

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA

RONISSON PAULO MIOTTO

**MINA DE OURO PAREDÃO: UM ESTUDO PROSPECTIVO
GEOFÍSICO E GEOLOGICO EM LAVRAS DO SUL-RS**

Caçapava do Sul

2019

RONISSON PAULO MIOTTO

**MINA DE OURO PAREDÃO: UM ESTUDO PROSPECTIVO
GEOFÍSICO E GEOLÓGICO EM 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).

Orientador: Dr. Delia Del Pilar
Montecinos de Almeida

Coorientador: Me. Lenon Melo Ilha

Caçapava do Sul

2019

RONISSON PAULO MIOTTO

**MINA PAREDÃO: UM ESTUDO PROSPECTIVO GEOFÍSICO E
GEOLÓGICO EM LAVRAS DO SUL-RS**

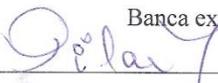
Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de (Geologia) da
Universidade Federal do Pampa, como
requisito parcial para obtenção do Título
de Bacharel em (Geologia).

Orientadora: Dr. Delia Del Pilar
Montecinos de Almeida

Coorientador: Me. Lenon Melo Ilha

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em: 3 de Julho de 2019.

Banca examinadora:



Prof. Dr^a. Delia Del Pilar Montecinos de Almeida

Orientadora

(UNIPAMPA)



Prof. Dr^a. Cristiane Heredia Gomes

(UNIPAMPA)



Prof. Rui Sergio Saraiva Duarte Junior

(UNIPAMPA)

(UNIPAMPA)

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) .

M669m	Miotto,	Ronisson	Paulo	Miotto	
	Mina paredão: um estudo prospectivo geofísico e geológico em Lavras do Sul- RS / Ronisson Paulo Miotto			Miotto.	
	50			p.	
	Trabalho de Conclusão de Curso(Graduação)-- Universidade Federal do Pampa, GEOLOGIA, 2019.				
	"Orientação: Délia Del Pilar Montecinos de Almeida			Almeida	".
	1.	Alteração	hidrotermal	.	2.
	Aerogamaespectrometria. 3. Eletrorresistividade.				
	4. mineralização de ouro. I. Título.				

RESUMO

Este trabalho se trata de um estudo na mina desativada Paredão, a mesma se localiza no estado do Rio Grande do Sul, a oeste da cidade de Lavras do Sul. A geologia local é composta por Granodioritos do Complexo Intrusivo de Lavras do Sul. O trabalho consistiu na utilização de dados geofísicos aerogamaespectrométricos pré-existentes para delimitar zonas, onde foram realizados 3 perfis sentido N-S interceptando as principais estruturas que são WNW-ESE a ENE-WSW e N50-60°W, por meio do método de eletrorresistividade, através da técnica de caminhamento elétrico com arranjo Dipolo-Dipolo. Ao longo dos mesmos perfis foram coletadas amostras de mão, 5 amostras foram selecionadas para confecção de lâminas e usadas para a confirmação da petrografia e alteração hidrotermal na área dos perfis, (sendo ela já relatada na bibliografia pretérita). Após a aquisição dos dados de eletroresistividade geração de perfis 2D e mapa 3D em Perspectiva de resistivade, esses perfis e mapas foram descritos e interpretados usando como principal balizador dados petrográficos e geoquímicos dos furos de sondagem disponibilizados pela empresa Amarillo Gold. O resultado foi um aumento no arcabouço de dados da área, definição de descontinuidades geoeletricas, as quais foram interpretadas como fraturas e/ou falhas e delimitadas zonas de alteração hidrotermal, sendo elas subordinadas a essas estruturas na qual o mineral aurífero pode ocorrer em maiores teores.

Palavras-Chave: alteração hidrotermal, aerogamaespectrometria, eletrorresistividade, mineralização de ouro

ABSTRACT

This work is a study in the Paredão deactivated mine, it is located in the state of Rio Grande do Sul, west of the city of Lavras do Sul. The local geology is composed of granodiorites of the Intrusive Complex of Lavras do Sul. The work consisted in the use of pre-existent aerogamaespectrometric geophysical data to delimit zones, , where 3 profiles with direction N-S, intercepting the main structures that are WNW ESE to ENE WSW and N50 60 ° W, applying electric geophysical method of resistivity, using Constant separation traversing-CST with Dipole-Dipole arrangement. Along the same profiles, hand samples were collected, 5 samples were selected for the preparation of slides and used for the confirmation of the petrography and hydrothermal alteration in the area of the profiles, it has been reported in the literature preterit. After the acquisition of the data of eletroresistivity generation of 2D profiles and 3D map in Perspective of resistivade, these profiles and maps were described and interpreted using as main marker (beacon) petrographic and geochemical data of the drilling holes made available by the company Amarillo Gold Corp. The result was an increase in the data frame of the area, definition of geoelectric discontinuities, which were interpreted as fractures and / or faults and delimited areas of hydrothermal alteration, being subordinate to these structures in which the ore can occur in higher levels.

Keywords: hydrothermal alteration, Aero-gamma-spectrometric, eletroresistivity, gold mineralization

LISTA DE FIGURAS

Figura 1-Mapa de localização da área de estudo. -----	12
Figura 2- Mapa de localização da área de estudo.-----	13
Figura 3- Mapa geológico do complexo intrusivo lavras do Sul. -----	14
Figura 4- Mapa geológico representando o Granito Lavras.-----	15
Figura 5- Linhas de resistividade aplicadas sobre geologia local. -----	16
Figura 6- Diagrama da variação dos teores médios do K, U e Th com o aumento do teor de sílica em rochas ígneas e metamórficas. -----	21
Figura 7- Espectro de energia de 40k, 238U e 232 Th e suas janelas de medições.-----	22
Figura 8- Parâmetros usados na definição de resistividade. -----	26
Figura 9- Intervalo aproximado de valores de resistividade dos tipos de rocha.-----	27
Figura 10- Parâmetros usados na definição de resistividade-----	28
Figura 11- forma geral da configuração de eletrodo usada em medições de resistividade. -----	29
Figura 12- Esquema de sondagens dipolares. -----	30
Figura 13- Esquema de arranjo dipolo-dipolo usado em caminhamento elétrico.-----	31
Figura 14- Mapa Digital de Terreno em planta, Indicando perfis e área de estudo.-----	32
Figura 15- Modelo digital de elevação 3D. -----	33
Figura 16- Mapa de fator F, indicando localização de linhas de aquisição. -----	34
Figura 17-Perfis 2D de resistividade. -----	36
Figura 18-Mapa 3D em perspectiva de resistividade -----	37
Figura 19- Amostra P3 D2 com opacos. -----	38
Figura 20- P7 D2 sericitizada.-----	39
Figura 21- P3 D2/2 sericitização em minerais zonados.-----	39
Figura 22-Proximidade dos Perfis com os furos de Sondagem.-----	42
Figura 23- Perfis 2D de resistividade, marcando principais descontinuidades geoeletricas -----	43

Figura 24-Mapa 3D em perspectiva, marcando, principais discontinuidades geolétricas e provável zona hidrotermal ----- 44

Figura 25- Valores de anomalia de Fator F relacionados com os de resistividade ----- 44

SUMÁRIO

SUMÁRIO	16
1. INTRODUÇÃO	9
2. OBJETIVOS	10
2.1. Objetivo Geral	10
2.2 Específicos	10
3. JUSTIFICATIVA	10
4. ÁREA DE ESTUDO	11
4.2. Geologia Regional	13
4.3. Geologia Local	15
5. materiais e métodos	16
6. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
6.1 Histórico mineral do ouro em Lavras do Sul e da mina Paredão	18
6.2. Tipos de alterações hidrotermais encontradas e Distrito mineiro	19
6.3.1 Características dos elementos de interesse	20
6.3.2 Espectrômetro de raios gama	21
6.3.3 Processamento dos dados	22
6.3.4. Produtos gerados a partir dos dados gamaespectrométricos	25
6.4. Eletroresistividade	26
6.4.1 Propriedades elétricas importantes	26
6.4.2. Fluxo de corrente no solo	27

6.3.3 Caminhamento elétrico	29
6.3.4 Arranjo Dipolo-Dipolo (em caminhamento elétrico)	30
7. RESULTADOS	31
7.1. Mapas digitais de terreno	31
7.2. Mapa de fator F	33
7.3. Descrição individual de Perfis de resistividade	34
7.4. Lâminas Delgadas	37
8. DISCUSSÕES	40
10. REFERÊNCIAS	45
11. ANEXOS	48

1. INTRODUÇÃO

O município de Lavras do Sul tem seu processo de formação associado ao aproveitamento econômico de jazimentos auríferos aluvionares, principalmente no arroio Camaquã, afluente do rio Camaquã, no final do século XVIII. Posteriormente, na segunda metade do século XIX e primeira do século XX, diferentes empresas implantaram atividades de mineração de ouro no município, porém com o aprofundamento dos trabalhos mineiros, queda de teores e precariedade tecnológica as atividades auríferas não prosperaram. A partir de novos conceitos geológicos, técnicas de operação, reiniciam os trabalhos no Distrito Aurífero de Lavras do Sul nos anos 70. (Minerar, 1997).

Atualmente, a empresa Amarillo Gold Corporation é a detentora dos direitos minerários da área cedida para estudo nesse trabalho situado na Mina Paredão, contida no projeto Lavras do sul, que é centrado em 190 km² de uma intrusão granítica. A cidade de Lavras do Sul se encontra, aproximadamente, no centro da intrusão e é acessada por 320 km de estrada da capital do estado, Porto Alegre. (AMARILLO GOLD, 2018). A área de estudo, segundo Gastal *et al.*, (2006) se encontra no Complexo Intrusivo Lavras do Sul (CILS), na Fácies Granodiorítica dos granitóides shoshoníticos.

A Mina Paredão se localiza a Noroeste de Lavras do Sul, próxima as minas Santo Expedito, Taruman, Pitangueira, Olaria e Caneleira. Começou a ser explorada em 1939 pela empresa de mineração de Serapião de Souza e foi abandonada em 1946 (Minerar, 1997).

Carvalho (1932), propôs que as mineralizações auríferas, ocorriam tanto sobre o granito como no andesito Hilário e o preenchimento dos veios de quartzo era devido à ação hidrotermal.

Nardi & Lima (1985), sugeriram que no Complexo Granítico Lavras, a propilitização é o tipo de alteração hidrotermal que abrange maiores extensões. Entretanto, a sericitização acompanhada da carbonatação é extremamente intensa nos locais mineralizados, gerando alterações de cores esverdeadas que são indicadoras de mineralizações.

Mello e Machado (1983) detectaram as Minas Olaria, Santo Expedito, Pitangueira e Paredão através de geoquímica dos solos, estes solos gerados a partir de monzogranitos que sofreram sericitização, carbonatação, feldspatização e epidotização em fraturas e

fissuras, acompanhadas por pirita, arsenopirita, calcopirita, bornita, Esfalerita, molibdenita e óxidos de ferro.

Diante disso, o presente trabalho busca identificar e caracterizar forma e estruturas na mina Paredão, assim como, o comportamento mineralógico da área da mina, através da integração dos métodos geofísicos de aerogamaespectrometria e eletrorresistividade, associados a métodos geológicos como estudo de amostras de mão e lâminas delgadas.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

Realizar Prospecção Geofísica e estudo Geológico na mina de ouro desativada Paredão, do distrito de Lavras do Sul-RS.

2.2 Específicos

- i. Utilizar aerogamaespectrometria e realizar perfis de eletrorresistividade;
- ii. Através de lâminas petrográficas, confirmar petrografia e alteração hidrotermal na área dos perfis, já relatada na bibliografia pretérita;
- iii. Descrever os dados obtidos, interpretá-los e correlacioná-los com os furos de sondagem;
- iv. Definir discontinuidades geolétricas;
- v. Delimitar a geometria do corpo hidrotermalizado e suas características;

3. JUSTIFICATIVA

A escolha da Mina Paredão como objeto de estudo se deve pelo apelo econômico exercido pelo ouro, por se tratar de um minério de grande valor e de preço estável, assim, considerando que na região de Lavras no passado foi explorado ouro e que atualmente se tem empresas que estão investigando novamente essas áreas, foi tomado contato com a empresa Amarillo, a qual sugeriu essa mina para o estudo.

Esta companhia é detentora dos direitos minerários do local de estudo, assim, forneceu as informações que já possuem e apoiou o trabalho geofísico - geológico proposto neste projeto.

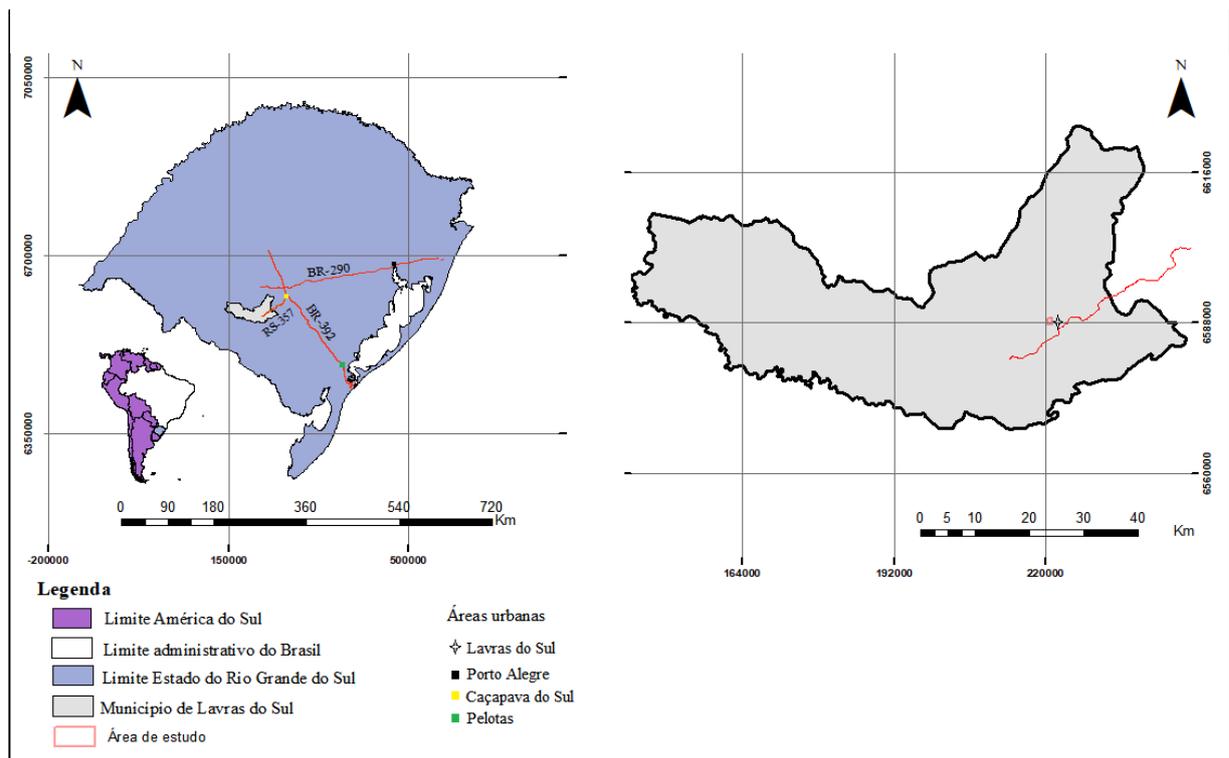
Cabe ressaltar que este projeto foi totalmente plausível de ser executado, pois as ferramentas a serem utilizadas para o desenvolvimento do mesmo estão à disposição pela Unipampa, como veículo, laboratório de preparação de lâminas e microscopia, e já foram realizados trabalhos de temática parecida na área como o de Silva (2016).

