa coloração avermelhada é devido à oxidação do ferro incluso nos feldspatos alcalinos. Fraca sericitização e parcial cloritização, a qual por vezes é total nos minerais máficos. Associados com as zonas cloritizadas ocorrem agregados de epidoto. Presença de poucos sulfetos disseminados como agregados submilimétricos associados fortemente com as zonas cloritizadas. Óxidos ocorrem nos interstícios dos grãos e eventualmente como inclusão. A Figura 19 apresenta fotos das rochas portadoras da alteração do tipo 2.

Figura 19 – Amostras de rocha dos três furos estudados com presença de alteração hidrotermal do tipo 2. A) Rocha do furo DH-01 do granito vermelho fracamente alterado por hidrotermalismo. B) Rocha do furo DH-02 do granito branco com fraca alteração do tipo 2. C) Rocha do furo DH-03 do granito levemente avermelhado.



Fonte: autor.

### 9.1.3.2 Alteração do Tipo 2.1

A alteração do tipo 2.1 apresenta as mesmas características da alteração do tipo 2, porém ocorrem veios (<1cm de largura) de ilita-clorita-quartzo-calcita associado com

agregados de epidoto na rocha fracamente alterada (Figura 20). Presença de poucos sulfetos como inclusões nos veios e próximos as zonas cloritizadas. Próximos aos veios ocorrem pequenos halos de alteração hidrotermal com fraca silicificação, moderada alteração a ilita nos feldspatos alcalinos e plagioclásios e moderada concentração de clorita. Esses halos de alteração hidrotermal tendem a ficar fraco em direção a rocha com presença de alteração do tipo 2. Óxidos ocorrem nos interstícios dos grãos e eventualmente como inclusão.

Figura 20 – Amostras de rocha dos três furos estudados com presença de alteração hidrotermal do tipo 2.1. A) Rocha do furo DH-01 com veio de calcita-ilita-clorita-quartzo. B) Rocha do furo DH-02 com veio de clorita-ilita-quartzo e avermelhamento dos feldspatos alcalinos. C) Rocha do furo DH-03 com presença de veio com halo de alteração constituído de clorita-ilita-quartzo.



Fonte: autor.

Na Figura 21 estão representadas algumas feições microscópicas desses tipos de alterações. Duas amostras com alteração do tipo 2 e uma amostra com alteração do tipo 2.1 provenientes dos testemunhos de sondagem foram estudadas ao microscópio óptico. A estrutura original granítica não é muito modificada, onde quartzos e feldspatos alcalinos apresentam contatos nítidos e os minerais máficos (anfíbólios e biotitas) são transformados principalmente em clorita. A clorita pseudomórfica do anfibólio e da biotita preserva os contatos dos antigos grãos, havendo parcial e total substituição por clorita. A clorita apresenta pleocroísmo em tons de verde e birrefringência *berlin-blue* característica e está associada com agregados de epidoto. Ocorre calcita como agregados e como finos veios cortando a mineralogia primária da rocha e sugere estar relacionada a um estágio mais tardio de alteração. O quartzo ocorre como pequenos

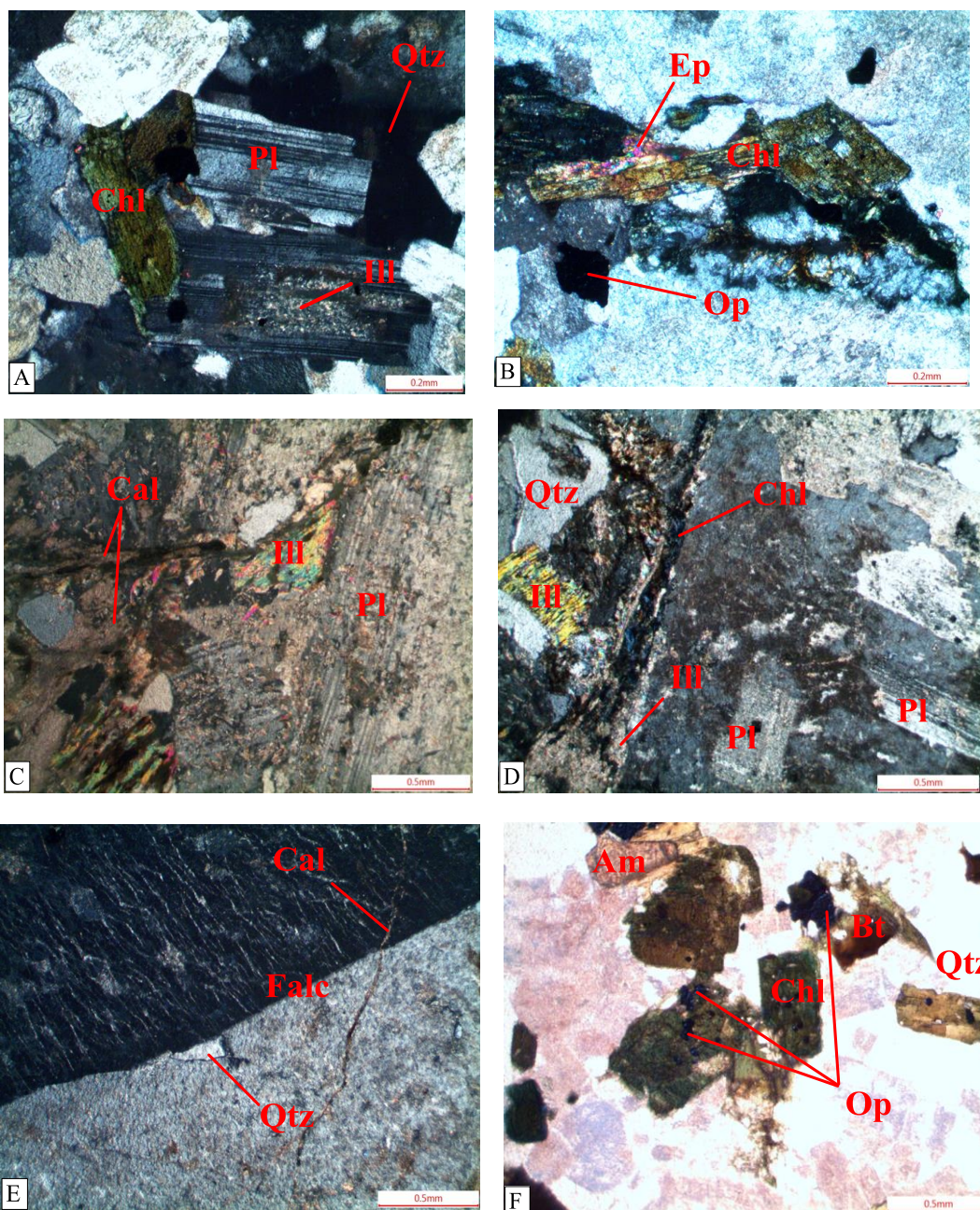
grãos anédricos a subédricos dispersos em toda rocha. Os feldspatos alcalinos e plagioclásios apresentam alteração discreta a ilita. Os feldspatos alcalinos preservam a sua textura magmática pertítica do tipo “pele de tigre” e por vezes englobam cristais de anfibólio, quartzo e minerais opacos.

As rochas portadoras das alterações do tipo 2 e 2.1 são as que envelopam as estruturas moderadamente hidrotermalizadas na área de estudo e, portanto, registram em si a influência distante térmica e do fluido que lá atuou intensamente. Desta maneira, não raro se observa uma sulfetação discreta associada às cloritas secundárias representando a influência do enxofre infiltrado nesta rocha a partir das estruturas fortemente alteradas, que se localizam a poucos metros. O mesmo acontece com alguns feldspatos alcalinos e plagioclásios, que podem se mostrar por vezes intensamente alterados a ilita.

Uma amostra com presença da alteração do tipo 2 e outra do tipo 2.1 provenientes dos testemunhos de sondagem foram selecionadas para serem estudadas na DRX. Observou-se que clorita é o mineral de alteração predominante, variando de 1,5% na rocha com alteração do tipo 2.1 e 21,5% na rocha com alteração do tipo 2. Na amostra com alteração do tipo 2 ocorre sericita na variedade ilita na porcentagem de 11,2% em relação ao total de minerais. Subordinadamente, ocorre calcita variando de 1,3% na alteração do tipo 2.1 e 2,9% na alteração do tipo 2. A pequena quantidade de calcita nas amostras sugere que evento hidrotermal de carbonatação é discreto nas rochas portadoras das alterações do tipo 2 e 2.1. A quantidade de quartzo, plagioclásio e feldspatos alcalinos apresentados nas duas amostras estudadas sugere diferentes graus de intensidade da alteração hidrotermal. Nas Figuras 22 e 23 são apresentados os difratogramas das análises de DRX da rocha com alteração do tipo 2 e 2.1 respectivamente. As proporções dos minerais na rocha são apresentadas em porcentagem (%). Considerando que os feldspatos alcalinos (microclínio) e plagioclásios (labradorita) e os quartzos quantificados nas análises de DRX são predominantemente reliquiares da rocha primária, os resultados de DRX mostram que os principais minerais de alteração são: clorita, ilita e calcita.

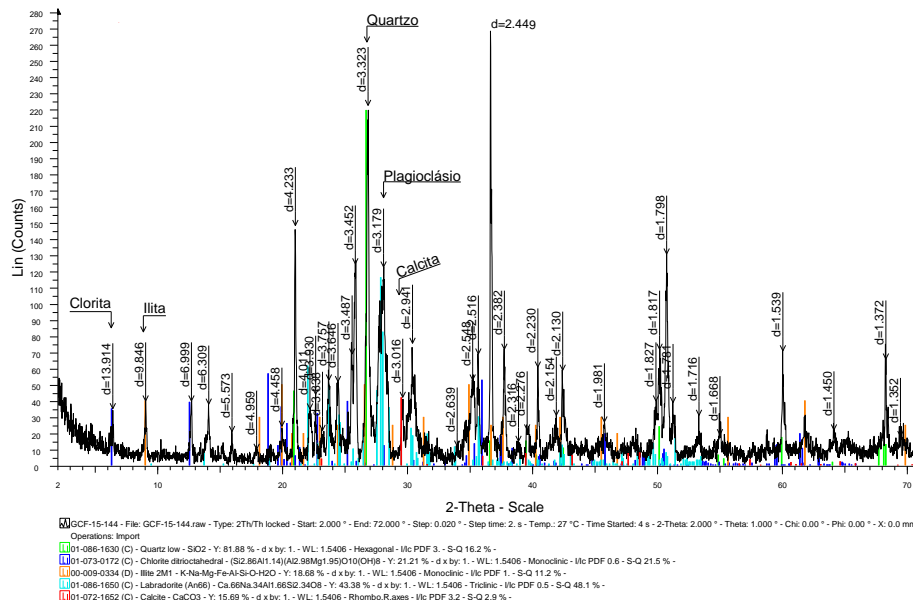
Figura 21 – Fotomicrografias das texturas características da rocha portadora do tipo de alteração 2 (A, B, E e F) e 2.1 (C e D). A alteração do tipo 2 e 2.1 preserva a estrutura granítica primária. As transformações são predominantemente associadas aos minerais máficos. A, B, C, D e E estão a nicóis cruzados e E a nicóis paralelos. A) Mostra a transformação de biotita para clorita. Observa-se também a substituição parcial do plagioclásio por ilita. B) Cloritização dos minerais máficos associados com agregados de epidoto e minerais opacos (possivelmente sulfeto). C) Veio e agregados de calcita, alteração parcial e total a ilita dos plagioclásios. Ocorrem dois tipos de ilita, uma de granulação fina e outra de granulação média que sugere serem produtos de dois eventos hidrotermais diferentes. D) Veio de clorita associada com agregados de ilita de granulação fina e média. Presença de alteração a ilita dos plagioclásios. E) Feldspato alcalino com textura pertítica e inclusão de quartzo sendo cortado por filme de calcita. F) Cloritização dos minerais máficos associado com agregados de minerais opacos (possivelmente sulfetos).

Legenda: Am = anfibólio, Ep = epidoto, Qtz = quartzo, Falc = feldspato alcalino, Chl = clorita, Cal = calcita, Ill = ilita, Bt = biotita, Pl = plagioclásio e Op = opaco.



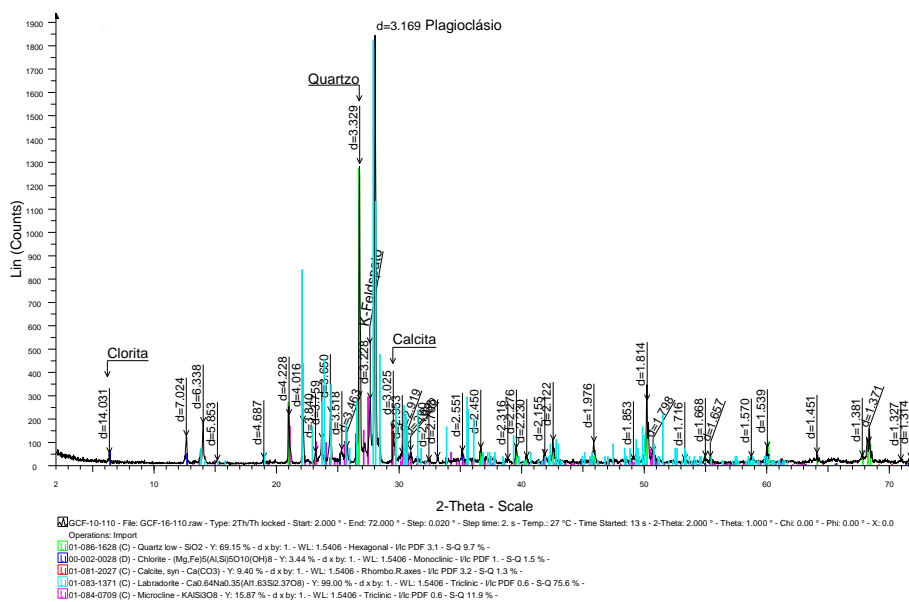
Fonte: autor.

Figura 22 – Difratograma de raio x da amostra GCF-15-03 do granito com alteração do tipo 2. A rocha apresenta 48,1% de plagioclásio (labradorita - An66), 21,5% clorita, 16,2% de quartzo, 11,2% de illita e 2,9% de calcita.



Fonte: autor.

Figura 23–Difratograma de raio x da amostra GCF-16-01 do granito com alteração do tipo 2.1. A rocha apresenta 75,8% de plagioclásio (labradorita), 11,9% de feldspato alcalino (microclínio), 9,7% de quartzo, 1,5% clorita e 1,3% de calcita.



Fonte: autor.

### 9.1.3.3 Alteração do tipo 3

A alteração do tipo 3 é caracterizada por uma brecha hidrotermal composta pela assembleia mineral: ilita (3 - DRX), quartzo (3-DRX), epidoto (2), calcita (2), sulfetos (2) e por vezes clorita (2-DRX), caulinita (1-DRX) e hematita (1-DRX). A alteração é texturalmente destrutiva, alterando a estrutura primária do granito. A rocha possui cor que varia de branco, verde claro a verde escuro e apresenta forte alteração a ilita e forte silicificação. Presença de agregados de calcita e de epidoto, veios (<2cm de largura) de ilita-quartzo-calcita e raramente de clorita. Os sulfetos ocorrem de forma disseminada como agregados submilimétricos a milimétricos. Em algumas porções é possível identificar cristais reliquiares de feldspatos alcalinos e plagioclásios parcialmente alterados a ilita. Em alguns intervalos inseridos dentro desse tipo de alteração hidrotermal ocorrem cavidades na rocha com presença de cristais euédricos de quartzo e por vezes de pirita que sugerem serem produtos de alteração de preenchimento (considerando as texturas de preenchimento descritas por TAYLOR, 2009). Óxidos ocorrem nos interstícios dos grãos e eventualmente como inclusão. A Figura 24 apresenta as rochas portadoras da alteração do tipo 3.

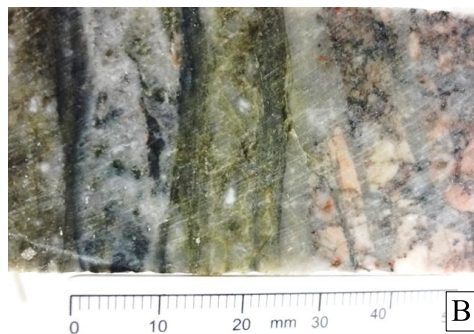
### 9.1.3.4 Alteração do tipo 3.1

A brecha hidrotermal do tipo 3.1 (Figura 25) apresenta alteração com vaga textura retentiva, cor verde a vermelho, aparenta ser sustentada pela matriz constituída de ilita. Ocorre forte alteração a ilita, forte silicificação e fraca a moderada concentração de clorita. Presença de agregados milimétricos de calcita e de óxidos, veios (<2cm de largura) de ilita-quartzo-calcita e subordinadamente clorita e óxidos. Os sulfetos ocorrem como agregados submilimétricos e por vezes milimétricos. Este tipo de alteração apresenta características fortemente associada com zonas de falhas, conforme as características de brechas hidrotermais associadas a falhas descritas por Taylor (2009). Em algumas porções é possível identificar cristais reliquiares de feldspatos alcalinos e plagioclásios parcialmente alterados a ilita. Óxidos ocorrem nos interstícios dos grãos e eventualmente como inclusão.

Figura 24 – Amostras de rochas com presença de alteração do tipo 3. A) Rocha do furo DH-01 com forte silicificação, forte alteração a ilita e presença de cavidades com cristais projetados de quartzo. B) Rocha do furo DH-01 mostrando o contato entre a brecha hidrotermal e o granito. Presença de veios de ilita-quartzo-clorita. C e D) Rocha furo DH-02 com forte silicificação, forte alteração a ilita e presença de agregados de calcita e veios de ilita-clorita. E e F) Rocha do furo DH-03 mostrando o contato entre a brecha hidrotermal e o granito. Presença de cavidades com cristais de quartzo projetados que sugere ser uma textura de preenchimento. G) Rocha do furo DH-03 apresentando cor verde clara, forte alteração a ilita (principalmente nos interstícios dos grãos de quartzo) e forte silicificação. Esse intervalo apresenta uma variação da cor da alteração do tipo 3 que diverge com as cores encontradas nos outros furos de sondagem estudados.



Furo DH-01  
De:72,80m Até:72,86m



Furo DH-01  
De:99,50m Até:99,56m



Furo DH-02  
De:125,20m Até:125,26m



Furo DH-02  
De:143,00m Até:143,06m

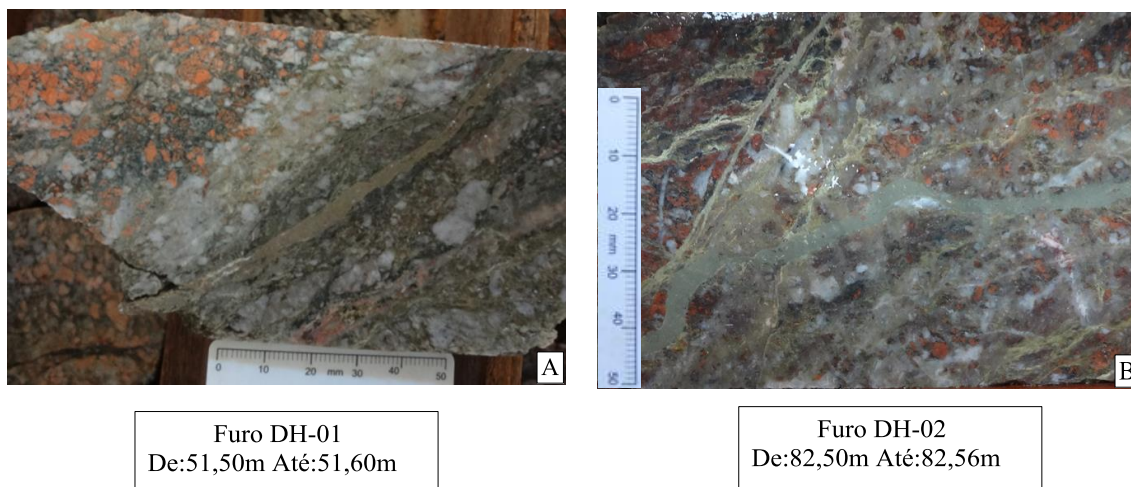


Furo DH-03  
De:57,80m Até:57,86m



Furo DH-03  
De:60,40m Até:60,46m

Figura 25 – Amostras de rocha com alteração do tipo 3.1. A) Rocha do furo DH-01 mostrando o contato entre a rocha e a brecha de falha com forte alteração a ilita e presença de agregados milimétricos de calcita. B) Rocha do furo DH-02 mostrando a presença de inúmeros veios de ilita verde sem orientação, agregados de calcita e cristais de feldspato alcalinos e plagioclásios reliquias.



Fonte: autor.

