

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA

SAMARA CAPITOL DA SILVA

**PROSPECTO DE OURO MATILDE: ESTUDO GEOFÍSICO COM INTEGRAÇÃO
DE DADOS GEOLÓGICOS, LAVRAS DO SUL-RS**

Caçapava do Sul

2019

SAMARA CAPITOL DA SILVA

**PROSPECTO DE OURO MATILDE: ESTUDO GEOFÍSICO COM INTEGRAÇÃO
DE DADOS GEOLÓGICOS, 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. Cristiane Heredia Gomes

Coorientador: Me. Lenon Melo Ilha

Caçapava do Sul

2019

SAMARA CAPITOL DA SILVA

**PROSPECTO DE OURO MATILDE: ESTUDO GEOFÍSICO COM INTEGRAÇÃO
DE DADOS GEOLÓGICOS, 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. Cristiane Heredia Gomes

Coorientador: Me. Lenon Melo Ilha

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em: 10/12/19


Banca examinadora:



Prof. Dra. Cristiane Heredia Gomes

Orientadora

(UNIPAMPA)



Prof. Dr. Igor Magalhães Clemente

(UNIPAMPA)



Prof. Dr. Vinicius Matté

(UNIPAMPA)

*Dedico este trabalho à minha família
e a todos que conseguiram adentrar
em meu coração rochoso.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha orientadora Cris pela orientação, por auxiliar nas atividades, ser sempre prestativa, ter tido muita paciência comigo no último mês e também pela bolsa.

Agradeço ao meu coorientador Lenon por me ajudar em várias etapas, principalmente na parte geofísica.

Agradeço a toda ajuda que tive nas etapas de campos (Roni, Vitor, Lenon, Cris e Daniel).

Agradeço a Prof^a Pilar por iniciar o contato com a empresa.

Agradeço a Amarillo Gold por disponibilizar a área para o estudo.

Agradeço a minha mãe, meu pai e meu irmão por todo apoio e suporte para me manter na universidade.

Agradeço as minhas avós e ao meu avô (*in memoriam*) por todo carinho e torcida para que este momento chegasse.

Agradeço aos meus tios por toda preocupação e incentivo, principalmente tia Inês e tia Graça.

Agradeço ao Oliver por sempre me acalmar nas vídeos-chamadas.

Agradeço ao Roni por toda paciência, carinho e dedicação ao longo desses anos.

Agradeço a minha amiga de mais longa data, Carol Sena, por toda cumplicidade e por sempre tentar me animar, mesmo à distância.

Agradeço as gurias: Carol Kwamme, Aline Senna, Duda Pedroso e Rebeca Araújo pela companhia e amizade durante esses anos, garanto que sentirei falta das tretas.

Agradeço ao pessoal do Projeto EA/ Geoparque e aos do Museu Virtual Geológico do Pampa por proporcionar momentos formidáveis, com os alunos do fundamental e ensino médio.

Agradeço a Genair Miotto pelas visitas em meus períodos de crises.

Agradeço ao Roni e a Kwamme por me internarem no hospital psiquiátrico, pois se isso não tivesse acontecido este trabalho nunca teria existido e muito menos a graduação concluída.

Agradeço a cada pessoa que conheci em Caçapava do Sul, pois elas me acrescentaram ou mostraram algo que eu não queria ser.

E como diria Naruto Uzumaki “eu vou continuar, pois esse é o meu jeito ninja de ser”.

“A sabedoria é uma virtude que devemos tentar cultivar ao longo de toda a vida. Uma pessoa nunca tem tanta sabedoria ao ponto que seja impossível ela ficar ainda mais sábia. Os sábios sabem disso. Conforme encaramos a nossa jornada, devemos tentar fazer escolhas sábias. E lembre-se: as escolhas sábias não são aquelas que deixam a nossa vida mais fácil ou simples. É bem comum que elas deixem a vida ainda mais complicada. Mas elas sempre nos transformam em pessoas melhores”.

- Geralt de Rívia (The Witcher)

Andrzej Sapkowski

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) .

d111p da Silva, Samara Capitol
PROSPECTO DE OURO MATILDE: ESTUDO GEOFÍSICO COM INTEGRAÇÃO
DE DADOS GEOLÓGICOS, LAVRAS DO SUL-RS / Samara Capitol da
Silva.
62 p.

Trabalho de Conclusão de Curso(Graduação)-- Universidade
Federal do Pampa, GEOLOGIA, 2019.
"Orientação: Cristiane Heredia Gomes".

1. Mineralização de ouro. 2. Alteração hidrotermal. 3.
Eletrorresistividade. 4. Delimitação do corpo mineralizado. 5.
Aeromagnetometria. I. Título.

RESUMO

Este estudo compreende a integração de dados geofísicos e geológicos no Prospecto Matilde, localizado no Estado do Rio Grande do Sul, a sul da área urbana do município de Lavras do Sul. Inserido no Escudo Sul-rio-grandense, no domínio do Arco São Gabriel e composto por rochas Granodioríticas e Monzograníticas do Complexo Intrusivo Lavras do Sul. O objetivo é localizar e delimitar as melhores áreas pra explorações minerais auríferas, definindo a possível geometria do corpo, através de métodos diretos e indiretos, com a obtenção de perfis 2D e modelo 3D. Por meio do método da eletrorresistividade, com a técnica de caminhamento elétrico e arranjo dipolo-dipolo, foi realizado seis perfis de 360 m, com espaçamento lateral de 150 m. A direção do levantamento foi N-S, feita com base no mapa de derivada vertical de aeromagnetometria, qual mostra três grandes lineamentos que passam dentro da área de estudo. Os principais tipos de alterações hidrotermais encontradas em lâminas delgadas e testemunhos de sondagem foram: sericitização, cloritização, argilização, oxidação e carbonatação. Existem duas famílias principais de feições estruturais, que foram definidas como descontinuidades, ambas com sentido de mergulho similares. Uma se concentra nas porções iniciais dos perfis e outra nas regiões centrais. Desta forma os seis perfis mostram continuidade lateral, relacionadas as descontinuidades geolétricas, onde a delimitação da zona de interesse no corpo é concordante ao lineamento magnético, se mostrando com geometria alongada na direção E-W. Assim, as ocorrências minerais estão nas porções centrais, associadas as zonas hidrotermalizadas, das quais são subordinadas a estruturas.

Palavras-Chave: Mineralização de ouro, Alteração hidrotermal, Eletrorresistividade, Delimitação do corpo mineralizado, Aeromagnetometria.

ABSTRACT

This study comprises geophysical and geological data integration in the Matilde Prospectus, located in the state of Rio Grande do Sul, south of the urban area of the city of Lavras do Sul. Inserted in the Sul-rio-grandense Shield, in the domain of São Gabriel Terrain and composed of Granodioritic and Monzogranitic rocks of the Lavras do Sul Intrusive Complex. The objective is to locate and delimit the best areas for gold exploration, defining the possible geometry of the body, through direct and indirect methods, obtaining 2D profiles and 3D model. Through the electroresistivity method, with the electric walking technique and dipole-dipole arrangement, six profiles of 360 m were made, with lateral spacing of 150 m. The direction of the survey was N-S, based on the vertical derivative map of aeromagnetometry, which shows three large lineaments that pass within the study area. The main types of hydrothermal alterations found in thin section and soundings were sericitization, chloritization, change to clay, oxidation and carbonation. There are two main families of structural features, which were defined as discontinuities, both with similar diving directions. One focuses on the initial portions of the profiles and another on the central regions. Thus the six profiles show lateral continuity, related to geoelectric discontinuities, where the delimitation of the zone of interest in the body is in agreement with the magnetic lineation, showing with elongated geometry in the E-W direction. Then, mineral occurrences are in the central portions, associated with hydrothermalized zones, of which they are subordinate to structures.

Keywords: Gold mineralization, Hydrothermal alteration, Electroresistivity, Delimitation of mineralized body, Aeromagnetometry.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Mapa de localização da área de estudo.....	16
Figura 2- Aquisição de dados através do Syscal Pro.....	17
Figura 3- Afloramento de Monzogranito.	19
Figura 4- Unidades geotectônicas do Escudo Sul-rio-grandense.....	22
Figura 5- Mapa da geologia regional	23
Figura 6- Configuração da geologia simplificada atual, com o posicionamento esquemático das ocorrências minerais, segundo um controle estrutural preferencial de direção N70-80°W.	24
Figura 7- Parâmetros usados na definição de resistividade.....	27
Figura 8- Intervalo aproximado de valores de resistividade de algumas rochas.....	27
Figura 9- Fluxo de corrente de um único eletrodo na superfície.....	28
Figura 10- Forma geral da configuração de eletrodo usada em medição de resistividade.....	29
Figura 11- Esquema de sondagens dipolares.	31
Figura 12- Esquema de arranjo dipolo-dipolo utilizado em caminhamentos elétricos.	31
Figura 13- Componentes geomagnéticos.....	33
Figura 14- Representação esquemática de um elemento em que os dipolos elementares se alinham na direção de um campo externo B, produzindo magnetização induzida.....	34
Figura 15- Histograma evidenciando os valores médios e intervalos de suscetibilidade de tipos de rochas mais comuns.....	37
Figura 16- Plano de voo típico para levantamento aeromagnético.....	38
Figura 17- Em (A) ocorre o processo de cloritização e (B) Feldspatização.....	39
Figura 18- Bloco de Granodiorito.....	40
Figura 19- Fotomicrografia a nicóis cruzados, com aumento de 5x. (A) sericitização, cloritização e início de argilização. (B) Começo de sericitização nos feldspatos e quartzos, com presença de óxido.....	41
Figura 20- Fotomicrografia a nicóis cruzados, com aumento de 5x. (A) início da sericitização em feldspatos germinados. (B) Intensa sericitização, seguida por argilização e cloritização.....	42
Figura 21- Mapa de intensidade magnética total.....	42
Figura 22- Mapa de derivada vertical com as principais feições estruturais.....	43
Figura 23- Mapa digital de elevação.....	44
Figura 24- Perfis de eletrorresistividade em modelo 2D.....	46
Figura 25- Visão em perspectiva das seis linhas geoeletricas levantadas.....	48
Figura 26- Em (A) perfil de eletrorresistividade evidenciando as descontinuidades da linha 1; (B) Interpretação dos dados geofísicos.....	49
Figura 27- Em (A) perfil de eletrorresistividade evidenciando as descontinuidades da linha 2; (B) Interpretação dos dados geofísicos.....	50
Figura 28- Em (A) perfil de eletrorresistividade evidenciando as descontinuidades da linha 3; (B) Interpretação dos dados geofísicos.....	51
Figura 29- Em (A) perfil de eletrorresistividade evidenciando as descontinuidades da linha 4; (B) Interpretação dos dados geofísicos.....	52
Figura 30- Em (A) perfil de eletrorresistividade evidenciando as descontinuidades da linha 5; (B) Interpretação dos dados geofísicos.....	53
Figura 31- Em (A) perfil de eletrorresistividade evidenciando as descontinuidades da linha 6; (B) Interpretação dos dados geofísicos.....	54
Figura 32- Modelo 2D em perspectiva de eletrorresistividade, com delimitação da área de interesse.....	55
Figura 33- Modelo 3D com ângulo de visão de baixo para cima, qual evidência a possível geometria do corpo mineralizado.....	56

ANEXO

Anexo 1- Mapa com as sondagens executadas, trincheiras e direção das estruturas.....	62
--	----

LISTA DE ABREVIACÕES

CE- Caminhamento elétrico.

ESRG- Escudo Sul-rio-grandense

TSG- Terreno São Gabriel

CILS- Complexo Intrusivo Lavras do Sul.

Au- Ouro

Cu- Cobre

Zn- Zinco

Ag- Prata

Pb- Chumbo

CBC- Companhia Brasileira de Cobre

ZC- Zona central.

RTr- Zona de transição.

PG- Pertita granito

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
2.1. Objetivo Geral	15
2.2. Objetivos Específicos	15
3. JUSTIFICATIVA	15
4. ÁREA DE ESTUDO	16
5. MATERIAS E MÉTODOS	17
5.1. Pré- campo	18
5.2. Campo	18
5.3. Pós-campo	19
6. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	20
6.1. Histórico	20
6.2. Contexto Geológico	21
6.2.1. Geologia Regional.....	21
6.2.2. Geologia Local	23
6.3. Histórico da mineralização e Alteração hidrotermal	24
6.4. Método elétrico	26
6.4.1. Fluxo de corrente no solo	28
6.4.2. Caminhamento elétrico	30
6.4.3. Arranjo Dipolo-Dipolo.....	30
6.5. Método Magnético	32
6.5.1. O campo geomagnético	32
6.5.2. Conceitos magnetométricos	33
6.5.3. Magnetismo de rochas.....	36
6.5.4. Levantamento aeromagnéticos	37
7. RESULTADOS	39
7.1. Petrografia	39
7.1.1. Macroscópica	39
7.1.2. Microscópica	40
7.2. Intensidade magnética total e derivada vertical	42
7.3. Linhas	43
7.4. Perfis geoeletricos	44
8. DISCUSSÕES	49
9. CONCLUSÃO	57
10. REFERÊNCIAS	58
11. ANEXO	62

1. INTRODUÇÃO

As atividades precursoras da mineração no Brasil tiveram importante papel na formação de novos polos econômicos, promovendo a integração e desenvolvimento regional, como no município de Lavras do Sul (MINERAR, 1997). No final do século XVIII, algumas famílias originárias das ilhas Canárias se instalaram no município e iniciaram o processo de lavra de ouro. Posteriormente, com auxílio de mineiros oriundos de Minas Gerais se iniciou uma sucessão de explorações de jazimentos auríferos aluvionares, nos arroios que circundam a cidade (CARVALHO, 1932).

A cidade de Lavras do Sul se encontra no centro de uma associação granítica conhecida por pesquisadores devido às ocorrências metálicas de Au, Cu, Pb, Zn e Ag (MEXIAS et al., 2007). O Complexo Intrusivo de Lavras do Sul (CILS) representa um dos primeiros eventos do final do Neoproterozoico, pós-colisional da Orogênese Dom Feliciano (660-620 Ma), situado na porção oeste do Escudo Sul-rio-grandense (GASTAL et al., 2015).

O CILS é uma intrusão granítica centrada de corpo alongado com direção N-S e de dimensões aproximadas de 12x18 km. Possui zonalidade reversa de fácies álcali-cálcicas no centro e alcalinas nas bordas. O contato entre as fácies é transicional ou brusco, não possuindo afinamento da granulometria, o que indica baixo contraste termal. Os corpos centrais são semicirculares com o Biotita Granodiorito no núcleo circundado pelo Anfibólio-biotita Monzogranito (GASTAL et al., 2006).

Nardi & Lima (1985) sugerem a ocorrência de propilitização em grandes extensões, mas a sericitização acompanhada de carbonatação é intensa nos locais mineralizados. As mineralizações auríferas que estão associadas aos granitos e aos veios preenchidos por quartzo, como resultado da alteração hidrotermal (CARVALHO, 1932).

A área de estudo está sobre requerimento mineral da Empresa Amarillo Gold Corporation, uma empresa canadense que atua na exploração do ouro. No Brasil possui dois projetos, Mara Rosa localizado no Estado de Goiás e o Lavras do Sul, no Estado do Rio Grande do Sul, composto por mais de 22 prospectos. O Projeto Lavras do Sul está a 320 km da capital Porto Alegre, possui uma área de 190 km², centrado no CILS. Contém aproximadamente 19.000 hectares com licenças de exploração, que apresentam duas zonas com mineralizações significativas de ouro disseminados, Butiá e Cerrito (AMARILLO GOLD, 2019).

O novo prospecto de ouro está localizado a cerca de 4 km ao sul da cidade de Lavras do Sul. Conhecido como prospecto Matilde, foi descoberto através de análises sistemáticas de solo nas áreas da IAMGOLD e CBC (Companhia Brasileira do Cobre), que a Amarillo Gold Corporation obteve por contrato de opção. A anomalia geoquímica no solo foi definida de forma crescente, medindo 2,7 km por 1,7 km, com direção oeste e leste. Em outras porções a anomalia está inserida em um platô com horizonte de solo profundo e afloramentos esparsos (AMARILLO GOLD, 2010).

Estudos voltados para a prospecção mineral podem ser realizados através de métodos indiretos e diretos, dependendo do nível de detalhes requeridos para a pesquisa, com investigações mais em superfície ou subsuperfície. Os métodos diretos compreendem o mapeamento geológico, poços, testemunho de sondagem, amostragem em lâminas e análises químicas de solo e rocha (PEREIRA, 2003).

Segundo Pereira (2003) os métodos indiretos são sensoriamento remoto e estudos geofísicos. Os métodos geofísicos são bastante empregados no ramo da pesquisa mineral, principalmente aqueles relacionados a sulfetos maciços e disseminados, já que evidenciam o contraste entre o alvo mineralizado e a rocha encaixante, (KEAREY, BROOKS & HILL, 2009). Neste trabalho utilizados na investigação do ouro, mineral de grande interesse econômico. No presente estudo foram utilizados mapas de aeromagnetometria para o auxílio do delineamento das estruturas e na determinação das direções dos perfis de eletrorresistividade, com vistas a delimitação das zonas mineralizadas, visto que a associação com sulfetos fornece resposta elétrica satisfatória.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

O objetivo deste estudo compreende localizar as melhores porções para possíveis explorações auríferas, por meio da zonação, feita através da prospecção geofísica e geológica.