Esta pesquisa permitiu ao autor deste trabalho o domínio de técnicas e rotinas que resultarão em aumento de experiência e término de uma componente curricular responsável pela obtenção parcial do título de bacharel em geologia.

4. ÁREA DE ESTUDO

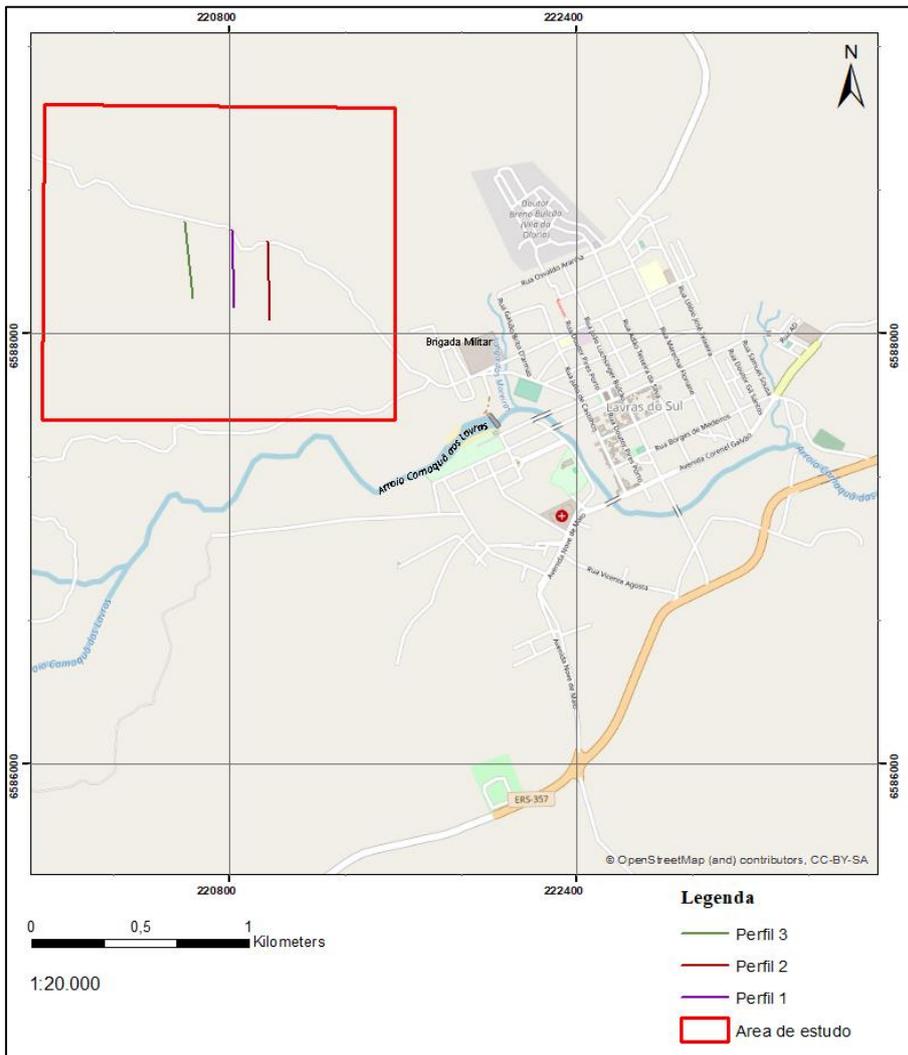
A partir de Porto Alegre, o acesso a Lavras do sul é realizado através da BR-290 até o trevo com a BR-392. Poucos quilômetros adiante temos acesso a cidade de Caçapava do Sul em uma bifurcação da BR-392 com a RS-357, a qual leva a Lavras do Sul (Figura 1). O acesso a Mina Paredão a partir da Cidade de Lavras do Sul, é feito pela estrada municipal, que segue desde a Caixa de Água e Torre de transmissão na periferia da cidade, em direção a oeste, por 2 quilômetros chegando a Mina Paredão (Figura 2).

Figura 1-Mapa de localização da área de estudo.



Fonte: Extraído da CPRM e modificado pelo Autor.

Figura 2- Mapa de localização da área de estudo.



Fonte: Extraído e modificado de Open Street Map.

4.2. Geologia Regional

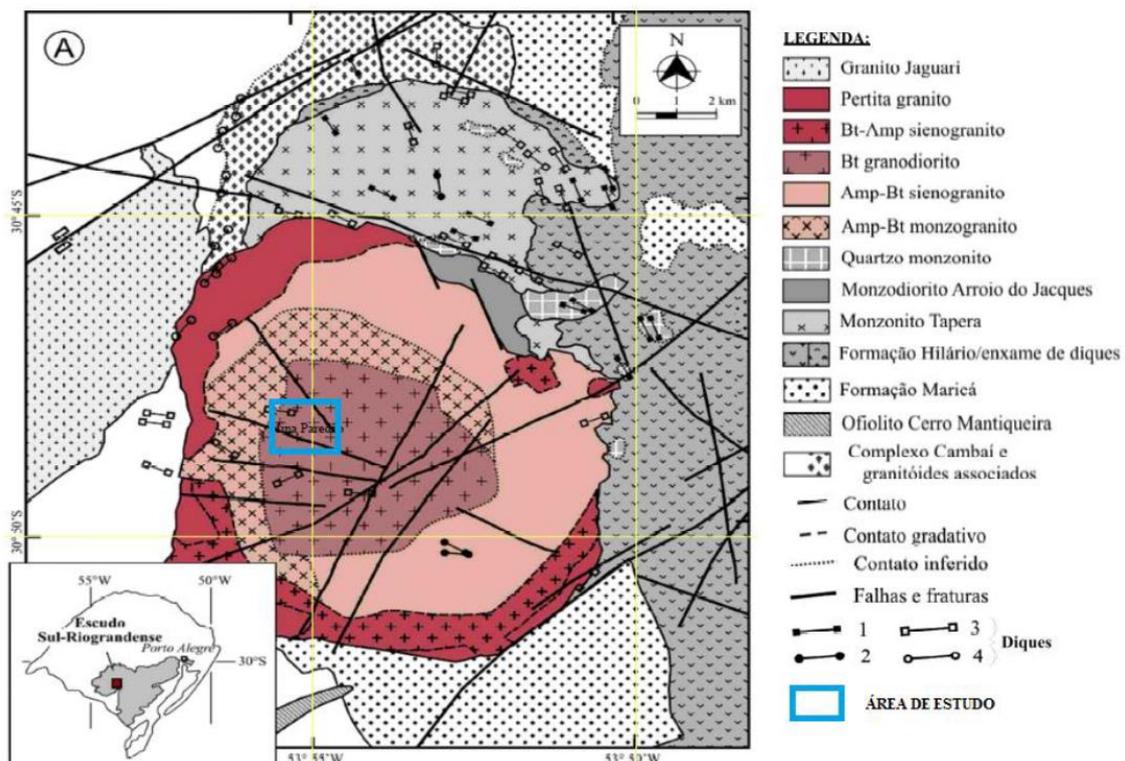
Segundo Gastal *et al* (2006), Lavras do Sul, se situa no oeste do Escudo Sul-riograndense, no domínio do Arco São Gabriel, próximo ao limite com a borda cratônica do Rio de La Plata, no Bloco Taquarembó. Estão incluídas nas unidades regionais seqüências metavulcano-sedimentares e ultramáficas, seccionadas por metagranitóides cálcio-alcalinos de baixo a médio potássio, todos eles formados no processo da orogênese acrescionária São Gabriel, entre 900 a 700 Ma. (Babinski *et al.* 1996).

A região de Lavras do Sul é formada por rochas graníticas do Complexo Granítico Lavras (CGL) descrito por Nardi (1984). O CGL possui um núcleo granodiorítico

chamado de zona central, parcialmente assimilados por magmas alcalinos, caracterizado por sienogranitos e pertita granitos localizados mais a sudoeste do *pluton*. Deste processo, rochas híbridas teriam se formado com características intermediárias das citadas acima.

Posteriormente, Gastal & Lafon (1998) atualizaram o Complexo Granítico Lavras (CGL), denominando-o de Complexo Intrusivo Lavras do Sul (CILS), agregando monzodioritos, monzonitos que ocorrem ao norte. As fácies transicionais de Nardi (1984) foram separadas em dois conjuntos, uma incorporada às fácies do núcleo e as demais individualizadas como sienogranitos. Segundo Nardi (1984), as rochas do núcleo do CGL, possuem afinidade geoquímica shoshonítica, enquanto que os granitos periféricos são alcalinos. Segundo Gastal & Lafon (1998), há contemporaneidade de formação entre as rochas do núcleo e periféricas, além de heterogeneidades de pequena escala, porém, as fácies alcalinas são relativamente mais tardias (Figura 3).

Figura 3- Mapa geológico do complexo intrusivo lavras do Sul.

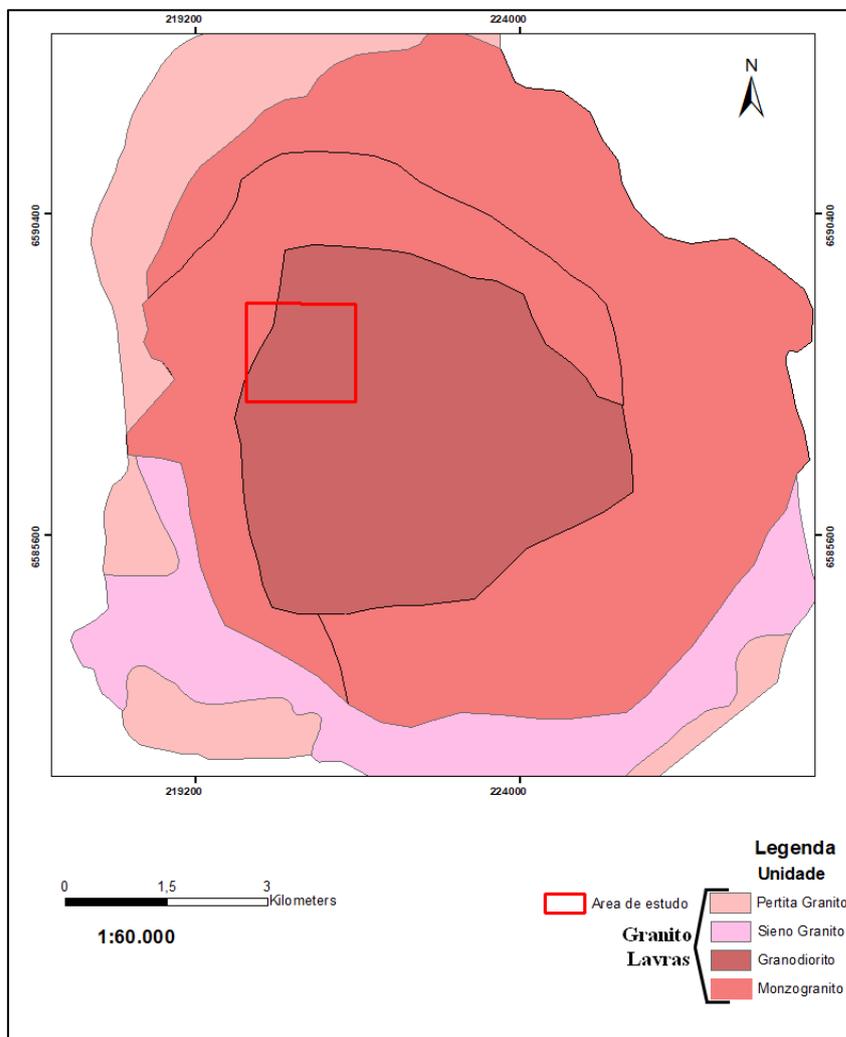


Fonte: Extraído de Gastal *et al* (2006) e adaptado por Silva (2016).

4.3. Geologia Local

De acordo com Gastal *et al* (2015),. A porção central do Granito Lavras (GL) biotita granodiorito, circundado por horblenda-biotita monzogranito, que grada a horblenda-biotita sienogranito com geoquímica mista na porção intermediária. Biotita-horblenda sienogranito e feldspato alcalino granito compõe aqueles da borda (representado na Figura 4 pelo Sieno Granito e Pertita Granito). O contato entre eles é gradativo ou brusco, sem registros de margem resfriada. A mina paredão compreende a porção do Monzogranito e do Granodiorito.

Figura 4- Mapa geológico representando o Granito Lavras.