As Figuras 26 e 27 apresentam algumas características microscópicas da alteração do tipo 3 e 3.1. Foram selecionadas seis amostras da alteração do tipo 3 e uma da alteração do tipo 3.1 provenientes dos testemunhos de sondagem descritos para serem estudadas ao microscópio. A estrutura original granítica é totalmente alterada. Ocorrem cristais reliquias de zircão, quartzo e cristais de feldspatos alcalinos parcialmente alterados a ilita. Os cristais reliquias de quartzo, feldspato alcalino e de plagioclásios por vezes apresentam bordas de reação com ilita. A rocha é constituída predominantemente por ilita e quartzo, sendo que a ilita ocorre como agregados nos interstícios dos grãos de quartzo e como veios (<2cm de largura). Ela apresenta granulação fina e média, sugerindo dois episódios hidrotermais de deposição. A ilita substitui preferencialmente os plagioclásios e feldspatos alcalinos. Os cristais de quartzo são anédricos a subédricos de granulação fina a média e ocorrem como agregados e na forma de veios (<2cm de largura). Algumas porções ocorrem cristais euédricos de quartzo sugerindo ser produto de silicificação. Presença de agregados de clorita associados com aglomerados de minerais opacos. Epidoto com cor verde clara (pistashita) ocorre associado com clorita na forma de aglomerados submilimétricos a milimétricos. Ocorre calcita como agregados e como finos veios (<1cm de largura) cortando os cristais de feldspatos alcalinos reliquias e de ilita, sugerindo um estágio



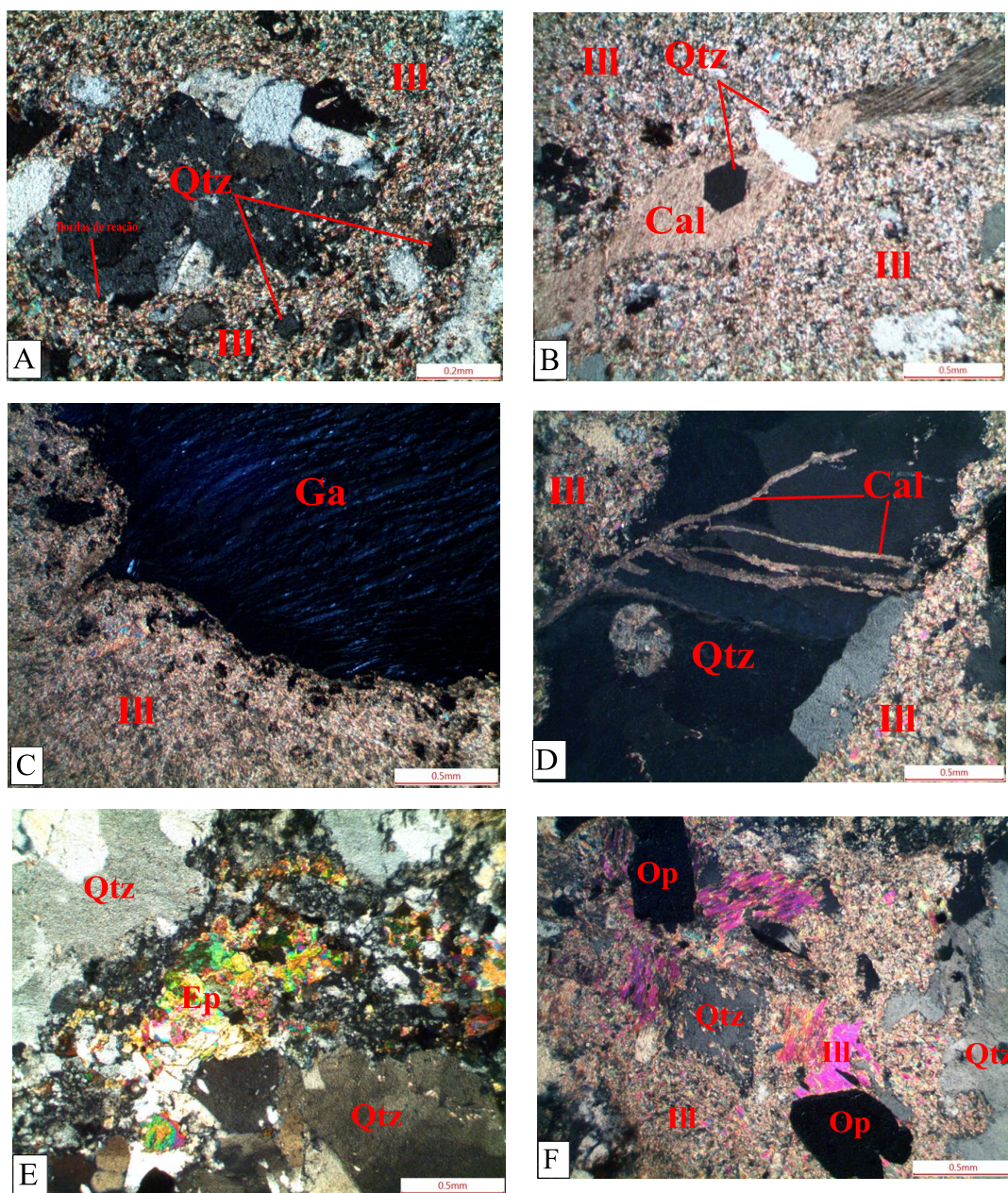
de carbonatação tardio. Os sulfetos ocorrem de forma disseminada e como finos veios (<1cm de largura) descontínuos associadas com ilita-calcita-quartzo.

Na área de estudo as rochas portadoras das alterações do tipo 3 e 3.1 são geralmente mineralizadas em ouro. Elas registram características de uma textura de preenchimento. Desta maneira comumente se observam cavidades com cristais euédricos projetados.

Foram selecionadas quatro amostras com alteração do tipo 3 e duas com alteração do tipo 3.1 provenientes dos testemunhos de sondagem para serem analisadas na DRX. A quantidade de ilita varia de 10% a 54% nas rochas com alteração do tipo 3. A rocha com alteração do tipo 3 apresenta de 24,4% a 58,7% de quartzo, onde se verifica um enriquecimento de sílica que sugere um episódio hidrotermal de silicificação. A amostra GCF-03-03 apresentou 14,2% de clorita e 1,2% de hematita e sugere estar relacionada a uma porção com fraca alteração do tipo 3 em contanto com o granito moderadamente alterado. Calcita ocorre em duas amostras analisadas e varia de 4,3% a 6,5% do total de minerais na rocha. Presença de 3,4% de caulinita na amostra GCF-07-01 sugere um episódio de alteração supergênica mais tardio. As porcentagens variadas de feldspato alcalinos e plagioclásios é devido aos diferentes graus de intensidade da alteração do tipo 3 nas amostras analisadas. Nas Figuras 28, 29, 30 e 31 são apresentados os resultados dos Difratomogramas de Raios X das amostras analisadas portadoras da alteração do tipo 3. As proporções de minerais na rocha são apresentadas em porcentagem.

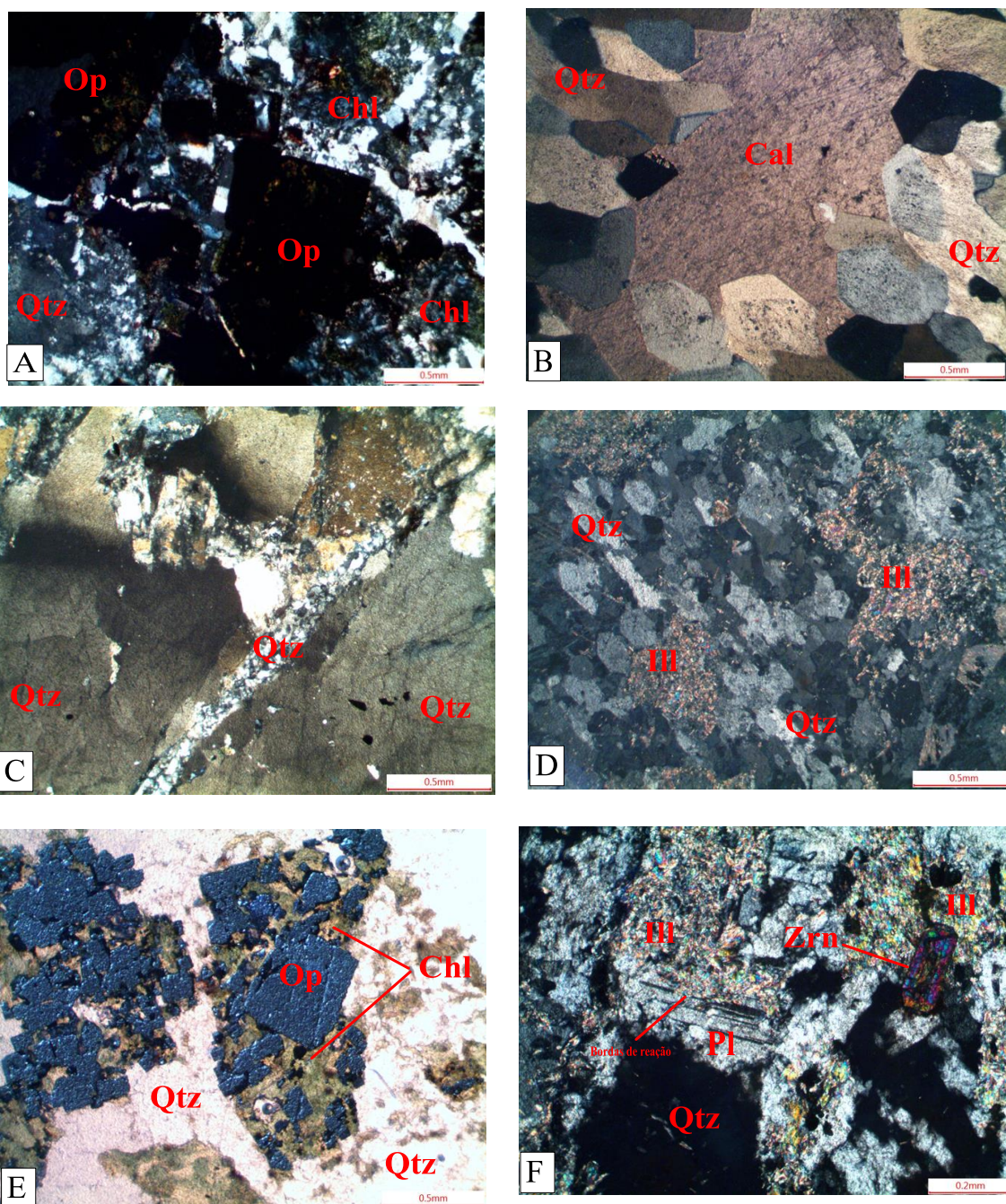
A alteração do tipo 3.1 apresentou 39,9% a 72,7% de quartzo sugerindo um enriquecimento em sílica relacionado a um episódio hidrotermal de silicificação. Na amostra GCF-04-02 ocorre 7,6% de clorita e 2,8% de caulinita e 22,5% de plagioclásio (plagioclásio sugere ser reliquiar da rocha primária). Nas duas amostras ocorre calcita variando de 6,4% a 24,9% e ilita variando de 9,9% a 13,2%. Nas Figuras 32 e 32 são apresentados os difratogramas da análise de DRX das rochas com presença da alteração do tipo 3.1. As proporções dos minerais na rocha são apresentadas em porcentagem.

Figura 26 – Fotomicrografias das texturas características da rocha portadora da alteração do tipo 3. Alteração é texturalmente destrutiva, com a textura granítica primária não sendo preservada. As transformações são associadas a forte alteração da rocha primária e também a deposição de uma assembleia mineral de alteração em um espaço vazio (possivelmente uma fratura de tração). A, B, C, D e E estão a nicóis cruzados e E a nicóis paralelos. A) Mostra borda de reação de cristal de quartzo com ilita onde ocorrem contatos difusos e interlobados. B) Forte concentração de ilita cortada por veio de calcita. Ocorre incluso no veio de calcita um cristal euédrico de quartzo que sugere ser produto de silicificação. C) Galena (identificada a olho nu) representada pelo mineral opaco em contato com forte alteração a ilita. D) Filmes de calcita cortando grãos de quartzo associado com forte alteração a ilita. E) Agregados de epidoto na cor verde clara (pistachita) associado com grãos de quartzo. F) Ilita de granulação fina e média sugerindo dois episódios hidrotermais de deposição diferentes. Presença de quartzo com bordas de reação com ilita fina. Legenda: Ep = epidoto, Qtz = quartzo, Chl = clorita, Cal = calcita, Ga = galena, Ill = sericita e Op = opaco.



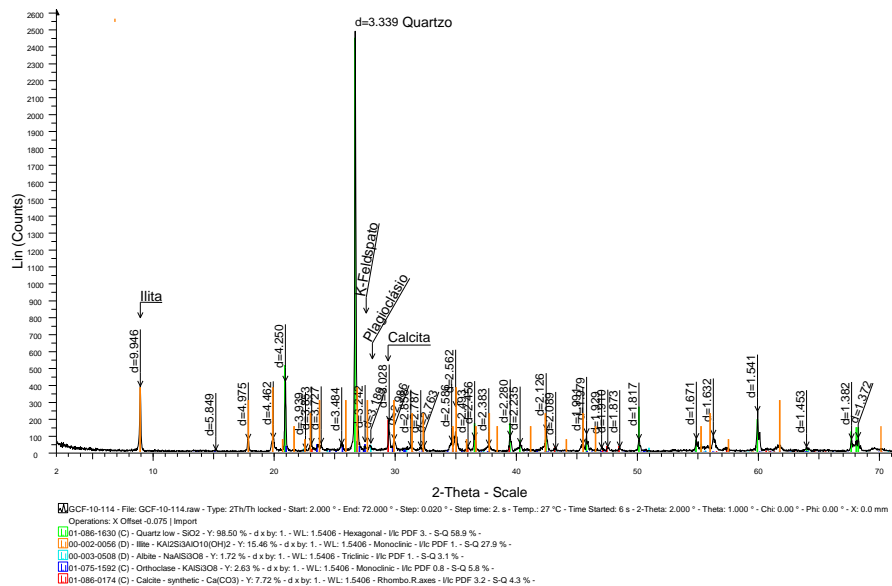
Fonte: autor.

Figura 27 – Fotomicrografias das texturas características das rochas portadoras das alterações do tipo de 3 (C, D, E e F) e 3.1 (A e B). Alteração é texturalmente destrutiva onde a estrutura granítica primária não é preservada. As transformações são associadas a forte alteração da rocha primária e também a deposição de uma assembleia mineral de alteração em um espaço vazio (possivelmente uma fratura de tração). A, B, C, D e E estão a nicóis cruzados e E a nicóis paralelos. A) Mostra agregados de minerais opacos associados com moderada concentração de clorita. B) Agregados de calcita associado com aglomerados de quartzo euédrico que sugerem serem produtos de silicificação. C) Fino veio de quartzo cortando cristal de quartzo sugerindo um evento hidrotermal de silicificação. D) Agregados de quartzo subédricos a euédricos associado com agregados de ilita. E) Agregados de minerais opacos associados com concentração moderada de clorita. F) Plagioclásio reliquiar com bordas de reação e parcialmente alterados a ilita de granulação fina. Presença de cristal reliquiar de zircão. Legenda: Ep = epidoto, Pl = plagioclásio, Qtz = quartzo, Chl = clorita, Cal = calcita, Zrn = zircão, Ill = ilita e Op = opaco.



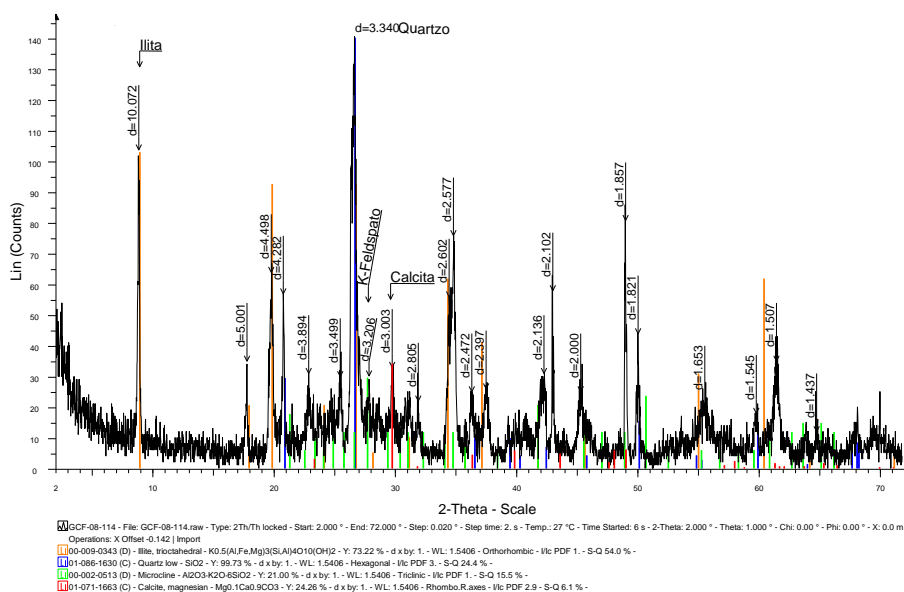
Fonte: autor.

Figura 28 – Difratoograma de raio x da amostra GCF-10-03 da rocha com alteração do tipo 3 com forte silicificação. A rocha apresenta 58,9% de quartzo, 27,9% de ilita, 5,8% de feldspato alcalino (ortoclásio), 4,3% de calcita e 3,1% de plagioclásio (albita).



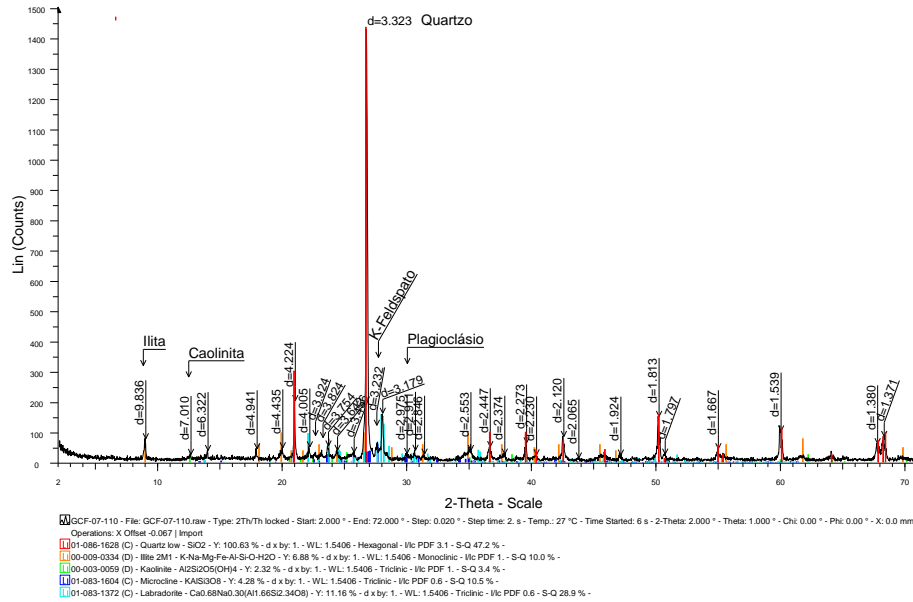
Fonte: autor.

Figura 29 – Difratoograma de raio x da amostra GCF-08-03 da rocha com alteração do tipo 3 com forte alteração a ilita. A rocha apresenta 54% de ilita, 24,4% de quartzo, 15,5% de feldspato alcalino (microclínio) e 6,1% de calcita.



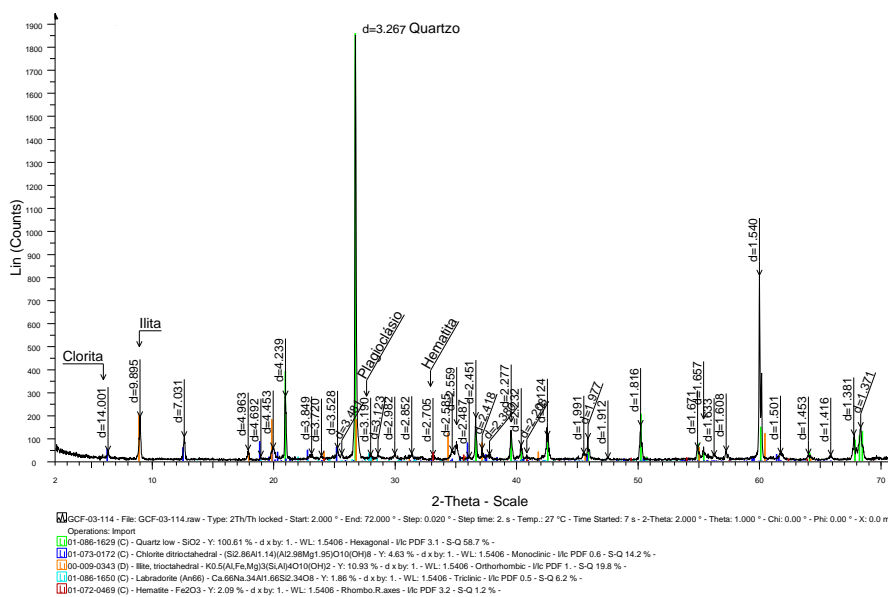
Fonte: autor.

Figura 30 – Difratoograma de raio x da amostra GCF-07-01 da rocha com alteração do tipo 3 com forte silicificação e presença de caulinita. A rocha apresenta 47,2% de quartzo, 28,9% de plagioclásio (labradorita), 10,5% de feldspato alcalino (microclínio), 10% de ilita e 3,4% de caulinita.