2.2. Objetivos Específicos

Os objetivos específicos são:

- I. Localizar feições estruturais que contenham zonas de alteração hidrotermal subordinadas, a partir da aeromagnetometria.
- II. Confeccionar os perfis 2D e modelos 3D de eletrorresistividade, seccionando as porções com anomalias, ou seja, descontinuidades geolétricas.
- III. Definir a litologia e o tipo de alteração hidrotermal através de lâmina delgada, a fim de comparar, correlacionar com os testemunhos de sondagem analisados e com a bibliografia.
- IV. Definir a geometria do corpo, delimitando as zonas que mostraram resultado satisfatório, após a integração dos dados geofísicos e geológicos obtidos.

3. JUSTIFICATIVA

O interesse se dá pelo histórico mineiro do município de Lavras do Sul, sendo considerada uma das maiores regiões com concentração mineral do Estado, principalmente em relação a extração de ouro, que apesar da grande quantidade de minério já extraído, há indícios de novas jazidas, qual foram encontradas por empresas com direitos minerários atuantes no local.

A área pertence a uma dessas empresas, a Amarillo Gold, que cedeu a área de um de seus prospectos, que até o momento não tinha nenhuma pesquisa com vínculo científico e/ ou acadêmico. Além de disponibilizar dados de aeromagnetometria e acesso ao galpão com os testemunhos de sondagem, qual auxiliam em maior acuracidade nos resultados e discussões finais.

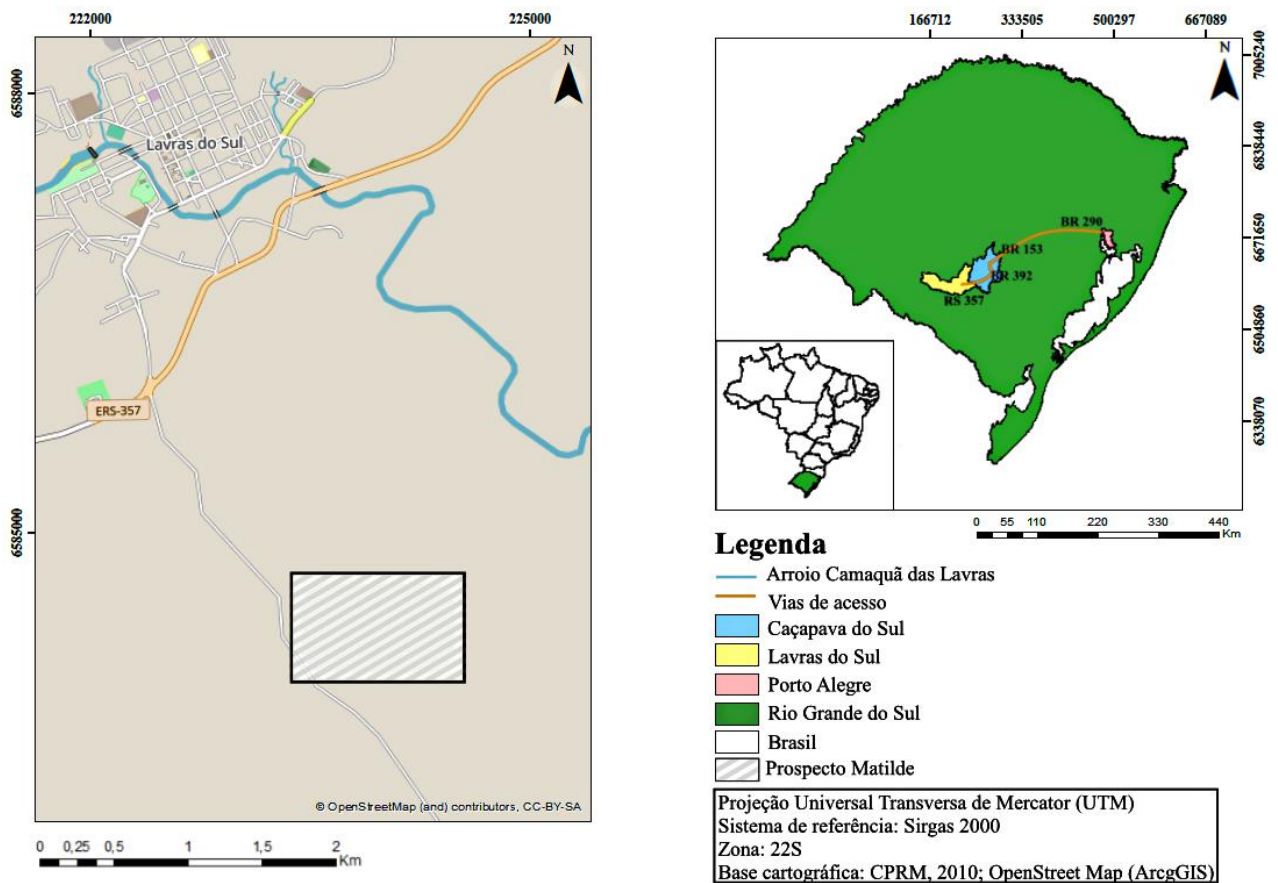
Além disso, este trabalho foi possível devido a disponibilidade dos equipamentos necessários na universidade, a proximidade do campus com o município de Lavras do Sul e o foco na prospecção mineral através de métodos geofísicos. Com possibilidade de se comparar

as características semelhantes das zonas mineralizadas à diversos trabalhos de autores que estudaram a região. Com isso, se tem o aumento da relação empresa-universidade, o que é positivo como experiência para o futuro profissional.

4. ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo está inserida no Rio Grande do Sul, no município de Lavras do Sul. O acesso a área, a partir de Porto Alegre tem aproximadamente 323 km (Figura 1), que pode ser realizado através da BR 290, até chegar no trevo com a BR 392. Na cidade de Caçapava do Sul se segue pela RS 357 até chegar na rótula em Lavras do Sul, ingressando em uma estrada de terra na direção SSE, após 2,2 km se chega à área do Prospecto Matilde, que conta com aproximadamente 550 m².

Figura 1- Mapa de localização da área de estudo.



Fonte: Adaptado de CPRM (2010).

5. MATERIAS E MÉTODOS

Os materiais básicos utilizados para este estudo foram martelo, bússola, GPS e lupa de mão. O aparelho que permite o levantamento elétrico é o *Syscal Pro* (Figura 2), responsável por medir a resistividade em subsuperfície a partir de cabos conectados a eletrodos alojados no solo. Posteriormente esses dados foram transferidos para o software *Res2dinv*, que foi projetado para interpolar dados de levantamentos elétrico, utilizando a inversão dos dados para gerar o perfil de eletrorresistividade. Para uma melhor visualização e análise das informações disponíveis, os dados foram exportados para o *Oasis montaj*, que fornece um conjunto de ferramentas de modelagem analítica, para melhor entendimento de ambientes subterrâneos.

Figura 2- Aquisição de dados através do Syscal Pro.



Fonte: Autora.

Os mapas foram criados utilizando o *ArcGis*, cujo as principais funções são trabalhar mapas, compilar e editar conjuntos de dados de maneira simplificada. Feitos utilizando as bases cartográficas do próprio software, CPRM (2010) e imagem de alta resolução, *Alos Palsar*. A projeção utilizada é a Universal Transversa de Mercator (UTM) e o sistema de referência sirgas 2000, zona 22S.

As lâminas delgadas foram descritas utilizando os microscópios eletrônicos *Zeiss*, de transmissão e reflexão. Fotomicrografias foram retiradas com uma câmera acoplada ao aparelho

e visualizadas no *ToupView*. Todas as imagens geradas no estudo foram editadas, realçadas e interpretadas no *PhotoFiltre Studio X*.

5.1.Pré- campo

Na fase de pré-campo foi realizado o levantamento bibliográfico, tomada de decisão sobre quais métodos seriam utilizados e delimitação da área a partir de mapas de aeromagnetometria. Os dados da última foram cedidos pela empresa Amarillo e teve como objetivo localizar as zonas de maiores anomalias, evidenciadas pelo alto contraste no mapa de intensidade magnética. Assim como a decisão da direção de realização das linhas geoeletricas, que só foi possível através do mapa de primeira derivada vertical, qual permite melhor visualização para mapear as principais feições estruturais, após a delimitação foi possível notar que três estruturas de níveis regionais passavam pela área de estudo, onde a principal apresentava sentido leste-oeste. Desta forma a direção do levantamento elétrico foi escolhida como norte-sul, possibilitando interceptar as principais feições estruturais encontradas.

A técnica do caminhamento elétrico foi escolhida pois através dela pode se obter perfis 2D com investigação em profundidade, como o minério e/ou zona hidrotermalizada, qual ocorre principalmente em subsuperfície e através do perfil pode ser observar a continuidade das estruturas, desta forma foi a mais indicada. O arranjo Dipolo-dipolo é o mais indicado nesse caso devido foi o melhor para identificação de estruturas subverticalizadas.

5.2.Campo

O método aplicado foi a eletrorresistividade, utilizando a técnica de caminhamento elétrico e arranjo dipolo-dipolo, o espaçamento entre os eletrodos foi de 5m. Para cobrir toda área de estudo foram realizadas seis linhas paralelas, com 360 m cada, com espaçamento lateral de 150 m, os dados são provenientes do *Syscal Pro*, onde a profundidade de investigação estudada foi de aproximadamente 70m.

As rochas aflorantes (Figura 3) eram bastante raras e muito esparsas dentro da área, com afloramentos de 0,5 m até 3m, sendo eles em planta e matacões. Desta forma, as amostras que foram coletadas para laminação estavam dentro de um raio de até 15 m, com relação as linhas geofísicas.

Os testemunhos de sondagem escolhidos para descrição macroscópica, foram aqueles com as bocas de furo mais próximos as linhas, descritos até 100 m de profundidade, ficando de

acordo com a profundidade dos perfis geoeletricos, dando maior acuracidade em relação as correlações finais entre geofísica e geologia.

Figura 3- Afloramento de Monzogranito.



Fonte: Autora.

5.3.Pós-campo

Os dados geofísicos foram exportados do *Syscal* para o computador, processados e importados para a inversão de dados feita pelo *Res2dinv*, que gera um perfil de investigação lateral em 2D, nele é possível observar as descontinuidades, através do contraste geoeletrico causado pelas condições, feições e rochas do meio.

Para o modelo 3D se utiliza o *Oasis Montaj*, este faz a interpolação pelo método do vizinho mais próximo. Permite a geração de modelos nos quais é possível ver os seis perfis paralelos entre si por perspectiva lateral. E após a interpolação, se têm a possibilidade de gerar modelo em perspectiva de bloco.

Foram feitas um total de 10 lâminas delgadas no laboratório da universidade e descritas com o intuito de identificar os tipos de alteração hidrotermal predominante na região, comparando com dados de testemunho de sondagem descritos neste trabalho.

A interpretação dos perfis 2D e modelos 3D foram feitas com base na continuidade lateral das descontinuidades geoeletricas, delimitando zonas de interesse e investigando suas posições com relação as feições estruturais encontradas nos mapas de magnetometria, o que corroborou na definição da geometria do corpo mineralizado, integrando esses dados com as informações geológicas da região.

6. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

6.1.Histórico

Lavras do Sul foi a única cidade gaúcha com origem na mineração de ouro. Se alavancou com a chegada da família real portuguesa ao Brasil, mesmo estando em uma fase decadente da mineração no país. A corte estava em dívida com os países vizinhos e necessitava encontrar mais fontes de riqueza. Anteriormente, nos séculos XVII e início do XVIII, a coroa portuguesa incentivava os bandeirantes a investir no sul do país em busca de minérios (TEIXEIRA, 1992). Em 1796 foi encontrado ouro em Lavras do Sul-RS (CARVALHO, 2013).

Existem alguns registros do resultado dos trabalhos na região da Campanha do Rio Grande do Sul, no arroio do Salso, nos rios Vacacaí, Camaquã e São Sepé. Um dos afluentes do rio Camaquã, o arroio Camaquã das Lavras, obteve um resultado muito mais positivo que os demais e se manteve assim até o fim da exploração de ouro em aluvião. Em 1812, a Real Fazenda determinou que terminasse a lavra de ouro, pois no momento a relação custo/benefício não era mais viável. Então, até 1832 as pesquisas ficaram paradas em Lavras do Sul, permanecendo apenas alguns garimpeiros (CARVALHO, 2013).

Em 1832, chegaram geofísicos da Alemanha, França, Holanda e Bélgica, assim o Serviço Geológico e Mineralógico do Brasil investiu no Rio Grande do Sul para estudar veios auríferos em Caçapava do Sul (Lavras do Sul ainda era um distrito deste município), finalizando o primeiro ciclo da mineração. Isto iniciou uma fase de investimento estrangeiro, a partir dos resultados obtidos das pesquisas realizadas na região (CARVALHO, 2013).

O segundo ciclo da mineração ocorreu quinze anos após o fim da Guerra dos Farrapos, em 1860, quando estrangeiros começaram a se assentar na região. De acordo com Teixeira & Leinz (1942), só em 1870 é que foi construído o primeiro engenho para triturar minério quartzoso para a extração do ouro primário. Diversas companhias foram criadas e extintas, por terem capitais limitados (CARVALHO, 1932). A Companhia Belga, trabalhou de 1902 a 1909 na construção de represas, pilões, mesas concentradoras e tanques de cianetação. Neste período, a produção de ouro variava entre 500g a 2kg por mês, com teores de 80% de Au e 20% para Ag (MEXIAS et al., 2007).

Houve diversos altos e baixos na exploração em Lavras do Sul, causados pela oscilação do preço do minério e baixo conhecimento técnico dessas ocorrências. Muitas empresas otimistas investiam na prospecção da região, mas muitas também foram levadas a falência. A

Companhia Riograndense de Mineração (CRM), por exemplo, não obteve sucesso na exploração em rochas vulcânicas e piroclásticas de Volta Grande. Assim, passou a explorar em aluviões com baixa produtividade, mantendo sua estrutura minerária do fim da década de 70 ao início de 80 (MEXIAS et al., 2007). Na mesma ocasião, a Companhia Brasileira de Cobre (CBC) realizou pesquisas minerais com prospecção de solo, rocha e sondagens no Complexo Granítico Lavras (NARDI, 1984).

A empresa Rio Tinto foi atraída para a área em 2004, passou um tempo adquirindo títulos minerais na região e realizando contratos de opção com os proprietários. Antes de decidir vender, realizou 4 furos em Cerrito e Butiá para averiguar o trabalho anteriormente realizado pela CBC nos anos 80. Os resultados obtidos foram semelhantes, alguns foram utilizados como núcleo para testes metalúrgicos preliminares, compressão, flotação e lixiviação em tanques de cianeto (AMARILLO GOLD, 2010). Em abril de 2006, a empresa ofereceu a venda com licitação anônima. Em setembro de 2006, a Amarillo Gold foi notificada que havia obtido sucesso sobre outras três empresas concorrentes. Em outubro de 2006, a Amarillo Gold assinou contrato de opção, assumindo a posição da Rio Tinto (AMARILLO GOLD, 2010).

Os trabalhos realizados pela Rio Tinto e CBC mostraram que existem no mínimo duas zonas mineralizadas, uma em Cerrito e outra em Butiá. Ambas as zonas de mineralizações estão em várias direções, associadas principalmente a pirita e hospedadas em zonas de alteração controladas por feições estruturais. A Amarillo Gold acredita que as ocorrências de ouro na zona de óxido, acima da zona de mineralização de sulfetos são importantes para a exploração na região (AMARILLO GOLD, 2010).