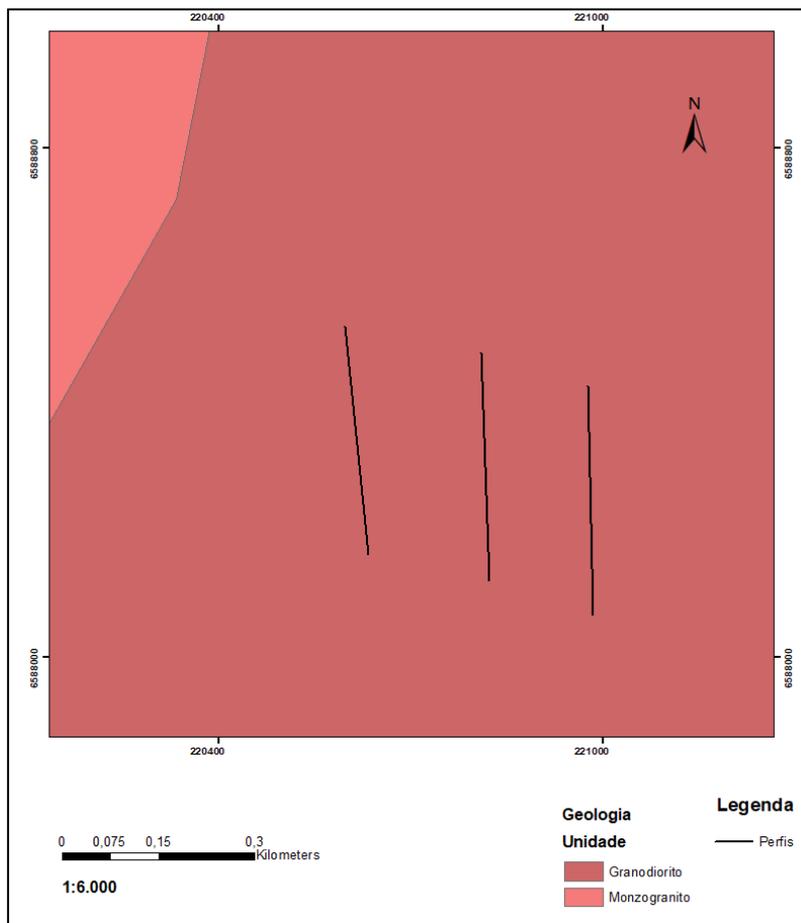


Fonte: Extraído e adaptado da CPRM.

De acordo com Gastal *et al.* (2015), a granulação em todas as litologias citadas varia de grossa a média com tipos equigranulares ou seriados. Porém no Granodiorito, (Figura

5) a fácies seriada dominante grada à porfírica grossa e fina em domínios orientados NE-SW. Segundo a revisão de Gastal *et al.* (2006) de Remus *et al.* (2000), através de datação isotópica em zircão U-Pb sabe-se a idade do Granodiorito, sendo esta de 601 ± 2 Ma.

Figura 5- Linhas de resistividade aplicadas sobre geologia local.



Fonte: Extraído e adaptado da CPRM.

5. MATERIAIS E MÉTODOS

Nesse trabalho as medidas de resistividade elétrica foram realizadas pelo método da Eletrorresistividade, foi utilizada a técnica do caminhamento elétrico em arranjo Dipolo-Dipolo. O espaçamento entre os eletrodos é de 5 m. Foram realizados três perfis com extensão de 360 metros cada, com espaçamento entre as linhas de aproximadamente 180 metros com sentido N/S.

Os dados de resistividade elétrica obtidos nas linhas são provenientes do resistivímetro Syscal Pro, equipamento esse desenvolvido pela empresa francesa *IRIS Instruments*, o mesmo é pertencente a Universidade Federal do Pampa, mais especificamente sobre propriedade do laboratório de Geofísica da Universidade, tendo tal equipamento potência de 250W.

As linhas do perfil foram escolhidas através de mapas gamaespectométricos sendo, o mais importante deles, o mapa de parâmetro F, pois valores altos de parâmetro F indicam maiores níveis de alteração hidrotermal, Além disso, os perfis foram realizados a aproximadamente 45° das principais estruturas da área de estudo (NW/SE).

Os valores de interesse para resistividade em sub-superfície são os valores relativamente baixos a intermediários, devido as porções de alteração hidrotermal, como por exemplo em minerais sulfetados, carbonatados e magnéticos que possuem a propriedade de diminuir a resistividade do granitoide. Esses valores devido ao controle estrutural da ocorrência mineral, geram zonas anômalas com a rocha encaixante, sendo então essas zonas definidas como prováveis zonas de alteração hidrotermal, no qual o minério (ouro) ocorre. Também foram definidas estruturas como fraturas e/ou falhas pelas descontinuidades geoeletricas, algumas zonas de resistividade maiores entre as zonas de menor resistividade também foram sugeridas como estruturas possivelmente preenchidas por quartzo, o qual também pode conter minério aurífero.

Juntamente com o levantamento dos perfis foram coletadas 10 amostras de rocha usando martelo petrográfico, as quais foram rotuladas com fita adesiva e descritas macroscopicamente usando lupa de mão. 5 dessas amostras foram selecionadas e laminadas no laboratório de mineralogia e petrografia da UNIPAMPA, sendo então descritas características relevantes através de microscópio óptico.

A inversão dos dados coletados em campo de resistividade, foram invertidos pelo software Res2Div, gerando assim os Perfis 2D de resistividade. O mapa 3D, em perspectiva, foi gerado através do software Oasis Montaj. Esses perfis 2D tanto quanto Mapa 3D, foram interpretados levando em consideração dados geoquímicos e petrográficos de furos de sondagem cedidos pela empresa Amarillo, também levando em consideração as características petrográficas de amostra de mão e lâmina das amostras obtidas em campo.

Por fim foi realizada análise da contribuição científica, avaliação final dos dados e identificado o comportamento das zonas de fratura e alteração hidrotermal com possíveis mineralizações.

6. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

6.1 Histórico mineral do ouro em Lavras do Sul e da mina Paredão

A atração pela região de Lavras do Sul por pesquisadores e mineradores é mais do que centenária, principalmente pelas ocorrências de ouro. Os registros mais antigos são de Carvalho (1932). Segundo o autor, no final do século XVIII, algumas famílias provenientes das ilhas Canárias, se instalaram e iniciaram a lavra de ouro. Porém, foram mineiros provindos de Minas Gerais, integrados às forças portuguesas, lutando contra os espanhóis no sul do país, os responsáveis por encontrar ouro na região.

A partir desse momento a exploração do ouro se expandiu por garimpo nas aluviões nas margens dos arroios que circundam a cidade. Segundo Teixeira & Leins (1942), somente em 1870 foi construído o primeiro engenho para triturar o minério quartzoso, visando à extração do ouro primário.

Uma série de pequenas companhias foram formadas e extintas. Carvalho (1932) relata que de 1902 a 1909 a Companhia Belga investiu em maquinário para atuar na região, porém também não obtiveram sucesso, no período a produção era bastante oscilante, com produção de ouro variando de 0,5 a 2 Kg por mês com pureza de 80%. Além disso, Carvalho (1932) e Teixeira & Leins (1942), identificaram muita instabilidade na exploração da exploração em Lavras do Sul, devido à variação do preço do ouro e superestimação devido ao pequeno conhecimento técnico das ocorrências minerais, gerando insucesso nos investimentos.

Segundo Mexias *et al.*, (2007) da década de 40 até a atualidade a exploração do ouro na região ainda é oscilante em relação à intensidade. Além disso, a Empresa CRM, também trabalhou na área na tentativa de exploração de ouro na área de Volta Grande, localizada a 8 quilômetros a leste da cidade de lavras, obtendo baixa produtividade e mantendo o empreendimento até o final dos anos 70 até o início dos 80.

Com a alteração do mercado em relação aos minerais metálicos, empresas como a RTZ e Iamgold atuam em Lavras do sul desde 2004. Segundo (Amarillo Gold Corporation, 2019) a empresa Rio Tinto foi atraída para a região de Lavras do Sul adquirindo uma grande proporção de terra, o que daria nome ao projeto Lavras do Sul,

contendo 190 km², de uma intrusão granítica nessa área. Em 2006, por meio de licitação anônima, a empresa Rio Tinto vendeu o projeto para a empresa vencedora dessa licitação, A empresa Amarelho gold corporation é a detentora do projeto desde então.

A Mina Paredão (área de interesse nesse trabalho), começou a ser explorada em 1939 pela empresa de mineração de Serapião de Souza e foi abandonada em 1946 (Minerar, 1997).

6.2. Tipos de alterações hidrotermais encontradas e Distrito mineiro

Segundo Gastal *et al.* (2015), os prospectos, no distrito aurífero de Lavras do Sul (DALS), estão distribuídos no granito Lavras contendo Au±Cu±Ag, (local de interesse nesse trabalho) e na sequência Vulcânica contendo Cu-Au-Pb±Ag.

Conforme Nardi & Lima (1988), a zonalidade da mineralização (Au versus. Cu-Pb), tem sido atribuída a posição relativa ao granito, onde o minério de Au (0,3 – 16 g/ton) consiste de pirita aurífera e Au livre, subordinado, os quais estão associados à esfalerita e galena em veios de quartzo e na forma disseminada. Segundo Bongioiolo (2006), a mineralização varia do tipo pórfiro no granito a epitermal na sequência vulcânica

De acordo com Mexias *et al.* (2007), os processos hidrotermais que atuaram na região de Lavras do Sul, deixaram fossilizadas mineralogias, texturas e assembleias minerais. Nesse trabalho será abordado especificamente as rochas do núcleo e a associação da literatura com o que foi encontrado em campo.

Os mais importantes tipos de processos identificados foram:

- *Cloritização* - Deposição da clorita ferrosa nas cavidades deixadas pela dissolução do quartzo no processo de epissienitização. Podem ser visualizadas pirita e clorita ferrosa em lâmina (figura-20).
- *Alteração Fílica* – Principal processo de alteração e mineralização aurífera com cristalização nesse caso de sericitas. Tem alto poder destrutivo, com intensas dissolução do feldspato alcalino magmático. (pode ser visto esse tipo de alteração em lâmina e pirita em luz refletida na figura 21 e 22). Segundo Mexias a concentração de sericita pode atingir até 80% e pirita até 10%.

6.3 Aerogamaespectrometria

Segundo Keary, Brocks & Hil (2009), os levantamentos radiométricos são úteis no mapeamento, pois diferentes rochas podem ser reconhecidas por suas assinaturas

radioativas distintas. Há mais de 50 isótopos radioativos de ocorrência natural, porém os de maior interesse na exploração radiométrica são o urânio (^{238}U), o tório (^{232}Th) e o potássio (^{40}K).

Outro fator importante está relacionado ao decaimento radioativo, que ocorre devido à instabilidade dos isótopos, fazendo com que haja a desintegração dos mesmos até a formação de outros elementos, essa desintegração ocorre na forma de emissão radiação e de partículas podendo ser elas alfa, beta ou gama. Essas emissões possuem propriedades de penetração e de movimento pelo ar. Portanto as partículas ou raios gama são os únicos a alcançar várias centenas de metros de sua fonte, por isso são as únicas que podem ser detectadas em levantamentos aerotransportados.

Segundo Ribeiro (2013), através da gamaespectrometria informações importantes sobre a composição das unidades geológicas podem ser detectadas, a localização com maior concentração de um elemento e delimitar regiões de interesse para a exploração. Porém as informações obtidas por esse método possuem pouco alcance em profundidade.

A interpretação dos dados radiométricos é principalmente qualitativa, embora existam curvas características para certas formas elementares que forneçam o parâmetro: (área de superfície) x (intensidade da fonte).

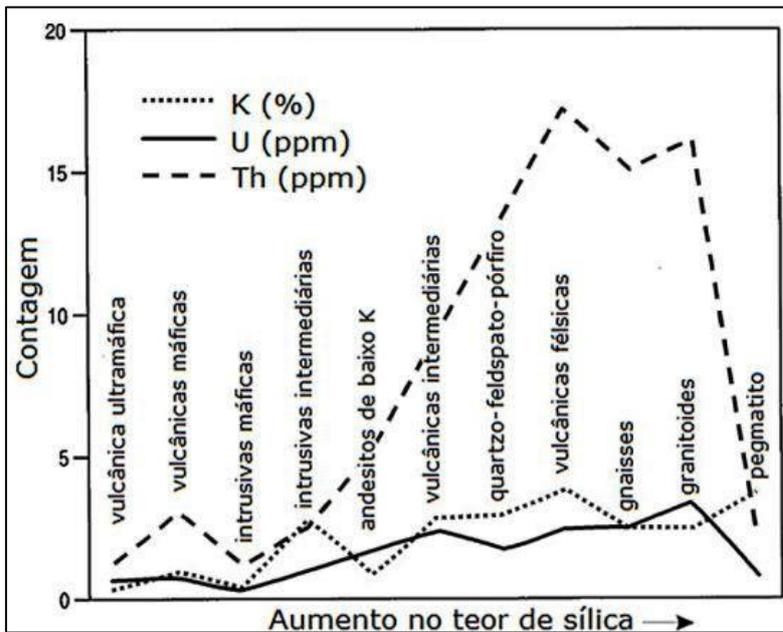
6.3.1 Características dos elementos de interesse

Potássio (K): elemento radioativo mais abundante da crosta terrestre ($\pm 3\%$) a principal ocorrência do potássio se encontra em feldspatos potássicos, principalmente em seus polimorfos mais abundantes com teores variando de 2,45% a 13,28% (Cox *et al.* 1979). De acordo com Ribeiro (2013), o mesmo também ocorre em micas como a Flogopita, Biotita e muscovita (9,30% a 6,64%) e em argilominerais formados na diagênese ou na alteração hidrotermal, quando lixiviado de minerais primários é facilmente absorvido por argilominerais como illita e montmorilonita. As rochas que apresentam maior concentração de potássio são rochas ígneas félsicas, metamórficas micáceas e sedimentares contendo altas concentrações de argilo minerais. Além disso, o potássio possui comportamento incompatível, portanto de acordo com Wilford (1997), apresenta alta mobilidade durante o intemperismo e em ambientes de alteração hidrotermal.

Urânio (U) e Tório (Th): O urânio apresenta um valor de aproximadamente 2,7 ppm, na crosta continental superior, enquanto o tório pode chegar a 10,5 ppm (Rudnick & Gao 2004). Tanto o urânio quanto o tório se concentram em minerais acessórios de rochas ígneas, metamórficas e quartzo feldspáticas (Boyle 1982). Segundo Dickson & Scott (1997), o tório pode estar presente nos minerais: alanita, monazita, xenotima e zircão em níveis superiores a 1000 ppm entre outros minerais em pequenas concentrações.

De acordo com Dickson & Scott (1997), o teor desses elementos citados aumenta em função do teor de sílica como podemos ver na imagem abaixo:

Figura 6- Diagrama da variação dos teores médios do K, U e Th com o aumento do teor de sílica em rochas ígneas e metamórficas.