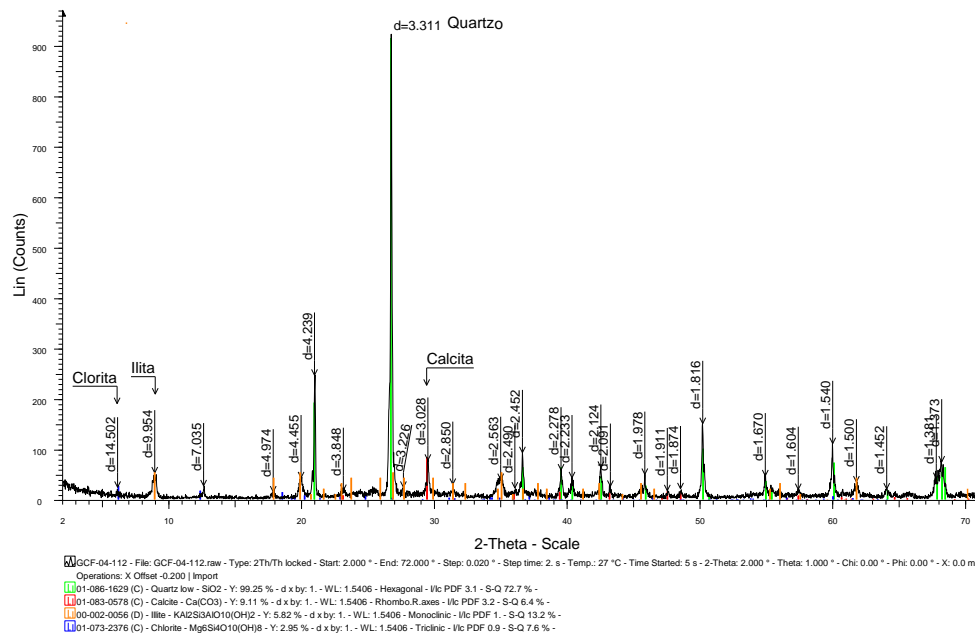
Fonte: autor.

Figura 31– Difratoograma de raio x da amostra GCF-03-03 da rocha com alteração do tipo 3 com forte silicificação e presença de clorita e hematita. A rocha apresenta 58,7% de quartzo, 19,8% de ilita, 14,2% de clorita, 6,2% de plagioclásio (labradorita) e 1,2% de hematita.



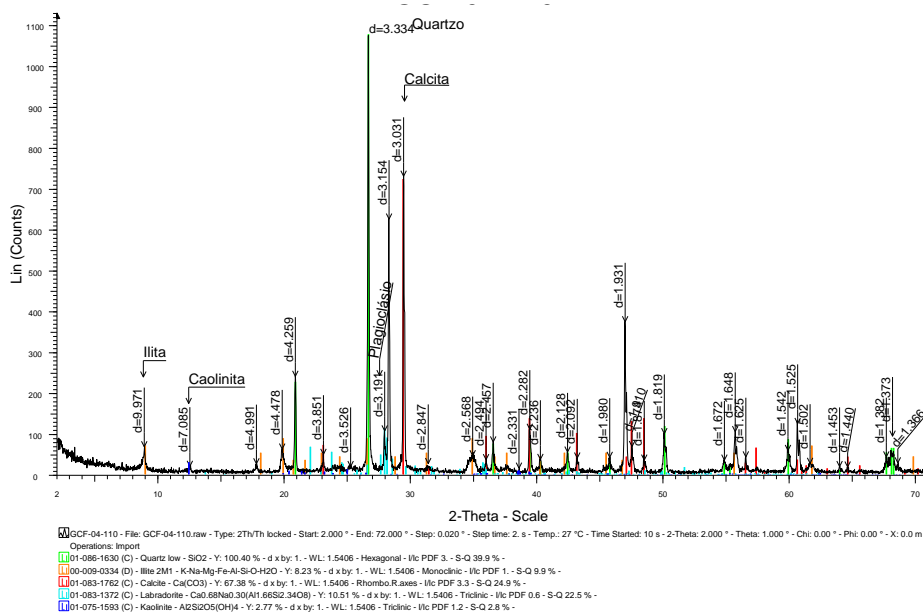
Fonte: autor.

Figura 32 – Difratoograma de raio x da amostra GC-04-02 da rocha com alteração do tipo 3.1 com forte silicificação e presença de clorita. A rocha apresenta 72,7% de quartzo, 13,2% de ilita, 7,6% de clorita e 6,4% de calcita.



Fonte: autor.

Figura 33 - Difratoograma de raio x da amostra GCF-04-01 da rocha com alteração do tipo 3.1 com moderada silicificação e presença de clorita e caulinita. A rocha apresenta 39,9% de quartzo, 24,9% calcita, 22,5% de plagioclásio (labradorita), 9,9% de ilita e 2,8% de caulinita.



Fonte: autor.

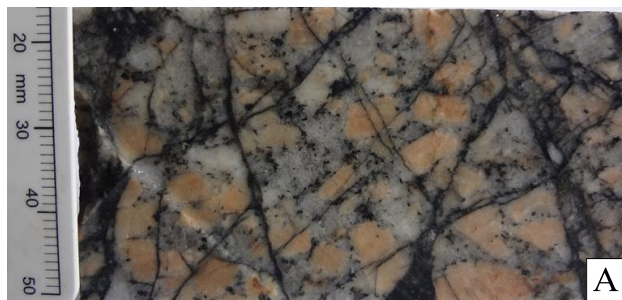
#### 9.1.3.5 Alteração do tipo 4

A rocha com alteração do tipo 4 apresenta-se moderadamente alterada por processos hidrotermais e é composta pela assembleia mineral: ilita(2-DRX), clorita (2), quartzo (1), calcita (1), epidoto (1) e sulfetos (1). A alteração preserva a estrutura primária do granito. Apresenta cor vermelha clara a rosa com moderada ilitização (predominante nos feldspatos alcalinos e plagioclásios) e parcial cloritização, sendo por vezes total, nos minerais máficos. Epidoto ocorre como agregados e está associado com as zonas cloritizadas. Presença de fraca silicificação que tende a aumentar e tornar-se moderada próximo a alteração do tipo 3. Ocorrem veios (<2cm de largura) de clorita-ilita-quartzo-calcita-óxidos que são estruturados por vezes no estilo *stockworks*. Os sulfetos ocorrem preferencialmente incluídos nos veios e de forma disseminada associados com as zonas cloritizadas. A Figura 34 apresenta as características da rocha portadora da alteração do tipo 4.

#### 9.1.3.6 Alteração do tipo 4.1

Os intervalos portadores da alteração do tipo 4.1 a rocha preserva vagamente a estrutura primária, cor que varia de vermelho a verde escuro e verde claro, ilitização moderada e cloritização parcial e por vezes total nos minerais máficos. Presença de fraca silicificação e veios (<2cm de largura) de ilita-clorita-quartzo-calcita-óxidos. Algumas porções ocorrem cristais de feldspatos alcalinos e plagioclásios imersos em uma matriz verde clara a escura composta de ilita-clorita-quartzo. Próximos aos veios ocorrem pequenos halos de alteração hidrotermal com moderada silicificação, forte alteração a ilita e por vezes moderada concentração de clorita que tende a ficar fraca à medida que se afasta dessas estruturas de preenchimento. Nos halos de alterações hidrotermais ocorrem concentrações moderadas a forte de sulfetos. Ocorrem sulfetos também como agregados submilimétricos a milimétricos inclusos nos veios. A Figura 35 apresenta as características das rochas portadoras da alteração do tipo 4.1.

Figura 34 – Amostras de rochas com presença de alteração do tipo 4. A) Rocha do furo DH-01 com moderada silicificação (próxima a alteração do tipo 3) e presença de veios de clorita-ilita-quartzo estruturadas no estilo *stockwork*. B) Rocha do furo DH-01 com fraca silicificação e presença de veios de clorita-ilita-quartzo-óxidos. Presença de pirita inclusa nos veios. C) Rocha do furo DH-02 com fraca silicificação e presença de veios de clorita-ilita-quartzo. Ocorrem agregados de calcita, pirita e arsenopirita incluída nos veios (<1cm de largura). D) Rocha do furo DH-02 com moderada silicificação (próxima a alteração do tipo 3) e presença de veios de clorita-ilita-quartzo estruturadas vagamente no estilo *stockwork*.



Furo DH-01  
De:62,50m Até:62,56m



Furo DH-01  
De:84,90m Até:85,00m



Furo DH-02  
De:81,00m Até:81,10m

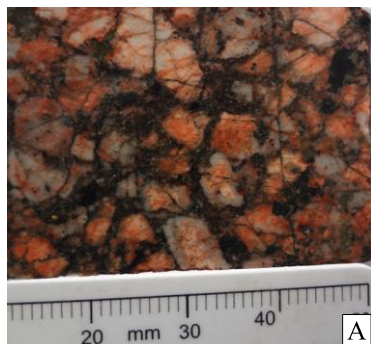


Furo DH-02  
De:115,10m Até:115,16m

Fonte: autor.



Figura 35 – Amostras de rochas com presença de alteração do tipo 4.1. A) Rocha do furo DH-01 com cristais de feldspatos alcalinos imersos em uma matriz verde escura constituída de clorita-ilita-quartzo. B) Rocha do furo DH-01 mostra a alteração a ilita dos feldspatos alcalinos e plagioclásios. C) Rocha do furo DH-02 apresenta os feldspatos alcalinos imersos em uma matriz verde escura constituída de clorita-ilita-quartzo. Presença de veio de clorita-ilita-quartzo  $\pm$  calcita com inclusões de pirita e pirrotita. D) Rocha do furo DH-02 mostra a alteração a ilita dos feldspatos alcalinos e plagioclásios. Presença de veio (<1cm de largura) de quartzo-ilita-clorita com inclusões de sulfetos. E) Rocha do furo DH-03 apresentando cor verde clara, moderada ilitização e silicificação. F) Rocha do furo DH-03 com presença de veio (<1cm de largura) de clorita-ilita-quartzo-calcita-sulfetos. Próximo ao veio ocorre forte alteração dos feldspatos alcalinos e plagioclásios a ilita e ocorre moderada concentração de sulfetos disseminados como agregados submilimétricos a milimétricos.



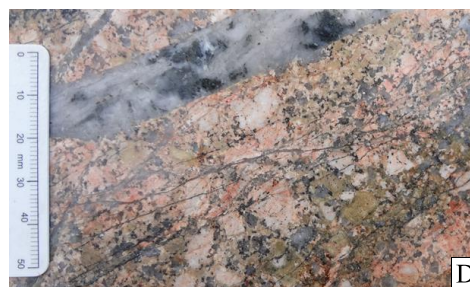
Furo DH-01  
De:140,95m Até:141,00m



Furo DH-01  
De:106,20m Até:106,25m



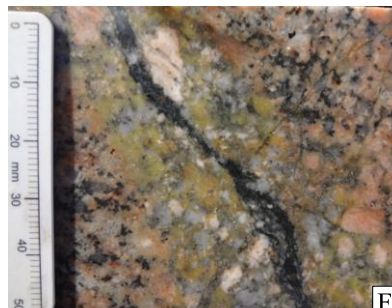
Furo DH-02  
De:136,00m Até:136,10m



Furo DH-02  
De:179,90m Até:190,00m



Furo DH-03  
De:13,10m Até:13,20m



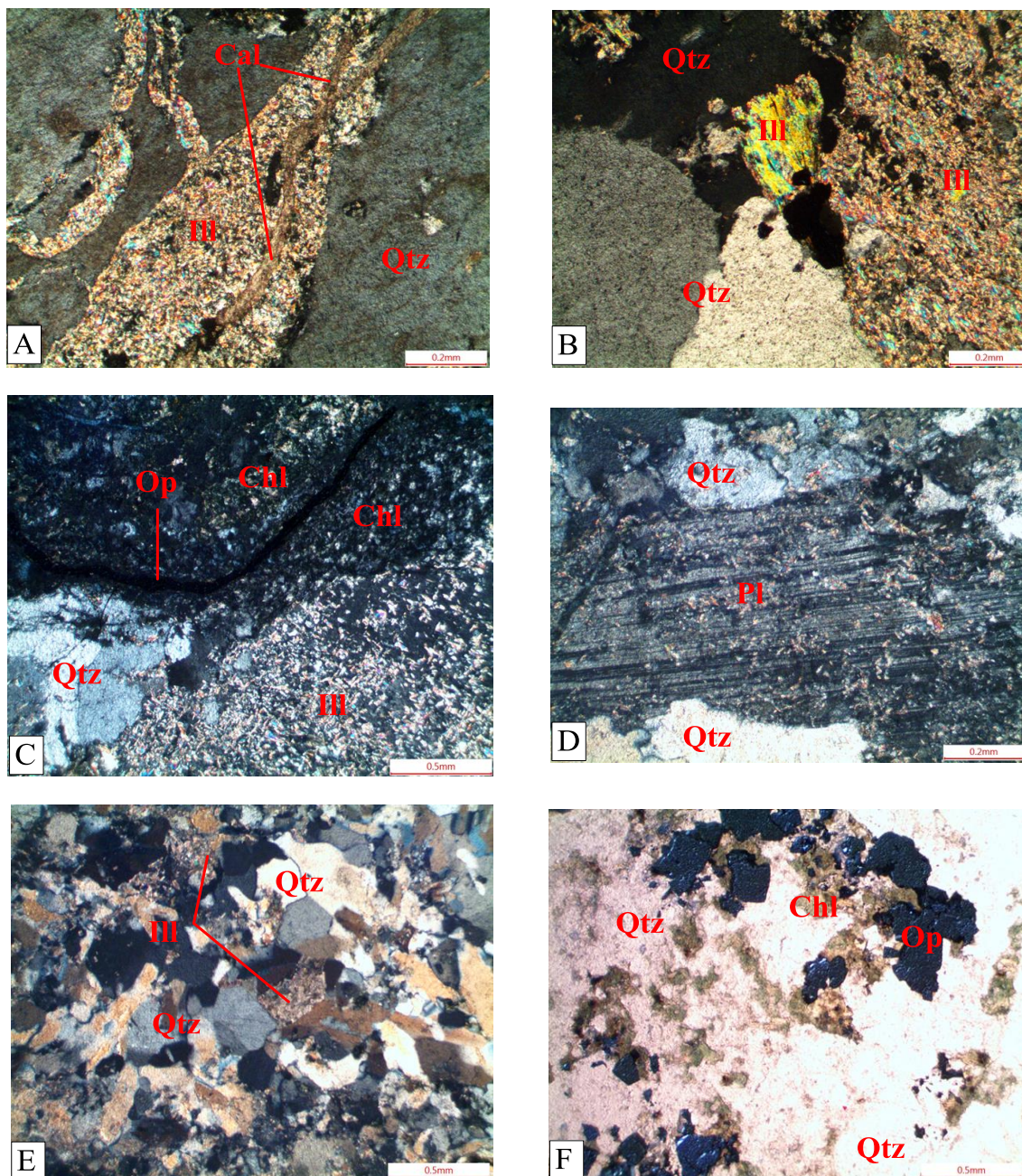
Furo DH-03  
De:230,20m Até:230,25m

As Figuras 36 e 37 apresentam algumas características microscópicas da alteração do tipo 4 e 4.1. Foram selecionadas duas amostras com alteração do tipo 4 e quatro com alteração do tipo 4.1 provenientes dos testemunhos de sondagem para serem estudadas ao microscópio. A rocha está moderadamente alterada por processos hidrotermais e apresenta textura primária moderadamente alterada. Os feldspatos alcalinos reliquias preservam a sua textura magmática pertítica e estão parcialmente e por vezes totalmente alterados a ilita. Presença de cristais reliquias de plagioclásios parcialmente alterados a ilita. Ocorrem agregados de clorita associado com minerais opacos (possivelmente sulfetos). Próximo as zonas com concentrações moderadas de clorita ocorrem agregados de epidoto. Epidoto apresenta cor verde clara na variedade pistachita. Calcita ocorre como agregados e na forma de veios (<1cm de largura) cortando os cristais de plagioclásios reliquias e de ilita hidrotermal, sugerindo um estágio mais tardio de alteração hidrotermal. Os cristais de quartzo são anédricos a subédricos e estão dispersos por toda rocha. No entanto, ocorrem cristais de quartzo euédrico que sugerem ser produto de alteração hidrotermal. Presença de finos veios (<1cm de largura) descontínuos de minerais opacos associados com clorita-ilita-calcita-óxidos. Os sulfetos também ocorrem de forma disseminada preferencialmente nos halos de alteração formado próximos aos veios.

As rochas portadoras das alterações do tipo 4 e 4.1 são estruturas moderadamente alteradas e também são hospedeiras do minério aurífero. Elas registram uma mudança gradual na intensidade da assembleia mineral de alteração sendo mais forte na medida em que se aproximam dos intervalos fortemente alterados portadores das alterações do tipo 3 e 3.1.

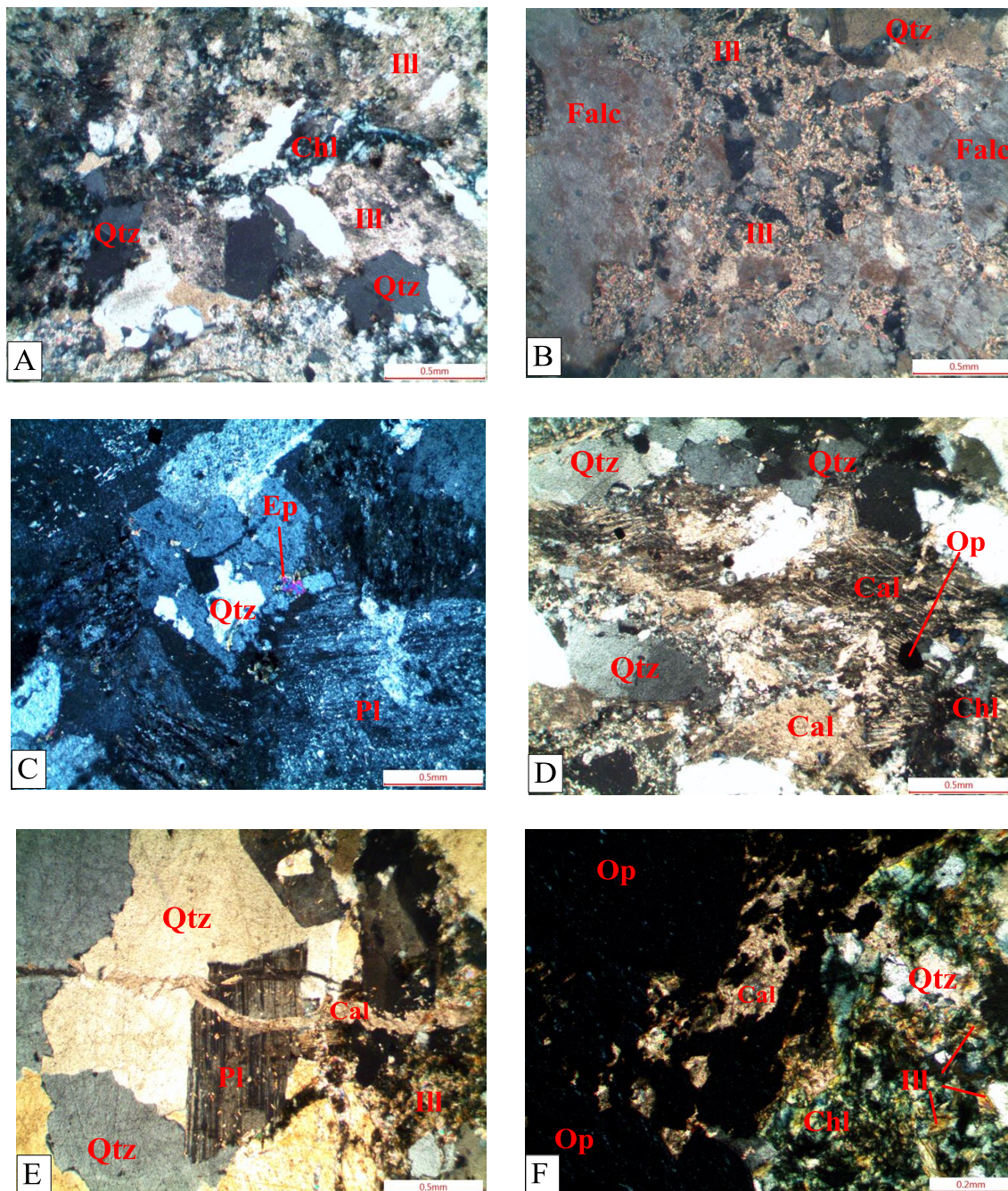
Uma amostra com alteração do tipo 4 e uma do tipo 4.1 provenientes dos testemunhos de sondagem foram selecionadas para serem estudadas na DRX. Observou-se que a ilita é o mineral de alteração predominante, variando de 3,2% na rocha com alteração do tipo 4 e 12% na rocha com alteração do tipo 4.1. Na amostra com alteração do tipo 4 ocorre 1,4% de clorita, já na amostra do tipo 4.1 ocorre 8,9%. Calcita ocorre apenas na amostra com alteração do tipo 4 na porcentagem de 0,5% em relação ao total de minerais. A quantidade de quartzo, plagioclásio e feldspatos alcalinos apresentados nas duas amostras estudadas sugere diferentes graus de intensidade da alteração hidrotermal.

Figura 36 – Fotomicrografias das texturas características da rocha portadora da alteração do tipo 4.1. Alteração é texturalmente retentiva onde a estrutura granítica primária é preservada. As transformações são predominantemente associadas aos minerais máficos e aos feldspatos alcalinos. A, B, C, D e E estão a nicóis cruzados e F a nicóis paralelos. A) Mostra veios (<1cm de largura) de calcita cortando aglomerados de ilita e cristais de quartzo sugerindo estar relacionada a um estágio mais tardio de alteração. B) Agregados de ilita de granulação fina e média sugerindo dois eventos hidrotermais de deposição diferentes. C) Filme de mineral opaco associado com clorita-ilita-quartzo. D) Plagioclásio parcialmente alterado a ilita. E) Agregados de quartzo com formas subédricas a euédricas sugerindo serem produtos de silicificação. F) Agregados de minerais opacos associados com concentração moderada de clorita. Legenda: Qtz = quartzo, Chl = clorita, Pl = plagioclásio, Cal = calcita, Ill = ilita e Op = opaco.