6.2.Contexto Geológico

6.2.1. Geologia Regional

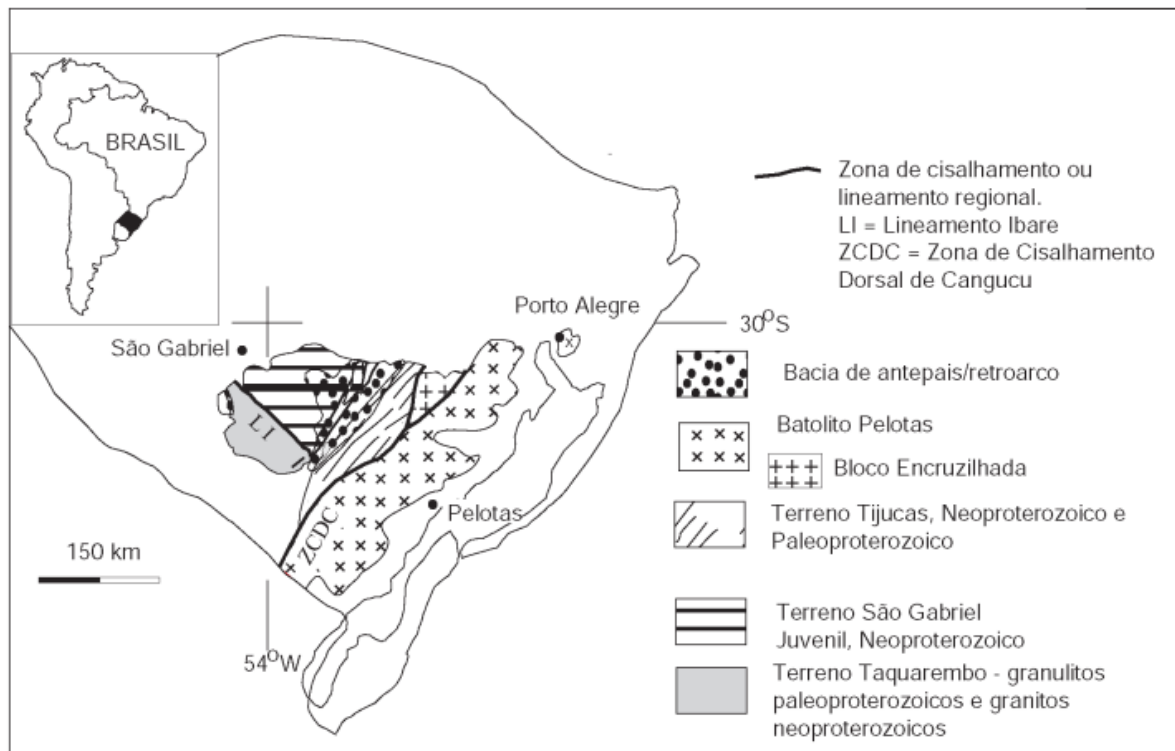
A área de estudo está localizada na porção oeste do Escudo Sul-rio-grandense (ESRG), no Terreno São Gabriel (TSG), nas proximidades do Terreno Taquarembó (Figura 4). Representam o antepaís durante a Orogênese Dom Feliciano. Este evento colisional foi marcado por zonas de cisalhamento dúctil subverticais sinistrais de direção N30-40°E (GASTAL, 2015), cuja idade compreende 640-620 Ma (SILVA et al., 2005).

O ESRG possui uma área de aproximadamente 65.000 km² (CHEMALE, 2000), na porção sul do Escudo Brasileiro e meridional da Província Mantiqueira (ALMEIDA et al., 1976) foi formado através dos processos de geração e deformação da crosta continental, onde

as maiores contribuições ocorreram em dois ciclos, o Transamazônico (2,26-2,00 Ga) e o Brasileiro (900-535 Ma) (HARTMANN, CHEMALE & PHILIPP, 2007).

Segundo Hartmann, Chemale & Philipp (2007), o TSG constitui um prisma acrescionário, gerado durante o Neoproterozoico, com associações petrotectônicas de ambientes de margem passiva e de retro-arco, ofiolitos, arcos magmáticos vulcano-sedimentares e plutônicos. O TSG possui uma forma alongada, com direção N20-30E, delimitado a sudeste pela anomalia magnetométrica de Caçapava do Sul. Composto por rochas juvenis, que incluem rochas plutônicas cálcio-alcálicas baixo a médio-K de arco do Complexo Cambaí. O magmatismo pós-colisional no TSG, é representado por gabros, dioritos, granodioritos, tonalitos e granitoides (COSTA, 1997 apud SIMÕES, 2012).

Figura 4- Unidades geotectônicas do Escudo Sul-rio-grandense.

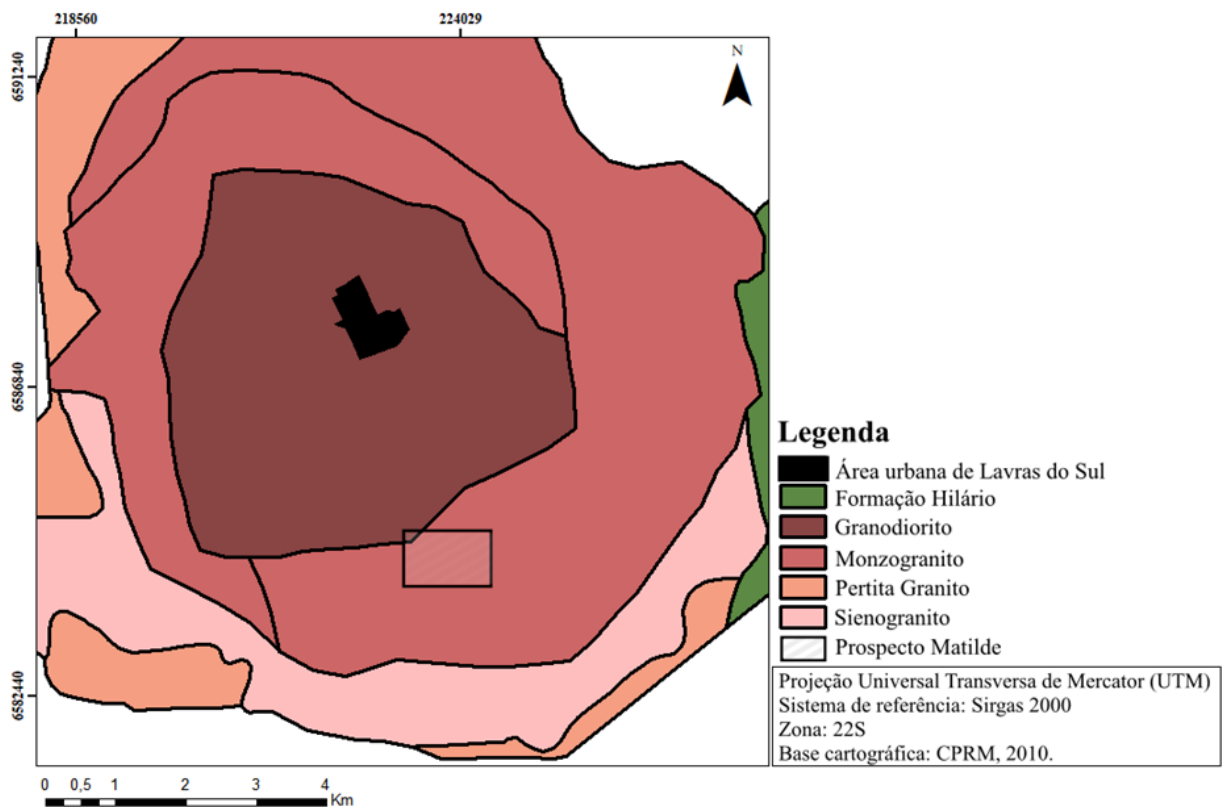


Fonte: Extraído Costa (1997) apud Hartmann, Chemale & Philipp (2007).

O Complexo Intrusivo Lavras do Sul (CILS), com idade de 604-590 Ma e a sequência vulcânica da Formação Hilário, ocorrem a oeste do ESRG e portam mineralizações de Au-Cu (Pb-Ag). É formado por um núcleo granodiorítico rodeado por Monzogranito (Figura 5), designado como a zona central. Foi assimilado por magmas alcalinos de sienogranitos e pertita granitos na porção mais ao sul, oeste e norte, formando algumas rochas com características transicionais (NARDI, 1984).

De acordo com Gastal et al., (2006) a transição entre o evento magmático shoshonítico (núcleo) e metaluminoso fortemente alcalino (borda), pode estar relacionada a heterogeneidade em pequena escala nas fontes mantélicas ou, também, na interação manto e crosta, cujas diferenças iniciais dos magmas parentais teriam sido posteriormente aplicadas durante o processo de diferenciação. A instabilidade tectônica do Neoproterozoico, nos últimos estágios da Orogenia Brasileira, é associada a um processo de magmatismo, com rochas piroclásticas e epiclásticas, com filiação geoquímica shoshonítica, a partir de magmas parentais basálticos. A intrusão dos corpos ígneos plutônicos ocorreu em seguida ao extravasamento de lavas andesíticas.

Figura 5- Mapa da geologia regional



Fonte: Adaptado de CPRM (2010).

6.2.2. Geologia Local

No centro do CILS ocorre zonalidade reversa de fácies álcali-cálcicas para alcalinas, magnesianas no centro e ferrosas na borda. O contato entre as fácies é gradativo ou brusco, sem registro de margem resfriada. Incluem duas fácies, biotita-granodiorito na porção central, com idade de 601 ± 2 Ma (em zircão, U Pb, REMUS et al., 2000). Variações texturais causadas pela

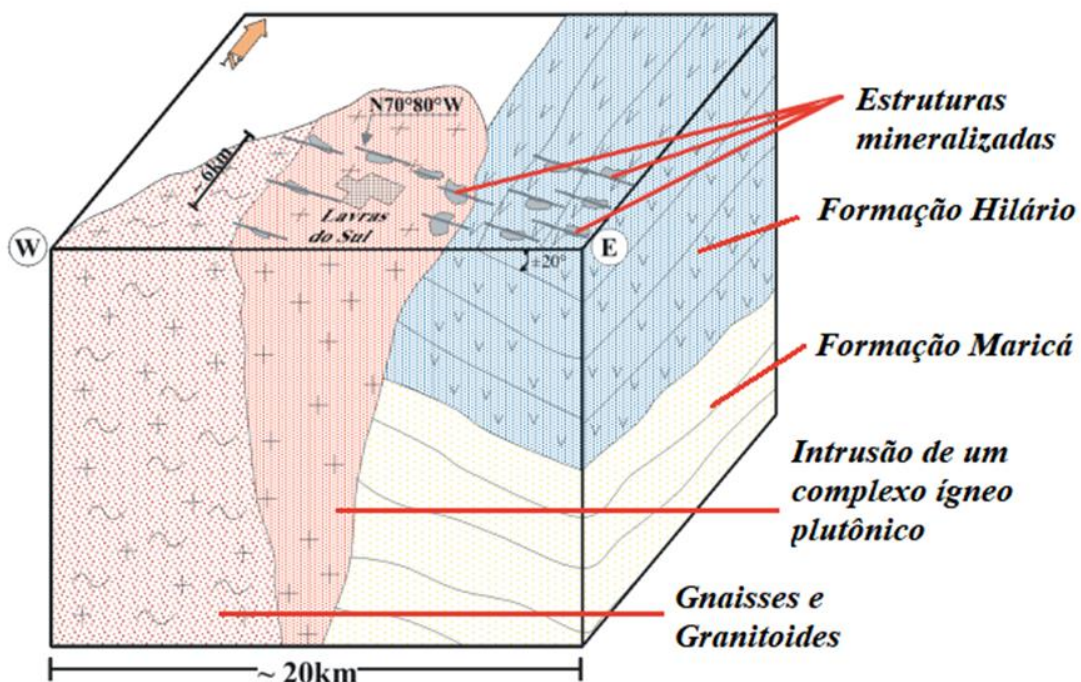
exsolução de voláteis, granulação seriada dominante e porfirítica subordinada (REMUS et.al., 2000; GASTAL et al., 2006, 2015). A área de estudo está localizada em uma zona de contato entre fáceis, abrangendo uma pequena parcela do Granodiorito, mas se tem predomínio do Monzogranito.

Circundado o biotita Granodiorito, se tem o anfibólio-biotita Monzogranito que grada a hornblenda-biotita sienogranito, com datação de Pb Pb, 598 ± 3 Ma. Contém oligoclásio e andesina, com quantidade de Fe-biotita igual ou superior aos de Fe-hornblenda, textura seriada ou equigranulares e afinamento de grãos do centro para borda (GASTAL et al., 2006, 2015).

6.3.Histórico da mineralização e Alteração hidrotermal

A região de Lavras do Sul é caracterizada por pequenos corpos mineralizados alinhados ao longo de fraturamentos, de forma paralela. O stress se concentrou na linha de propagação da falha, sendo capaz de abrir fraturas e focalizar o fluxo do fluido. Com o desenvolvimento dessas falhas e avanço da linha de propagação, resta um alinhamento de depósitos hidrotermais adjacentes (Figura 6). Este mecanismo pode ser responsável pelas sequências de pequenos depósitos com direção leste (MEXIAS et al., 2007).

Figura 6- Configuração da geologia simplificada atual, com o posicionamento esquemático das ocorrências minerais, segundo um controle estrutural preferencial de direção N70-80°W.



Fonte: Adaptado de Mexias et al., 2007.

Diversos autores atribuem a origem da mineralização a soluções hidrotermais, que teriam ascendido na crosta a partir de fontes magmáticas. Essa fonte pode estar associada ao CILS, a Formação Hilário ou ambas (MEXIAS, et al., 2007). Segundo Nardi (1984), há uma zonalidade das alterações hidrotermais, que pode ser dividida em zona central (ZC), rochas transicionais (RTr) e pertita granito (PG), hospedeiras dos veios mineralizados.

A ZC e RTr do CILS, apresentam quartzo abundante, disseminado nos produtos de alteração e como constituinte de veios. Ao redor desses veios ocorre a alteração propilítica, com a substituição do anfibólio e biotita por clorita, epidoto e localmente calcita, onde essas zonas de alteração são menos espessas no PG. Em estágios mais avançados de alteração, no interior das zonas de propilitização ocorre rochas esverdeadas com quartzo e sericita, com sulfetos disseminados e ouro (NARDI, 1984).

Nardi (1984) ponderou dois tipos de mineralizações auríferas, que são associadas ao CILS: i) na ZC e RTr, o ouro está associado a sulfeto de Cu-Pb e Zn, ii) no PG o ouro está associado a pirita. Além disso, sugere as possíveis zonalidades como: i) Au-Fe nos PG, ii) Au-Fe-Cu na ZC e RTr, iii) Cu-Au nas rochas vulcânicas da Formação Hilário, iv) Pb-Ag (Au) em sequência vulcano-sedimentar mais afastada do CILS. As soluções hidrotermais responsáveis pelas mineralizações seriam geradas a partir da intrusão do Pertita Granito e de intrusões alcalinas. O ouro seria magmático, associado a fusão e lixiviação de rochas do tipo *Greenstone Belt*.

A intrusão granítica teria atuado como fonte de calor na geração e manutenção de um sistema hidrotermal, cujos padrões dos produtos de alteração formam uma zonação similar aos depósitos do tipo Cu-pórfiro. Os fluidos finais do magmatismo granítico se infiltraram na rocha encaixante, depositando a paragênese mineral de alta temperatura do sistema hidrotermal, perfazendo a alteração potássica. Sob transferência de calor de forma condutiva, ocorre a formação de clorita e epidoto em microfraturas e poros. Logo depois ocorre a alteração propilítica. Os fluidos podem atuar de forma destrutiva na rocha, se há maior atividade de H^+ , percolam através de fraturas, após ou ao mesmo tempo que a alteração propilítica, com temperatura aproximada de 300°C, podendo formar mica branca, clorita, quartzo e pirita. Fluidos com alta fCO_2 e fO_2 , são responsáveis pela deposição de calcita, corrensite, hematita e feldspato, sendo responsáveis pela remobilização e concentração de metais, como Au e Cu (MEXIAS *et al.*, 1990, 2007).

Segundo Mexias et al. (2007), os processos hidrotermais identificados na região de Lavras do Sul são:

- i) Propilitização, com a transformação dos máficos em clorita + quartzo + calcita + anatásio + monazita, normalmente circundando as rochas alteradas e mineralizadas;
- ii) Epissienitização, onde a rocha se torna vacuolar através da dissolução seletiva do quartzo primário, causando alta porosidade e permeabilidade. A circulação de fluido gera intensa alteração fílica, com pirita e ouro associados e pequena deposição de fengita;
- iii) Cloritização, tendo maior ocorrência com deposição da clorita ferrosa nas cavidades deixadas pela dissolução do quartzo na epissienitização. A alteração fílica é o principal processo de alteração e mineralização aurífera com cristalização de fengitas, ilitas e sericitas. Tem alto poder destrutivo, causa dissolução dos feldspatos alcalinos, onde a concentração de sericita pode chegar a 80% e pirita 10%;
- iv) Carbonatação, tem a cristalização tardia de calcita e clorita ferrosa na forma de vênulas de 1 mm, no qual a calcita pode se depositar nos vazios que não foram totalmente preenchidos pela fengita.

6.4.Método elétrico

O Método da Eletrorresistividade é um dos diversos métodos conhecidos de levantamentos elétricos. É aplicado para o estudo de discontinuidades horizontais e verticais das propriedades elétricas do solo e/ou rocha e na detecção de corpos tridimensionais de condutividade anômala. As correntes elétricas são geradas artificialmente e introduzidas no solo e/ou rocha. Desta forma as diferenças de potenciais são medidas na superfície. Assim, através dos desvios de padrão das diferenças de potencial de um material homogêneo, se obtém informação sobre a forma e propriedades elétricas em subsuperfície (KEAREY, BROOKS & HILL, 2009).