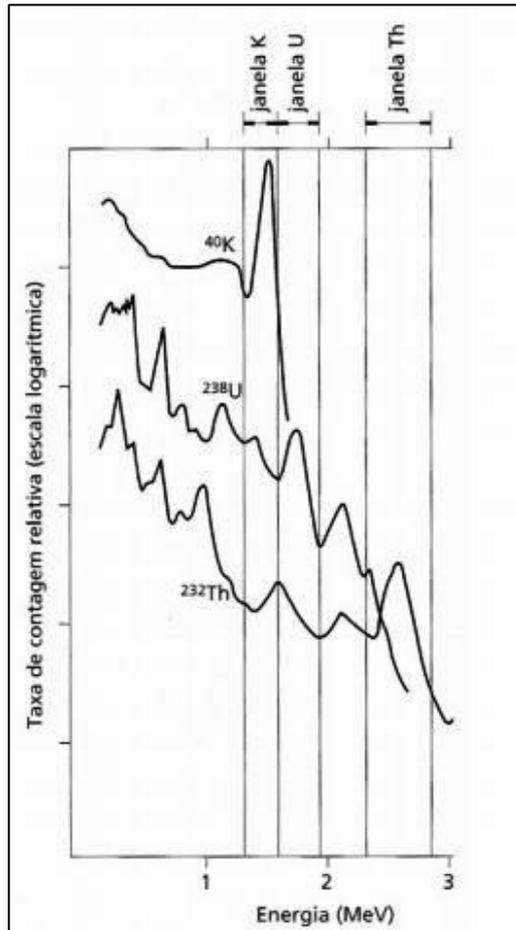
Fonte: Modificado de Dickson & Scott 1997.

6.3.2 Espectrômetro de raios gama

O espectrômetro de raios gama é uma extensão do contador de cintilação, que é um detector de radiação gama, que se baseia em fenômenos ocasionados por determinadas substâncias como o iodeto de sódio ativado por tálio, que gera cintilações ao receber impacto de fótons gama, fazendo com que as válvulas fotomultiplicadoras convertam as cintilações em impulsos elétricos que posteriormente são convertidos em contagens ou para outras medidas. O espectrômetro se diferencia no fato de que ele diferencia os

espectros dos raios gama do ^{40}K , ^{238}U e ^{232}Th , devido os picos representados pelos picos em suas séries de decaimento. Portanto, podemos fixar essa frequência em janelas de intervalos com níveis superiores e inferiores de energia, podendo assim identificá-los e de certo modo quantificá-los.

Figura 7- Espectro de energia de ^{40}K , ^{238}U e ^{232}Th e suas janelas de medições.



Fonte: extraído de *Keary, Brocks e Hil (2009)*

6.3.3 Processamento dos dados

De acordo com Ribeiro (2013), as correções de dados gamaespectrométricos devem seguir as recomendações contidas nos relatórios da Agência Internacional de Energia Atômica (IAEA 1991 e 2003). Dentre elas são correção de tempo morto, cálculo da altura efetiva de voo, espalhamento Compton, radiação de fundo e correção altimétrica. Essas correções serão mais bem especificadas abaixo.

6.3.3.1 Tempo morto

Segundo Ribeiro (2013), é o tempo que o gama-espectrômetro demora em gravar as contagens medidas, esse valor deve ser corrigido pelo fato de não serem registradas novas contagens, havendo então defasagem. Um valor típico de tempo morto vai de 5 a 15 μ s/pulso, e pode ser corrigido pela fórmula (IAEA 2003):

$$N = \frac{n}{1 - C_T \cdot t} \quad (1)$$

N é o valor corrigido em contagens por segundo (cps), n o valor de contagens observadas em cps, C_T a contagem total de todos os canais e t o valor de tempo morto do equipamento por pulso.

6.3.3.2 Cálculo da Altura Efetiva do Vôo

De acordo com Ribeiro (2013), devido à irregularidade da topografia a altura do vôo não se mantém constante, assim deve ser feita a correção dessa variação com base na temperatura e pressão ambientais pela fórmula da (IAEA 2003):

$$He = h \left(\frac{273,15}{T} + 273,15 \right) \left(\frac{P}{1013,25} \right) \quad (2)$$

onde h é a medida de vôo medida pelo radaraltímetro (em metros), T é a temperatura do ar medida em °C, P a pressão atmosférica em milibar obtida da altitude medida pelo altímetro barométrico.

6.3.3.3 Remoção do *Background* da Aeronave e Cósmico

Segundo Ribeiro (2013), o cálculo das contribuições de influência da radiação cósmica e da aeronave pode ser feito pela fórmula da (IAEA 1991):

$$N = a + b \cdot C \quad (3)$$

onde N é a somatória das contribuições da aeronave e cósmica, a *background* da aeronave em cada janela, C contagens observadas no canal de radiação cósmica, b razão entre

contagem em uma determinada janela e a contagem no canal cósmico. Os valores de a e C são obtidos durante o voo sobre uma grande superfície de água para isolar a captação de radiação da aeronave e cósmica.

6.3.3.4. Remoção do *Background* do Radônio Atmosférico

De acordo com Ribeiro (2013), esse tipo de radiação é determinado por medições na janela de urânio por um detector com configuração *upward looking*, pela expressão da (IAEA 1991):

$$U_r = \frac{u - a_1 U - a_2 T_h + a_2 b_t - b_u}{a_u - a_1 - a_2 a_t} \quad (4)$$

Onde U_r é o *background* do radônio observado no canal do urânio pelo detector *downward*, o u é a contagem medida no canal urânio pelo detector *upward*, U é a contagem medida no canal do urânio, T_h é a contagem medida no canal do tório pelo detector *downward*, a_1 , a_2 , a_u , a_t , b_u e b_t são coeficientes de proporcionalidades derivadas da calibração adequada que de acordo com Ribeiro (2013).

6.3.3.5. Correção Altimétrica

Segundo Ribeiro (2013), a variação da topografia pode gerar falsas anomalias no aerolevanteamento, as mesmas podem ser corrigidas pela fórmula da (IAEA 1991):

$$N_H = N_0 \cdot e^{-\mu \cdot H} \quad (5)$$

Onde N_H é a radiação H da fonte, N_0 a radiação na superfície do terreno ($H = 0$) e μ o coeficiente da atenuação atmosférica.

6.3.3.6. Correção do Efeito Compton

De acordo com Ribeiro (2013), essa correção é aplicada para eliminar a influência das radiações atribuídas aos canais de mais alta energia nos canais de menor energia. Havendo seis coeficientes considerados para a correção: α (radiações de tório no urânio), β (radiações de tório no potássio), γ (radiações de urânio no potássio), a (radiações de urânio no tório), b (radiações de potássio no tório) e g (radiações de potássio no urânio).

6.3.4. Produtos gerados a partir dos dados gamaespectrométricos

6.3.4.1 Mapas de Razões

Segundo Ribeiro (2013), através de mapas de razão U/Th, U/K e Th/K pode se identificar áreas com forte alteração hidrotermal, do tipo potássica e ou sílica, diferenciação das concentrações de K, Th e U, diferenciação de corpos graníticos, podendo então relacionar com a ocorrência de ouro.

6.3.4.2. Mapa de parâmetro F

De acordo com Ribeiro (2013), o mapa de parâmetro F realça o enriquecimento de potássio e urânio em relação ao tório, associando maciços rochosos com alteração hidrotermal com enriquecimento de urânio e potássio com valores altos. O qual pode ser definido pela fórmula (Gnojek & Prichystal 1985):

$$F = K \frac{eU}{eTh} \quad (6)$$

6.3.4.3 Mapa Ternário RGB

Segundo Ribeiro (2013), o mapa ternário é gerado a partir da associação de uma cor para cada radioelemento, no caso do padrão RGB associa as cores vermelho azul e verde ao potássio em %, tório e urânio em ppm respectivamente, com gradação das cores variando com o teor de cada elemento, a cor branca representa altos teores dos três

elementos enquanto a cor preta representa o oposto. Esse mapa serve para ressaltar o contraste dos elementos não tão evidente nos mapas anteriores.

6.4. Eletroresistividade

6.4.1 Propriedades elétricas importantes

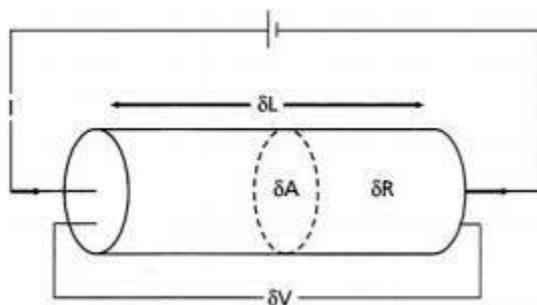
Segundo Keary, Brocks & Hil (2009), através de correntes elétricas artificialmente geradas e introduzidas no solo, pode-se obter as diferenças de potencial resultante na superfície. Por meio dos desvios padrão dessa diferença de potencial, serão obtidas informações sobre a forma e as propriedades elétricas das homogeneidades de subsuperfície.

A resistividade de um material é definida como a resistência em ohms entre as faces opostas de um cubo unitário do material. Em um cilindro de resistência R , e comprimento L e área de seção transversal A , a resistividade ρ é dada por:

$$\rho = \frac{\delta R \delta A}{\delta L} \quad (7)$$

Sendo unidade no SI da resistividade o ohm-metro.

Figura 8- Parâmetros usados na definição de resistividade.



Fonte: extraído de Keary, Brocks e Hil (2009).

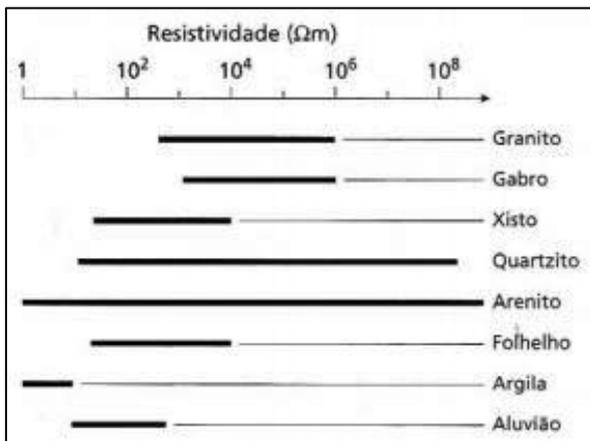
A resistividade é inversamente proporcional a condutividade e, nas rochas e solos ela é controlada pela mineralogia, pela porosidade (principalmente) e fluidos contidos

nesses poros pela resistividade efetiva, essa última pode ser calculada através da fórmula empírica proposta por Archie (1942)

$$\rho = a\phi^{-b}f^{-c}\rho_w \quad (8)$$

onde ϕ simboliza a porosidade, f a fração de poros contendo água de resistividade ρ_w , e a, b e c constantes empíricas. Vale ressaltar que ρ_w varia muito de acordo com os materiais dissolvidos nos poros.

Figura 9- Intervalo aproximado de valores de resistividade dos tipos de rocha.



Fonte: extraído de Keary, Brocks e Hil (2009).

6.4.2. Fluxo de corrente no solo

O fluxo de corrente está relacionado com a lei de Ohm, essa lei se relaciona com a diferença de potencial δV ao ponto que $\delta V = \delta RI$ e $\delta R = \frac{\rho \delta L}{\delta A}$. Substituindo

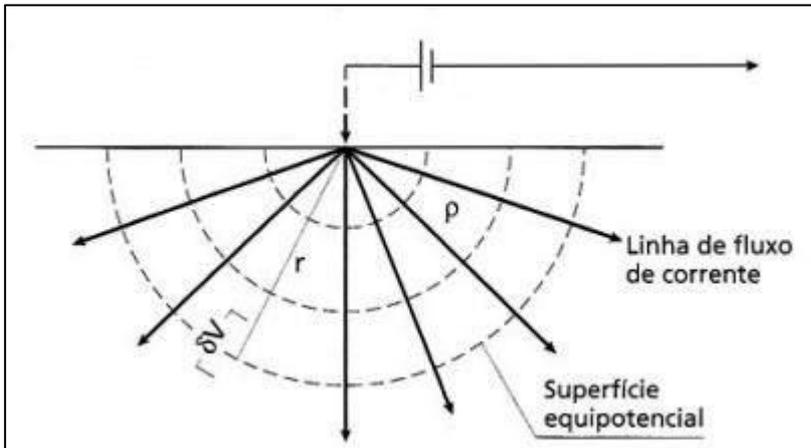
$$\frac{\delta V}{\delta L} = \frac{-\rho I}{\delta A} = -\rho i \quad (9)$$

Na situação de um único eletrodo de corrente de superfície de um meio de resistividade uniforme ρ onde a corrente flui radialmente a partir do eletrodo e outro em um sumidouro de grande distancia do primeiro fazendo com que a corrente flua radialmente a partir do eletrodo sobre as superfícies hemisféricas centradas na fonte, a

distância r do eletrodo com a superfícies tem uma área de $2\pi r^2$ então a densidade da corrente é

$$i = \frac{I}{2\pi r^2} \quad (10)$$

Figura 10- Parâmetros usados na definição de resistividade



Fonte: extraído de Keary, Brocks e Hil (2009)

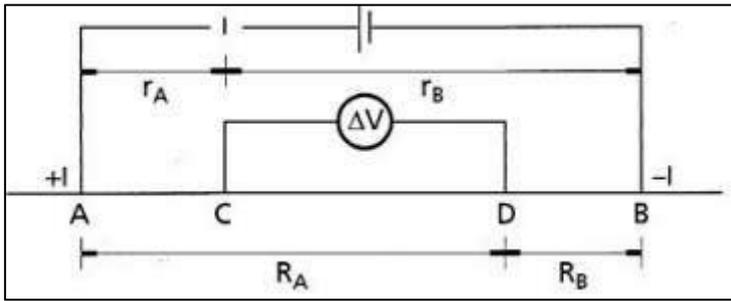
O cálculo do potencial em qualquer ponto ou abaixo da superfície de um semi-espaço homogêneo é feito através da integração

$$Vr = \int dV = - \int \frac{\rho I dr}{2\pi r^2} = \frac{\rho I}{2\pi r} \quad (11)$$

Se houver sumidouro com distância de fonte finita (figura x). O potencial V_C num eletrodo interno C é a soma das contribuições dos potenciais V_A e V_B da fonte de corrente A e do sumidouro em B.

$$V_C = V_A + V_B \quad (12)$$

Figura 11- forma geral da configuração de eletrodo usada em medições de resistividade.



Fonte: extraído de Keary, Brocks e Hil (2009).

A partir da equação x V_C pode ser escrita como:

$$V_C = \frac{\rho I}{2\pi} \left(\frac{1}{r_A} - \frac{1}{r_B} \right) \text{ ou } V_D = \frac{\rho I}{2\pi} \left(\frac{1}{R_A} - \frac{1}{R_B} \right) \quad (13)$$

Então,

$$\rho = \frac{2\pi \Delta V}{I \left\{ \left(\frac{1}{r_A} - \frac{1}{r_B} \right) - \left(\frac{1}{R_A} - \frac{1}{R_B} \right) \right\}} \quad (14)$$

Portanto a resistividade em solo uniforme será calculada por essa última fórmula, havendo independência no espaçamento dos eletrodos e da localização na superfície, porém a resistividade variará de acordo com as posições relativas dos eletrodos.