Fonte: autor.

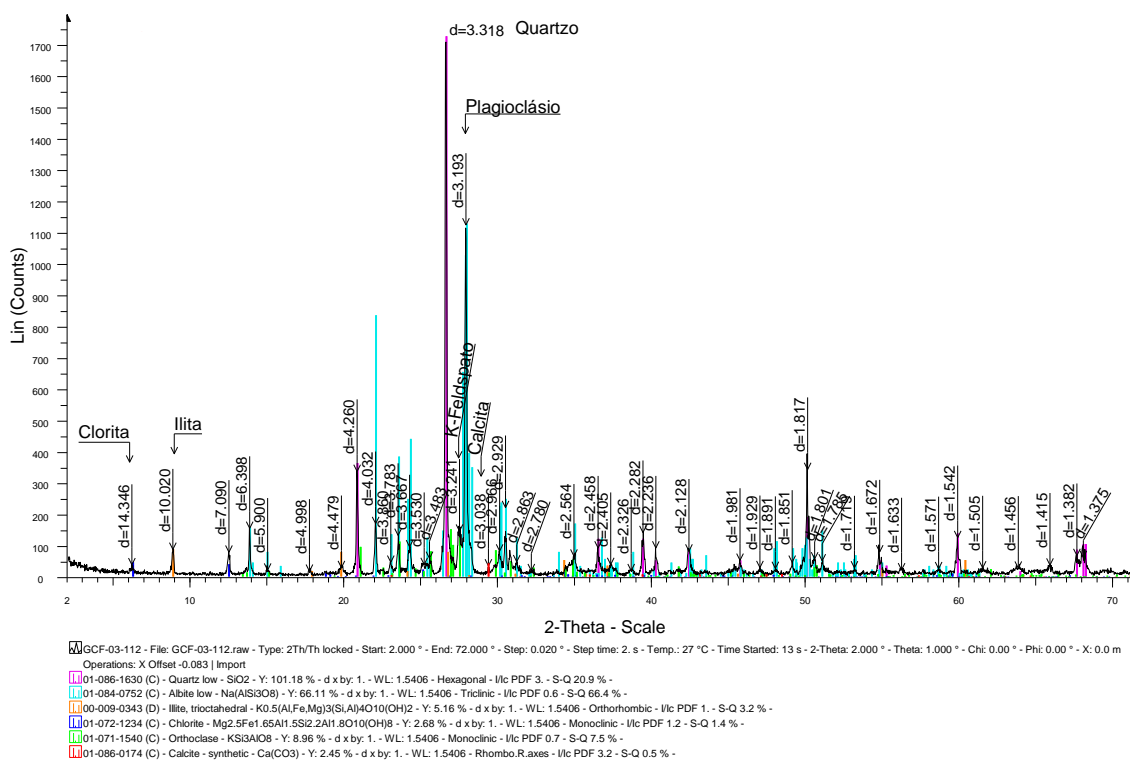
Figura 37 – Fotomicrografias das texturas características da rocha portadora das alterações do tipo 4.1 (A, B, C e D) e 4 (E e F). Alterações preservam a textura granítica primária. As transformações são predominantemente associadas aos minerais máficos e aos feldspatos alcalinos. A, B, C, D, E e F estão a nicóis cruzados. A) Mostra agregados de clorita associado com ilita e cristais de quartzo. B) Feldspato alcalino parcialmente alterado a ilita. C) Agregados de epidoto e alteração a ilita parcial do feldspato alcalino. D) Agregados de calcita com inclusões de minerais opacos associado com cristais de quartzo e agregados de clorita. E) Cristal de feldspato alcalino parcialmente alterado a ilita sendo cortado por veio (<1cm de largura) de calcita. F) Contato entre veio descontínuo de pirita (vista a olho nu) com a rocha granítica. Presença de forte concentração de clorita associada com ilita-quartzo-calcita. Legenda: Qtz = quartzo, Chl = clorita, Cal = calcita, Falc = feldspato alcalino, Pl = Plagioclásio, Ep = epidoto, Ill = ilita e Op = opaco.



Fonte: autor.

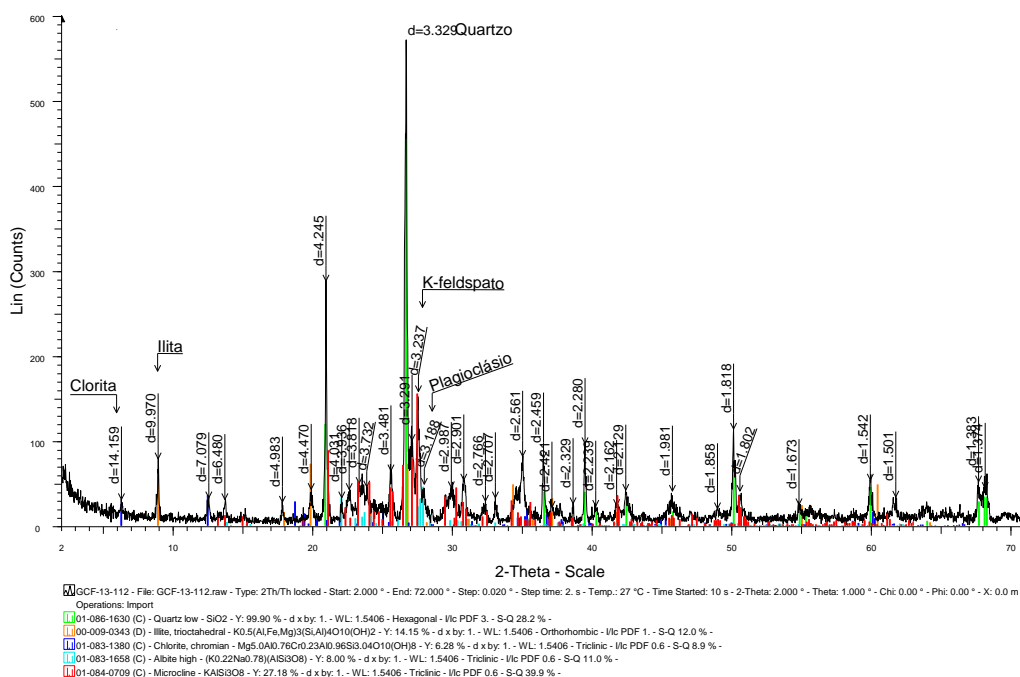
No entanto, na amostra do tipo 4.1 apresenta 28,2% de quartzo e sugere um pequeno enriquecimento de sílica que pode ser produto de uma discreta silicificação. Os feldspatos alcalinos e plagioclásios presentes sugerem serem reliquias da rocha primária. Nas Figuras 38 e 39 são apresentados os difratogramas das análises de DRX das amostras com alteração do tipo 4 e 4.1 respectivamente. As proporções dos minerais na rocha são apresentadas em porcentagem.

Figura 38 – Difratograma de raio x da amostra GCF-03-02 da rocha com alteração do tipo 4 com presença de calcita. A rocha apresenta 21% de quartzo, 66% de plagioclásio (albita), 7,5% de feldspato alcalino (ortoclásio), 3,2% de ilita, 1,4% de clorita e 0,5% de calcita.



Fonte: autor.

Figura 39 – Difratoograma de raio x da amostra GCF-13-02 da rocha com alteração do tipo 4.1 com presença de fraca silicificação. A rocha apresenta 28,2% de quartzo, 39,9% de feldspato alcalino (microclínio), 11% de plagioclásio (albita), 12% de ilita e 8,9% de clorita.

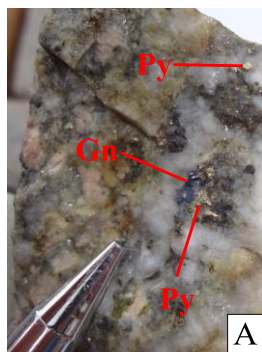


Fonte: autor.

### 9.1.3.7 Discussão

A pirita é o sulfeto dominante em todas as alterações hidrotermais identificadas. No entanto, ocorre a presença de cristal milimétrico de galena no intervalo de 72,80-72,86m portador da alteração do tipo 3 no furo DH-01. Presença de arsenopirita, pirrotita e calcopirita nos intervalos portadores das alterações do tipo 4 e 4.1 no furo DH-02. Na geoquímica de rocha total do testemunho de sondagem ocorre no intervalo de 108,00-125,00m do furo DH-02 teores de molibdênio (Mo) variando de 44,21 partes por milhão (ppm) a 102,09ppm. Os teores elevados de Mo estão presentes nos intervalos com as alterações do tipo 4 e 4.1 e sugere a presença do mineral molibdênita. Sendo assim, de acordo com a revisão de depósitos modelos feita neste trabalho (Seção 7.3 – Características dos depósitos modelos), o único depósito que ocorre molibdênita como parte da assembleia mineral de alteração é o depósito do tipo cobre pórfiro. Essa ideia descarta a princípio a hipótese de enquadrar a área de estudo em depósitos do tipo epitermal. Na Figura 40 são apresentados alguns intervalos com presença de sulfetos.

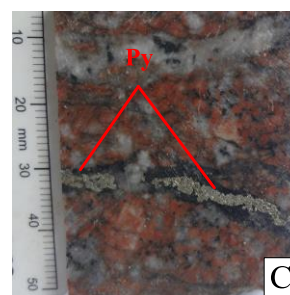
Figura 40 – Intervalos nos testemunhos de sondagem que ocorrem sulfetos. A) Rocha do furo DH-01 portadora da alteração do tipo 3 com presença de cristais milimétricos de pirita e galena. B) Rocha do furo DH-01 com presença da alteração do tipo 4.1 com presença de pirita milimétrica incluída dentro do veio. C) Rocha do furo DH-02 portadora da alteração do tipo 4 com presença de veio descontínuo de pirita. D) Rocha do furo DH-02 portadora da alteração do tipo 4 com presença de pirita e arsenopirita incluída nos veios. E) Rocha do furo DH-02 com presença da alteração do tipo 4.1 mostrando vários cristais milimétricos de pirita incluídos no veio. F) Rocha do furo DH-03 com presença da alteração do tipo 4.1 mostrando calcopirita como inclusão no veio e pirita disseminada no halo de alteração hidrotermal. G e H) Amostras do furo DH-03 com presença da alteração do tipo 4.1 onde ocorre aglomerados milimétricos de pirita e *boxwork* de quartzo parcialmente preenchido por pirita. Legenda: Py = pirita, Gn = galena, Apy = arsenopirita e Cp = calcopirita.



Furo DH-01  
De:72,80m Até:72,86m



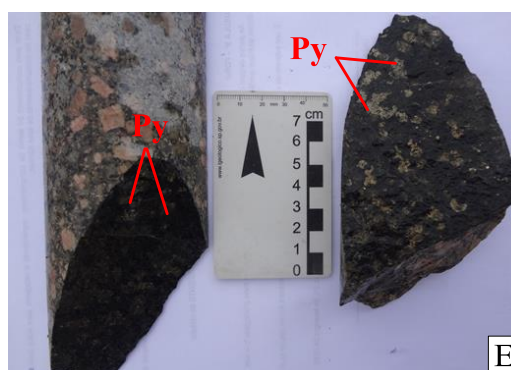
Furo DH-01  
De:84,90m Até:85,00m



Furo DH-02  
De:81,00m Até:81,05m



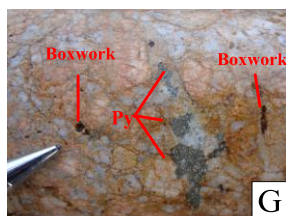
Furo DH-02  
De:81,00m Até:81,10m



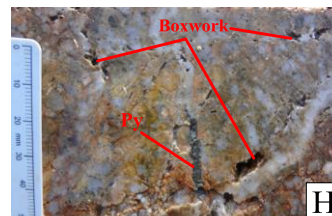
Furo DH-02  
De:136,30m Até:136,40m



Furo DH-03  
De:230,20m Até:230,25m



Furo DH-03  
De:11,50m Até:11,70m



Fonte: autor.

A rocha fracamente alterada apresenta diferentes graus de alteração do tipo 2 e 2.1, sendo frequentemente um grau mais forte de alteração próximo das zonas com presença das alterações do tipo 4 e 4.1. Essas alterações (2 e 2.1) possuem assembleia mineral de alteração composta de clorita, illita, epidoto, calcita,  $\pm$  sulfetos (pirita é o sulfeto dominante) e  $\pm$  hematita. A assembleia mineral das alterações do tipo 2 e 2.1 apresenta certa similaridade com a assembleia mineral encontrada na alteração propilítica nos depósitos do tipo cobre pórfiro composta por clorita, calcita, albita,  $\pm$  epidoto, sulfetos (pirita é o sulfeto dominante) e minerais não essenciais como ( $\pm$  sericita  $\pm$  montmorilonita  $\pm$  hematita), conforme a revisão de depósitos do tipo cobre pórfiro feita por Bongioiolo (2006). Isso sugere que as alterações do tipo 2 e 2.1 são equivalente a alteração do tipo propilítica encontrada nos depósitos do tipo pórfiro. A Tabela 6 apresenta de uma forma mais clara a semelhança da assembleia mineral da alteração do tipo 2 e 2.1 com a assembleia mineral da alteração propilítica encontrada nos depósitos do tipo cobre pórfiro. Apenas a magnetita e a montmorilonita ocorrem apenas na alteração propilítica. No entanto, a alta susceptibilidade magnética presente nas alterações do tipo 2 e 2.1 sugere a presença de magnetita.

Tabela 6 – Comparação entre a assembleia mineral das alterações do tipo 2 e 2.1 com a alteração propilítica dos depósitos do tipo cobre pórfiro. Os retângulos vermelhos representam a presença dos minerais de alteração em cada tipo de alteração.

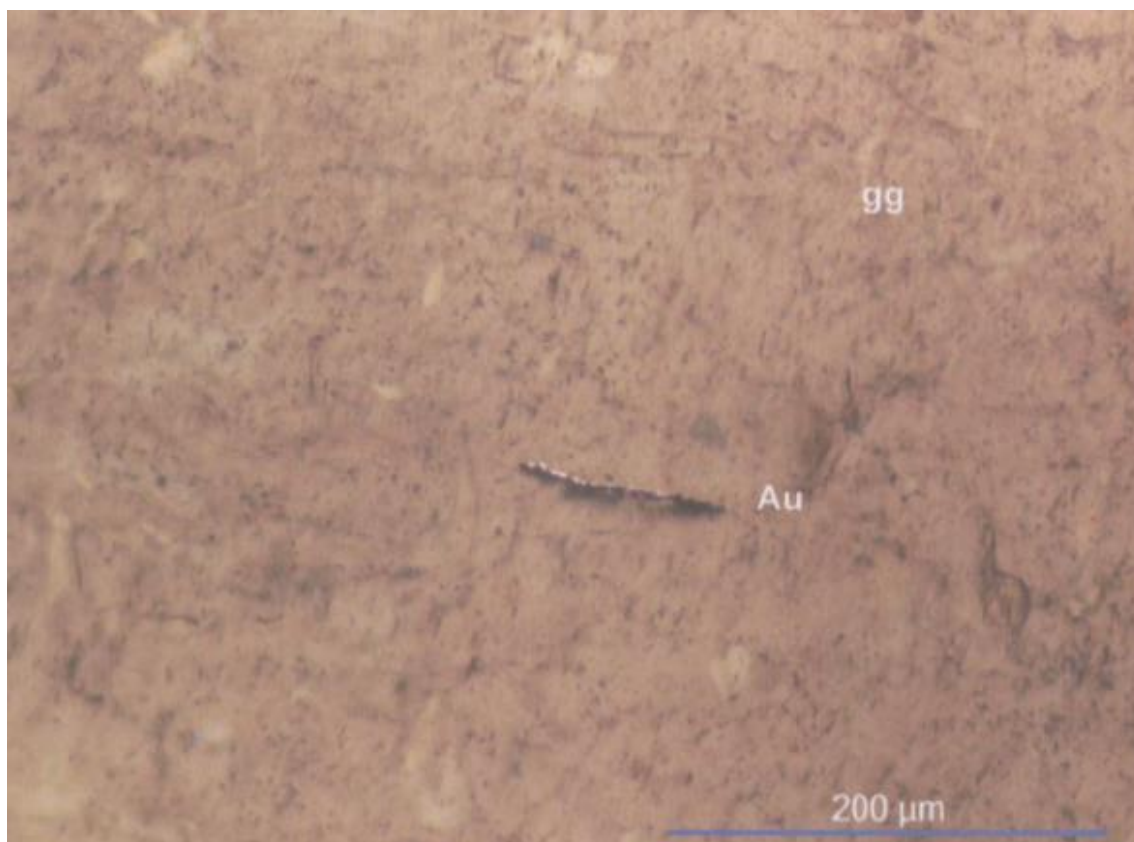
Assembleia Mineral	Alteração 2 e 2.1	Alteração Propilítica
Clorita		
Illita (sericita)		
Epidoto		
Calcita		
Sulfetos		
Magnetita		
Montmorilonita		
Hematita		

Fonte: autor.



A rocha portadora da alteração do tipo 4 apresenta inúmeros veios (<2cm de largura) estruturadas por vezes no estilo *stockwork*. Os intervalos portadores desse tipo de alteração apresentam assembleia mineral constituída de illita (DRX), clorita, quartzo, calcita, epidoto e sulfetos. Os sulfetos ocorrem preferencialmente incluídos nos veios e em menor parcela de forma disseminada associados com as zonas cloritizadas. Esse tipo de alteração por vezes se encontra mineralizado em ouro nas zonas próximas das rochas portadoras das alterações do tipo 3 e 3.1. No furo DH-01 (60,90-60,95m) ocorre na alteração do tipo 4 ouro livre como fina lâmina (<100 micras) incluído no cristal de microclínio (Figura 41). A alteração do tipo 4 apresenta similaridade com a alteração potássica silicática encontrada nos depósitos do tipo cobre pórfiro. A alteração potássica silicática nos depósitos do tipo cobre pórfiro apresenta assembleia mineral composta de quartzo, feldspato alcalino e biotita hidrotermal,  $\pm$  sericita e  $\pm$  anidrita, conforme a revisão de depósitos do tipo cobre pórfiro feita por Bongiolo (2006). Algumas assembleias podem conter actinolita, clorita, albita e raramente epidoto. Os sulfetos ocorrem em veios e disseminados na zona potássica silicática, similar como ocorre nas zonas com alteração do tipo 4. Nas zonas com alteração potássica silicática é identificado uma variedade de gerações de veios de quartzo estruturalmente controladas ou no estilo *stockwork*, análoga como ocorre nos intervalos portadores das alterações do tipo 4. Os intervalos portadores das alterações do tipo 4.1 por vezes apresentam teores anômalos de ouro (forte associação com uma estrutura de preenchimento) e sugerem ser uma variação da alteração do tipo 4 com menor quantidade de veios.

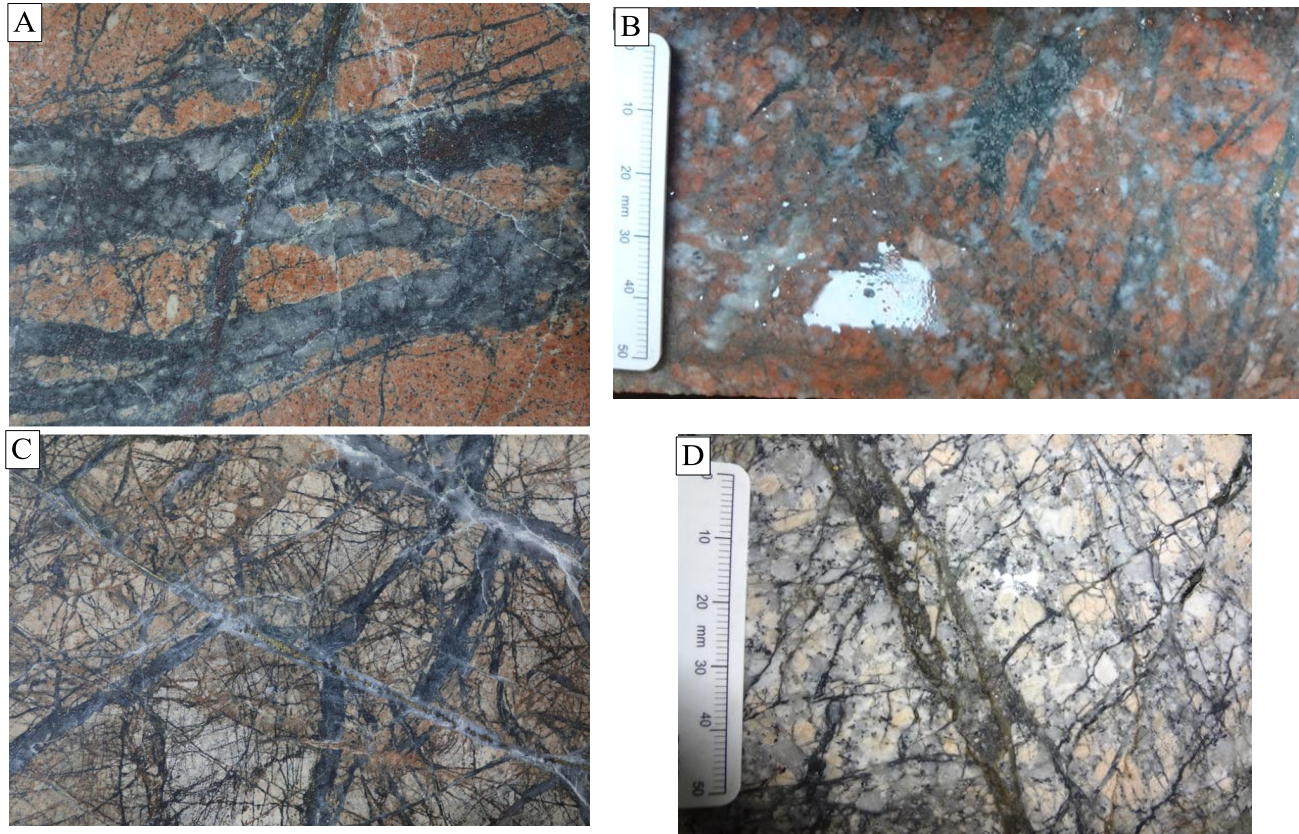
Figura 41 – Fotomicrografia sob a luz refletida da rocha do furo DH-01 no intervalo 60,90-60,95m portador da alteração do tipo 4 com presença de lâmina de ouro nativo livre de tamanho inferior a 100 micras incluído no cristal de microclínio do granito. Lenda: gg = granito e Au = ouro.