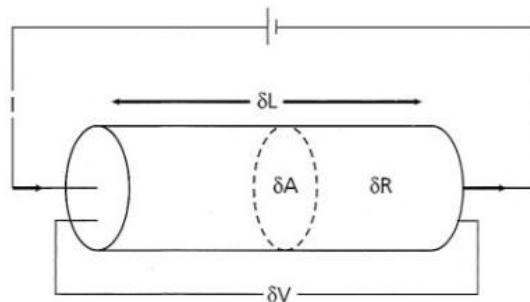
Segundo Kearey, Brooks & Hill (2009) a resistividade de um material (ρ) é definida em *ohms* entre as faces opostas de um cubo unitário desse material, em um cilindro condutor de resistência δR , comprimento δL e área da seção transversal δA (Figura 7). A unidade da

resistividade no sistema internacional é *ohm*-metro e sua recíproca é chamada de condutividade. Seu sistema é Siemens por metro (Sm), assim, a resistividade ρ é dada pela equação 1:

$$\rho = \frac{\delta R \delta A}{\delta L} \quad (1)$$

É uma das propriedades físicas mais variáveis, pois alguns minerais como metais nativos e grafite conduzem eletricidade através de elétrons, porém grande parte dos minerais formadores de rocha são isolantes, levando as correntes elétricas a serem conduzidas pela passagem de íons nas águas dos poros, o que se chama de processo eletrolítico. Desta forma, a porosidade entra como principal controle da resistividade, pois quando diminuiu aumenta a resistividade (KEAREY, BROOKS & HILL, 2009).

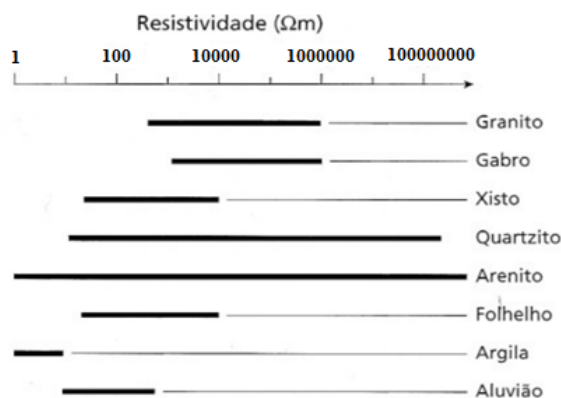
Figura 7- Parâmetros usados na definição de resistividade.



Fonte: Kearey, Brooks & Hill (2009).

Mesmo rochas com pouca porosidade podem ser condutoras, através de suas feições estruturais. Com isso, foi elaborado suposições de intervalos de resistividade esperados para alguns tipos de rochas (Figura 8). Entretanto, a identificação de rochas não deve ser feita baseada apenas em dados elétricos (KEAREY, BROOKS & HILL, 2009).

Figura 8- Intervalo aproximado de valores de resistividade de algumas rochas.



Fonte: Adaptado de Kearey, Brooks & Hill (2009).

A resistividade efetiva pode ser expressa pela resistividade e o volume de água presente nos poros. De acordo com Archie et al., (1942), a porosidade é ϕ e f é a fração de poros que contém água de resistividade. As constantes empíricas são ρ_w e a , b e c , onde ρ_w pode variar de acordo com as quantidades e condutividades dos materiais, sendo expressas pela equação 2:

$$\rho = a\phi^{-b}f^{-c}\rho_w \quad (2)$$

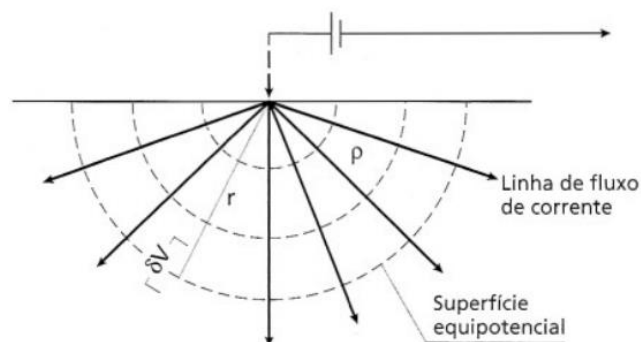
6.4.1. Fluxo de corrente no solo

Para Kearey, Brooks & Hill (2009), se uma corrente I é passada por um material homogêneo como o cilindro, causa queda de potencial ($-\delta V$) entre as extremidades do elemento. Na lei de *Ohm* a corrente é relacionada a diferença de potencial e resistência, assim $-\delta V = \delta R I$ e $\delta R = \frac{\rho \delta L}{\delta A}$. Desta forma, $\delta V / \delta L$ representa o gradiente de potencial através de um elemento e i a densidade de corrente. A densidade de corrente em qualquer direção em um material é dada pela derivada parcial negativa do potencial na direção determinada, depois dividido pela resistividade, sendo expressa pela equação 3:

$$\frac{\delta V}{\delta L} = -\frac{\rho I}{\delta A} = -\rho i \quad (3)$$

O circuito pode ser completado por um sumidouro de corrente, a uma grande distância do eletrodo de corrente de resistividade constante ρ , onde a corrente flui radialmente (Figura 9) a partir do eletrodo, sobre superfícies hemisféricas centradas na fonte, fazendo com que a distribuição de corrente seja uniforme (KEAREY, BROOKS & HILL, 2009).

Figura 9- Fluxo de corrente de um único eletrodo na superfície



Fonte: Kearey, Brooks & Hill (2009).

A distância r do eletrodo tem uma área superficial de $2\pi r^2$, desta forma a densidade da corrente (i) é dada pela equação 4:

$$i = \frac{I}{2\pi r^2} \quad (4)$$

O gradiente potencial associado a corrente dado pela equação 5:

$$\frac{\partial V}{\partial r} = -\rho i = -\frac{\rho I}{2\pi r^2} \quad (5)$$

E o potencial V_r à distância r é obtida pela integração expressa na equação 6:

$$V_r = \int \partial V = - \int \frac{\rho I \partial r}{2\pi r^2} = \frac{\rho I}{2\pi r} \quad (6)$$

Para o caso de um sumidouro de corrente, que está a uma distância finita da fonte (Figura 10), o potencial V_C em um eletrodo interno C será a soma das distribuições dos potenciais V_A e V_B da fonte de corrente A e do semidouro B. Os potenciais absolutos são difíceis de monitorar, logo a diferença de potencial ΔV entre os eletrodos C e D é dada pelas equações 7, 8 e 9:

$$V_C = \frac{\rho I}{2\pi} \left(\frac{1}{r_A} - \frac{1}{r_B} \right) \text{ ou } V_D = \frac{\rho I}{2\pi} \left(\frac{1}{R_A} - \frac{1}{R_B} \right) \quad (7)$$

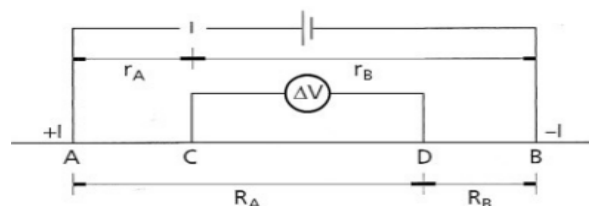
Logo,

$$\Delta V = V_C - V_D = \frac{\rho I}{2\pi} \left\{ \left(\frac{1}{r_A} - \frac{1}{r_B} \right) - \left(\frac{1}{R_A} - \frac{1}{R_B} \right) \right\} \quad (8)$$

Assim,

$$\rho = \frac{2\pi \Delta V}{I \left\{ \left(\frac{1}{r_A} - \frac{1}{r_B} \right) - \left(\frac{1}{R_A} - \frac{1}{R_B} \right) \right\}} \quad (9)$$

Figura 10- Forma geral da configuração de eletrodo usada em medição de resistividade.



Fonte: Kearey, Brooks & Hill (2009).

Desta forma, se o solo e/ou rocha são uniformes a resistividade é calculada pela equação 9, onde deve ser constante e independente em espaçamento dos eletrodos e localização da superfície. Se a superfície não é homogênea a resistividade varia com as posições relativas dos eletrodos. Assim, qualquer valor calculado é chamado de resistividade aparente (ρ_a) e será uma função da forma da inomogeneidade (KEAREY, BROOKS & HILL, 2009).

Se o terreno for homogêneo a profundidade de penetração de corrente vai aumentar com o aumento da separação dos eletrodos de corrente, de modo que a proporção do fluxo de corrente abaixo de uma profundidade Z é dada como a razão entre a separação L dos eletrodos e o aumento da profundidade. A separação dos eletrodos de corrente deve ser escolhida de forma que o solo e/ou rocha sejam energizados até a profundidade requerida para o estudo, que deve ser no mínimo igual a sua profundidade (KEAREY, BROOKS & HILL, 2009).

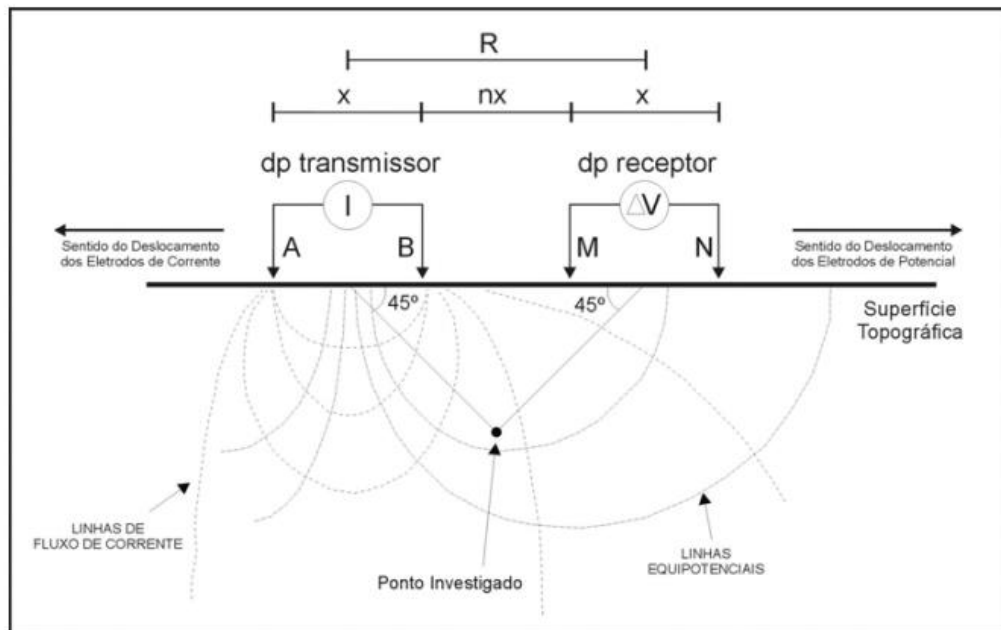
6.4.2. Caminhamento elétrico

O caminhamento elétrico (CE) de separação constante é um dos procedimentos empregados em levantamentos de resistividade, sendo utilizado para determinar a variação vertical de resistividade. A corrente e os eletrodos de potencial são mantidos a uma separação fixa, que podem ser movimentados ao longo do perfil. É comum ser usado em prospecção mineral, com o objetivo de localizar feições estruturais e detectar corpos de condutividade anômala. Se o caminhamento elétrico possui espaçamento constante dos eletrodos, pode ser utilizado para confecção de mapas de contorno com níveis de resistividade (KEAREY, BROOKS & HILL, 2009).

6.4.3. Arranjo Dipolo-Dipolo

Segundo Borges (2002), o arranjo Dipolo-Dipolo é usado em sondagens elétricas verticais e caminhamento elétrico. Neste tipo de arranjo os eletrodos AB são de injeção de corrente e MN de potencial. São dispostos segundo uma linha, onde o arranjo é definido pelo espaçamento entre os eletrodos $X=AB=MN$. Desta forma, a profundidade de investigação (n) é dada por $n = 1, 2, 3 \dots n+1$, sendo 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 (Figura 11), com ângulo de 45° entre eles. Assim, a profundidade investigada cresce com a distância entre os eletrodos de potencial e de corrente (R).

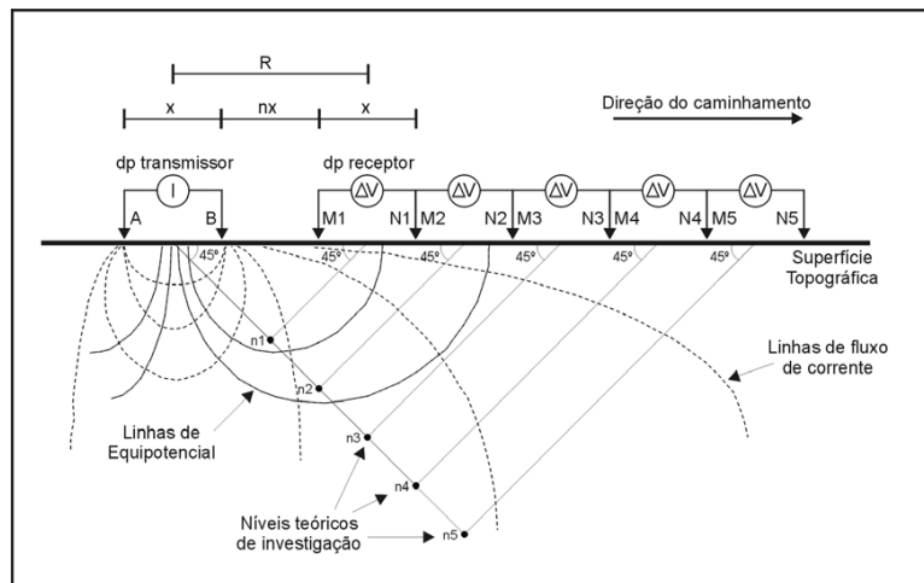
Figura 11- Esquema de sondagens dipolares.



Fonte: Strobino (2001); Borges (2002).

Logo, para saber as variações laterais da resistividade, se faz uso da técnica CE, onde os eletrodos são expandidos simetricamente a partir de um centro que permanece fixo e a profundidade crescendo com aumento da distância de A e B. Quando se termina a medida os dipolos são deslocados a uma distância X (Figura 12) e os dados são novamente coletados, gerando uma seção de distribuição de pontos de resistividade (Borges, 2002).

Figura 12- Esquema de arranjo dipolo-dipolo utilizado em caminhamentos elétricos.



Fonte: Elis (1998).

6.5.Método Magnético

O Método Magnético investiga a geologia com base nas anomalias do campo magnético da Terra, através das propriedades magnéticas das rochas em subsuperfície, podendo ser aplicado em pequenas até grandes escalas. Alguns tipos de rochas contêm minerais magnéticos o suficiente para produzir anomalias significativas. Os levantamentos podem ser realizados em terra, mar e ar, sendo que este último torna o método muito atraente na busca de depósitos minerais que contenham mineralogia magnéticas (KEAREY, BROOKS & HILL, 2009).

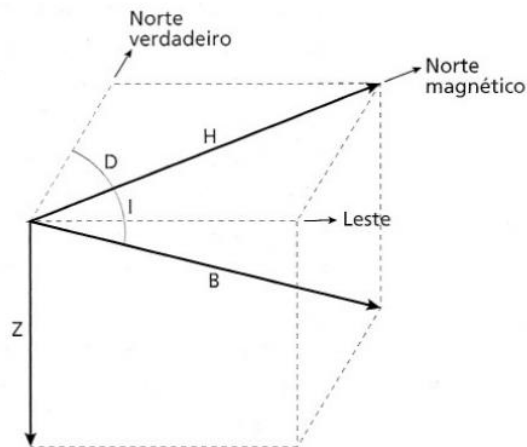
As anomalias podem indicar diversas feições, como mudança na litologia, variação da espessura de unidades magnéticas, falhas, dobras e relevo topográfico (SOARES, 2001). Onde as principais maneiras de interpretação de alinhamento magnéticos, indicativos de contatos litológicos e fraturamentos são: interrupção de altos magnéticos, interrupção de baixos magnéticos, mudança de gradiente e padrões de contorno em linhas retas (VASCONCELLOS et al., 1994).

6.5.1. O campo geomagnético

O campo geomagnético é bastante complexo, mostra variações irregulares tanto em orientação e magnitude quanto em latitude, longitude e tempo. É preciso saber que em qualquer ponto da superfície terrestre uma agulha magnética livre e suspensa irá assumir uma posição no espaço da direção do campo geomagnético, assim, um dos polos aponta na direção do polo norte da Terra, chamado de norte magnético ou polo positivo e é balanceado por um sul magnético, conhecido por polo negativo, sendo que ambos possuem a mesma força, porém se encontram na extremidade oposta do magneto. Os vetores desse campo são conhecidos como vetor campo total B (Figura 13), que tem uma componente vertical Z e uma componente horizontal H , na direção do norte magnético. O mergulho do B será a inclinação I do campo, já o ângulo horizontal entre o norte geográfico e o magnético é a declinação D (KEAREY, BROOKS & HILL, 2009).

No hemisfério norte, o campo magnético está inclinado para baixo em direção ao norte, onde se torna vertical no polo norte magnético. No hemisfério sul a inclinação é para cima, em direção ao norte. O equador magnético é a linha de inclinação zero, que é próxima ao equador geográfico. Quase todo campo terrestre pode ser representado por um dipolo magnético teórico no centro da Terra, com inclinação aproximada de $11,5^\circ$, com relação ao eixo de rotação.