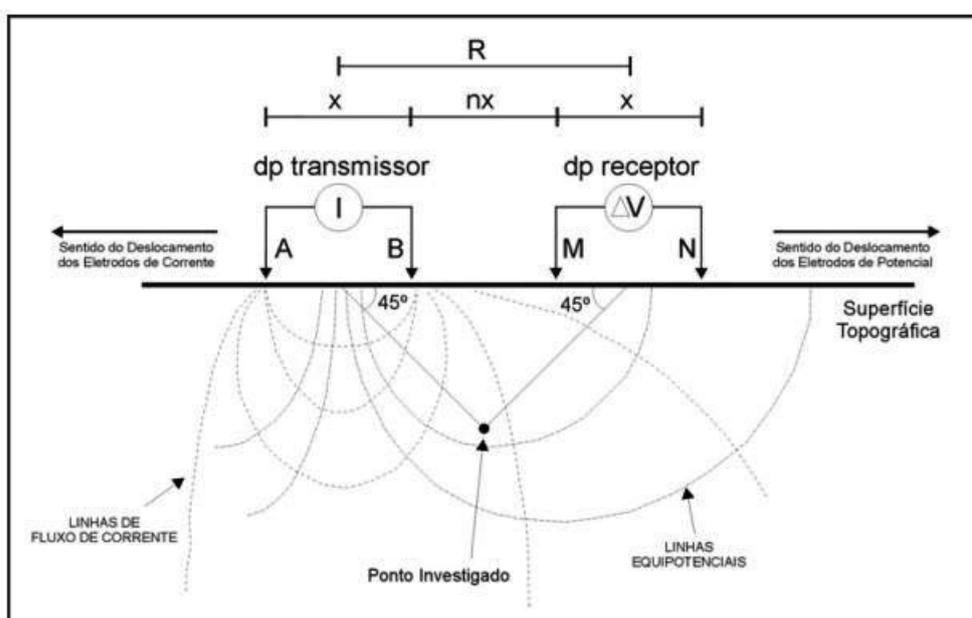
6.3.3 Caminhamento elétrico

Também conhecido como imageamento elétrico, é usado para determinar variações verticais de resistividade elétrica. A corrente e os eletrodos de potencial são mantidos a uma separação fixa e progressivamente movidos ao longo do perfil. Esse método é indicado para prospecção mineral na localização de falhas ou zonas de cisalhamento e para detectar corpos localizados de condutividade anômala, os resultados de uma série de caminhamento elétrico com um espaçamento de eletrodos fixo podem ser empregados na produção de mapas de contorno de resistividade. Keary, Brocks & Hil (2009)

6.3.4 Arranjo Dipolo-Dipolo (em caminhamento elétrico)

Segundo Borges (2002), no arranjo Dipolo-dipolo, os eletrodos AB de injeção de corrente e MN de potencial são dispostos segundo uma linha e o arranjo é definido pelos espaçamentos entre os eletrodos $X = AB = MN$. A profundidade de investigação aumenta de acordo com a distância entre os eletrodos de potencial e os de corrente R que teoricamente é correspondente a $\frac{R}{2}$. As medidas são feitas para varias profundidades de investigação n , a qual é o ponto de intersecção entre uma linha que parte do centro do arranjo de eletrodos AB e outra que parte do centro do arranjo MN , com ângulos de 45° .

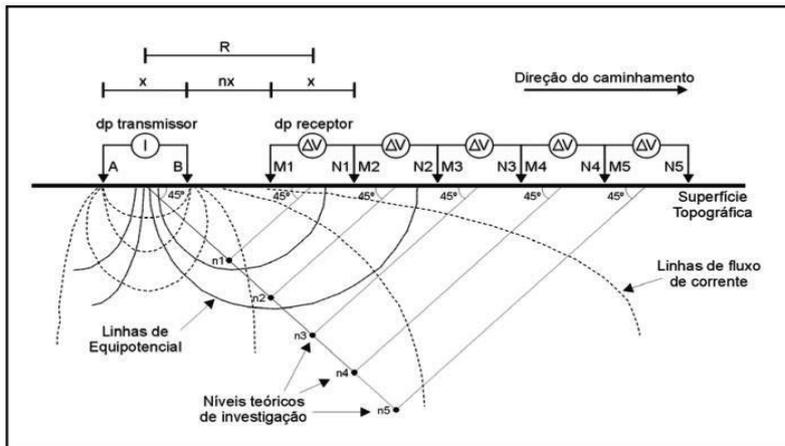
Figura 12- Esquema de sondagens dipolares.



Fonte: modificado de Strobino (2001), Borges (2002).

Também de acordo com Borba (2002), os eletrodos são expandidos simetricamente a partir de um centro que permanece fixo e cujas profundidades de investigação aumentam com o crescimento da distância dos eletrodos de corrente AB , em cada medida os dipolos são mudados de lugar, a uma distância igual a X , onde os dados são obtidos novamente para diferentes valores de n , formando uma seção de pontos de resistividade aparente.

Figura 13- Esquema de arranjo dipolo-dipolo usado em caminhamento elétrico.



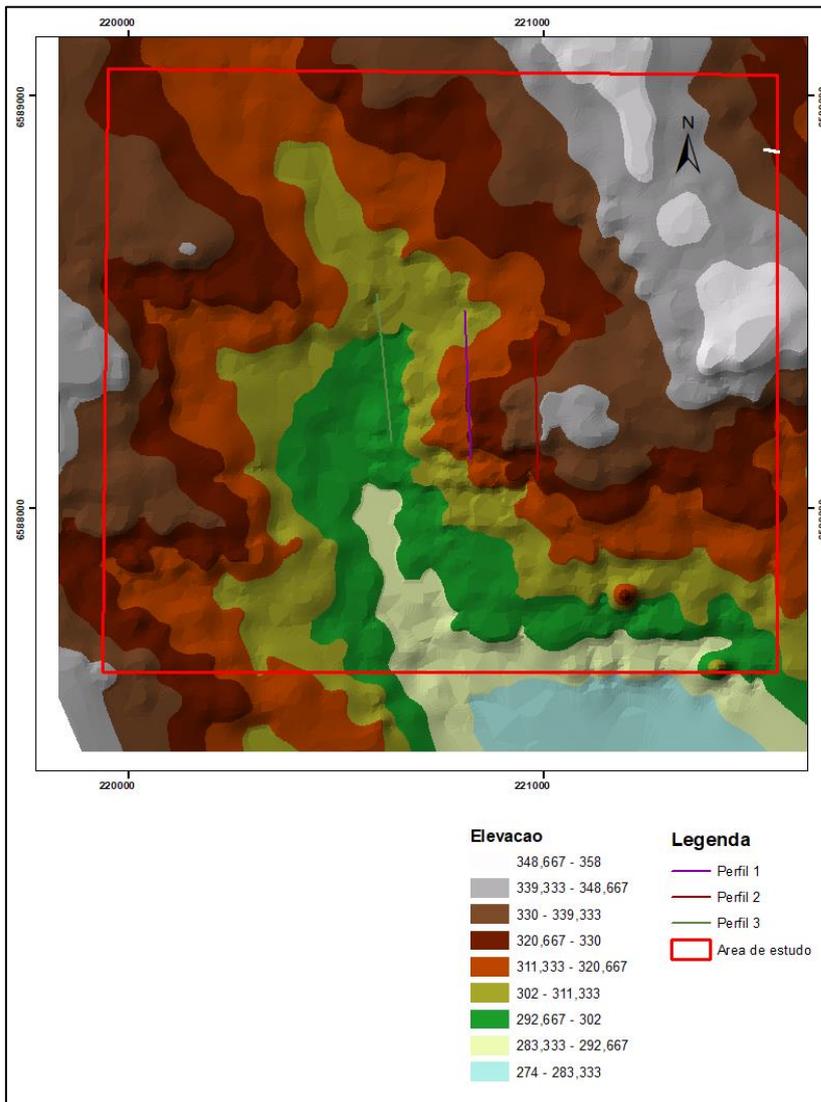
Fonte: adaptada de Elis, 1998, Borges (2002).

7. RESULTADOS

7.1. Mapas digitais de terreno

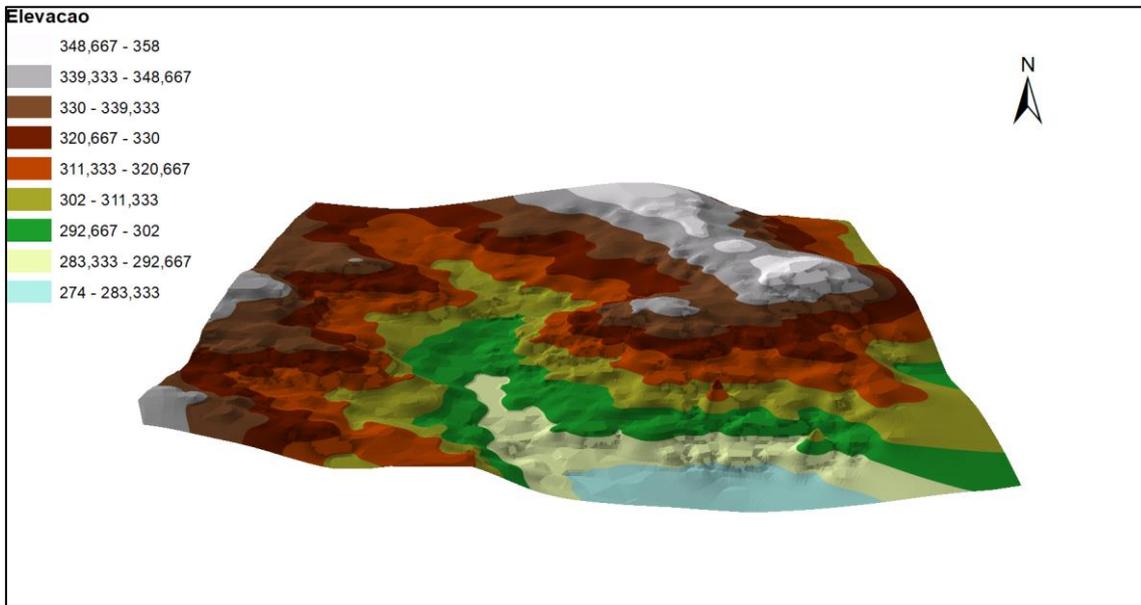
A figura 14 apresenta o modelo digital de terreno da área de estudo e localização de perfis. A informações de pontos contados, foram extraídas do Google Earth e processadas pelo autor. As cotas variam de 274 a 358, e pode-se observar um aumento topográfico em relação aos perfis da esquerda para a direita.

Figura 14- Mapa Digital de Terreno em planta, Indicando perfis e área de estudo.



Fonte: Autor.

Figura 15- Modelo digital de elevação 3D.

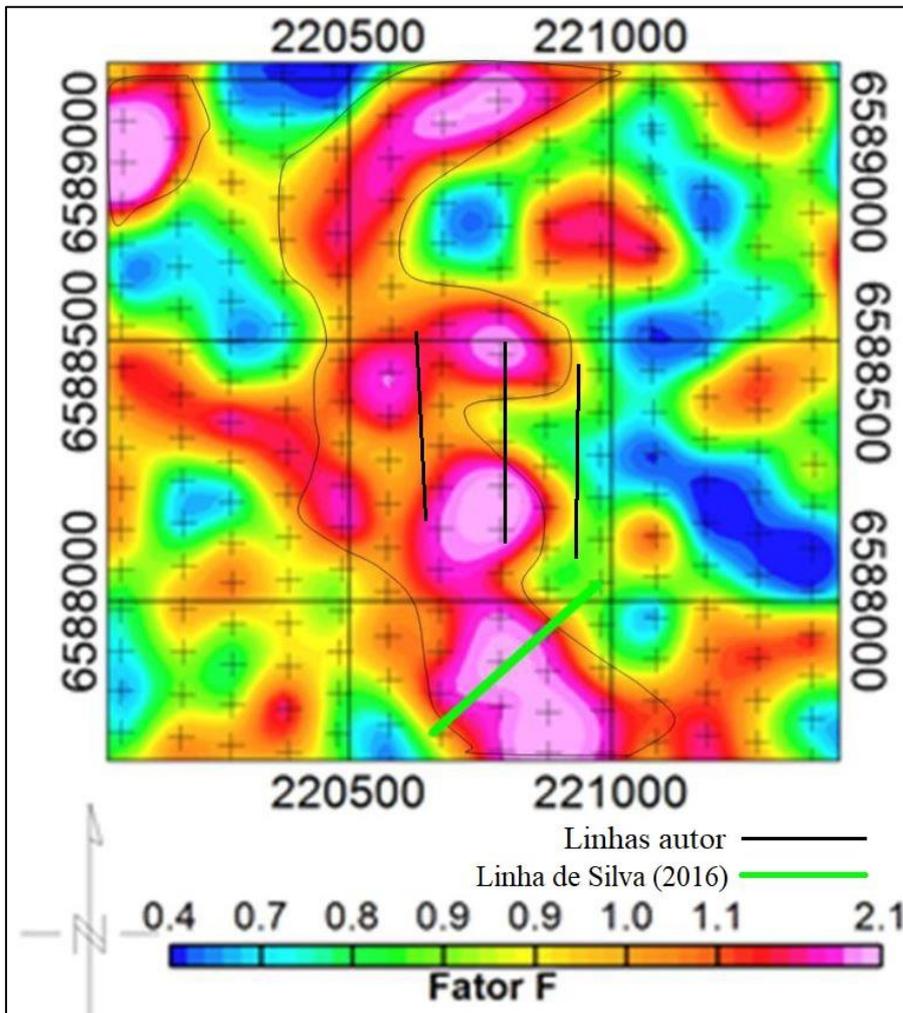


Fonte: Autor.

7.2. Mapa de fator F

O nome das linhas corresponde a ordem de aquisição em campo, da esquerda para a direita pode-se observar a L3, L1 e L2 (Figura 16). Abaixo das mesmas pode ser visto outra linha aplicada em outro trabalho, sendo assim duas linhas foram feitas paralelas entre-si, ao longo dessa anomalia de alto valor porém acima da feita no estudo anterior (L3 e L1), L2 também se encontra paralela as outras duas, porém se entra na borda desse corpo de maior fator F, podendo então indicar quais diferenças ocorrem em profundidade.

Figura 16- Mapa de fator F, indicando localização de linhas de aquisição.



Fonte: Modificado de Silva (2016).