Fonte: Amarillo Gold (2008).

Na Figura 42 é apresentada uma imagem de amostras representativas da alteração potássica silicática do depósito do tipo pórfiro de cobre e ouro no Complexo Ígneo de Goonumbla, Novo Wales do Sul, Austrália (KELLEY, 2016). Ao lado estão dispostas amostras com alteração do tipo 4 para fins de comparação visual. Pode-se notar certa semelhança entre os dois tipos de rocha hidrotermalizadas oriunda de lugares diferentes. Em ambas as rochas hidrotermalizadas ocorrem estruturas de preenchimento associadas com sulfetos como inclusões. No entanto, as rochas do Complexo Ígneo de Goonumbla apresentam mais veios estruturados no estilo stockwork do que as rochas com alteração do tipo 4 na Mina Caneleira. Verifica-se também, que as cores vermelhas e rosas e as texturas de ambas as rochas de locais diferentes apresentam semelhanças visuais muito próximas.

Figura 42 – Amostras de rocha com presença de alteração hidrotermal do Complexo Ígneo de Goonumbla (A e C) e da Mina Caneleira (B e D). A) Alteração potássica silicática no quartzo-monzonito pórfiro sendo cortado por intensos veios no estilo stockwork de quartzo-bornita (KELLEY, 2016). B) Rocha do furo DH-02 (81,00-81,10m) com alteração do tipo 4 cortado por veios de clorita-ilita-quartzo-calcita com inclusões de pirita e arsenopirita. C) Quartzo-monzonito pórfiro cortado por intensos veios no estilo stockwork de quartzo-bornita-calcopirita com presença local de ortoclásio hidrotermal. Sobreposta a alteração potássica, ocorre uma fase final de alteração a sericita pervasiva (KELLEY, 2016). D) Rocha do furo DH-01 (62,60-62,70m) portadora da alteração do tipo 4 cortada por veios de clorita-ilita-quartzo-calcita estruturadas no estilo stockwork com inclusões de pirita.



Fonte: autor.

Em comparação com as rochas fracamente alteradas com alterações do tipo 2 e 2.1 (média de 0,168% de potássio), as rochas com alterações do tipo 4 e 4.1 apresentam certo enriquecimento em potássio (média de 0,228% de potássio). Isso pode sugerir a presença de biotita hidrotermal e sustenta a hipótese de que zonas portadoras das alterações do tipo 4 e 4.1 são equivalentes a alteração do tipo potássica silicática. Cabe mencionar que nas amostras selecionadas da alteração do tipo 4 e 4.1 não foram encontrado biotitas produtos de alteração hidrotermal. No entanto, um estudo mais detalhado e uma amostragem mais densa dessas zonas de alteração poderá revelar com certeza a presença ou não desse mineral característico da alteração potássica silicática presente nos depósitos do tipo cobre pórfiro. A Tabela 7 apresenta de uma forma mais clara a semelhança da assembleia mineral da alteração do tipo 4 e 4.1 com a assembleia mineral da alteração potássica silicática encontrada nos depósitos do tipo cobre pórfiro.

Tabela 7 – Comparação entre a assembleia mineral das alterações do tipo 4 e 4.1 com a assembleia mineral da alteração potássica silicática dos depósitos do tipo cobre pórfiro. Os retângulos amarelos representam a presença dos minerais de alteração em cada tipo de alteração.

Assembleia Mineral	Alteração 4 e 4.1	Alteração Potássica Silicática
Ilita (sericita)	Amarelo	Amarelo
Clorita	Amarelo	Amarelo
Quartzo	Amarelo	Amarelo
Calcita	Amarelo	Amarelo
Epidoto	Amarelo	Amarelo
Sulfetos	Amarelo	Amarelo
Biotita Hidrotermal	Amarelo	Amarelo
Actinolita	Amarelo	Amarelo
Albita	Amarelo	Amarelo
K-Feldspato	Amarelo	Amarelo
Magnetita	Amarelo	Amarelo
Anidrita	Amarelo	Amarelo

Fonte: autor.

As alterações do tipo 3 e 3.1 sugerem ser equivalente a zona de alteração fílica encontrada nos depósitos do tipo cobre pórfiro, conforme a revisão de depósitos do tipo cobre pórfiro feita por Bongiolo (2006). Nos três tipos de alterações (3, 3.1 e fílica) ocorre a assembleia mineral de alteração predominante composta por quartzo-sericita-sulfetos. Na área de estudo grande parte do minério está relacionada a alterações do tipo 3 e 3.1 que é análogo a zonas com alteração fílica que constitui a maior porção do minério nos depósitos do tipo cobre pórfiro. A pirita é o sulfeto dominante nos três tipos de alterações. Os sulfetos ocorrem de forma disseminada e como veios irregulares e descontínuos. Com base na geoquímica de rocha total dos testemunhos, a zonas portadoras desse tipo de alteração apresentam em média 0,33% de potássio, o que em comparação com a rocha fracamente alterada (média de 0,168% de potássio), sugere um forte enriquecimento deste elemento químico. A Tabela 8 apresenta de uma forma mais clara a semelhança da assembleia mineral da alteração do tipo 3 e 3.1 com a assembleia mineral da alteração fílica encontrada nos depósitos do tipo cobre pórfiro.

Tabela 8 – Comparação entre a assembleia mineral das alterações do tipo 4 e 4.1 com a assembleia mineral da alteração potássica silicática dos depósitos do tipo cobre pórfiro. Os retângulos amarelos representam a presença dos minerais de alteração em cada tipo de alteração.

Assembleia Mineral	Alteração 3 e 3.1	Alteração Fílica
Ilita (sericita)	Presente	Presente
Quartzo	Presente	Presente
Epidoto	Presente	Ausente
Calcita	Ausente	Ausente
Sulfetos	Presente	Presente
Clorita	Ausente	Ausente
Caulinita	Ausente	Ausente
Hematita	Ausente	Ausente

Fonte: autor.

Segundo o modelo de Mexias (2000) para evolução da região de Lavras do Sul, o nível erosional atual da superfície é representado por uma seção inclinada com mergulho para SW e direção próxima de NW. Gastal e Lafon (1998) defendem essa ideia com base na ausência de

rochas vulcânicas da Formação Hilário na porção oeste e devido a forma elíptica do Complexo Intrusivo Lavras do Sul (CILS) em relação a sua forma natural sugerida como sendo aproximadamente esférica. Com base nessa ideia de evolução proposta por Mexias (2000) e Gastal e Lafon (1998), a região da Mina Caneleira apresenta exposição das rochas formadas em diferentes profundidades. Essa hipótese explicaria a presença de alteração do tipo potássica silicática e alteração fílica formadas em níveis profundos dos depósitos do tipo cobre pórfiro ocorrerem a pequenas profundidades na Mina Caneleira.

Com as análises de Difractometria de Raio X foi possível identificar as principais fases minerais de alteração nas rochas na Mina Caneleira. No entanto, alguns dos minerais de alteração identificados na análise petrográfica não foram identificados na DRX. A não ocorrência do mineral identificado na petrografia na análise DRX pode ser devido a minerais com fases modais abaixo do limite de detecção do aparelho.

Os processos hidrotermais que atuaram na Mina Caneleira deixaram fossilizadas mineralogias, texturas e assembleias minerais, que muitas vezes estão superpostas nas rochas hospedeiras do minério. A seguir é descrito na ordem cronológica os eventos hidrotermais mais importantes identificados nas rochas hidrotermalizadas na área de estudo:

- Cloritização: transformação dos minerais máficos primários do granito em clorita.
- Sericitização: esse processo sugere ser o principal processo de alteração e de mineralização aurífera. Alteração com alto poder destrutivo com intensa transformação do feldspato alcalino magmático em ilita de granulação fina. Nessa alteração também ocorre a deposição de sulfetos. Posteriormente relacionado ao mesmo evento, só que a um estágio mais tardio, ocorre a deposição de ilita de granulação média.
- Silicificação: esse processo hidrotermal sugere por vezes ser contemporâneo com a sericitização. Ocorre o intenso enriquecimento de sílica com substituição da mineralogia primária da rocha por quartzo hidrotermal.
- Carbonatação: cristalização tardia de calcita na forma de finos veios (<1cm de largura). Calcita também ocupa espaços vazios deixados pelas outras alterações formando agregados submilimétricos a milimétricos.

## 9.2 Análise estrutural

De acordo com a revisão bibliográfica, as mineralizações no Complexo Intrusivo Lavras do Sul e suas encaixantes ocorrem na direção preferencial WNW-ESE (CARVALHO, 1932; GOÑI, 1961; KAUL & FIR°, 1974; REISCHEL, 1980; MEXIAS, 2000; BONGIOLO, 2006). Entretanto, perpendicular à direção dominante, o granito e a encaixante apresentam uma série de fraturas NE-SW que incluem zonas mineralizadas na Mina Dourada (CARVALHO, 1932). A seguir, a Tabela 9 resume as direções das mineralizações identificadas por cada autor que estudou a região.

Tabela 9 – Direção das mineralizações de acordo com cada autor e com a divisão do CGL feita por Nardi (1984).

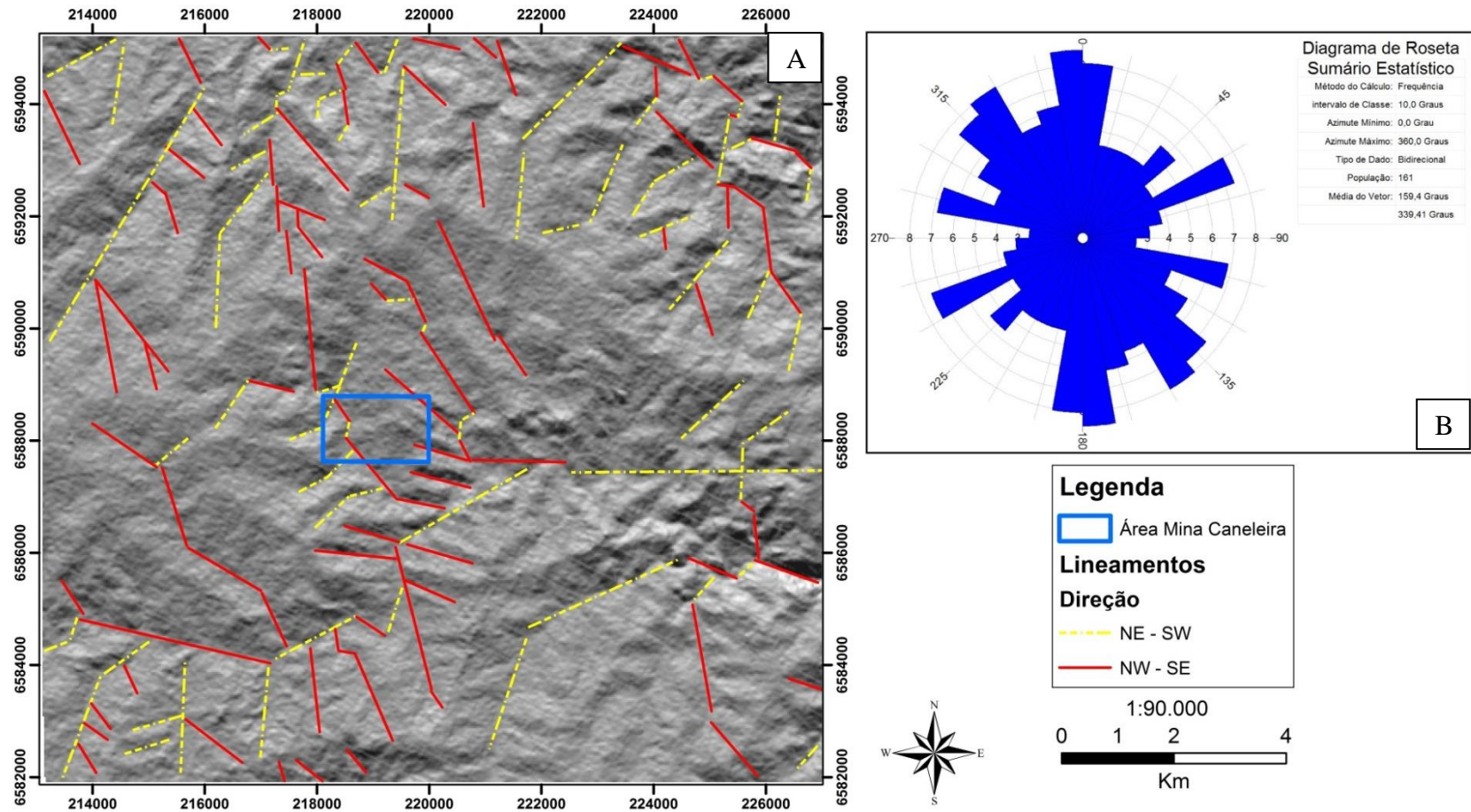
Autor	Granito Central	Granito Transicional	Pertita Granito	Encaixante
Carvalho (1932)	N50°W	N50°W e N50°E	N50°W	N50°W
Goñi (1961)	NW	NW	NW	NW
Kaul & Zir F°. (1974)	E - W	E - W	E - W	E - W
Reischel (1980)	N60°W	N60°W	E - W	-
Mexias (2000)	-	-	E - W ±20	-
Bongiolo (2006)	N40°W a E - W	N40°W, E - W e NE	N40°W a E - W	N40°W, E - W e NE

Fonte: autor.

Na região da Mina Caneleira ocorrem lineamentos predominantes na direção noroeste. No entanto, foi possível identificar lineamentos marcantes na direção nordeste. Para a direção NW-SE foram identificados 89 lineamentos que apresentam azimute variando de 091°-271° até 178°-358° e comprimento variando de 98 metros até 3475 metros. Já para a direção NE-SW, foram identificados 73 lineamentos com azimute variando de 002°-182° até 089-269° e comprimentos variando de 106 metros até 5348 metros. Próximo da área de estudo é possível identificar seis lineamentos NW-SE paralelos e espaçados regularmente entre si por aproximadamente 500 metros. A área estudada é interceptada por quatro lineamentos com direção NW e três com direção NE. Na área da Mina Caneleira não foi encontrado zonas de falhas caracterizadas por intensa cataclase. A Figura 43 apresenta dois mapas de relevo sombreado iluminados nos azimutes 045° e 315°, para ressaltar as estruturas noroeste e nordeste, respectivamente. Os mapas foram sobrepostos através de transparência de 60% no iluminado na direção 315° e 15% no iluminado na direção 045°.

Figura 43 – Lineamentos na região da Mina Caneleira. A) Mapas de relevo sombreado sobrepostos com os traços dos principais lineamentos. Os traços contínuos representam os lineamentos com direção NW-SE e os traços pontilhados os de direção NE-SW. B) Diagrama de Roseta das direções dos lineamentos.

### Lineamentos na região da Mina Caneleira





A estrutura com direção NW-SE posicionada no sudeste da área de estudo está concordante com a direção da zona de alteração hidrotermal mapeada pela empresa Amarillo Gold. Entretanto, esse lineamento não é visível na superfície e sugere que ele esteja coberto por uma camada de solo. Por imagem de satélite do *Google Earth Pro* é possível inferir a continuidade de alguns lineamentos através de zonas lineares onde aflora água na superfície. A Figura 44 apresenta a imagem do *Google Earth Pro* com os lineamentos inferidos por sensoriamento remoto.

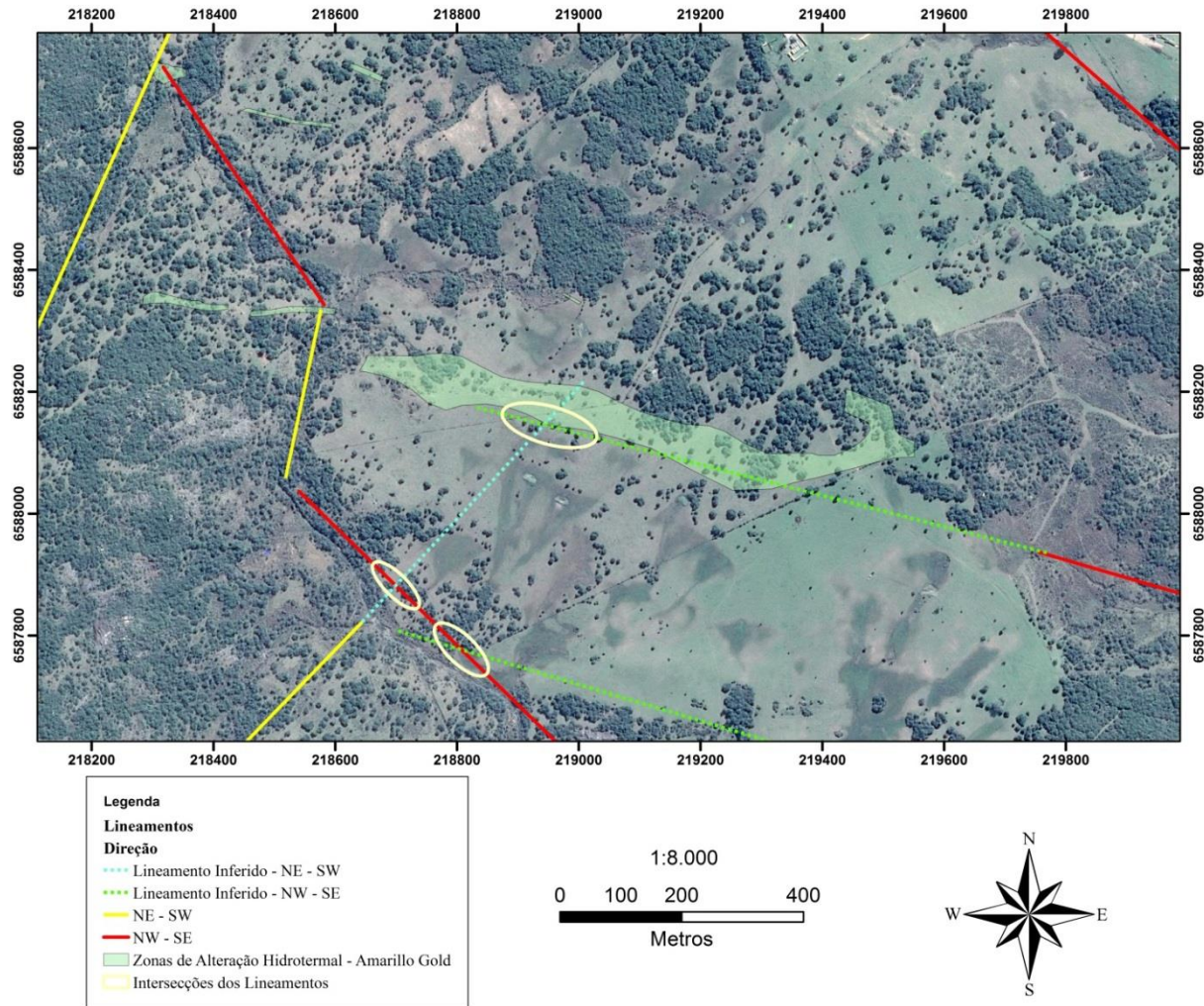
Foi possível inferir três lineamentos, um na direção nordeste e dois na direção noroeste. Os lineamentos inferidos de direção NW-SE intersectam lineamentos com direções NE-SW e os de direção NE-SW intersectam lineamentos de direção NW-SE. Na área da Mina Caneleira foram identificadas três intersecções de lineamentos. Uma das intersecções ocorre próximo da zona de alteração hidrotermal mineralizada em ouro provada através de furos de sondagem realizados pela empresa Amarillo Gold (Figura 45). Os furos de sondagem localizados longe da zona de influência de intersecção dos lineamentos apresentam alteração hidrotermal, mas não estão mineralizados em ouro. Isto sugere uma relação positiva das intersecções dos lineamentos com as zonas de alteração hidrotermal portadora de mineralização aurífera.

Gastal *et al.* (2015) identificaram que as estruturas rúpteis ativadas durante regime sinistral da Zona de Falha Palma Jaques (ZFPJ) com direção WNW-ESE, localizada a norte da Mina Caneleira, constituem o principal controle da mineralização no distrito aurífero de Lavras do Sul. Segundo aqueles autores, as mineralizações estão distribuídas próximas ou nas intersecções de falhas WNW-ESE ( $\pm$ NW-SE) com as NE-SW e NNE-SSW, situação equivalente à encontrada por sensoriamento remoto na Mina Caneleira.