Figura 13- Componentes geomagnéticos.



Fonte: Kearey, Brooks & Hill (2009).

O motivo do campo geomagnético é atribuído a uma ação de dínamo produzida pela circulação de partículas carregadas em células de convecção conjugadas na fluidez do núcleo externo. Essa troca de dominância entre as células produz as mudanças periódicas na polaridade do campo geomagnético. Logo, a circulação no núcleo muda com o tempo, de forma lenta e progressiva. Esse processo é conhecido como variação secular, como ocorre na rotação do polo norte magnético no polo geográfico (KEAREY, BROOKS & HILL, 2009).

As variações diurnas são de origem externa, em dias normais (calmos) essa variação é suave e regular, com amplitude de 20 a 80 nT e alcança valores máximos nas regiões polares. É o resultado do campo magnético induzido por um fluxo de partículas carregadas dentro da ionosfera em direção aos polos magnéticos, se modificando em sintonia com os efeitos de maré, sol e lua. Em dias perturbados as variações são menos regulares, grandes distúrbios e curta duração do campo geomagnético, com amplitudes que podem chegar a 1.000 nT. São chamadas de tempestades magnéticas, e são associadas a grande atividade solar, com partículas solares carregadas chegando à ionosfera (KEAREY, BROOKS & HILL, 2009).

6.5.2. Conceitos magnetométricos

De acordo com Kearey, Brooks & Hill (2009), a força (F) entre dois polos magnéticos com intensidade m_1 e m_2 é separado por uma distância r , onde μ_0 e μ_R são constantes correspondentes à permeabilidade magnética do vácuo e permeabilidade magnética relativa do

meio que separa os polos. Desta forma, a força será atrativa se os polos forem de sinais diferentes e repulsiva se forem iguais (equação 15).

$$F = \frac{\mu_0 m_1 m_2}{4\pi\mu_R r^2} \quad (15)$$

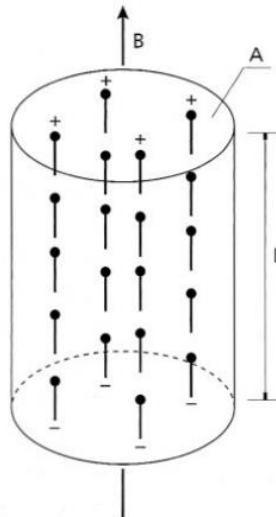
O campo magnético B (Figura 14) em razão de um polo de intensidade m a uma distância r do polo é definido como a força exercida sobre uma unidade de polo positiva naquele ponto (equação 16).

$$B = \frac{\mu_0 m}{4\pi\mu_R r^2} \quad (16)$$

Os campos magnéticos são definidos em termos de potenciais magnéticos, similares aos campos gravitacionais. Para um único polo magnético de intensidade m , o potencial magnético V a uma distância r do polo é dado pela equação 17:

$$V = \frac{\mu_0 m}{4\pi\mu_R r} \quad (17)$$

Figura 14- Representação esquemática de um elemento em que os dipolos elementares se alinham na direção de um campo externo B , produzindo magnetização induzida.



Fonte: Kearey, Brooks & Hill (2009).

Desta forma, o componente magnético em qualquer direção é dado pela derivada parcial do potencial na direção requerida. No sistema internacional de unidades, os parâmetros magnéticos são definidos em termos de fluxo de corrente elétrica. Se uma corrente passa por uma bobina composta por várias espirais, um fluxo magnético gerado pela força de magnetização H flui através e ao redor do anel dessa bobina. A magnitude H será proporcional ao número de espirais e à intensidade da corrente, inversamente proporcional ao comprimento

do fio da bobina, na qual H será expresso em $A m^{-1}$. A densidade do fluxo magnético, quando medida sobre uma área perpendicular à direção de fluxo é conhecida como indução magnética B da bobina, onde B será proporcional a H e a constante de proporcionalidade é chamada de permeabilidade magnética (KEAREY, BROOKS & HILL, 2009).

A lei de indução de Lenz relaciona a taxa de variação do fluxo magnético em circuito com a tensão a ele associada, B será expresso em $V s m^{-2}$ (Weber (Wb) m^{-2}). A unidade $Wb m^{-2}$ é chamada Tesla (T) e a unidade *c.g.s* de intensidade do campo magnético é o Gauss, que numericamente equivale a $10^{-4} T$. Como Tesla é uma unidade muito grande para expressar pequenas anomalias magnéticas, se emprega uma subunidade, o nanotesla (nT), onde $1nT = 10^{-9}T$. E no *c.g.s*, se utiliza uma unidade equivalente a gama (γ), que é igual a $10^{-5}G$. Magnetos comuns mostram um par de polos chamados de dipolos. O momento magnético M de um dipolo com polos de intensidade m é separado por uma distância l (equação 18). O momento magnético de uma bobina submetida a uma corrente é proporcional ao número de espirais, a área transversal e à magnitude da corrente e assim seu momento é expresso por $A m^2$ (KEAREY, BROOKS & HILL, 2009).

$$M = ml \quad (18)$$

Segundo Kearey, Brooks & Hill (2009) a polarização magnética é um fenômeno que ocorre quando um material é colocado em um campo magnético, onde ele pode adquirir uma magnetização na direção do campo magnético. Quando o material é retirado de campo a magnetização é perdida em função do resultado do alinhamento dos dipolos elementares dentro do material. Com isso, o material tem seus polos magnéticos distribuídos por sua superfície, que corresponde as extremidades dos dipolos. Desta forma, a magnetização induzida J_i é definida como um momento dipolar por unidade de volume do material, sendo L o comprimento e A a seção transversal de área (equação 19).

$$J_i = \frac{M}{LA} \quad (19)$$

Visto que todas as substâncias são magnéticas em alguma escala atômica, cada átomo age como um dipolo, em razão do *spin* de seus elétrons e da trajetória orbital dos elétrons rodeando o núcleo. A teoria quântica sugere que dois elétrons podem existir no mesmo estado, desde que os *spins* estejam em direções opostas. Assim, dois elétrons de *spins* opostos são chamados de elétrons pareados e os momentos magnéticos de seus *spins* se cancelam.

Dependendo do grau de superposição das orbitas dos elétrons, a união entre os dipolos pode ser paralela ou antiparalela (KEAREY, BROOKS & HILL, 2009).

Em materiais ferromagnéticos os dipolos são paralelos, o que faz com que seja gerada uma magnetização espontânea forte, que pode existir mesmo na ausência de um campo magnético externo e uma suscetibilidade muito alta. Neste caso, as substâncias incluídas são: ferro, cobalto e níquel. Nos materiais antiferromagnéticos, o acoplamento dos dipolos é antiparalelo, com número igual de dipolos em cada sentido, onde a hematita pode ser incluída como substância (KEAREY, BROOKS & HILL, 2009).

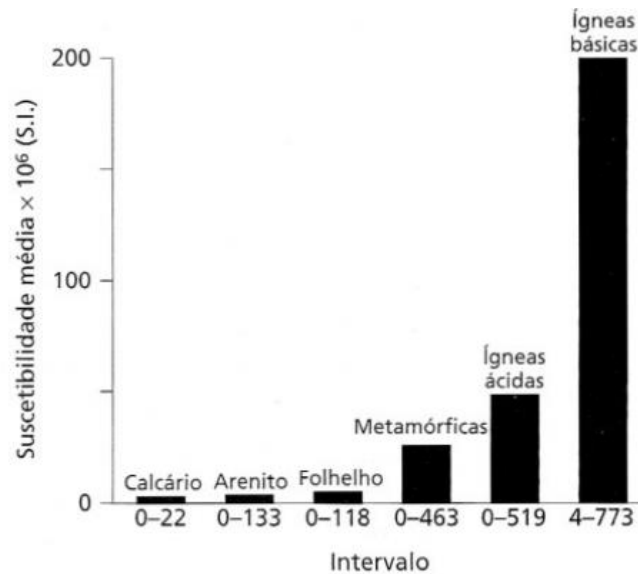
6.5.3. Magnetismo de rochas

Para Kearey, Brooks & Hill (2009) os minerais formadores de rocha, em geral, mostram suscetibilidade magnética muito baixa. Há apenas dois grupos geoquímicos que formam esses minerais: o primeiro grupo é ferro-titânio-oxigênio, que abrange uma série de minerais magnéticos que vai da magnetita à ulvoespinélio. O segundo grupo é ferro-enxofre, perfazendo a pirrotita, cuja suscetibilidade magnética depende de sua composição.

Rochas ígneas básicas são altamente magnéticas, pois é comum classificar o comportamento magnético das rochas a partir do conteúdo global de magnetita. Sua proporção tende a diminuir com o aumento da acidez (Figura 15). As rochas metamórficas são variáveis em relação a características magnéticas, onde se a pressão parcial de oxigênio for baixa, a magnetita será reabsorvida, o ferro e oxigênio serão incorporados em outras fases minerais com aumento do grau metamórfico. Se houver aumento da pressão parcial do oxigênio, pode formar magnetita como mineral acessório metamórfico. Em rochas sedimentares a quantidade de minerais magnéticos é baixa, com exceção daquelas onde a rocha fonte eram rochas básicas (KEAREY, BROOKS & HILL, 2009).

Assim, o conteúdo de magnetita e a suscetibilidade das rochas é bastante variado, podendo ter sobreposição de diferentes litologias. Desta forma, não é possível saber a causa de anomalias magnéticas somente através da magnetometria, sendo necessário se utilizar um conjunto de métodos. Grande parte das anomalias estão em diques, soleias, fluxos de lava falhados e dobrados, intrusões de maciços básicos, embasamento de rochas metamórficas e corpos de minério com magnetita. Em amplitude, essas anomalias podem variar de poucas dezenas de nT, no embasamento metamórfico, a várias centenas de nT sobre intrusões básicas e milhares de nT sobre depósitos de magnetita (KEAREY, BROOKS & HILL, 2009).

Figura 15- Histograma evidenciando os valores médios e intervalos de suscetibilidade de tipos de rochas mais comuns.



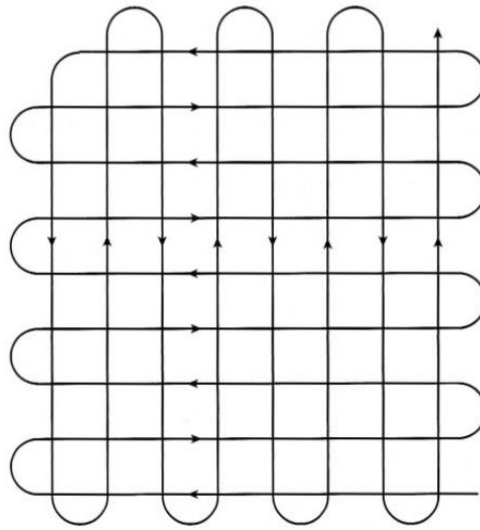
Fonte: Kearey, Brooks & Hill (2009).

6.5.4. Levantamento aeromagnéticos

O magnetômetro possui um sensor, preenchido com hidrocarbonetos líquidos, que quando acionado gera um pulso magnético, que força os núcleos dos mesmos a se orientarem de acordo com o campo magnético induzido. Desta forma, quando o campo cessa, os núcleos voltam para as posições originais, se alinhando de acordo com o campo magnético terrestre, a partir daí a vibração dos átomos são medidas. O magnetômetro de precessão nuclear e de bombeamento ótico são os mais usados em levantamentos aéreos. O primeiro mede o campo total e o segundo o gradiente do campo total, onde o levantamento é feito perpendicular as principais feições estruturais (SOARES, 2001).

O sensor fica em um suporte chamado pássaro, que é projetado para que o instrumento não sofra os efeitos magnéticos da aeronave. Este levantamento é relativamente rápido e barato, custando aproximadamente 40% a menos por quilômetro linear que o levantamento terrestre, além de cobrir áreas grandes e inacessíveis sem ter o custo de enviar uma equipe a campo. Os sistemas de navegação empregados são mosaicos fotográficos, posicionamento eletrônico e navegação *Doppler* (Figura 16). As correções podem ser feitas para eliminar as variações por causas não geológicas, como variação diurna e interferências de outras fontes indesejadas, sejam elas rasas ou profundas, a partir de estações ficam em terra ou retângulos fornecidos pelas linhas de voo e controle (SOARES, 2001).

Figura 16- Plano de voo típico para levantamento aeromagnético.



Fonte: Kearey, Brooks & Hill (2009).

7. RESULTADOS

7.1.Petrografia

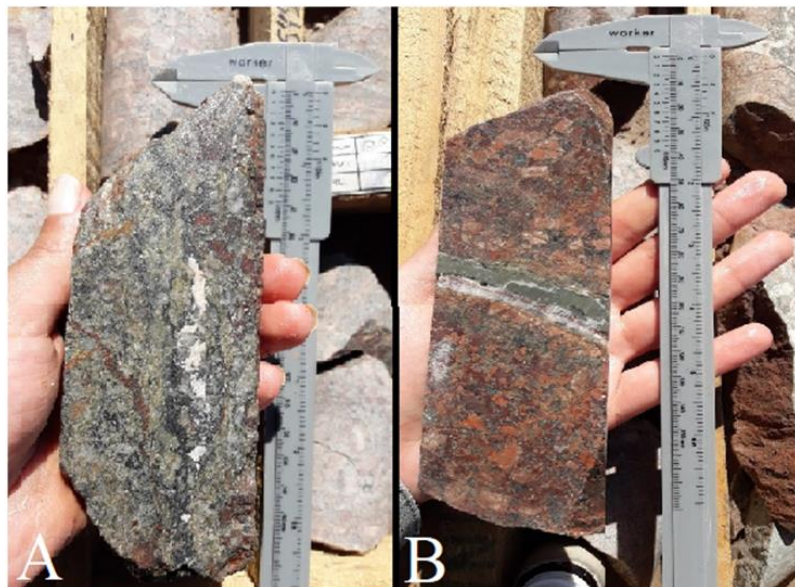
7.1.1. Macroscópica

O Monzogranito foi coletado no CE das linhas 2, 3, 4, 5 e 6 e observado nos testemunhos de sondagem LDH 196, 199 e 201.

Em afloramento, a rocha se apresenta muito fraturada, com grau de alteração moderado, textura porfirítica e rapakivi de granulação média e coloração rósea. Próximo a superfície (LDH-199-22m), a rocha ainda apresenta textura porfirítica e rapakivi portadora de fenocristais de plagioclásios. A matriz é inequigranular e composta por quartzo e plagioclásio em composição praticamente equivalentes e subordinadamente biotita. Os fenocristais de plagioclásio são euédricos a subédricos, tabulares com dimensões de até 4 cm, com predomínio dos tamanhos que variam de 1-2 cm. Com o aumento da profundidade (LDH-201-58 m) a granulometria da rocha torna-se média a grossa, apresenta-se com coloração avermelhada (LDH-196-34-92 m; LDH-199-52-100 m) e intensamente fraturada.

A mudança de coloração do Monzogranito delimitada pela diminuição do quartzo, mudança de granulometria de média para média a grossa, a diminuição gradual do conteúdo de biotita e aumento, também gradual, da clorita (Figura 17-A), o aumento do conteúdo de feldspato alcalino (Figura 17- B) e pirita disseminada podem ser considerados como indícios de processos de alteração hidrotermal.

Figura 17- Em (A) ocorre o processo de cloritização e (B) Feldspatização.



Fonte: Autora.

O Granodiorito (Figura 18) foi coletado somente no CE da linha 1, não sendo observado nos testemunhos de sondagem. Ele tem coloração cinza, granulação fina a média, textura porfirítica e ocasionalmente equigranular. O plagioclásio é o mineral dominante seguido por quartzo, feldspato alcalino, biotita, anfibólio e piroxênio, sendo que os contatos são retos entre si.

Figura 18- Bloco de Granodiorito.



Fonte: Autora.

7.1.2. Microscópica

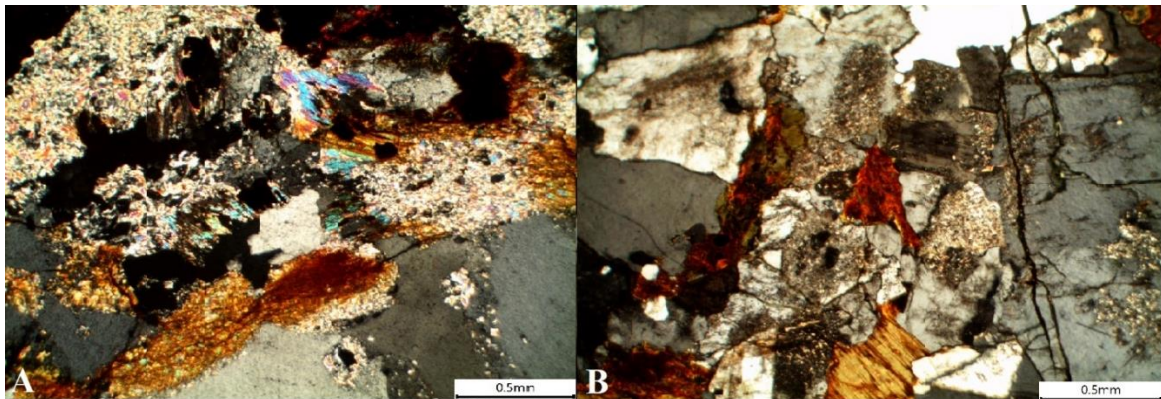
No estudo microscópico do Monzogranito foi observado uma textura porfirítica com sobrecrecimento de fenocristais de feldspato alcalino euédrico com inclusões de plagioclásio e biotita. O plagioclásio é subédrico e apresenta alteração para sericita em alguns cristais. A alteração sericítica varia de intensidade (Figura 19-A). O feldspato alcalino apresenta macla Carlsbad e pertitas.