7.3. Descrição individual de Perfis de resistividade

Na linha de resistividade 1 Como em todos os outros perfis os valores de resistividade variam entre menos de 90 Ohm.m até mais de 30000 Ohm.m, o que pode ocorrer em granitos secos e inalterados, dado principalmente pela baixa ou quase inexistência de porosidade primária e a limitação a passagem de fluidos.

Nas posições próximas a superfície predominam valores, que variam de 100 Ohm.m até 2000 ohm.m. Em alguns poucos locais a menos de um metro de profundidade no entanto também ocorrem valores altos dessa propriedade física, variando de aproximadamente 15000 a mais de 30000 Ohm.m, podendo eles ser isolados em forma

alongada e fina, em forma de gota ou elipse com pouca ou nenhuma inclinação, ou estar interligado ao corpo de altos valores de resistividade maior.

Valores de resistividade entre 500 e 3000 Ohm.m (podendo ser extrapolados tanto para mais como para menos), ocorrem distribuídos pelo perfil principalmente com pouca ou nenhuma inclinação, em forma de elipse ou geometrias próximas. Os valores intermediários altos vão de ~4000 até ~12000 Ohm.m, conectam essas elipses aos valores máximos, essas variações aumentam gradualmente, e em alguns pontos de maneira logarítmica. Os valores mais altos se encontram com ângulo de mergulho quas e nulo na porção superficial do perfil e no restante sub-verticalizados (Figura 17).

Esse perfil é o único no qual não se pode estabelecer zonas definidas em profundidade de resistividade,(talvez melhor vistos em mapa 3D) porém mesmo assim possui relação direta com os padrões dessa propriedade com os outros perfis, denotando continuidade lateral, já que as principais linhas de descontinuidade são paralelas entre si (Figura 17 e 18).

Na linha 2 além das características presentes comuns aos outros dois perfis, ocorre a maior zonação das 3 linhas. Os maiores valores de resistividade se concentram alongados e praticamente horizontalizados na forma de lentes, em que os valores máximos de resistividade, tem formas “subédricas” que vão de circulares a elípticas imperfeitas de tamanho bimodal. As maiores tendem a serem circulares e as menores mais elípticas.

Quanto ao restante do perfil, nas porções superficiais e basais (podendo chegar até o centro do mesmo) predominam valores de resistividade menores, chegando no máximo a 4 mil Ohm.m, os quais contêm formas predominantemente lenticulares e alongadas na parte de cima do perfil.

Próximo as extremidades e em pequena escala, ocorrem valores baixos de resistividade, semelhantes com o corpo lenticular, variando de 150 a 2000 Ohm.m. os quais, próximos as extremidades laterais do perfil formam dois pequenos círculos.

Na porção basal em espessura maior ocorrem valores que variam de 1000 até 5000 ohm.m em forma de dois corpos circulares a semielípticos interligados. (Figuras 17 e 18).

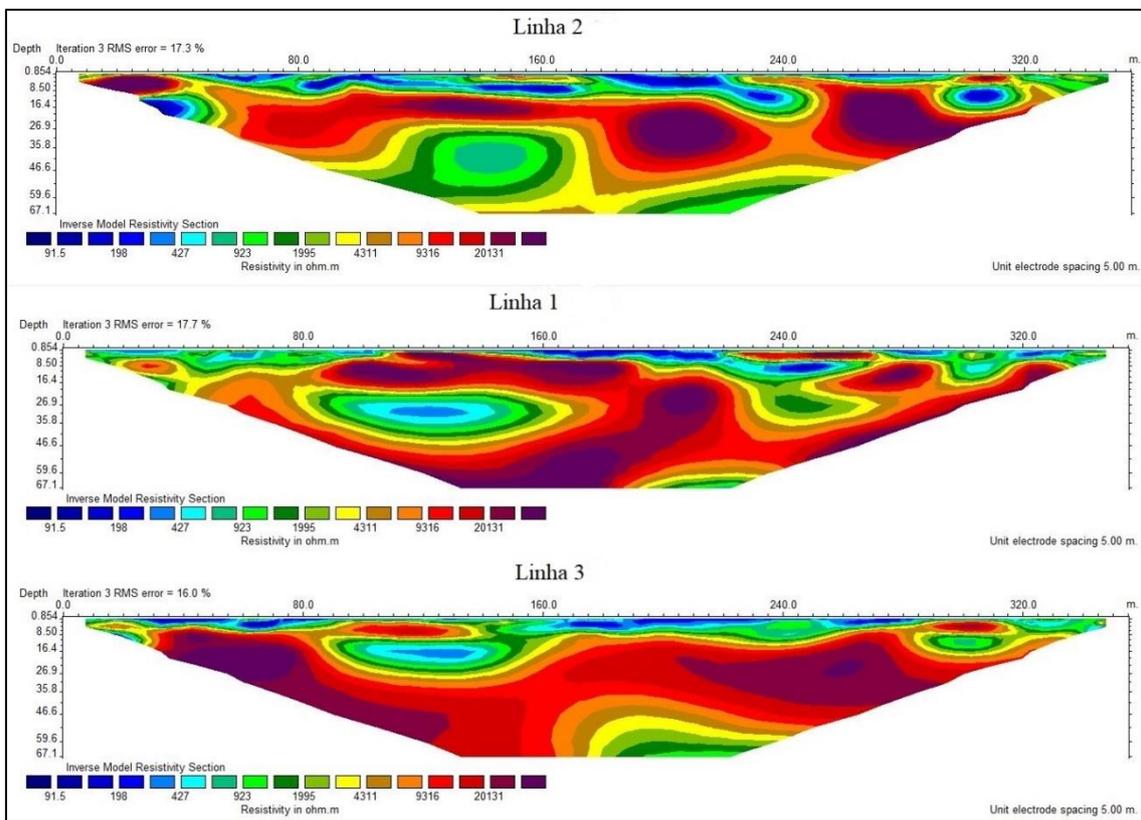
A linha 3 de resistividade na porção central, esse perfil demonstra valores altos de resistividade em formato senóide incompleto ou assimétrico, com valores de resistividade indo de ~ 10000 ohm.m até os valores máximos, maiores que 30000 Ohm.m, concentrados próximos as extremidades laterais do mesmo. Além disso, ocorrem dois

corpos tabulares com espessura aproximada de 5 metros, uma próxima do centro do perfil e outra aproximadamente ao final dele.

Como nos demais perfis, valores extremamente baixos a baixos ocorrem superficialmente indo de ~100 até 2000 ohm.m, e também apresentam dois corpos elípticos abaixo dos tabulares descritos anteriormente, os últimos com valores máximos de até 2000 Ohm.m, ligando uma fina camada intermediária de valores próximos de 5000 Ohm.m que delimita todos esses valores baixos, dos valores altos dos corpos sinoidal e tabulares.

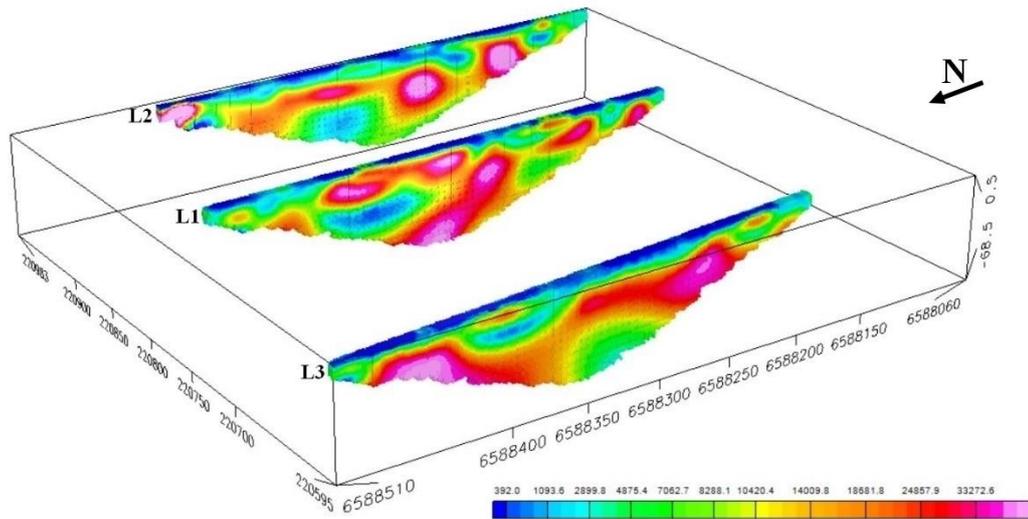
Na porção inferior ocorre um corpo em forma de semi-elipse, que possui valores basais próximos a 900 ohm.m, que aumentam gradativamente até o corpo senóide.

Figura 17- Perfis 2D de resistividade.



Fonte: Autor.

Figura 18- Mapa 3D em perspectiva de resistividade



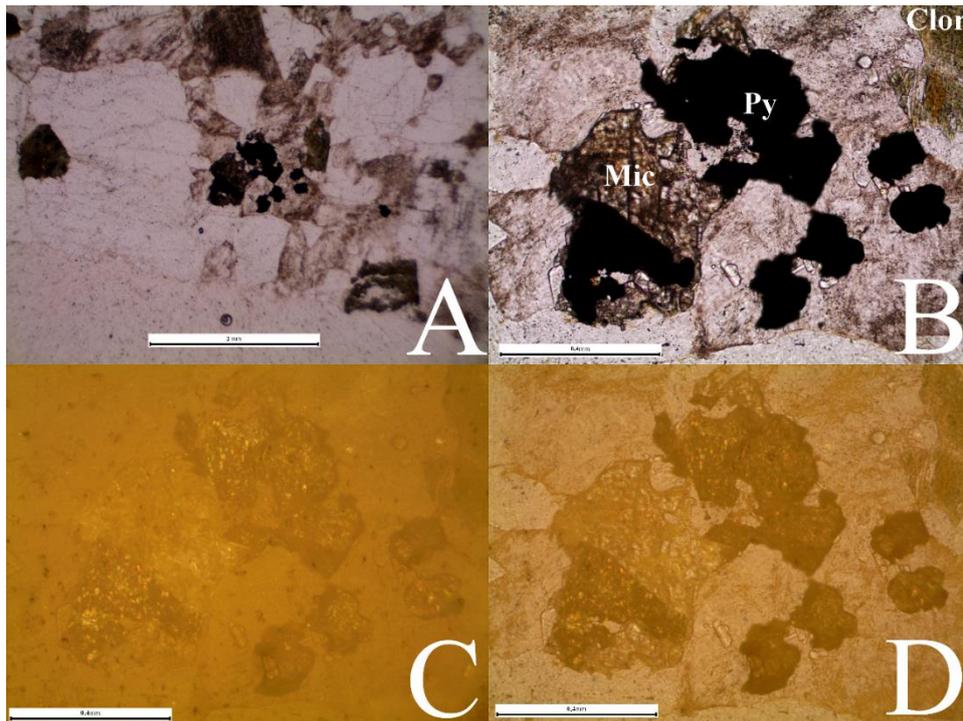
Fonte: Autor.

7.4. Lâminas Delgadas

As fotos tiradas da amostra P3 D2 (Figura 19), , tem como foco os minerais opacos ao centro da imagem. **A** é demonstrada em nicóis descruzados em luz transmitida e com aumento de 5x. **B** é vista em nicóis descruzados, luz transmitida e com aumento de 20x. **C** e **D** são mostradas em nicóis descruzados, em luz refletida com aumento de 20x, diferenciam-se, pois, **C** é vista com diafragma fechado e **D** com diafragma fechado.

A principal característica interessante nessa porção de lâmina é a clorita que aparenta ser ferrosa na porção do canto superior direito, e a pirita visualizada em luz refletida.

Figura 19- Amostra P3 D2 com opacos.



Fonte: Autor.

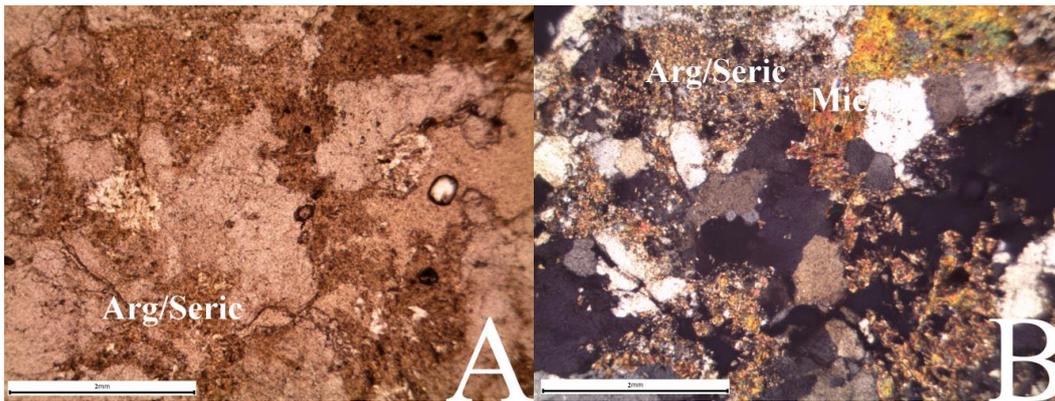
Na amostra em lâmina P7D2 (Figura 20), pode-se ver em **A**, em nicóis descruzados em luz transmitida e com um aumento de 5x. Em **B** a mesma lâmina é vista com nicóis cruzados em luz transmitida e com aumento de 5x.

A parte de interesse nessa amostra se destaca pela alta proporção de argilização e sericização da amostra, dificultando e até não restando textura reliquiar do que já foi um feldspato.

A amostra em lâmina delgada P3 D2/2 (Figura 21), é mostrada em 4 imagens, porém em duas posições da lâmina distinta. Em **A** e **B** fazem parte da mesma porção, são observadas em luz transmitida com aumento de 5x, **A** apresenta-se em nicóis descruzados e **B** em nicóis cruzados. **C** e **D** fazem parte de outra porção da lâmina, observadas em luz transmitida e com aumento de 5x, **C** é demonstrada em nicóis descruzados e **D** nicóis cruzados.