Em escala de afloramento foram coletadas 106 medidas de direções e mergulhos de fraturas. As fraturas apresentam direção dominante WNW-ESE e em menor parcela a direção NE-SW. Todas as fraturas apresentam alto ângulo, com média de 75° de mergulho, principalmente para direção E-SE. Na Figura 46 é apresentado o Diagrama de Roseta e o Diagrama de Schmitd-Lambert (hemisfério inferior) com a direção dos mergulhos das fraturas medidas na etapa de campo.

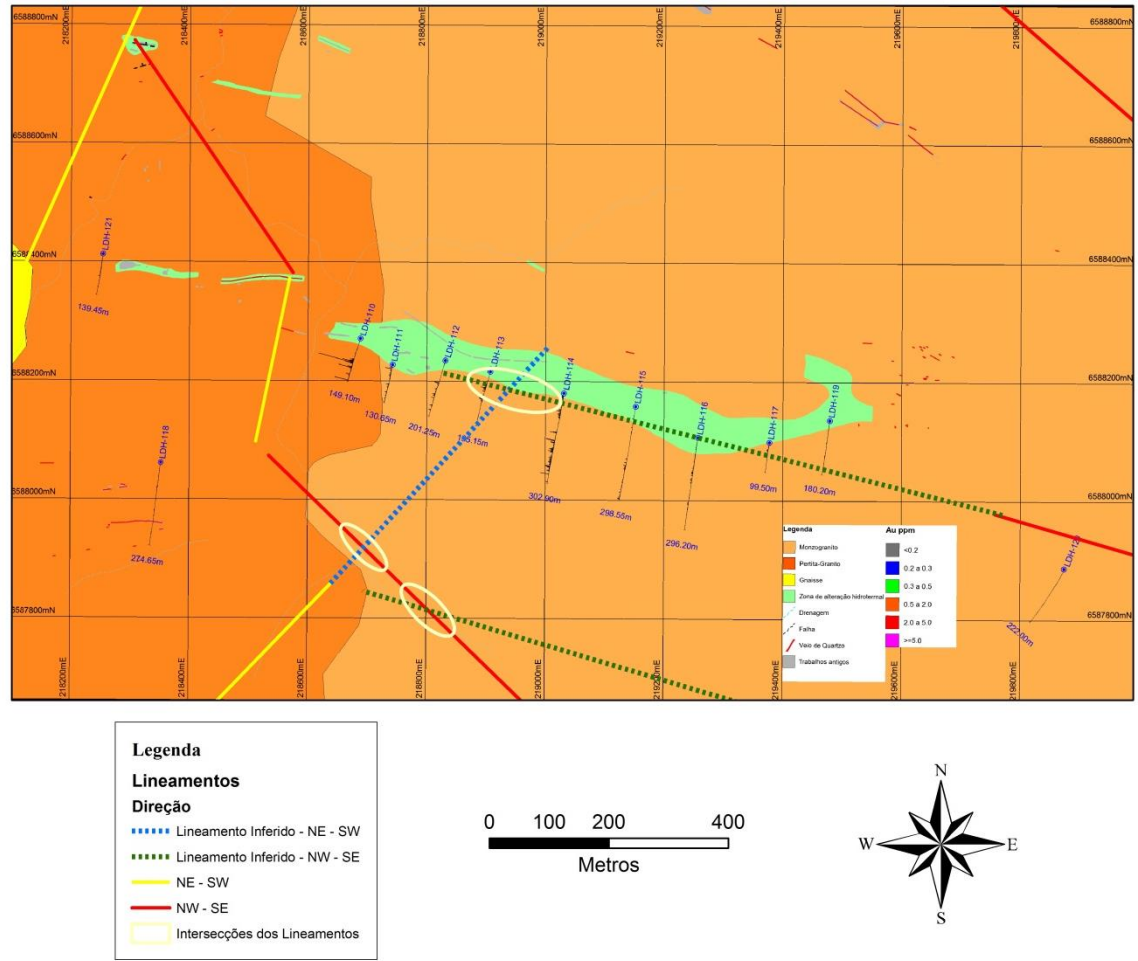
Integrando os dados de sensoriamento remoto e os dados coletados no mapeamento geológico observa-se que, apesar de ambos estarem em escala diferente, a direção predominante é WNW-ESSE, concordante com a direção das mineralizações. Isso converge

Figura 44 – Imagem de satélite do *Google Earth Pro* mostrando os lineamentos traçados por sensoriamento remoto, as intersecções dos lineamentos e as zonas de alteração hidrotermal mapeadas pela Amarillo Gold (2015) na área da Mina Caneleira.



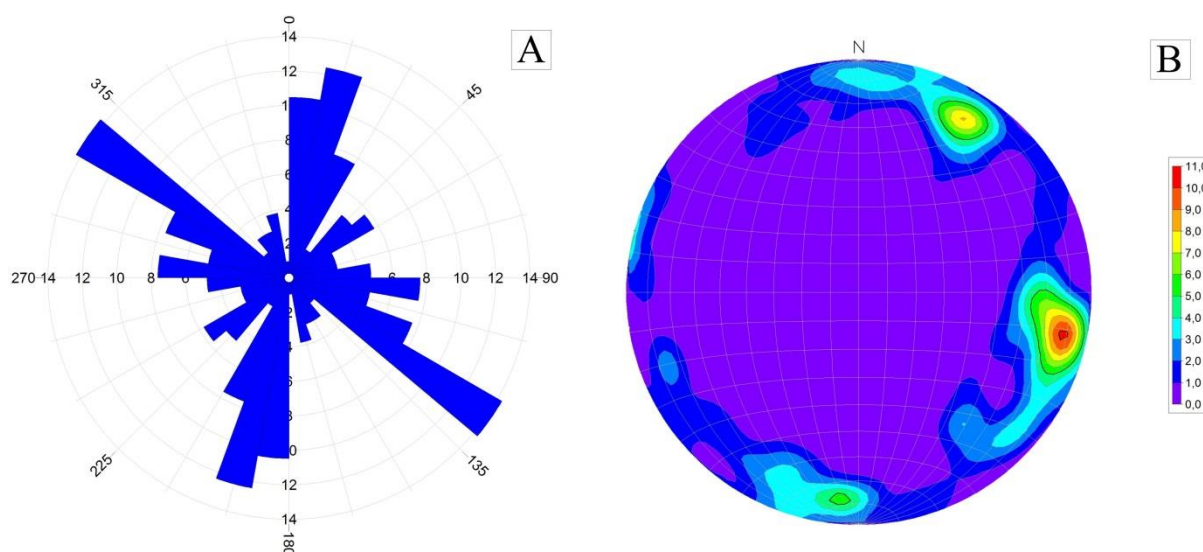
Fonte: autor.

Figura 45 – Mapa geológico na escala de 1:5.000 confeccionado pela empresa Amarillo Gold (2015) mostrando os lineamentos inferidos por sensoriamento remoto, a intersecção dos lineamentos e os furos de sondagem em planta com os teores de ouro em partes por milhão (ppm) plotados como gráficos de colunas ao longo de cada furo. O mapa também apresenta as zonas de alteração hidrotermal, as drenagens, falhas, os trabalhos (trincheiras) antigos e os veios de quartzo. É possível visualizar uma correlação positiva da intersecção dos lineamentos com os furos mineralizados em ouro.



Fonte: autor.

Figura 46 – Análise dos dados estruturais coletados nos afloramentos. A) Diagrama de Roseta das direções das fraturas. B) Diagrama de Schmitd-Lambert (hemisfério inferior) mostrando a direção de mergulho dos planos das fraturas (pólos dos planos).



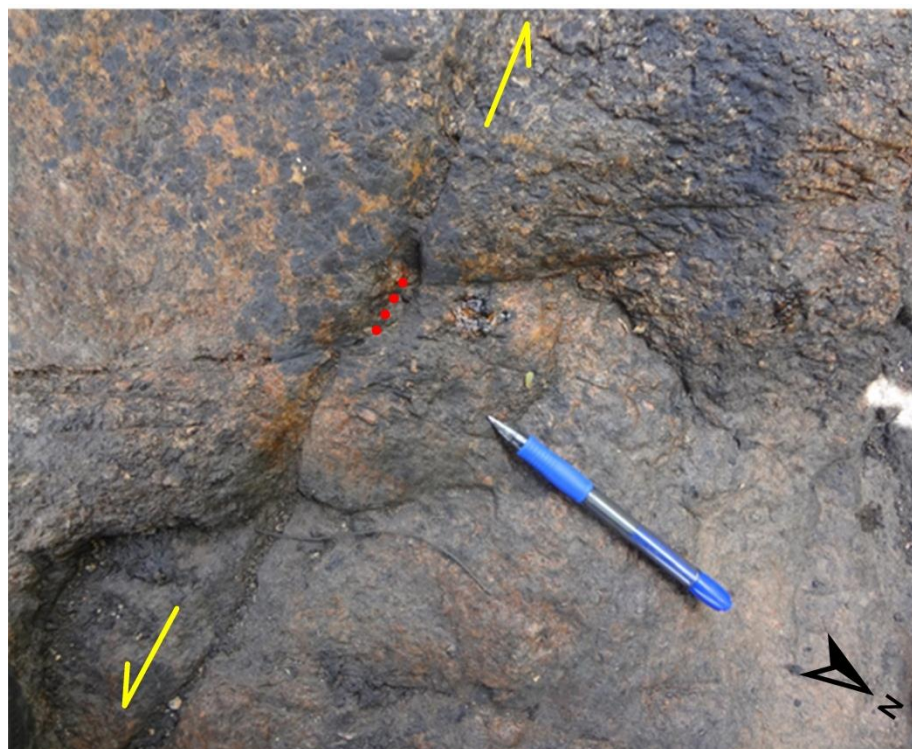
Fonte: autor.

com o já proposto por diversos autores conforme apresentado na Tabela 9 e sustenta que zonas hidrotermalizadas e mineralizadas apresentam controle estrutural segundo as direções WNW-ESE, concordante com as estruturas rúpteis geradas durante o regime sinistral da ZFPJ (GASTAL *et al.*, 2015).

Em dois afloramentos foi possível identificar a orientação de vários tipos de fraturas em relação aos esforços principais (FOSSSEN, 2010). No ponto GC-57 foi identificado a fratura cisalhante 1 de cinemática sinistral, com direção azimutal de  $126^\circ$  e mergulho de  $80^\circ$  para SW. As fraturas de tração estão dispostas na direção azimutal  $292^\circ$ , com mergulho de  $78^\circ$  para NE. Já as fraturas estilolíticas (contração) apresentaram direção azimutal de  $027^\circ$  com mergulho de  $84^\circ$  para SE. A Figura 47 mostra a cisalhante sinistral medida no ponto GC-57.

No ponto GC-61 foi identificado a fratura cisalhante 2 de cinemática dextral com direção azimutal de  $088^\circ$  com mergulho de  $85^\circ$  para SE. As fraturas de tração estão dispostas na direção azimutal  $122^\circ$  com mergulho de  $80^\circ$  para SW. Já as de estilolíticas (contração) apresentaram direção azimutal de  $208^\circ$  com mergulho de  $81^\circ$  para NW. A Figura 48 mostra a fratura cisalhante medida no ponto GC-61 deslocando uma fratura estilolítica. As fraturas cisalhantes apresentavam ângulo entre si de  $38^\circ$ .

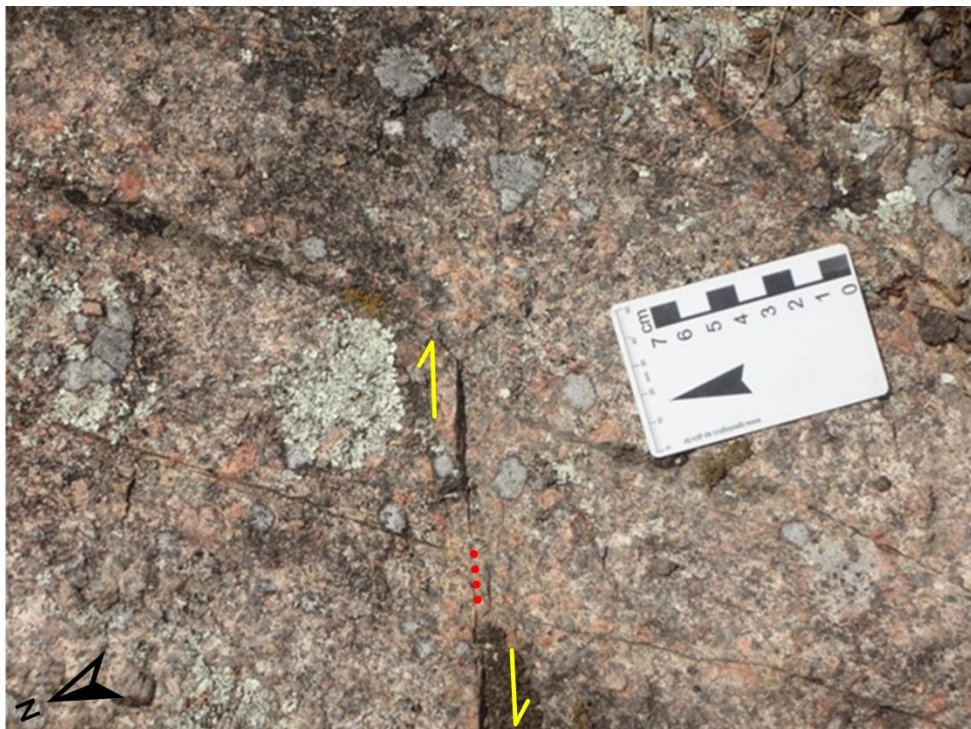
Figura 47 – Afloramento do monzogranito do tipo lajeado dentro da drenagem, com presença de fratura cisalhante sinistral. As setas mostram a cinemática e a linha pontilhada o rejeito da falha.



Fonte: autor.

Em ambos os pontos, as fraturas de tração medidas apresentavam direção concordante com a direção das mineralizações mapeadas na Mina Caneleira e citadas na bibliografia. O alto ângulo de mergulho encontrado nas fraturas medidas no mapeamento sugere que o eixo de maior esforço ( $\sigma_1$ ) estava posicionado na horizontal. Na Figura 21 é apresentado o Diagrama de Schmitd-Lambert (hemisfério inferior) das fraturas medidas similares ao modelo de orientação das fraturas em relação aos esforços principais (FOSSSEN, 2010) sobreposto no Diagrama de Roseta das direções das fraturas medidas no campo.

Figura 48 – Afloramento do monzogranito do tipo lajeado no campo, com presença de fratura cisalhante dextral deslocando uma fratura estilolítica. As setas mostram a cinemática e a linha pontilhada o rejeito da falha.

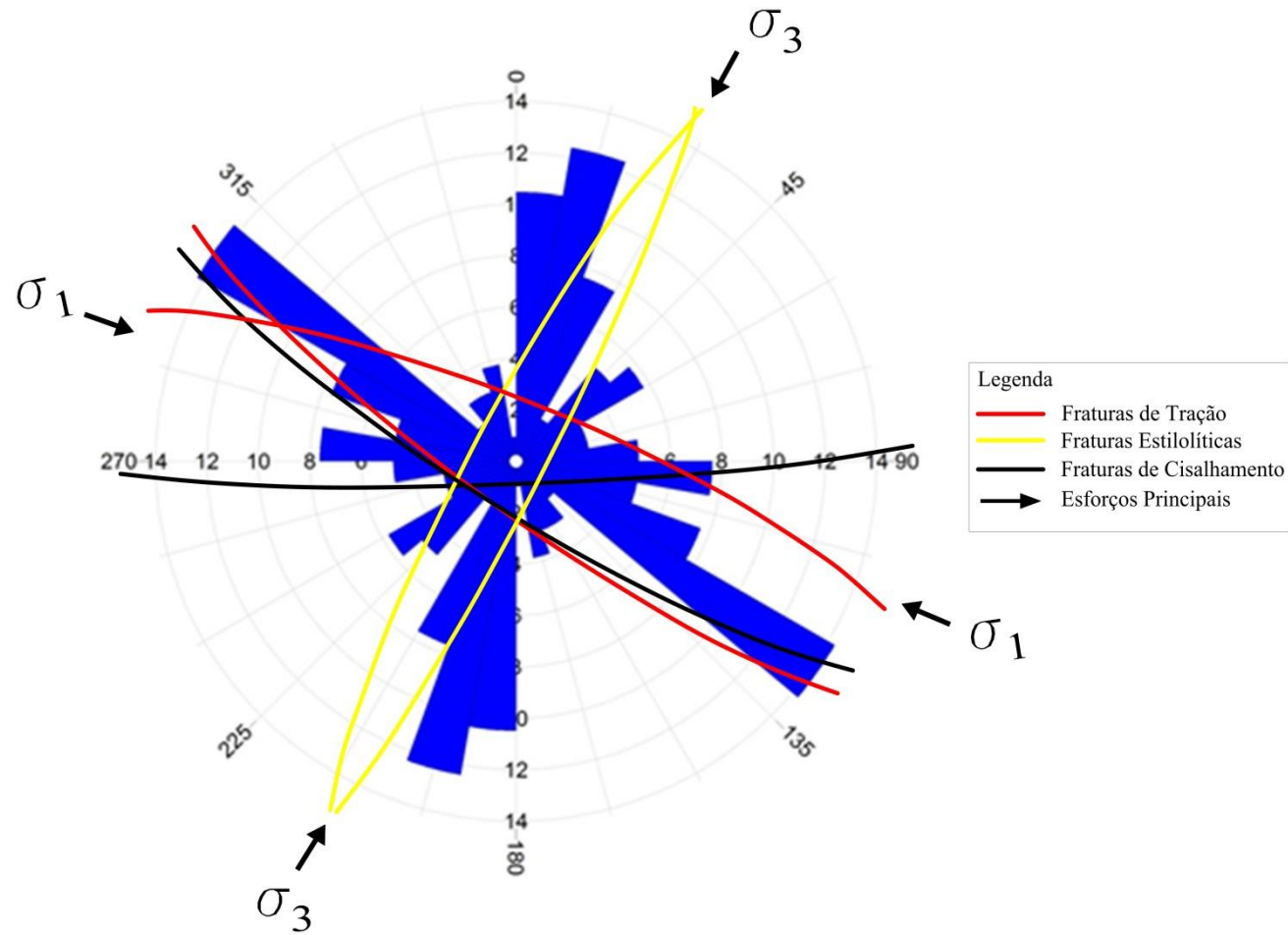


Fonte: autor.

Na Figura 49 é possível verificar que o  $\sigma_1$  está posicionado na horizontal na direção NW-SE e, paralelo a ele, ocorrem as fraturas de tração que estão associadas com a mineralização aurífera. As fraturas estilolíticas estariam posicionadas na direção NE-SW. As fraturas cisalhantes estariam dispostas na direção WNW-ESE.

Silva (em preparação) realizou um trabalho na porção leste da Mina Caneleira que envolve processamento e interpretação de dados de aerogamaespectrometria. A partir da composição ternária das imagens do Fator F, potássio anômalo (kd) e urânio anômalo (eUd), aquele autor identificou valores anômalos que sugerem prováveis zonas hidrotermalizadas na região da Mina Paredão. Segundo Silva (em preparação), na área da Mina Caneleira ocorre quatro zonas

Figura 49 – Diagrama de Schmitd-Lambert (hemisfério inferior) das fraturas semelhantes ao modelo de fraturamento em relação aos esforços principais (FOSSSEN, 2010), sobreposto sobre o Diagrama de Roseta das direções das fraturas medidas no mapeamento geológico.