A biotita tem hábito tabular, alterando para clorita e parece estar em equilíbrio com o quartzo e o plagioclásio. O quartzo tem extinção ondulante, é policristalino e o contato com outros minerais é irregular. A clorita altera a biotita dentro dos planos de clivagem. Foram observados, também, epidoto granular, possivelmente hidrotermal, em equilíbrio com a clorita.

Raros cristais de titanita romboédrica e euédrica. Magnetita e/ou ilmenita intensamente fraturadas, subédricas e disseminadas pela amostra. Apatita acicular, inclusa em biotita ou plagioclásio e zircão euédrico, bem preservado e incluso em quartzo e biotita.

Os processos de alteração hidrotermal são variáveis, por vezes são fracos onde é possível observar a passagem de um mineral para outro, outras vezes são intensos onde a alteração ocupa os minerais reliquias. Neste sentido, se observou potassificação, sericitização, cloritização e oxidação (Figura 19-B).

Figura 19- Fotomicrografia a nicóis cruzados, com aumento de 5x. (A) sericitização, cloritização e início de argilização. (B) Começo de sericitização nos feldspatos e quartzos, com presença de óxido.



Fonte: Autora.

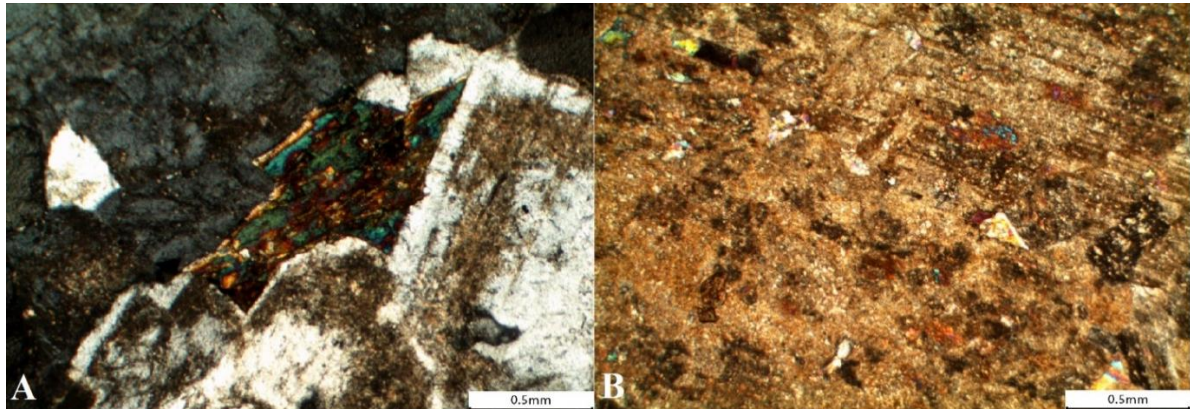
No estudo microscópico do Granodiotito o plagioclásio é subédrico, com tamanhos variando de 0,4 a 4 mm. Ele apresenta geminação Albita-Carlsbad, Albita e, subordinadamente Albita-Periclina. O plagioclásio é rico em inclusões de apatita, piroxênio e biotita conforme a zonação composicional. O quartzo é anédrico (0,03 a 2 mm), com contatos reto e irregular com o feldspato alcalino, plagioclásio, biotita e piroxênio. Raros são os cristais de quartzo que apresentam inclusões de biotita nas bordas.

O feldspato alcalino euédrico a subédrico varia de 0,2 a 3,4 mm. Apresenta geminação Albita-Periclina (Figura x-A) e inclusões de piroxênio (diopsídio?), biotita, titanita e quartzo. A biotita (0,4 a 2,5 mm) é o mineral máfico mais abundante. Seu pleocroísmo varia de castanho escuro a marrom esverdeado e são comuns inclusões de apatita, zircão e minerais opacos.

O piroxênio tem tamanhos entre 0,1 e 2 mm, com pleocroísmo variando de verde pálido a verde amarelado e inclusões de titanita, anfibólio e biotita dispersos. O anfibólio (hornblenda?) subédrico exhibe pleocroísmo variando de verde oliva a verde-amarelo, com tamanhos que variam de 0,07 a 0,8 mm e inclusões de biotita e feldspato alcalino. Raros são os cristais euédricos e anédricos observados.

Os processos de alteração hidrotermal que predominam no Granodiorito são argilização, cloritização e sericitização (Figura 20- B), onde esta última é dominante.

Figura 20- Fotomicrografia a nicóis cruzados, com aumento de 5x. (A) início da sericitização em feldspatos germinados. (B) Intensa sericitização, seguida por argilização e cloritização.

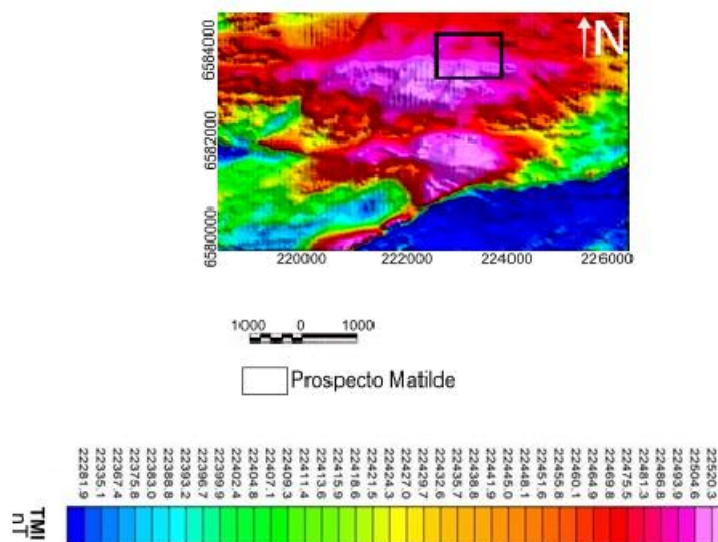


Fonte: Autora.

7.2. Intensidade magnética total e derivada vertical

O mapa (Figura 21) mostra que tanto a área de estudo quanto as regiões ao redor apresentam fortes anomalias magnéticas, demarcadas pelo contraste. No Prospecto Matilde, ela se divide em duas zonas: uma superior em direção na direção sul e a outra inferior em direção norte. A porção norte é evidenciada por tons avermelhados, de intensidade magnética alta, qual seus valores variam de 22469.8 a 22481.3 nT com algumas lentes suaves de 22493.9 nT. A porção sul é evidenciada por tons rosados, de intensidade magnética muito alta, e valores que variam de 22486.8 a 22520.3 nT.

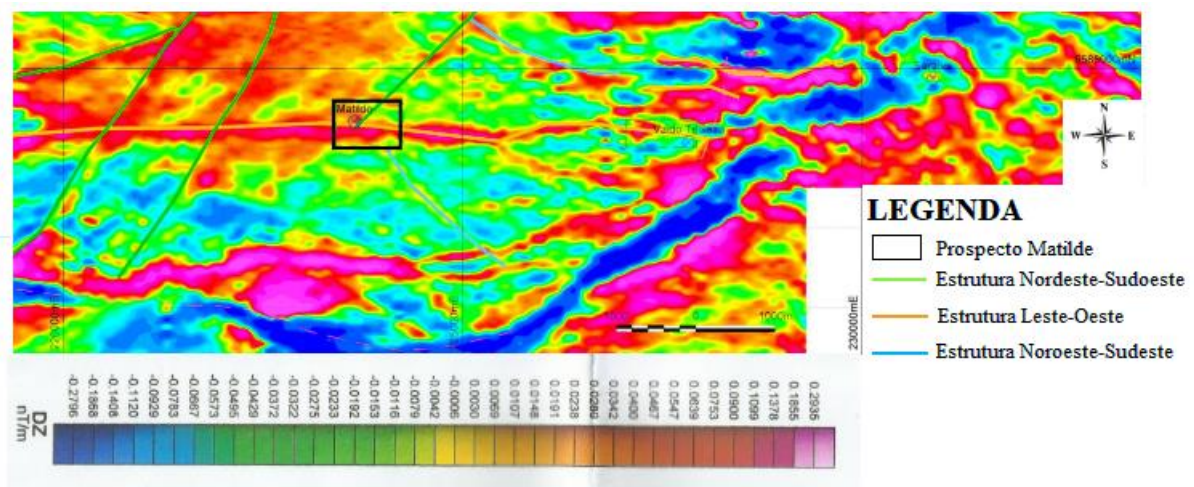
Figura 21- Mapa de intensidade magnética total.



Fonte: Adaptado de Amarillo (2010).

O mapa de derivada vertical (Figura 22) mostra os lineamentos em âmbito regional e local, porque as direções dessas feições de grande escala podem ter influenciado dentro da área de estudo. Há um grande contraste na zona central da área, demarcados por tons vermelhos, cercados por verdes. A porção leste superior e inferior, mostram valores entre -0.0573 a 0.0238 nT/m; na porção superior e inferior oeste, assim como no centro ocorre valores elevados de 0.0400 a 0.1378 nT/m. Através dessas informações se delimitou as principais direções de feições estruturais como: leste-oeste, nordeste-sudoeste e noroeste-sudeste.

Figura 22- Mapa de derivada vertical com as principais feições estruturais.



Fonte: Adaptado de Amarillo (2010).

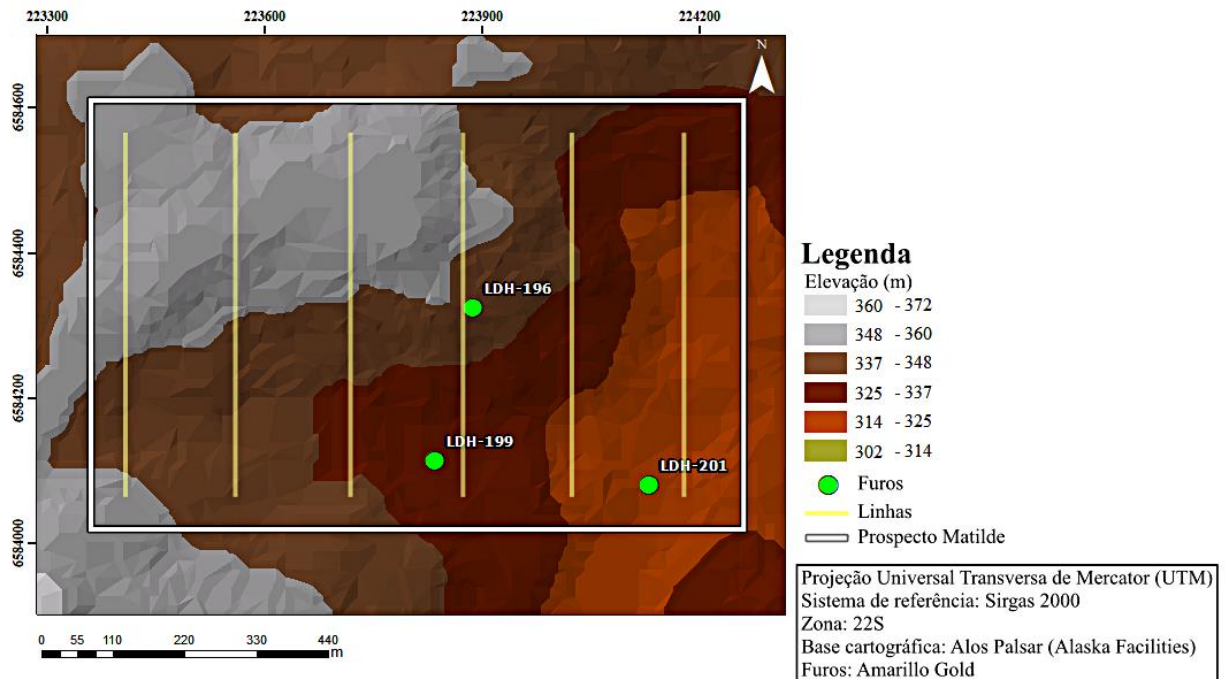
7.3. Linhas

O caminhamento elétrico possibilitou a obtenção de 6 perfis em 2D e 3D. A linha 1, 2, 3 e 4 (Figura 23) tem início em uma área topograficamente mais elevada e acidentada, que *in loco* é uma região de mata fechada. Nas porções centrais a cota diminui, assumindo forma similar a um delta, nessas regiões a vegetação é rasteira e o solo passa a ficar mais úmido a medida em que se desce na topografia da região, até formar um banhado. Este corta todas as linhas, onde a largura e profundidade é aumentada conforme se avança em direção leste.

As linhas 5 e 6 têm início em uma região topograficamente mais baixa, mostra relevo plano, vegetação rasteira e solo úmido desde os primeiros metros, onde o aumento de umidade é progressivo na direção sul, sentido banhado. Próximo à linha 4 estão localizados os furos de sondagem realizados pela Amarillo Gold, onde o LDH-199 é paralelo ao perfil e LDH-196 o

intercepta na diagonal (Anexo 1). O furo de sondagem LDH-201, é alocado entre as linhas 5 e 6, com a boca próximo ao perfil 6, seguindo em direção ao perfil 5 na diagonal.

Figura 23- Mapa digital de elevação.



Fonte: Autora.

7.4. Perfis geoeletricos

O resultado obtido no caminhar elétrico (CE) da linha 1 é um perfil 2D (Figura 24), com valores que variam de 50.7 até >5964 Ohm.m. Nas proximidades da superfície, até 8 m de profundidade, predominam valores entre 50.7 e 1600 Ohm.m, com exceção de uma pequena faixa alongada com valor entre 3000 e 5000 Ohm.m. Os valores mais baixos de resistividade são evidenciados por tons: azuis, que se mostram com geometria lenticular alongada ou sem definição; verdes e amarelos têm forma de elipse achatada horizontalmente.

As porções centrais mostram os valores de resistividade mais elevados, variando de 3000 a >6000 Ohm.m. Se iniciam em 80 m no perfil, dando continuidade até os 300 m, com profundidade de 10 m à aproximadamente 54 m. Pode se dividir em três partes, a primeira com valor próximo a 6000 Ohm.m de cor roxa, maior alongação na horizontal, forma irregular sentido norte e oval a sul. A segunda parte é representada por valores médios de aproximadamente 4000 Ohm.m e tem forma subtabular na horizontal. A terceira tem

resistividade na faixa de 3000 Ohm.m, não mostra forma bem definida, porém, próximo a 220 m e corta as duas partes anteriores subverticalmente. Na base do perfil nota-se que os valores de resistividade diminuem, variando de 50 até 1800 Ohm.m, nesta porção a geometria é paralela ou subparalela na horizontal.