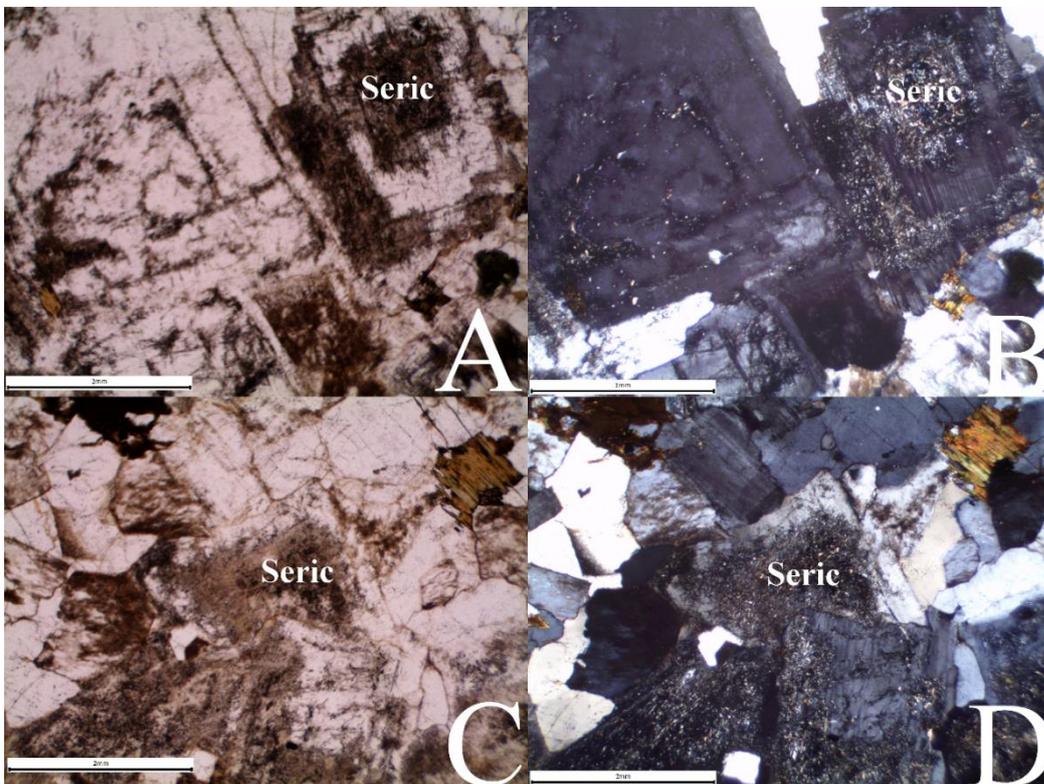
O ponto de interesse nessa lâmina é a sericização dos núcleos e em algumas porções da borda de minerais zonados. podendo ocorrer tanto no centro como nas bordas do Feldspato Alcalino (Ortoclásio), e Plagioclásio (Oligoclásio), dando a textura rapakivi e anti-rapakivi dependendo de qual mineral está no centro ou na borda da zonação.

Figura 20- P7 D2 sericitizada.



Fonte: Autor.

Figura 21- P3 D2/2 sericitização em minerais zonados.



Fonte: Autor.

8. DISCUSSÕES

No perfil 3, é possível identificar valores baixos de resistividade, em uma faixa próxima da superfície, com variação de 90 a 500 Ohm.m, que sugere a presença de uma camada pouco espessa de solo, o que confere com solos proveniente de rochas graníticas (Fig 23). Se tem dois furos de sondagem próximos a esse perfil denominados LDH-101 e LDH-102 (Fig 22), no primeiro furo, no intervalo 0 a 10,90 m ocorre um solo arenoso grosseiro, contendo em sua composição quartzo, ortoclásio e grãos de plagioclásio, além de argila em menor volume (<20%), já no segundo furo no intervalo 0 a 12 m ocorrem um solo com 40% quartzo e 60% feldspato, no intervalo entre 12 e 16,90 desse mesmo furo ocorre solo arenoso, porém com uma composição mais fina .

Entre 8 e 20 metros de profundidade nesse perfil, também se formou uma pequena elipse de resistividade entre 350 e 500 Ohm.m, no que foi interpretada como uma zona com interceptação de duas fraturas, E1 e E2 (Fig 23 e 24), ocasionado uma maior alimentação dessa zona e gerando saturação em água.

Os valores maiores que 500 até 2000 Ohm.m, ocorrem abaixo dos valores interpretados como correspondentes a solo, assim como também superficialmente em algumas porções aflorantes, e em zonas de fratura, sendo que esses valores foram referidos como saprolitos muito alterados. Vale ressaltar que essa zona de resistividade é uma das mais importantes, pois é onde começam a ocorrer minerais de minério. De acordo com os furos de sondagem, no intervalo entre 10,90 a 12,70m do furo LDH-101, ocorre um saprólito proveniente do Granodiorito, o mesmo ocorre no furo LDH-102, no intervalo entre 16,90 a 20m.

Os valores de resistividade delimitados de 2000 até ~5500 Ohm.m, (em menores proporções até 9000 Ohm.m) ocorrem principalmente no contato entre o saprólito e a rocha sã, assim esse intervalo foi interpretado como um monzogranito alterado. Desta forma, o aumento de resistividade está relacionado diretamente com a diminuição de alteração da rocha

No furo LDH-102 (paralelo a distância 110 do perfil) o intervalo de 24 a 79 m em profundidade, foi descrito como um monzogranito com textura rapakivi e antirapakivi, usualmente com megacrístais euédricos de feldspato alcalino. Porém os maiores teores em ppm de ouro estão no intervalo de 24 a 30 m, no que foi interpretado como um monzogranito alterado no perfil de resistividade. Assim os teores maiores de

ouro nesse intervalo, corroboram com a interpretação de que esse monzogranito até certo ponto, possui alteração hidrotermal.

Em geral os valores mais altos do que 10000 Ohm.m, que ocorrem em grande parte do perfil, indicam a presença de rocha sã, porém existe uma ressalva localizada próximo ao centro da seção, tanto lateralmente como em profundidade, onde possivelmente ocorreu o preenchimento de uma porção da fratura por um material de alta resistividade (fluido silicoso?) entre 10000 e 20000 Ohm.m, no qual contrasta com os valores interpretados como rocha alterada e saprólito.

No perfil 2 de maneira geral os 3 perfis apresentam mais características comuns do que destoantes, por isso a partir desse momento serão essas diferenças as mais abordadas.

Em relação ao primeiro perfil descrito, esse em questão de volume apresenta proporção de valores de resistividade de intervalo mais baixo, evidenciando em certa medida maior porcentagem de solo, saprólito e rocha alterada do que rocha sã. Como o solo só ocorre superficialmente, e nossa zona de interesse se encontra entre o início do saprólito à final rocha alterada, esse é o perfil com zonas de maior interesse econômico dos 3.

Como balizador nessa linha será usado o furo LDH-106, que se localiza a leste da linha, próximo ao final do limite sul do Perfil (Figura 17).

Foram traçadas 3 linhas, interpretadas como descontinuidades geelétricas, definindo 3 fraturas, a primeira delas possui uma projeção de início próximo aos 80 metros (E1) de perfil a segunda na distância 180 (E2) e a terceira na distância 240 (E3). A estrutura E1 e E2 possuem sentido de mergulho contrários, por isso se interceptam, já a fratura E3 possui o mesmo sentido de mergulho da E2, de acordo com algumas medidas de estruturas feitas na área seus ângulos de mergulho devem variar entre 54 a 65°.

Importante comentar que as 3 estruturas descritas têm comportamento semelhante tanto em geolocalização como em mergulho em relação as demais linhas, evidenciando sua continuidade lateral, e em profundidade (exceto E3 que não é visível na Linha 3). Aparentemente as estruturas possuem uma maior profundidade, além dos limites dos dados obtidos (destaque no intervalo de distância 180-270), limitados pelo comprimento das linhas de aquisição. Sendo as zonas com valores intermediários associados as fraturas indicam possíveis porções de ocorrência de minério.

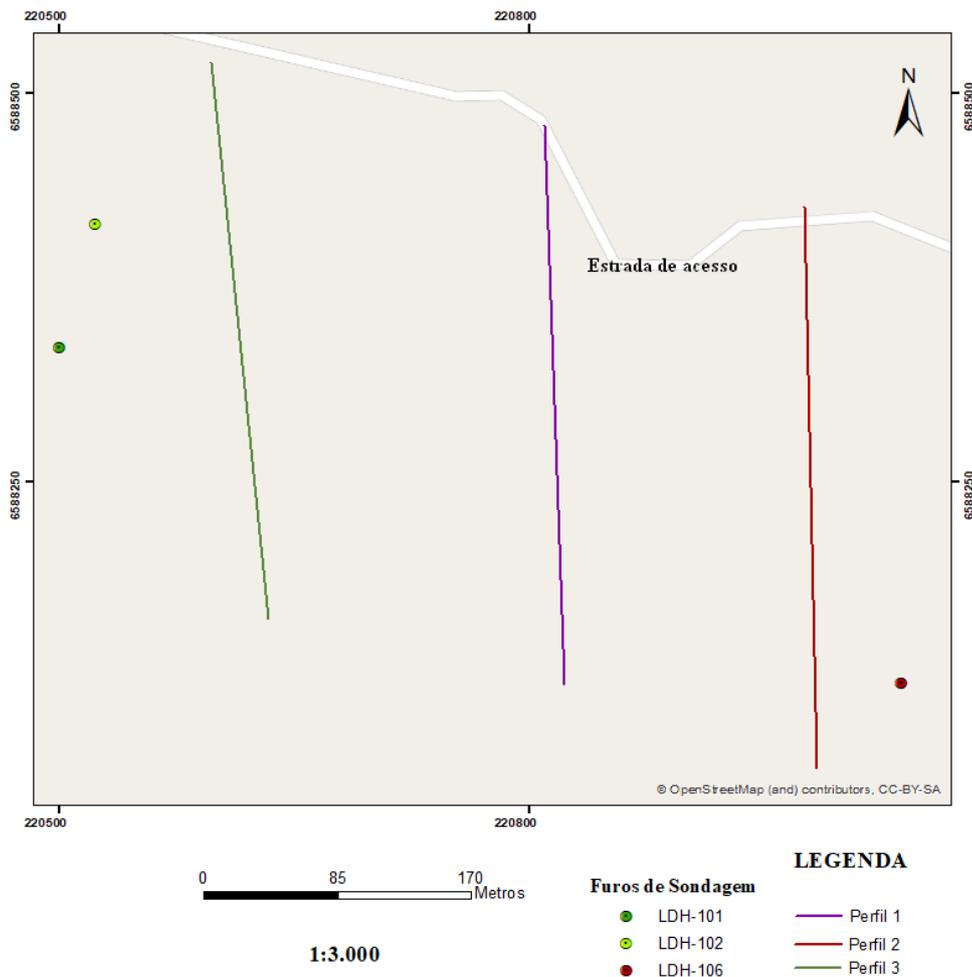
O furo LDH-106 (Figura 22) de maneira geral encontrou ao longo dele praticamente rocha sã, obteve os maiores teores em ppm de ouro entre o intervalo de

profundidade em metro de 73 ao 76, por meio de extrapolação visual pode-se dizer que o furo passou próximo ao limite do corpo hidrotermalizado aonde obteve esses teores relativamente maiores de ouro.

No perfil 1, as relações de resistividade/litologia nesse perfil levam em conta os dados dos outros perfis e seus respectivos furos de sondagens próximos, já que o mesmo não se encontra próximo a nenhum furo.

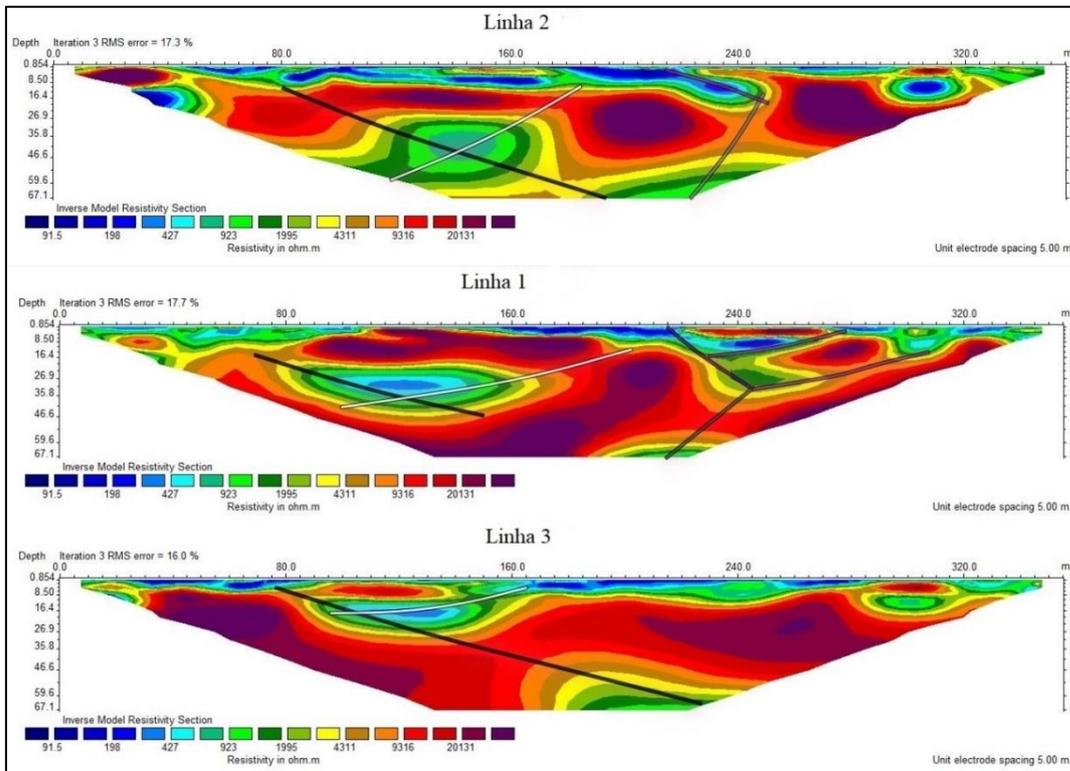
Esse perfil apresenta como nos demais possui uma possível interceptação de fraturas entre 80 e 160 metros, todavia essas interceptações e o término sobre a informação de seus fins (estruturas individuais) não é idêntico. Como na linha 2, a linha 1 possui uma segunda interceptação próxima a distância 240m porém nesse caso ocorre por um conjunto maior de fraturas, dificultando a identificação em maior detalhe das interações entre estruturas. Outra diferença nesse perfil é que o segundo corpo hidrotermalizado comum de interesse dos três perfil ocorre em maior profundidade.

Figura 22-Proximidade dos Perfis com os furos de Sondagem.



Fonte: Extraído e modificado de Open Street Map.