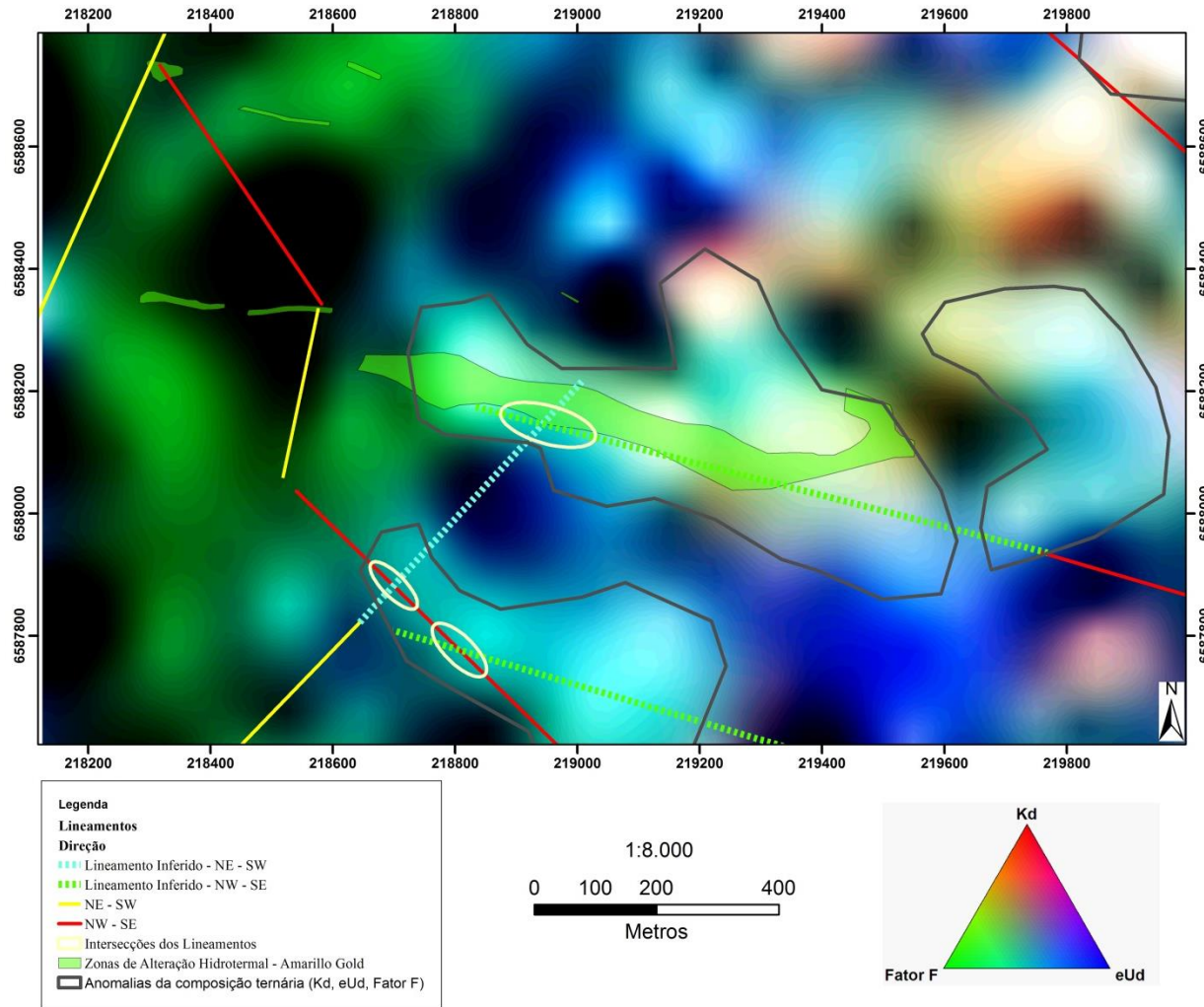
anômalas possíveis de apresentarem alterações hidrotermais. Uma das zonas anômalas identificadas por Silva (em preparação) na Mina Caneleira está concordante com a zona de alteração hidrotermal mapeada pela empresa Amarillo Gold e provada através de furos de sondagem. A zona de alteração hidrotermal explorada com furos de sondagem ocorre na zona de influência da intersecção dos lineamentos inferidos NW – SE com os lineamentos inferidos de direção NE – SW e se encontra em parte mineralizada em ouro. As outras duas intersecções dos lineamentos inferidas por sensoriamento remoto localizadas no sul da Mina Caneleira estão inseridas em uma das anomalias delimitadas por Silva (em preparação). Sendo assim, essas zonas apresentam fortes indícios de apresentarem hidrotermalismo e mineralização aurífera. A Figura 50 apresenta o mapa ternário (Fator F, Kd e eUd) confeccionado por Silva (em preparação) e a Figura 51 apresenta a imagem de satélite do *Google Earth Pro*. Ambas as Figuras mostram os lineamentos identificados e inferidos por sensoriamento remoto, os locais de intersecção dos lineamentos e as zonas anômalas identificadas por Silva (em preparação). A Figura 51 mostra também, dois pontos mapeados com indícios de alterações hidrotermais localizados próximos as intersecções dos lineamentos e inserido dentro de uma das anomalias geofísicas.

### 9.2.1 Discussão

Os lineamentos na região da Mina Caneleira apresentam direção predominante WNW-ESE e são concordantes com as direções preferenciais das fraturas medidas em escala de afloramento. As mineralizações mapeadas na Mina Caneleira apresentam direção concordante com a direção predominante dos lineamentos e fraturas. Essas estruturas possivelmente estão relacionadas com as estruturas rúpteis que constituem o principal controle da mineralização e que foram geradas durante o regime sinistral da Zona de Falha Palma Jaques (GASTAL *et al.*, 2015). A partir dos lineamentos inferidos por sensoriamento remoto foi possível identificar uma correlação positiva entre as zonas de intersecções dos lineamentos de direção NW-SE com os NE-SW com as áreas com presença de alteração hidrotermal e mineralização aurífera, conforme identificado por Gastal *et al.* (2015). Essa correlação explicaria o fato das porções na zona de alteração hidrotermal afastadas da intersecção dos lineamentos (conforme visto na Figura 46) não estarem mineralizada com ouro.

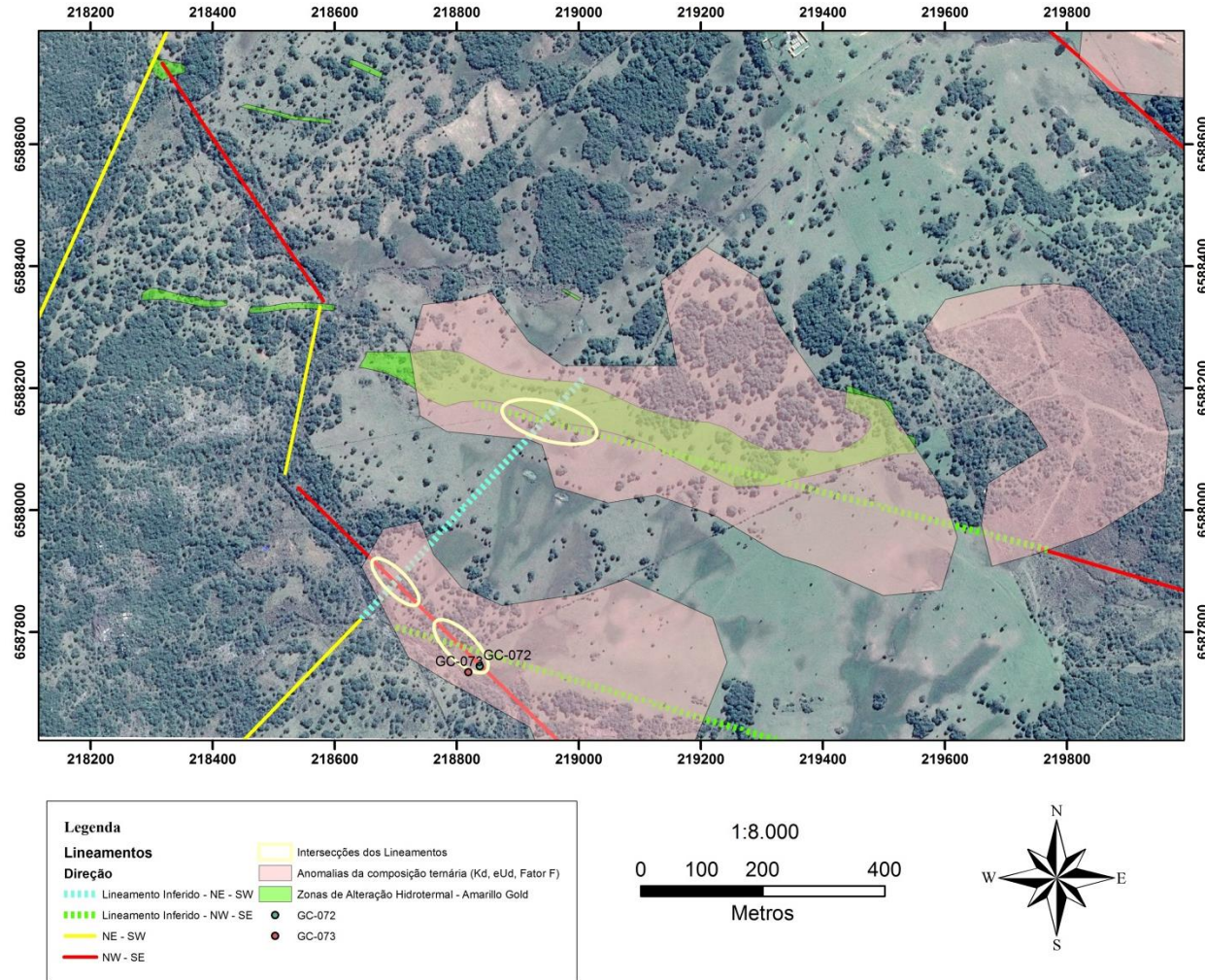


Figura 50 – Composição ternária das imagens do Kd, eUd e fator F da área da Mina Caneleira mostrando os lineamentos identificados e inferidos por sensoriamento remoto, as interseções dos lineamentos e as zonas anômalas.



Fonte: modificada de Silva (em preparação).

Figura 51 – Imagem de satélite do *Google Earth Pro* da área da Mina Caneleira mostrando os lineamentos identificados e inferidos por sensoriamento remoto, as intersecções dos lineamentos, os pontos GC-72 e GC-73 com indícios de alteração hidrotermal e as zonas anômalas da composição ternária delimitadas por Silva (em preparação).



Fonte: autor.

Outra hipótese para o controle e extensão das zonas hidrotermalizadas com ocorrência aurífera é que a zona mineralizada em ouro está no centro da fratura de tração, onde ocorreu uma maior abertura de espaço para percolação de fluido hidrotermal e assim concentrou maior parte do minério.

A geofísica aérea se mostrou bastante eficiente na identificação de possíveis zonas hidrotermalizadas. Integrando a geoquímica dos testemunhos de sondagem e os valores anômalos pode-se observar uma correlação positiva entre os dois tipos de dados. Com base no tratamento geoquímico de rocha total dos testemunhos de sondagem estudados, nas zonas hidrotermalizadas, partindo da rocha fracamente alterada com alterações do tipo 2 e 2.1 até a zona fortemente hidrotermalizadas com alteração do tipo 3 e 3.1, ocorre um enriquecimento de potássio (de 0,168% a 0,330%), urânio (5,337ppm a 7,937ppm), ouro (4,153 partes por bilhão (ppb) a 928,800ppb), prata (de 34,443ppb a 1274,833ppb) e arsênio (de 5,563ppm a 123,137ppm). Por outro lado, ocorre um empobrecimento aparente de tório (de 15,540ppm a 12,087ppm). A Tabela 10 resume os valores médios de cada elemento químico citado acima para cada tipo de alteração hidrotermal identificada na Mina Caneleira.

Tabela 10 – Valores médios de ouro (Au), prata (Ag), arsênio (As), potássio (K), urânio (U) e tório (Th) para cada tipo de alteração hidrotermal identificado na Mina Caneleira. Au, Ag estão medidos em partes por bilhão (ppb), As, U e Th estão medidos em partes por milhão (ppm) e K está medido em porcentagem (%).

Alterações	Au (ppb)	Ag (ppb)	As (ppm)	K (%)	U (ppm)	Th (ppm)
2 e 2.1	4,153	34,443	5,563	0,168	5,337	15,540
4	219,760	253,785	12,945	0,246	6,495	19,810
4.1	83,127	244,920	56,133	0,211	5,567	17,387
3 e 3.1	928,800	1274,833	123,137	0,330	7,937	12,087

Fonte: autor.

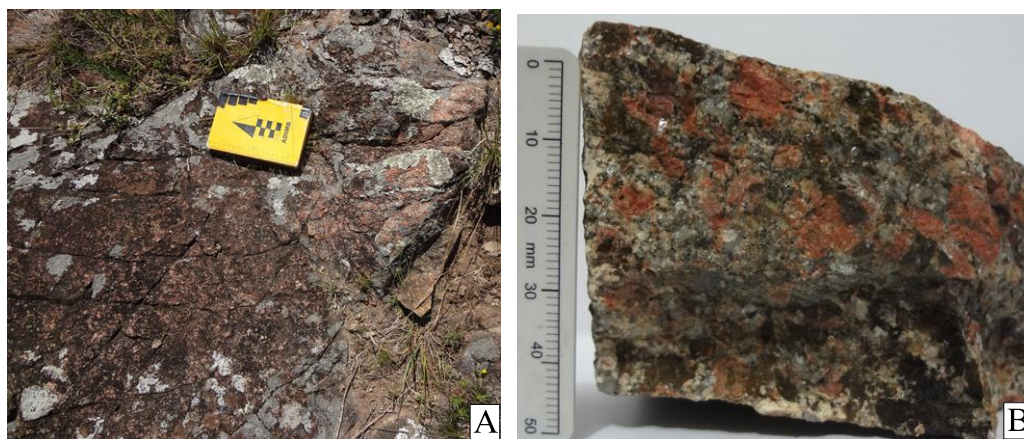
A composição ternária gerado por Silva (em preparação) relaciona os valores anômalos de Kd, de eUd (ambos normalizados em relação ao tório) e de Fator F, que representa o produto do potássio pela razão do equivalente de urânio (eU) pelo equivalente de tório conforme a fórmula 1.

$$Fator F = K \left( \frac{eU}{eTh} \right) \quad (1)$$

Sendo assim, o enriquecimento de potássio e de urânio e o empobrecimento de tório identificado nas rochas hidrotermalizadas nos testemunhos de sondagem estudados da Mina Caneleira resultaria nas anomalias do Mapa ternário (zonas de coloração branca com altos valores de Fator F, Kd e eUd) delimitadas por Silva (em preparação). A correlação positiva de teores de ouro, prata e arsênio com os elementos químicos analisados no mapa ternário sugere um indício de que as anomalias delimitadas além de estarem hidrotermalizadas, também podem estar mineralizadas em ouro. Cabe mencionar, que essas zonas de alterações foram identificadas nos testemunhos de sondagem em diferentes intervalos de profundidade e que o mapa ternário gerado por Silva (em preparação) analisa apenas os teores de K, eU e eTh na superfície (de aproximadamente 0 a 60cm de profundidade segundo revisão feita por SILVA, 2016). Assim, as zonas anômalas que não afloram rocha na superfície podem representar áreas com presença de alterações hidrotermais próximas a superfície que estão cobertas por uma camada de saprolito produto de alteração de rochas hidrotermalizadas.

Na porção centro sul da área de estudo ocorre duas interseções inseridas dentro de uma das anomalias geofísicas delimitadas por Silva (em preparação) que não foram exploradas com furos de sondagem. Na etapa de campo foram mapeados dois pontos plotados na Figura 51 (GC-72 Figura 52 e GC-73) próximos a essas zonas de intersecções dos lineamentos e inseridas dentro de uma das anomalias da composição ternária onde ocorrem afloramentos do tipo lajeado no campo, fraturados e com indícios de hidrotermalismo.

Figura 52 – Ponto GC-72 inserido dentro da anomalia geofísica e próximo da intersecção dos lineamentos. A) Afloramento do tipo lajeado no campo, fraturado, fortemente intemperizado e com indício de alteração hidrotermal. B) Granito com moderada alteração a sericita, moderada silicificação e avermelhamento dos feldspatos alcalinos (cor devido a oxidação do ferro incluso nos feldspatos alcalinos conforme MEXIAS, 2000).



Fonte: autor.

## 10 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Na área de estudo ocorre predominantemente o monzogranito híbrido e em menor parcela o pertita granito e o sienogranito. Os lineamentos identificados por sensoriamento remoto e as fraturas medidas no campo apresentaram direção predominante NW-SE, concordante com a direção da zona de alteração hidrotermal mapeada e provada com furos de sondagem pela empresa Amarillo Gold. A zona de alteração hidrotermal mapeada está em parte mineralizadas em ouro e apresentam um forte controle estrutural que sugere estar associado com fraturas de tração geradas durante o regime sinistral da Zona de Falha Palmas Jaques (GASTAL *et al.*, 2015). A intersecção dos lineamentos NW-SE com os lineamentos NE-SW apresentou uma forte correlação positiva com as áreas com presença de alteração hidrotermal e teores anômalos de ouro.

Foi possível identificar três grupos principais de alterações hidrotermais com assembleias minerais diferentes: alterações do tipo 2 e 2.1 com assembleia mineral composta por clorita, illita, epidoto, calcita, sulfetos e por vezes hematita. As alterações do tipo 3 e 3.1 com assembleia mineral composta por illita, quartzo, epidoto, calcita, sulfetos e por vezes clorita, caulinita e hematita. As alterações do tipo 4 e 4.1 com assembleia mineral composta por illita, clorita, quartzo, calcita, epidoto e sulfetos.

As assembleias minerais presentes nos tipos de alterações hidrotermais na Mina Caneleira são semelhantes as assembleias minerais que ocorrem nas alterações hidrotermais do depósito do tipo cobre pórfiro. As alterações do tipo 2 e 2.1 seriam equivalentes a alteração propilítica. As alterações do tipo 4 e 4.1 seriam equivalentes a alteração potássica silicática. As alterações do tipo 3 e 3.1 seriam equivalentes a alteração fílica. Com base nessa hipótese, na Mina Caneleira ocorrem as rochas hidrotermalizadas de níveis mais profundos do depósito do tipo cobre pórfiro.

Os principais eventos hidrotermais presentes nas rochas na Mina Caneleira são: cloritização, ilitização, silicificação, carbonatação e sulfetação.

O processamento e interpretação de dados geofísicos de aerogamaespectrometria apresentaram bons resultados na identificação de possíveis zonas com alteração hidrotermal. A integração de estruturas identificadas por sensoriamento remoto com o processamento e interpretação de dados geofísicos de aerogamaespectrometria podem servir como base para

novas pesquisas prospectivas de zonas hidrotermalizadas e mineralizadas em ouro na Mina Caneleira.

Recomenda-se um estudo mais detalhado das alterações do tipo 4 e 4.1 para confirmação da presença ou não da biotita de origem hidrotermal. Seria também interessante realizar sondagens nas zonas que ocorrem intersecções dos lineamentos inseridas dentro das anomalias geofísicas, pois apresentam fortes indícios de estarem hidrotermalizadas e possivelmente mineralizadas em ouro.

## 11 REFERÊNCIAS

ALMEIDA, F. F. M. et al. Províncias Estruturais Brasileiras. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE, 8., Campina Grande. **Atas...** Campina Grande, SBG, p. 363-391, 1977.

ALMEIDA, F. F. M.; HASUY, Y.; BRITO NEVES B. B. Brazilian structural provinces: an introduction. **Earth Science Rev** 17: 1–29, 1981.

ALMEIDA, F. F. M. de & HAUSI, Y. **O Pré-Cambriano do Brasil**. E. Blücher, São Paulo. 374p, 1984.

AMARILLO GOLD CORPORATION. **Projeto Lavras do Sul – RS**. Relatório Interno, 2008.

AMARILLO GOLD CORPORATION. Mapa Geológico Caneleira. **Projeto Lavras do Sul – RS**. Relatório Interno, 2015.

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, Universidade Federal do Pampa, Caçapava do Sul, 2016.

BARBOSA, A. F. & CONSTANTINO, W. A Mineralização de Cobre de Volta Grande e sua Relação com o Granito Lavras, Estado do Rio Grande do Sul. **Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia**, 10: 41-47, 1961.

BEANE, R.E. 1982. Hydrothermal alteration in silicate rocks, southwestern North America. In: Titley, S.R. (eds.). **Advances in Geology of the porphyry copper deposits**. SNA University of Arizona Press, Tucson, Arizona, p.117-137.

BIONDI, J. C. **Processos metalogenéticos e os depósitos minerais brasileiros**. São Paulo: Oficina de Textos, 2003.

BITENCOURT, M.F. & NARDI, L.V.S. Tectonic setting and sources of magmatism related to the Southern Brazilian Shear Belt. **Revista Brasileira de Geociências**, **30**:184-187, 2000.

BONGIOLO, E M. **Integração de dados mineralógicos, isótopos estáveis (O, H) e porosidade de rochas (14C-PMMA) no reconhecimento da evolução da alteração no sistema hidrotermal de Lavras do Sul/RS, Brasil**. Tese de Doutorado, simultaneamente na Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS e Université de Poitiers. 2006.

BYRAPPA, K.; YOSHIMURA, M. **Handbook of hydrothermal technology**. William Andrew, 2012.

CARVALHO, P. F. Reconhecimento Geológico do Estado do Rio Grande do Sul. **Boletim do Serviço Geológico e Mineralógico do Brasil**, **66**, Ministério da Agricultura, 73p, 1932.

CHEMALE Jr., F. Evolução geológica do Escudo Sul-rio-grandense. In: Holz, M. & De Ros, L. F. (eds.). **Geologia e Estratigrafia do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre, Editora Gráfica da UFRGS, p. 3-44, 2000.

CHEMALE Jr. F.; HARTMANN, L. A. & SILVA, L. C. Stratigraphy and Tectonism of Precambrian to Early Paleozoic Units in Southern Brasil and Uruguay - Excursion Guidebook. **Acta Geologica Leopoldensia**, **43**: 4-115, 1995.

CLIMATE-DATA.ORG. **CLIMA: LAVRAS DO SUL**. Disponível em: < <http://pt.climate-data.org/location/313441/> >. Acesso em: 28 de maio de 2016.

COOKE, D. R. *et al.* Australian and western Pacific porphyry Cu-Au deposits. **Exploration model: Australian Geological Survey Organisation Journal of Australian Geology and Geophysics**, v. 17, no. 4, p. 97-104, 1998.



COOKE, D. R.; HOLLINGS, P.; WALSH, J. L. Giant porphyry deposits: characteristics, distribution, and tectonic controls. **Economic Geology**, v. 100, n. 5, p. 801-818, 2005.

COSTA, A. F. U. **Teste e modelagem geofísica das associações litotectônicas pré-cambrianas no Escudo Sul-rio-grandense**. Tese de Doutorado em Ciências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2v., 1997. 257p.

DEPARTAMENTO NACIONAL de INFRA-ESTRUTURA e TRANSPORTE (DNIT). **Mapa Rodoviário Rio Grande do Sul**. 2002. Disponível em: [≤ http://www.dominiopublico.gov.br/download/imagem/dn000021.pdf >](http://www.dominiopublico.gov.br/download/imagem/dn000021.pdf). Acesso em: 29 de maio de 2016.

FRAGOSO CESAR, A. R. S. **Tectônica de Placas no Ciclo Brasileiro: As orogenias dos Cinturões Dom Feliciano e Ribeira no Rio Grande do Sul**. Tese de Doutorado em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1991. 362 p.