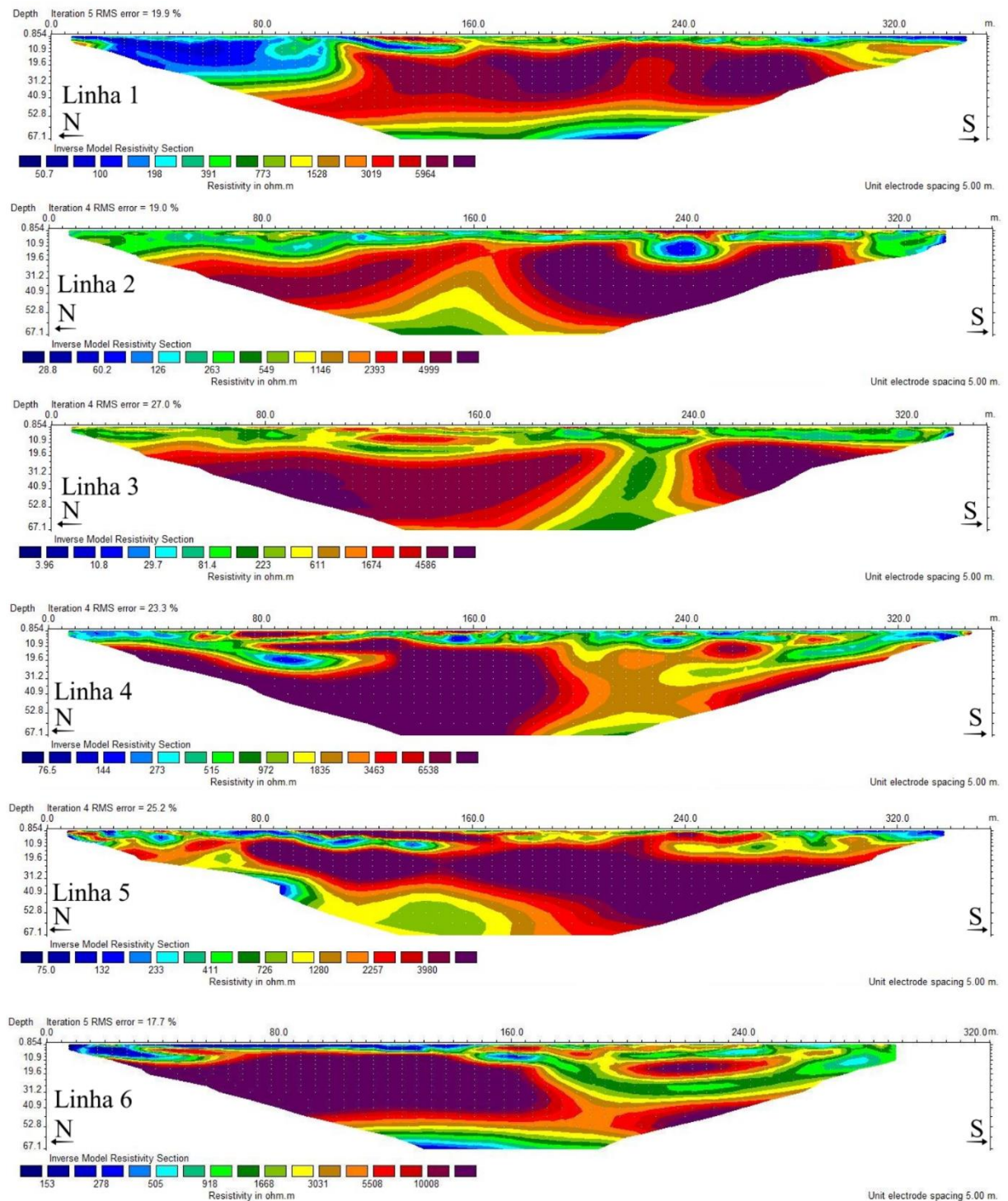
O resultado obtido no CE da linha 2, é um perfil 2D com valores que variam de 28.8 até >4999 Ohm.m. Nas proximidades da superfície, até aproximadamente 18 m de profundidade, predominam valores entre 28.8 e 1146 Ohm.m, com exceção de duas pequenas lentes, com valores entre 2393 e 4000 Ohm. Os valores mais baixos são evidenciados por tons azuis, amarelos, mas principalmente verde, que domina a geometria em lente horizontal por quase toda extensão do perfil, porém em duas áreas isoladas se mostra em forma de elipse.

As porções centrais mostram os valores de resistividade mais elevados, entre 3000 e 5000 Ohm.m. Se estende por quase toda área do perfil, do início até 300 m de comprimento e profundidade variando de 10 a 65 m. É dividido em duas zonas principais, ambas representadas pelas cores que variam do vermelho ao roxo. Onde a que está sentido sul abrange uma área maior com predomínio do roxo e na direção oposta, a norte, tons de vermelho. Evidenciam geometria lenticular na horizontal, que são praticamente separadas por uma forma triangular que aparece na vertical, com valores inferiores a 263 e 2393 Ohm.m.

O resultado obtido no CE da linha 3, é um perfil 2D com valores que variam de 81.4 até >4586 Ohm.m. Nas proximidades da superfície até 20 m de profundidade, os valores variam de 81.4 a 1674 Ohm.m. Os valores mais baixos evidenciados pela cor verde são predominantes no CE, se mostrando de forma contínua e retilínea por todo perfil. Os valores mais elevados são representados pelas cores roxas e vermelhas e se mostram de forma alongada.

As porções centrais mostram valores de resistividade mais elevados, variando de 611 a >4586 Ohm.m, se inicia em 20 m no perfil dando continuidade até 200 m, voltando a aparecer em 220m até o final do perfil. Com relação a profundidade vai de 20 m a 67 m. É dividido em duas zonas, uma com predomínio de cores vermelhas sobre as roxas à norte, abrangendo uma área maior em relação a que se encontra à sul, com predomínio do roxo sobre o vermelho. Ambas têm geometria subtabular a lenticular na horizontal e são separadas por uma faixa quase tabular na vertical, com valores variam de 80 a 300 Ohm.m, iniciando na base do perfil e conectando com a porção retilínea superficial.

Figura 24- Perfis de eletrorresistividade em modelo 2D.



Fonte: Autora.

O resultado obtido no CE da linha 4 é um perfil 2D com valores que variam de 76.5 até >6538 Ohm.m. Nas proximidades da superfície, até 7 m de profundidade, predomina valores entre 76.5 e 972 Ohm.m, com exceção de duas pequenas faixas alongadas com valores entre 1835 e 6538 Ohm.m. Os valores mais baixos de resistividade são evidenciados por tons azuis e

verdes, onde os primeiros mostram uma geometria essencialmente de elipsoide, os verdes aparecem ao redor dos azuis e em forma lenticular alongada horizontalmente.

As porções centrais mostram os valores de resistividade mais elevados, variando de 144 a > 6538 Ohm.m. A zona de resistividade mais elevada é representada principalmente pela cor roxa e vermelha, sem geometria definida na porção à norte e elipsoide na sul. Abrange uma grande área que varia de 10 a 190 m no perfil, voltando a aparecer em 240 m até próximo ao final da linha, em profundidade inicia em 10.9 m até a base.

É dividido por uma área com valor mais baixo, do amarelo ao marrom claro, apresentando valor de aproximadamente 1400 Ohm.m. Sua forma é próxima a dois sigmoides, sendo um oposto ao outro, indo da base até os 7 m, onde se liga a porção superficial.

O resultado obtido no CE da linha 5, é um perfil 2D com valores que variam de 75 até >3980 Ohm.m. Nas proximidades da superfície, até 20 m de profundidade, predominam valores entre 75 e 3980 Ohm.m. O valor mais baixo é representado por tons azuis. Em grande parte, apresenta forma de elipse achatada e lenticular, está presente do início ao final da linha, contornados por tons verdes, formando camadas. Os valores mais elevados de resistividade são representados em tons de vermelho e roxo, com geometria superficial de lentes na horizontal.

As porções centrais mostram os valores de resistividade mais elevados, variando de 132 a >3980 Ohm.m. Se inicia em 20 m de profundidade do perfil indo até a base. Pode ser dividido em duas zonas, uma de mais alta resistividade e outra de média. A zona de alta resistividade representa uma grande área, inicia em 70 m no perfil e se estende até o final da linha, evidenciada principalmente por tons de vermelho e roxo. Apresenta geometria em forma de cunha, na qual sua espessura vai aumentando com a profundidade. A zona de média resistividade inicia em 50m no perfil, onde as principais cores são verdes e amarelas, tem geometria preferencial de elipsoide subvertical.

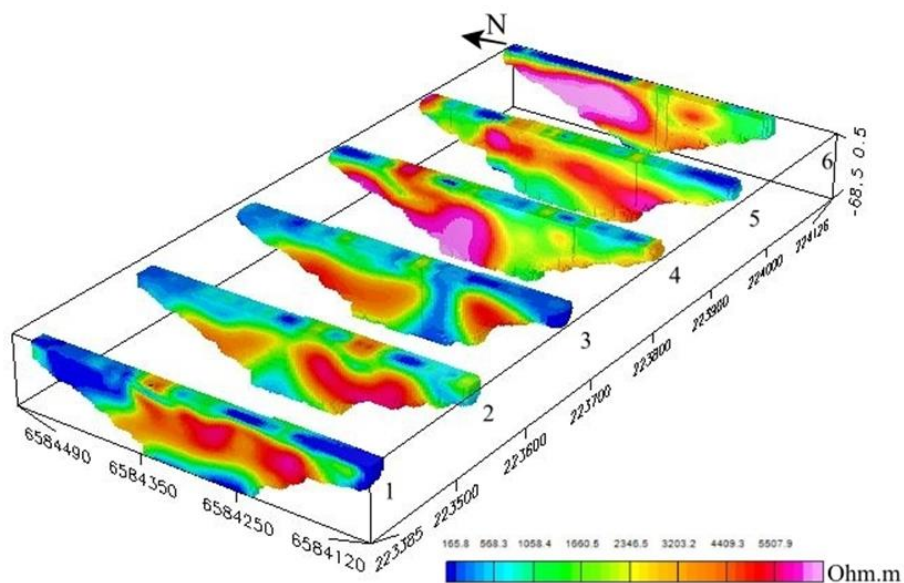
O resultado obtido no CE da linha 6 é um perfil 2D com valores que variam entre <153 e > 10008 Ohm.m. Nas proximidades da superfície até 5 m de profundidade, os valores variam entre <153 a 5508 Ohm.m. Os valores mais baixos evidenciados por tons verdes e principalmente pelos azuis se mostram de forma contínua e retilínea do início ao final da linha, com exceção de uma porção em elipse. Os valores mais elevados mostram cor laranja, vermelha e lilás e tem geometria tabular e de elipse achatada na horizontal.

As porções centrais mostram os valores de resistividade mais elevados, variando de 918 a >10008 Ohm.m, inicia-se em 5 m de profundidade e vai até 53 m. Os valores de resistividade mais elevados variam de 20 a 180 m na linha, voltam a aparecer entre 200 e 270m. Eles são evidenciados pelas cores vermelhas e roxas, onde a maior área se encontra à norte e mostra forma tabular e as menores áreas estão à sul e tem geometria de elipsoide.

É separada por uma porção com valores mais baixos, de cor marrom claro e forma de sigmoide. Os valores altos de ambas direções são separados por uma feição em meia lua, com valores baixos que apresentam tons de verde. Na base do perfil volta a aparecer os valores encontrados próximos a superfície.

O bloco em perspectiva (Figura 25) mostra as seis linhas em forma de perfil, auxiliando no que diz respeito a identificação de continuidade lateral das feições. Os valores de resistividade mais elevados estão em posições centrais, onde a maioria é separada ao meio por valores de resistividade mais baixos.

Figura 25- Visão em perspectiva das seis linhas geoeletricas levantadas.



Fonte: Autora.

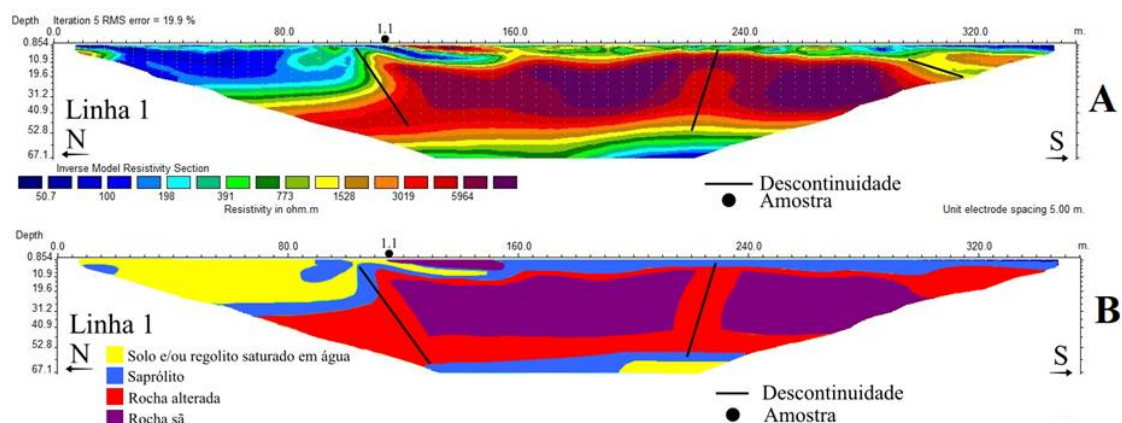
8. DISCUSSÕES

O perfil 1 foi marcado com 3 descontinuidades geolétricas (Figura 26-A), podendo ser falhas e/ ou fraturas. A primeira delas se inicia a uma distância de 110 m, profundidade entre 5 a 53 m, tem ângulo de mergulho com valores próximos a 60°. A segunda está no centro do perfil, com distância aproximada de 230 m e profundidade que varia de 10 a 52 m, com ângulo de mergulho próximo a 75°. A terceira está ao final do perfil a uma distância de 300 m e profundidade entre 12 e 22 m, ângulo de mergulho 25°.

Apenas as duas descontinuidades principais foram mantidas na releitura do perfil 1. Os valores de resistividade mais elevados, acima de 5964 Ohm.m, estão na porção central e foram interpretados como rocha sã (Figura 26- B), delimitadas pela cor roxa. Já entre 1528 e 5964 Ohm.m como rocha alterada, evidenciado pela cor vermelha, ocorrendo nos arredores da rocha sã. Valores de 391 a 1528 Ohm.m, podem ser associados ao saprólito, é representado pela cor azul e abrange boa parte da área superficial a partir da distância de 160 m, as porções de menor resistividade <50.7 a 198 Ohm.m foram entendidas como solo e/ou regolito saturado em água.

Nota-se que ocorre um faixa com resistividade baixa próximo aos 55 m de profundidade e 210 m de distância, isso estaria associado as duas descontinuidades que podem estar servindo de caminho para algum fluido ser transportado para base do perfil. Tal fluido causa alteração na rocha sã, o que pode deixá-la porosa e permeável, podendo causar acumulação de água, o que explica as porções de menor resistividade.

Figura 26- Em (A) perfil de eletrorresistividade evidenciando as descontinuidades da linha 1; (B) Interpretação dos dados geofísicos.



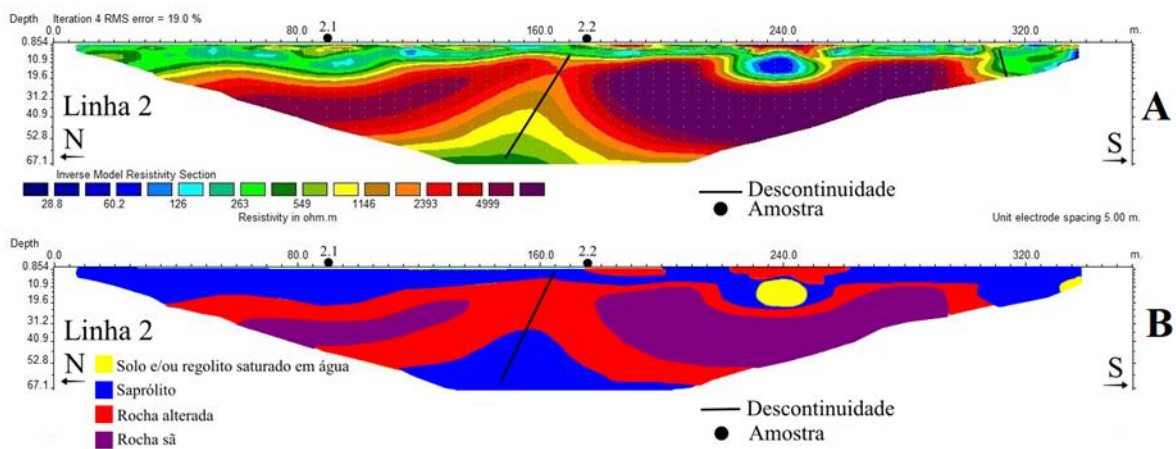
Fonte: Autora.

O perfil 2 foi marcado com duas discontinuidades geoeletricas (Figura 27-A), podendo ser falha e/ou fratura. A primeira está a uma distância de 180 m, profundidade de 10 a 67 m e ângulo de mergulho de 60°. A segunda está a uma distância de 310 m, profundidade de 4 a 25 m e ângulo de mergulho próximo a 80°.

A discontinuidade de maior importância é encontrada na porção central, separa o perfil em duas zonas, sendo considerada a principal influência sobre os baixos valores de resistividades adjacentes. A interpretação (Figura 27- B) se dá através dos valores mais elevados que 4999 Ohm.m, sendo provenientes de rocha sã, ao redor da mesma ocorre as rochas alteradas com resistividade de 1146- 4999 Ohm. Valores entre 263 e 1146 Ohm.m foram considerados como saprólito e os menores que 28.8 a 126 Ohm.m como solo e/ou regolito saturado em água.

O saprólito abrange quase toda área superficial do perfil com exceção de duas porções de rocha alterada. Assim, a discontinuidade liga a porção superior à inferior servindo como canal. Desta forma, os fluídos são alocados nesta feição estrutural e remobilizados para baixo. Acredita-se que toda a porção inferior era composta de rocha sã e foi se alterando até se transformar em saprólito por processos hidrotermais, deixando a rocha fraturada, porosa e com concentração de água. Nota-se a forte influência da água na distância de 240 m, onde a rocha alterada tinha continuidade com a porção superficial, mas foi interrompida pelo saprólito, que permitiu a passagem e concentração de fluidos que vieram de ambas direções, gerando alteração na rocha em forma de cuia.

Figura 27- Em (A) perfil de eletrorresistividade evidenciando as discontinuidades da linha 2; (B) Interpretação dos dados geofísicos.