Figura 23- Perfis 2D de resistividade, marcando principais discontinuidades geolétricas



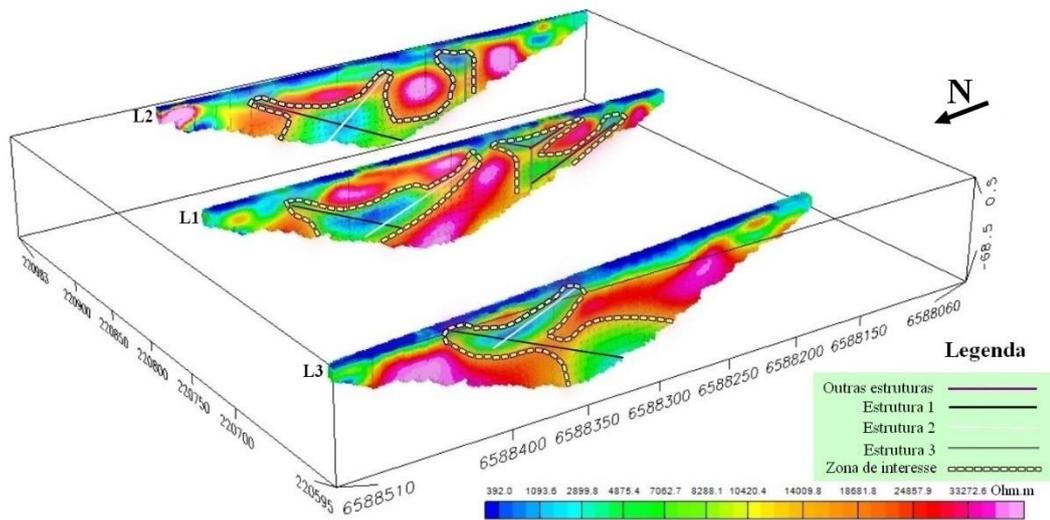
Fonte: Autor.

9. DISCUSSÕES FINAIS

O produto final gerado da integração de todos métodos citados e discutidos durante o trabalho, é a definição das prováveis zonas nas quais o mineral aurífero ocorre com maiores teores e sua visível continuidade, juntamente com a continuidade lateral das definidas fraturas, as quais as zonas hidrotermalizadas são subordinadas (imagem 24).

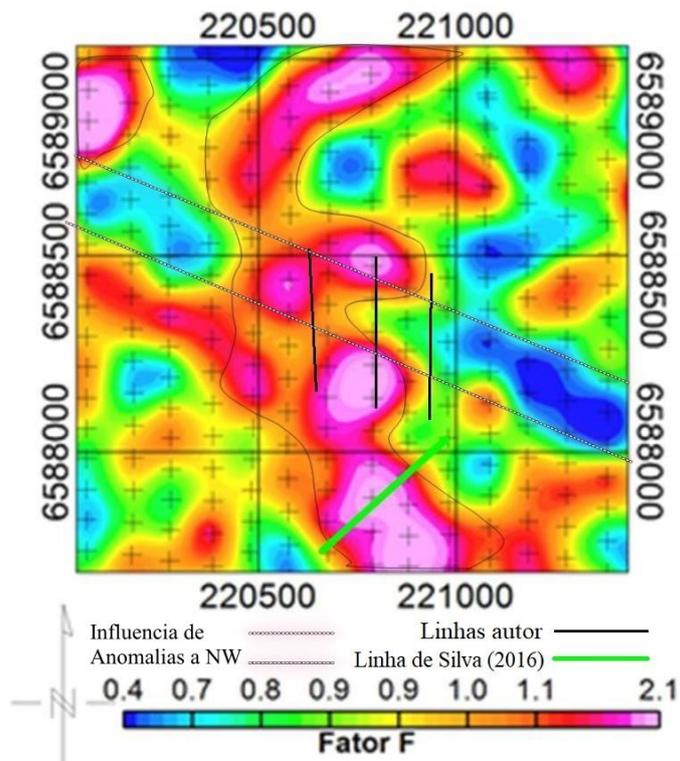
O que se conclui além da delimitação dessas áreas em profundidade, é que as mesmas têm tendenciamento preferencial NW/SE, que se deve principalmente por sericitização e podem ser relacionados aos valores de Fator F, com direção NW/SE, de valores mais baixos (Figura 25).

Figura 24-Mapa 3D em perspectiva, marcando, principais discontinuidades geoeletricas e provável zona hidrotermal



Fonte: Autor.

Figura 25- Valores de anomalia de Fator F relacionados com os de resistividade



Fonte: Modificado de Silva (2016).

10. REFERÊNCIAS

AMARILHO GOLD CORP. **Geologia regional e acesso.** Disponível em:<<https://www.amarillogold.com/projects/lavras-do-sul/>>. Acesso em: 24 agost. 2018.

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.** PhD Thesis, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul, 188p. 2006.

BOYLE R.W. **Geochemical prospecting for thorium and uranium deposits.** Amsterdam: Elsevier, 1982

COX K.G., BELL J.D., PANKHURST R.J. **The interpretation of igneous rocks.** Londres: George Allen & Unwin, 1979.

DICKSON B.L., SCOTT K.M. **Interpretation of aerial gamma-ray surveys – adding the geochemical factors.** *AGSO J. Australia Geology & Geophysics*, 1997.

IAEA. **Airborne gamma ray spectrometer surveying.** Technical Reports Series nº323. Viena: Intern. Atomic Energy Agency. 1991.

IAEA. **Guidelines for radioelement mapping using gamma ray spectrometry data.** Viena: Intern. Atomic Energy Agency. 2003.

GASTAL, M *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.** *Revista Brasileira de Geociências*, 2016.

GASTAL, M.C.P. & Lafon, J.M.; **Gênese e Evolução dos Granitóides Metaluminosos de Afinidade Alcalina da Porção Oeste do Escudo Sul-riograndense: Geoquímica e Isótopos de Rb-Sr e Pb-Pb.** Revista Brasileira de Geociências, 1998.

GASTAL *et al.* **Reinterpretação do complexo intrusivo Lavras do Sul, de acordo com os sistemas vulcano-plutônicos de subsidência. Parte 1: geologia, geofísica e geocronologia (207Pb/206Pb e 206Pb/238U).** Revista Brasileira de Geociências. Lavras do Sul, 2006.

MELLO, F. D; MACHADO, I. I. G. **Projeto de Sondagem Profunda na Área de Manifesto de Mina 190/35 (Área 4).** CRM, 1983.

MEXIAS *et al.* **Alterações Hidrotermais e Mineralizações nas Rochas da Associação Plutono-Vulcano-Sedimentar da Região de Lavras do Sul-RS.** In: 50 anos de Geologia: Instituto de Geociências. Contribuições e identidade, CIGO e IG-UFRGS, 2007. 143-159p.

MINERAR. **Volume III: Ouro-Cobre.** Diagnóstico das Potencialidades Mineraias do Município de Lavras do Sul, 1997.

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

NARDI, L, V, S; LIMA, E, F. **A associação shoshonítica de Lavras do Sul, RS.** *Revista Brasileira de Geociências*, Volume 15. Lavras do Sul, 1985.

KEAREY, P; BROOKS, M; Hill, I. **Geofísica de exploração.** Oficina de Textos. São Paulo, 2009.

REMUS . *et al.* **Distal magmatic-hydrothermal origin for the Camaquã Cu(Au-Ag) and Santa Maria Pb, Zn (Cu-Ag) deposits, southern Brazil.** *Gondwana Research*, 20003(2):155-174.

RUDNICK R., Gao S. **Composition of the continental crust.**In: **Holland H.D., Turekian N.N. eds. *Treatise on geochemistry*.** Oxford: Elsevier Pergamon, 2004.

SILVA, V. A. M. **Integração de dados geelétricos e aerogamaespectrométricos na caracterização de zona de alteração hidrotermal na Mina Paredão em Lavras do Sul – RS.** Caçapava do Sul, 2016.

WILFORD J.R., BIERWIRTH P.N., Craig M.A. **Application of airborne gamma-ray spectrometry in soil/ regolith mapping and applied geomorphology.** Journal of Australian Geology & Geophysics, 1997.

11. ANEXOS

Tabela 1: Tabela de dados dos Furos de Sondagem usados no trabalho

LDH-101	0,00	10,90	RJH	SO	Coarse sandy soil with quartz, orthoclase, and plagioclase grains. Clay occurs in minor volume (<20%).	0,01
LDH-101	10,90	12,70	RJH	SA	Granodiorite saprolite.	0,01
LDH-101	12,70	85,00	RJH	MG	Granodiorite. Composition: quartz - 22%; plagioclase - 41%; orthoclase - 30%; biotite - 5%; hornblende - 2%. Porphyritic texture, with eudric phenocrystals (0,5 to 1,0 cm) of orthoclase (predominant) and plagioclase (rare). The matrix is composed mainly by anedric quartz and subedric to anedric plagioclase. The ortoclase frequently presents rapakivi texture. It occurs rare mafic microgranular enclaves up to 1 cm. The structure is massive. The magnetism is moderated to high.	0,01
LDH-101	85,00	87,50			Granodiorite. Composition: quartz - 22%; plagioclase - 41%; orthoclase - 30%; biotite - 5%; hornblende - 2%. Porphyritic texture, with eudric phenocrystals (0,5 to 1,0 cm) of orthoclase (predominant) and plagioclase (rare). The matrix is composed mainly by anedric quartz and subedric to anedric plagioclase. The ortoclase frequently presents rapakivi texture. It occurs rare mafic microgranular enclaves up to 1 cm. The structure is massive. The magnetism is moderated to high.	0,08
LDH-101	87,50	90,00			Granodiorite. Composition: quartz - 22%; plagioclase - 41%; orthoclase - 30%; biotite - 5%; hornblende - 2%. Porphyritic texture, with eudric phenocrystals (0,5 to 1,0 cm) of orthoclase (predominant) and plagioclase (rare). The matrix is composed mainly by anedric quartz and subedric to anedric plagioclase. The ortoclase frequently presents rapakivi texture. It occurs rare mafic microgranular enclaves up to 1 cm. The structure is massive. The magnetism is moderated to high.	0,06
LDH-101	90,00	92,50			Granodiorite. Composition: quartz - 22%; plagioclase - 41%; orthoclase - 30%; biotite - 5%; hornblende - 2%. Porphyritic texture, with eudric phenocrystals (0,5 to 1,0 cm) of orthoclase (predominant) and plagioclase (rare). The matrix is composed mainly by anedric quartz and subedric to anedric plagioclase. The ortoclase frequently presents rapakivi texture. It occurs rare mafic microgranular enclaves	0,04

					up to 1 cm. The structure is massive. The magnetism is moderated to high.	
LDH-101	92,50	95,00			Granodiorite. Composition: quartz - 22%; plagioclase - 41%; orthoclase - 30%; biotite - 5%; hornblende - 2%. Porphyritic texture, with euedric phenocrystals (0,5 to 1,0 cm) of orthoclase (predominant) and plagioclase (rare). The matrix is composed mainly by anedric quartz and subedric to anedric plagioclase. The ortoclase frequently presents rapakivi texture. It occurs rare mafic microgranular enclaves up to 1 cm. The structure is massive. The magnetism is moderated to high.	0,04
LDH-102	0,00	12,00	LR	SO	Arenaceous soil, composition for 40% of qtz and 60% of feldspar.	0,01
LDH-102	12,00	16,90	LR	SO	Arenaceous soil, but with more fine texture than the before. Composition for feldspar and qtz. The qtz grains are	0,01
LDH-102	16,90	20,00	LR	SA	Granodiorite saprolite	0,01
LDH-102	20,00	24,00	LR	MG	Granodiorite with rapakivi and antirapakivi texture. Usually euedrics grains of K-feldspar.	0,01
LDH-102	24,00	25,00	LR	MG	Granodiorite with rapakivi and antirapakivi texture. Usually euedrics grains of K-feldspar.	0,39
LDH-102	25,00	26,00	LR	MG	Granodiorite with rapakivi and antirapakivi texture. Usually euedrics grains of K-feldspar.	0,97
LDH-102	26,00	27,00	LR	MG	Granodiorite with rapakivi and antirapakivi texture. Usually euedrics grains of K-feldspar.	0,68
LDH-102	27,00	28,00	LR	MG	Granodiorite with rapakivi and antirapakivi texture. Usually euedrics grains of K-feldspar.	0,53
LDH-102	28,00	29,00	LR	MG	Granodiorite with rapakivi and antirapakivi texture. Usually euedrics grains of K-feldspar.	0,92
LDH-102	29,00	30,00	LR	MG	Granodiorite with rapakivi and antirapakivi texture. Usually euedrics grains of K-feldspar.	0,32
LDH-102	30,00	31,00	LR	MG	Granodiorite with rapakivi and antirapakivi texture. Usually euedrics grains of K-feldspar.	0,34
LDH-102	31,00	32,00	LR	MG	Granodiorite with rapakivi and antirapakivi texture. Usually euedrics grains of K-feldspar.	0,03
LDH-102	32,00	37,00	LR	MG	Granodiorite with rapakivi and antirapakivi texture. Usually euedrics grains of K-feldspar.	0,01

LDH-102	37,00	39,50	LR	MG	Granodiorite with rapakivi and antirapakivi texture. Usually euedrics grains of K-feldspar.	0,05
LDH-102	39,50	42,00	LR	MG	Granodiorite with rapakivi and antirapakivi texture. Usually euedrics grains of K-feldspar.	0,01
LDH-102	42,00	44,50	LR	MG	Granodiorite with rapakivi and antirapakivi texture. Usually euedrics grains of K-feldspar.	0,04
LDH-102	44,50	77,00	LR	MG	Granodiorite with rapakivi and antirapakivi texture. Usually euedrics grains of K-feldspar.	0,01
LDH-102	77,00	79,50	LR	MG	Granodiorite with rapakivi and antirapakivi texture. Usually euedrics grains of K-feldspar.	0,03
LDH-102	79,50	80,30	LR	MG	Granodiorite with rapakivi and antirapakivi texture. Usually euedrics grains of K-feldspar.	0,15
LDH-106	0,00	0,86	LR	SO	Coarse sandy organic soil.	0,03
LDH-106	0,86	2,00	LR	SA	Granodiorite saprolite. Variable alteration grade.	0,04
LDH-106	2,00	3,37	LR	SA	Granodiorite saprolite. Variable alteration grade.	0,01
LDH-106	3,37	73,50	LR	MG	Granodiorite	0,01
LDH-106	73,50	76,00	LR	MG	Granodiorite	0,34
LDH-106	76,00	78,10	LR	MG	Granodiorite	0,02
LDH-106	78,10	80,20	LR	MG	Granodiorite	0,17
LDH-106	80,20	119,50	LR	MG	Granodiorite	0,01

Fonte: Amarillo Gold Corp.