FLORISBAL, L. M.; BITENCOURT, M. F. & NARDI, L. V. S. The early post-collisional granitic and coeval mafic magmatism of medium to high-K tholeiitic affinity within the Neoproterozoic Southern Brazilian Shear Belt. **Lithos**. Submetido, 2007.

FOSSEN, H. *Geologia Estrutural*: Editora Oficina de Textos, Cap. 7. 168-169p, 2010.

GASTAL, M. C. *et al.* Alojamento do granito Lavras e a mineralização aurífera durante evolução de centro vulcano-plutônico pós-colisional, oeste do Escudo Sul-riograndense: dados geofísicos e estruturais. **Brazilian Journal of Geology**, v. 45, n. 2, p. 217, 2015.

GASTAL, M. C. P. & LAFON, J. M. Gênese e Evolução dos Granitóides Metaluminosos de Afinidade Alcalina da Porção Oeste do Escudo Sul-Rio-Grandense: Geoquímica e Isótopos de Rb-Sr e Pb-Pb. **Revista Brasileira de Geociências**, 28 (1): 29-44, 1998.

GASTAL, M. D. C. et al. REINTERPRETAÇÃO DO COMPLEXO INTRUSIVO LAVRAS DO SUL, RS, DE ACORDO COM OS SISTEMAS VULCANO-PLUTÔNICOS DE SUBSIDÊNCIA. **Revista Brasileira de Geologia Maria do Carmo Gastal et al**, v. 36, n. 01, p. 99-113, 2006.

GASTAL, M. C. O.; STRIEDER, A. J. & FERREIRA, F. J. F. Aspectos petrológicos gerais do Complexo Intrusivo Lavras do Sul, RS: reinterpretação das fácies graníticas e a gênese de depósitos de Cu - Au. In: SIMPÓSIO SOBRE VULCANISMO E AMBIENTES, 1., Gramado, RS. **Boletim de resumos...** Gramado, RS, SBG, p. 86.,1999.

GASTAL M. C.; TEIXEIRA W.; LAFON J. M.; REMUS M. V. D. Geocronologia  $^{40}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ ,  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  e  $^{207}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  do complexo intrusivo Lavras do Sul, RS. In: 3º Simpósio de Vulcanismo e Ambientes Associados. Cabo Frio, **Resumo expandido**, 6p, 2005.

GOÑI, J. C. O Rapakivi Lavras-Jazidas Metalíferas Associadas-Lavras do Sul - Rio Grande do Sul (Estudos Preliminares). Porto Alegre, **Boletim da Escola de Geologia de Porto Alegre**, 7,107p, 1961.

HARTMANN, L. A. Deepest exposed crust of Brazil – geochemistry of Paleoproterozoic depleted Santa Maria Chico Granulites. **Gondwana Research**, 1998.

HARTMANN, L. A. et al. Advances in SHRIMP geochronology and their impact on understanding the tectonic and metallogenic evolution of southern Brazil. **Australian Journal of Earth Sciences**, 47:829-844, 2000.

HARTMANN, L. A. et al. Magmatism and metallogeny in the crustal evolution of Rio Grande do Sul shield, Brazil. **Pesquisas**, 26:45-63, 1999.

HARTMANN, L. A. & NARDI, L. V. S. Os granitos Santo Afonso, Saibro e Vauthier da região do Arroio Santa Maria Chico, Dom Pedrito, RS. **Acta Geologica Leopoldensia**, 6:153-178, 1982.

HOLLIDAY, J. R.; COOKE, D. R. Advances in geological models and exploration methods for copper±gold porphyry deposits. In: **Proceedings of exploration**, p. 791-809, 2007.

INOUE, A. Formation of Clay Minerals in Hidrotermal Environments. In: Velde, B. (ed). **Origin and Mineralogy of Clays**, Berlin. **Springer-Verlag**. p.268-321, 1995.

JOST, H. & HARTMANN, L. A. Província Mantiqueira – Sector Meridional. In: Almeida, F.F.M. & Hasui, Y. (Ed.). **O Pré-Cambriano do Brasil**. São Paulo, Edgard Blücher, p. 345-368, 1984.

KAHN, H. **Difração de Raios X**. Curso apostilado, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 18 p., 2009.

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., 1974, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre, SBG. p. 115-130, 1974.

KELLEY, K. D. Potassic Igneous Rocks and Associated Gold-Copper Mineralization, (D. Müller and DI Groves). **Economic Geology**, v. 111, n. 3, p. 124-125, 2016.

KOTTEK, M. *et al.* World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated. **Meteorologische Zeitschrift**, Berlin, v. 15, n. 3, p. 259-263, 2006.

KRAEMER, G. **Evolução Magmática e Tectônica da Suíte Ortometamórfica Imbicuí, Região de I Lavras do Sul (RS)**. Dissertação de Mestrado em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 1995. 99 p.

LIMA, E. F. & NARDI, L. V. S. The Lavras do Sul Shoshonitic Association: Implications for the Origin and Evolution of Neoproterozoic Shoshonitic Magmatism in Southernmost Brazil. **American Journal of Earth Science**, **11**(1):67-77, 1998.

MARTINS, L. **Geologia e Identificação da Paragênese Mineral na Mina Dourada, Lavras do Sul – RS**. Trabalho de Conclusão de Curso, 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, 2000. 360 p.

MEXIAS, A. S. **O Sistema Hidrotemal Fóssil de Volta Grande - Lavras do Sul/RS**. Porto Alegre. Dissertação de Mestrado em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1990. 182 p.

MEYER, C. & HEMLEY, J.J. Wall rock alteration. In: Barnes, H.L. (ed.). **Geochemistry of hydrothermal ore deposits**. First Edition, Wiley, New York, p. 167-235, 1967..

MOREY, G. W.; NIGGLI, P. The Hydrothermal Formation of Silicates, A Review., **J. Am. Chem. Soc.**, **35**:1086–1130, 1913.

MÜLLER, I. F. **Os diques latíticos portadores de ouro e sulfetos de associação shoshonítica de Lavras do Sul-RS: petrogênese e geoquímica**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, Programa de Pós Graduação em Geociências, Porto Alegre, 2011.

NARDI, L. V. S. & BITENCOURT, M. F. Tholeiitic, late-orogenic basic magmatism in the region of Porto Belo, southern Brazil. In: CONGRESSO DE GEOQUÍMICA DOS PAÍSES

DE LÍNGUA PORTUGUESA, 2., Porto. **Memórias...** Porto, Universidade do Porto. v.3, p. 131-135, 1993.

NARDI, L. V. S. **Geochemistry and Petrology of the Lavras Granite Complex, RS, Brazil.** PhD Thesis, University of London, London, 1984. 268 p.

NARDI, L. V. S. & HARTMANN, L. A. O Complexo Santa Maria Chico do Escudo Sul-Riograndense. **Acta Geológica Leopoldensia**, **6**:45-75, 1979.

NARDI, L. V. S. & LIMA, E. F. A Associação Shoshonítica de Lavras do Sul, RS. **Revista Brasileira de Geociências**, **15**(2): 139-46, 1985, 1985.

NARDI, L. V. S. & LIMA, E. F. Hidrotermalismo no Complexo Granítico Lavras e vulcânicas associadas. **Revista Brasileira de Geociências**, **18**:269-375, 1988.

NARDI, L. V. S. & LIMA, E. F. O magmatismo shoshonítico e Alcalino da Bacia do Camaquã – RS. In: Holz, M. & De Ros, L. F. (Eds). **Geologia e Estratigrafia do Rio Grande do Sul**, Porto Alegre, Editora Gráfica da UFRGS, p. 119-131, 2000.

PHILIPP, R. P.; CAMPOS, R. S. de. Geologia, petrografia e litogeoquímica dos Gnaisses Porto Alegre, RS, Brasil: implicações geotectônicas. **Pesquisas em Geociências**. Porto Alegre, RS. Vol. 31, n. 2, p. 79-94, 2004.

PHILIPP, R. P.; LUSA, M. & NARDI, L. V. S. Geochemistry and petrology of dioritic, tonalitic and trondhjemitic gneisses from Encantadas Complex, Santana da Boa Vista, southernmost Brazil: a Paleoproterozoic continental-arc magmatism. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**. Submetido, 2007.

PHILIPP, R. P. & MACHADO, R. The Late Neoproterozoic granitoid magmatism of the Pelotas Batholith, southern Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, **19**:461-478, 2005.

PHILIPP, R. P.; NARDI, L. V. S. & BITENCOURT, M. F. O Batólito Pelotas. In: Holz, M. & De Ros, L.F. (Ed.). **Geologia do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre, Centro de Investigação do Gondwana, p. 133-160, 2000.

PHILIPP, R. P.; PIMENTEL, M. M.; CHEMALE JR, F. Tectonic evolution of the Dom Feliciano Belt in Southern Brazil: Geological relationships and U-Pb geochronology. **Brazilian Journal of Geology**, v. 46, p. 83-104, 2016.

RABENAU, A. The Role of Hydrothermal Synthesis in Preparative Chemistry, **Angew. Chem., (English Ed.)**, **24**:1026–1040, 1985.

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

REMUS M. V. D. *et al.* Distal magmatic-hydrothermal origin for the Camaquã Cu(Au-Ag) and Santa Maria Pb, Zn (Cu-Ag) deposits, southern Brazil. **Gondwana Research**, **3(2)**:155-174, 2000.

RIBEIRO, M.; FANTINEL, L. M. Associações petrotectônicas do Escudo Sul-riograndense: I- tabulação e distribuição das associações petrotectônicas do Escudo do Rio Grande do Sul. **Lheringia, Série Geológica** **5**:19-54, 1978.

RIBEIRO, M. Informes sobre a Formação Maricá. **Lheringia, Série Geologia** **9**:1-84, 1983.

RICHARDS, J. P. Postsubduction porphyry Cu-Au and epithermal Au deposits: Products of remelting of subduction-modified lithosphere. **Geology**, v. 37, n. 3, p. 247-250, 2009.

SILLITOE, R. H. & HEDENQUIST, J. W. Linkages between volcanotectonic settings, ore-fluid composition and epithermal precious metal deposits. In: Simmons, S.F. & Graham, I. (eds.). Volcanic, geothermal and ore-forming fluids: rulers and witnesses of processes within the Earth. **Society of Economic Geologists Special Publication**, 10:315-343, 2003.

SILLITOE, R. H. Major regional factors favouring large size, high hypogene grade, elevated gold content and supergene oxidation and enrichment of porphyry copper deposits. In: **Porphyry and hydrothermal Copper and gold deposits-a global perspective. Conference proceedings Porter, TM**, p. 21-34, 1998.

SILVA, L. C. et al. The Neoproterozoic Mantiqueira Province and its African connections: a zircon-based U–Pb geochronologic subdivision for the Brasiliano/Pan-African systems of orogens. **Precambrian Research**, 136:203-240, 2005.

SILVA, V. A. M. **Integração de Dados Geoelétricos e Aerogamaespectrométricos na Caracterização de Zona de Alteração Hidrotermal na Mina Paredão em Lavras do Sul – RS**. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal do Pampa, Caçapava do Sul, em preparação.

SIMMONS, S. F.; WHITE, N. C.; JOHN, D. A. Geological characteristics of epithermal precious and base metal deposits. **Economic Geology 100th anniversary volume**, v. 29, p. 485-522, 2005.

SOLIANI Jr., E. **Os dados geocronológicos do Escudo Sul-riograndense e suas implicações de ordem geotectônica**. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1986. 425 p.

STRONG, D. F. Carbothermal metasomatism of alaskitic granite, St. Lawrence, Newfoundland, Canadá, **Chem. Geol.** 35, 97-114, 1982.

TAYLOR, R. G. Ore Textures: Recognition and Interpretation. Berlin: Springer, p. 228, 2009.

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



APÊNDICE A – Descrição detalhada de cada furo.

Table with columns: Furo de, até, Espessura, litologia, N° da alteração, Lâminas, Assembleia mineral de alteração, Características, Nº Veios, Se, Ch, Cc, Ep, Sil, Py, Cp, Ga, Mo, Fu, Kf, Ab, Hm, Mf, Oe, Oh, and Descrição. The table lists detailed geological data for various boreholes, including alteration assemblages like 'Solo', 'Dique máfico', and 'Brecha hidrotermal', and their associated mineralogical characteristics.





DH-02	176,90	178,64	1,74	Monzogranito	4.1	GCF-03_02 GCF-08_01 GCF-13_02 GCF-10_03	4_1_Ser (H) (2) + Ch (2) + Qtz (1) + Cal (1) + Ep (1) + Sul (2)	Venulas de Se+Ch+Cc	7	2	2	1	1	2	1	2	1	1	1	1	1	1	Granita rosa, branco e verde com textura inequigranular seriada. Forte alteração a Se, MF cloritados e associados com aglomerados de epidoto e poucas manchas de Ox e Oh. Presença de filmes e vênulas de Se+Ch+Cc e sulfetos disseminados como aglomerados submilimétricos a milimétricos.
DH-02	178,64	178,86	0,22	Brecha hidrotermal	3	GCF-10_03 GCF-07_01 GCF-03_01 GCF-03_03 GCF-08_03	3_Ser (H) (3) + Qtz (3) + Ep (2) + Cal (2) + Sul (2) + Ch (2) + Rim (1) + Hem (1)	Texturalmente destrutivo	3	1	2	1	3	2	1	1	1	1	1	1	1	1	Brecha branca e verde com forte silicificação. Moderada alteração a Se e poucas manchas de Ox e Oh. Presença de filmes e vênulas de Se+Qz+Cc e sulfetos disseminados como aglomerados submilimétricos. Presença de poucos cristais de feldspatos.
DH-02	178,86	180,50	1,64	Monzogranito	4.1	GCF-03_03 GCF-08_01 GCF-13_02 GCF-10_02	4_1_Ser (H) (2) + Ch (2) + Qtz (1) + Cal (1) + Ep (1) + Sul (2)	Venulas de Se+Ch+Cc	7	2	2	1	1	2	1	2	1	1	1	1	1	1	Granita rosa, branco e verde com textura inequigranular seriada. Forte alteração a Se, MF cloritados e associados com aglomerados de epidoto e poucas manchas de Ox e Oh. Presença de filmes e vênulas de Se+Ch+Cc e sulfetos disseminados como aglomerados submilimétricos a milimétricos.
DH-02	180,50	192,70	12,20	Monzogranito	2	GCF-15_03 GCF-15_02 GCF-15_01	6_Ch (2) + Ser (H) (2) + Ep (2) + Cal (2) + Sul (2) + Hem (2)	Rocha Fresca com presença de filmes e vênulas de Se+Ch+Qz+Cc	23	1	2	1	1	1	3	2	2	1	1	1	1	Granita vermelho a branco com textura inequigranular seriada. Fraca alteração a Se (alteração dos feldspatos alcalinos), cloritação parcial dos minerais máficos associado com pequenos agregados de epidoto (visto em lâmina), quantidade moderada de MF disseminados e poucas manchas de Ox e Oh. Presença de filmes e vênulas de Se + Ch + Qz + Cc e sulfetos disseminados como aglomerados submilimétricos. Próximo as vênulas ocorre pequenos halos de alteração hidrotermal com locais pontuais de moderada alteração a Se que vai diminuindo em direção a rocha sã. Ocorrem	
DH-02	192,70	195,70	3,00	Monzogranito	4	GCF-03_03 GCF-08_01 GCF-13_02	4_Ser (H) (2) + Ch (2) + Qtz (1) + Cal (1) + Ep (1) + Sul (2)	Se + Cc + Ch + Qz em vênulas (em algumas porções estilo stockwork) e de forma pervasiva	99	2	2	1	2	1	2	1	1	1	1	1	1	Granita vermelho a verde com textura inequigranular seriada. Forte alteração a Se, poucos MF disseminados (cloritados) e poucas manchas de Ox e Oh. Presença de fraca silicificação, filmes e vênulas de Se+Cc+Ch+Qz e sulfetos disseminados como aglomerados submilimétricos.	
DH-02	195,50	201,25	5,75	Monzogranito	2.1	GCF-15_03 GCF-15_02 GCF-15_01	6_1_Ch (2) + Ser (H) (2) + Ep (2) + Cal (2) + Sul (2) + Hem (2)	Rocha Fresca com presença de filmes e vênulas de Se+Ch+Qz+Cc	17	1	2	1	1	1	3	2	1	2	1	1	1	Granita vermelho a branco com textura inequigranular seriada. Fraca alteração a Se (alteração dos feldspatos alcalinos), cloritação parcial dos minerais máficos associado com pequenos agregados de epidoto (visto em lâmina), quantidade moderada de MF disseminados e poucas manchas de Ox e Oh. Presença de filmes e vênulas de Se + Ch + Qz + Cc e sulfetos disseminados como aglomerados submilimétricos. Próximo as vênulas ocorre pequenos halos de alteração hidrotermal com locais pontuais de moderada alteração a Se que vai diminuindo em direção a rocha sã. Ocorrem	





DH-03	265,40	270,50	5,10	Monzogranito	2.1	GCF-15_03	3_1_Qtz (2) + Ser (0) (2) + Chl (2) + Cal (1) + Ep (1) + Hbl (1)	Presença de vênulas de Qz+Se+Ch+Cc com pequenos halos de alteração	1	2	1	1	1	1	1	1	1	Granitoide branco a rosa com textura inequigranular seriada. Fraca alteração a Se, moderada quantidade de Mf disseminados e pouca manchas de Ox e Oh. Presença de agregados de Cc+Ch, vênulas de Qz+Ch+Se+Cc e poucos sulfetos como aglomerados submilimétricos. Próximo as vênulas ocorre pequenos halos de alteração hidrotermal com moderada alteração a Se.	
DH-03	270,50	272,70	2,20	Monzogranito	4.1	GCF09_03 GCF13_03	4_1_Ser (0) (2) + Chl (2) + Qtz (1) + Cal (1) + Ep (1) + Sul (2)	Presença vênulas de Se+Qz+Cc+Ch	2	2	1	1	1	1	1	1	1	2	Granitoide vermelho com textura inequigranular seriada. Moderada alteração a Se, poucos Mf disseminados (parcialmente e por vezes totalmente cloritizados) e moderada quantidade de manchas de Ox e Oh. Presença de fraca silicificação, vênulas de Se+Ch+Qz e sulfetos como aglomerados submilimétricos a milimétricos. Próximo as vênulas de Qz ocorre forte alteração a Se+Ch e concentração moderada a forte de sulfetos. Algumas porções ocorre intercalação de rocha menos alterada com as porções mais alteradas associadas as vênulas de Qz+Se+Ch+sulfetos.
DH-03	272,70	278,20	5,50	Monzogranito	2	GCF-15_03	2_Qtz (2) + Ser (0) (1) + Ep (1) + Cal (1) + Sul (1) + Hbl (1)	Presença de vênulas de Qz+Se+Ch+Cc com pequenos halos de alteração	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	Granitoide branco a rosa com textura inequigranular seriada. Fraca alteração a Se, moderada quantidade de Mf disseminados e pouca manchas de Ox e Oh. Presença de agregados de Cc+Ch, vênulas de Qz+Ch+Se+Cc e poucos sulfetos como aglomerados submilimétricos. Próximo as vênulas ocorre pequenos halos de alteração hidrotermal com moderada alteração a Se.
DH-03	278,20	297,00	18,80	Monzogranito	2.1	GCF-15_03	3_1_Qtz (2) + Ser (0) (2) + Chl (2) + Cal (1) + Ep (1) + Hbl (1)	Presença de vênulas de Qz+Se+Ch+Cc com pequenos halos de alteração	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	Granitoide branco a rosa com textura inequigranular seriada. Fraca alteração a Se, moderada quantidade de Mf disseminados e pouca manchas de Ox e Oh. Presença de agregados de Cc+Ch, vênulas de Qz+Ch+Se+Cc e poucos sulfetos como aglomerados submilimétricos. Próximo as vênulas ocorre pequenos halos de alteração hidrotermal com moderada alteração a Se.
DH-03	297,00	297,50	0,50	Monzogranito	4.1	GCF09_03 GCF13_03	4_1_Ser (0) (2) + Chl (2) + Qtz (1) + Cal (1) + Ep (1) + Sul (2)	Presença vênulas de Se+Qz+Cc+Ch	2	2	1	1	1	1	1	1	1	2	Granitoide vermelho com textura inequigranular seriada. Moderada alteração a Se, poucos Mf disseminados (parcialmente e por vezes totalmente cloritizados) e moderada quantidade de manchas de Ox e Oh. Presença de fraca silicificação, vênulas de Se+Ch+Qz e sulfetos como aglomerados submilimétricos a milimétricos. Próximo as vênulas de Qz ocorre forte alteração a Se+Ch e concentração moderada a forte de sulfetos. Algumas porções ocorre intercalação de rocha menos alterada com as porções mais alteradas associadas as vênulas de Qz+Se+Ch+sulfetos.
DH-03	297,50	302,90	5,40	Monzogranito	2.1	GCF-15_03	3_1_Qtz (2) + Ser (0) (2) + Chl (2) + Cal (1) + Ep (1) + Hbl (1)	Presença de vênulas de Qz+Se+Ch+Cc com pequenos halos de alteração	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	Granitoide branco a rosa com textura inequigranular seriada. Fraca alteração a Se, moderada quantidade de Mf disseminados e pouca manchas de Ox e Oh. Presença de agregados de Cc+Ch, vênulas de Qz+Ch+Se+Cc e poucos sulfetos como aglomerados submilimétricos. Próximo as vênulas ocorre pequenos halos de alteração hidrotermal com moderada alteração a Se.