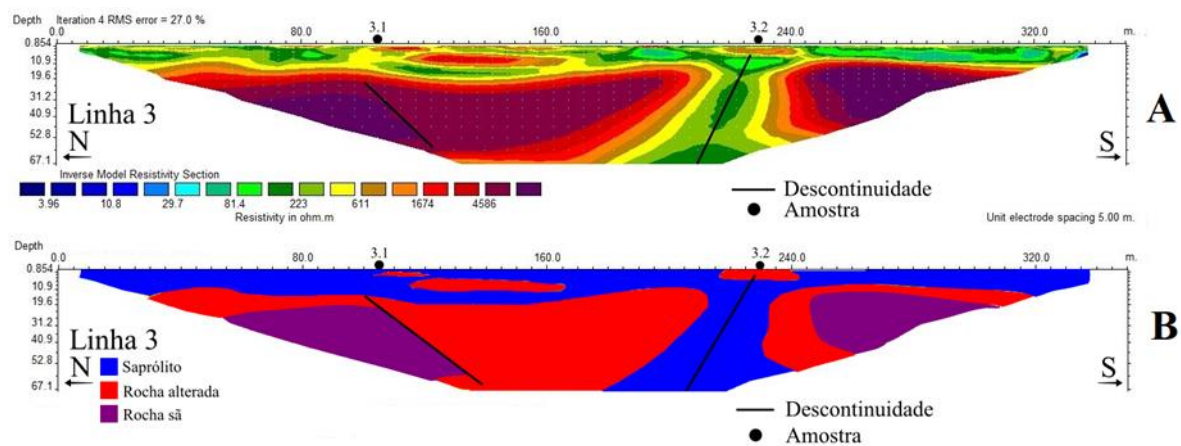
Fonte: Autora.

O perfil 3 foi marcado com duas descontinuidades geoeletricas (Figura 28-A), podendo ser falhas e/ou fraturas. A primeira está a uma distância de 100 m, profundidade entre 25 e 60 m e ângulo de mergulho de 45°. A segunda está a uma distância de 230 m, profundidade de 10 a 68 m e ângulo de mergulho próximo a 75°.

Por terem comprimentos consideráveis, as duas descontinuidades foram mantidas na interpretação (Figura 28-B). Os valores mais elevados que 5000 Ohm.m foram considerados como rocha sã, estando completamente cercada por rocha alterada de resistividade entre 611 a 5000 Ohm.m. O saprólito ocorre por toda a extensão superficial do perfil e na diagonal, com resistividade baixa de 81.4 a 223 Ohm.m.

A primeira descontinuidade separa uma rocha sã de uma alterada, a segunda se encontra sobre um saprólito que separa as rochas em duas zonas. Em ambos os casos a descontinuidade atua como fator de alteração, na segunda mais que a primeira. As lentes superficiais podem estar associadas a rochas alteradas com filões, pois são pontos isolados em meio a saprólitos.

Figura 28- Em (A) perfil de eletroresistividade evidenciando as descontinuidades da linha 3; (B) Interpretação dos dados geofísicos.



Fonte: Autora.

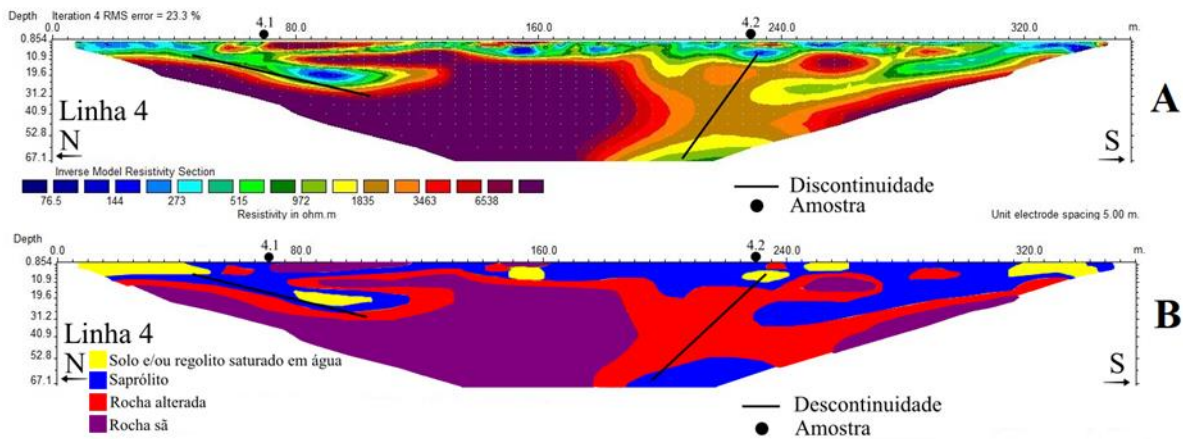
O perfil 4 foi marcado com duas descontinuidades geoeletricas (Figura 29-A), podendo estar associado a falhas e/ou fraturas. A primeira está a uma distância de 40 m, profundidade de 10 a 32 m e ângulo de mergulho 30°. A segunda está a uma distância de 230 m, profundidade de 10 a 67 m e ângulo de mergulho próximo a 60°.

Os valores de resistividade mais elevados que 6538 Ohm.m estão nas porções centrais interpretadas como rocha sã (Figura 29- B). Estas estão rodeadas por rocha alterada com valores

mais baixos, variando de 1835 a 6538 Ohm.m. Valores entre 515 e 1835 Ohm.m foram considerados como saprólitos e menores que 273 Ohm.m como solo e/ou regolito alterado.

A primeira descontinuidade se inicia em porções superficiais, onde se tem solo e/ou regolito e segue em posição diagonal, passando por um saprólito que possivelmente tem alguma acumulação de fluídos trazidos das zonas superiores, pois sua forma circular adentrando a rocha, mostra um aspecto de “escavação” do corpo. O mesmo ocorre com a segunda descontinuidade, que vai de áreas rasas até a base do perfil, servindo de conduto de componentes, estes podem estar se acumulando nos poros e fraturas do saprólitos basais.

Figura 29- Em (A) perfil de eletrorresistividade evidenciando as descontinuidades da linha 4; (B) Interpretação dos dados geofísicos.



Fonte: Autora.

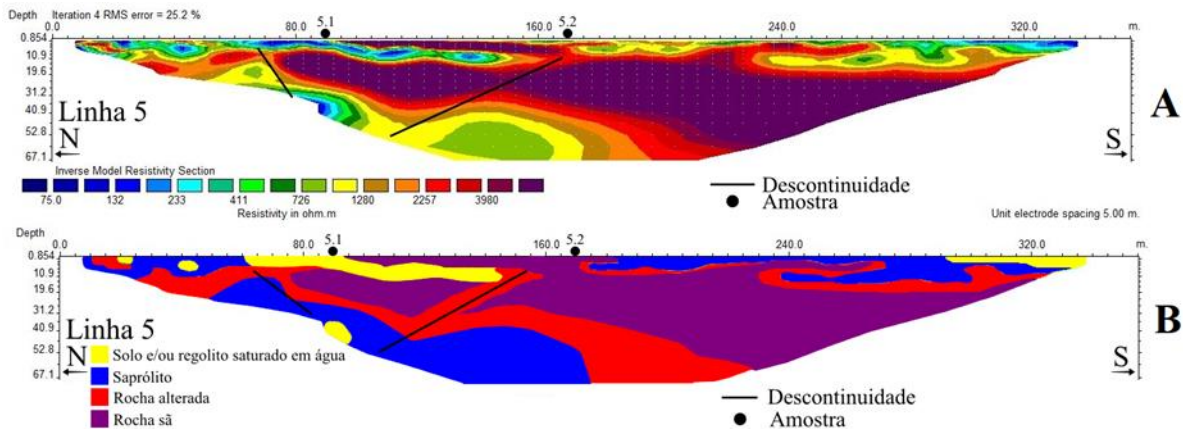
O perfil 5 foi marcado com duas descontinuidades geoeletricas (Figura 30-A), podendo ser falhas e/ou fraturas. A primeira está a uma distância de 70 m, profundidade de 5 a 32 m e ângulo de mergulho 60°. A segunda está a uma distância de 170 m, profundidade de 10 a 55 m e ângulo de mergulho próximo a 40°.

Os valores de resistividade mais baixos, indo de 75 a 233 Ohm.m, foram atribuídos ao solo e/ou regolito saturado (Figura 30-B), que é encontrado com maiores concentrações nas porções superficiais. O saprólito foi associado a valores entre 411 Ohm.m e 1280 Ohm.m. Os valores mais elevados que 3980 Ohm.m são atribuídos as rochas sãs, as mesmas são circundadas por rocha alterada, onde a variação vai de 1280 a 3980 Ohm.m.

As descontinuidades iniciam próximas a superfície em rochas alteradas e terminam em um ponto comum, constituído por saprólito. Ambas mostram que tem forte influência na

composição do corpo adjacente, servindo como meio para transporte de fluídos. Visto que próximo ao início e fim das discontinuidades se tem uma lente de solo e/ou regolito saturado em água. Desta forma, pode estar alterando a rocha sã de baixo para cima por influência da pressão hidrostática atuante nos poros e fraturas presentes.

Figura 30- Em (A) perfil de eletrorresistividade evidenciando as discontinuidades da linha 5; (B) Interpretação dos dados geofísicos.



Fonte: Autora.

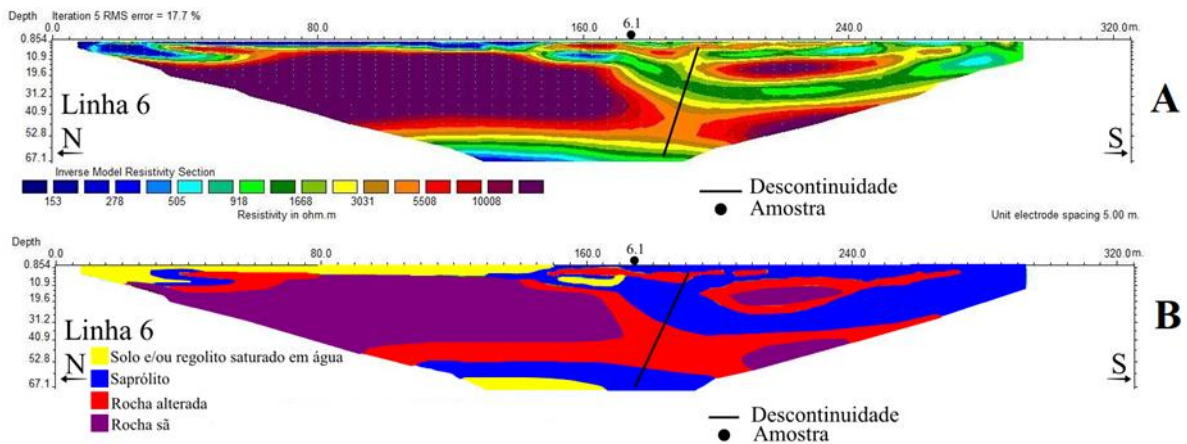
O perfil 6 foi marcado com uma discontinuidade geoeletrica (Figura 31-A), podendo ser falhas e/ou fraturas, em uma distância de 190 m, iniciando a 10 m de profundidade e terminando em 65 m, o ângulo de mergulho é de aproximadamente 75°.

Os valores de resistividade mais baixos, variando de 153 a 505 Ohm.m, foram atribuídos ao solo e/ou regolito saturado (Figura 31-B), que é encontrado com maiores concentrações nos primeiros metros da linha. O saprólito foi associado a valores entre 918 Ohm.m e 3031 Ohm.m, presente em quase todo lado esquerdo do perfil. Os valores mais altos que 10008 Ohm.m são atribuídos as rochas sãs, que são circundadas por rocha alterada, onde a variação varia de 3031 a 10008 Ohm.m.

A discontinuidade se inicia próximo a superfície entre o saprólito, próximo a 35 m de profundidade corta uma porção de rocha alterada, onde abaixo desta volta a aparecer saprólito e uma pequena concentração de solo e/ou regolito saturado. Ou seja, a discontinuidade está influenciando fortemente na alteração das rochas basais. Assim como no perfil 6, acredita-se que a pressão hidrostática está causando este processo. E a porção de saprólito à norte pode estar sofrendo forte influência do banhado, visto que nesse perfil ele é mais largo e profundo.

As rochas sãs e alteradas encontradas no meio, podem ter veios ou filões associados, dificultando a fácil alteração.

Figura 31- Em (A) perfil de eletrorresistividade evidenciando as discontinuidades da linha 6; (B) Interpretação dos dados geofísicos.



Fonte: Autora.

Segundo Luiz (2013), o ouro apresenta valores de densidade entre 15 e 19 g/cm³ e condutividade elétrica elevada. Porém, suas baixas concentrações no meio fazem com que ele não seja facilmente detectado. Assim, uma cena comum é ocorrer em veios de quartzo, que são caracterizados por elevada resistividade, encaixados em locais com rochas altamente alteradas e de resistividade baixa. Esta premissa pode explicar as lentes próximas a superfície com valores de resistividade altos, em meio a saprólitos de resistividade baixa.

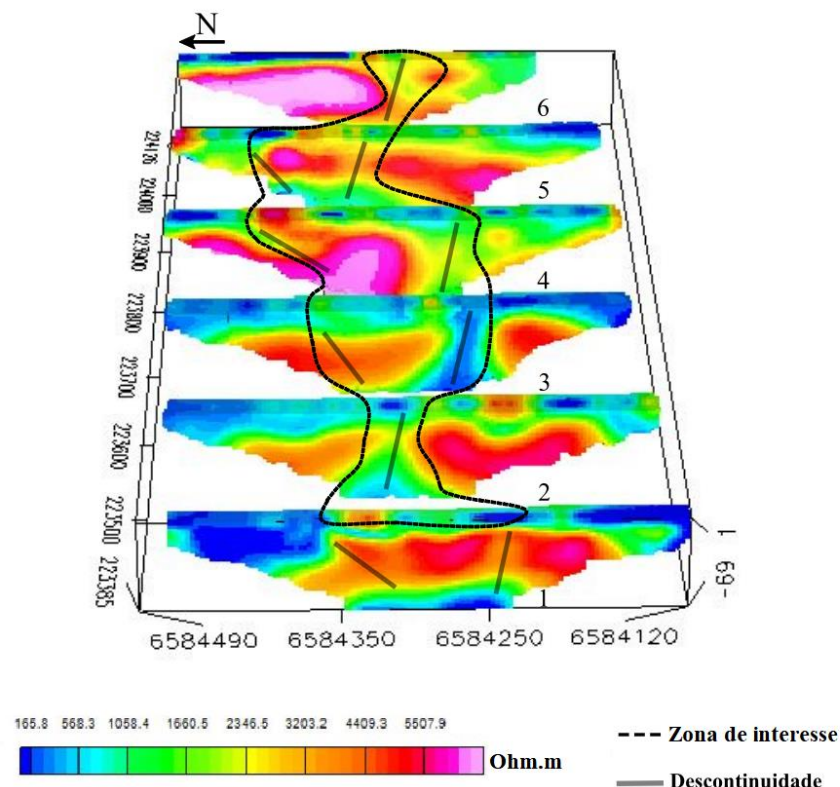
Como observado na descrição dos testemunhos de sondagem e nos perfis de eletrorresistividade, no geral o solo é bastante raso, com presença marcante de regolito. Porém, com relação ao volume as rochas sãs e alteradas prevalecem, com predomínio do Monzogranito sobre o Granodiorito. Entre as alterações observadas nas descrições petrográficas, a sericitização domina sobre os quartzos e feldspatos; seguida em ordem de importância por cloritização de micas e anfibólio; argilização nos centros e bordas de diversos minerais, também como preenchimento de fraturas, sejam elas intracristalina ou intercristalina; oxidação na borda de minerais opacos e micas, como preenchimento de fraturas; carbonatação aparece isolada em raros pontos da lamina. Com exceção da sericitização todas foram encontradas na descrição de testemunho.

De acordo com a Amarillo Gold (2011), os minerais de interesse encontrados no furo de sondagem LDH-199 (Anexo 1) são: hematita, goetita, sericita, argilominerais, clorita, pirita

e calcita, com concentração de Au variando de 0,25 à 5,55 g/t. No furo de sondagem LDH-201 são: hematita, goetita, sericita, clorita, pirita, argilominerais e calcita, com concentração de Au variando de 0,6 a 8,956 g/t. No LDH-196 são: sericita, hematita, goetita, argilominerais, clorita e calcita, com concentração de Au variando de 0,23 a 3,49 g/t.

Os valores de resistividade não estão muito altos devido a influência do banhado. Entretanto, é possível notar que na porção central existe continuidade lateral e em profundidade, marcada pelas descontinuidades, que podem ser classificadas como falha e/ou fratura (Figura 32) nos seis perfis. Com duas famílias de estruturas com orientação e mergulho muito similares. As porções que sofreram processos de alteração hidrotermal compõem a zona de interesse, qual se concentram em paralelo ou subparalelo a essas descontinuidades. Desta forma, o fluido responsável pelo enriquecimento da rocha teria utilizado essas estruturas como um duto, para remobilização dos constituintes.

Figura 32- Modelo 2D em perspectiva de eletroresistividade, com delimitação da área de interesse.



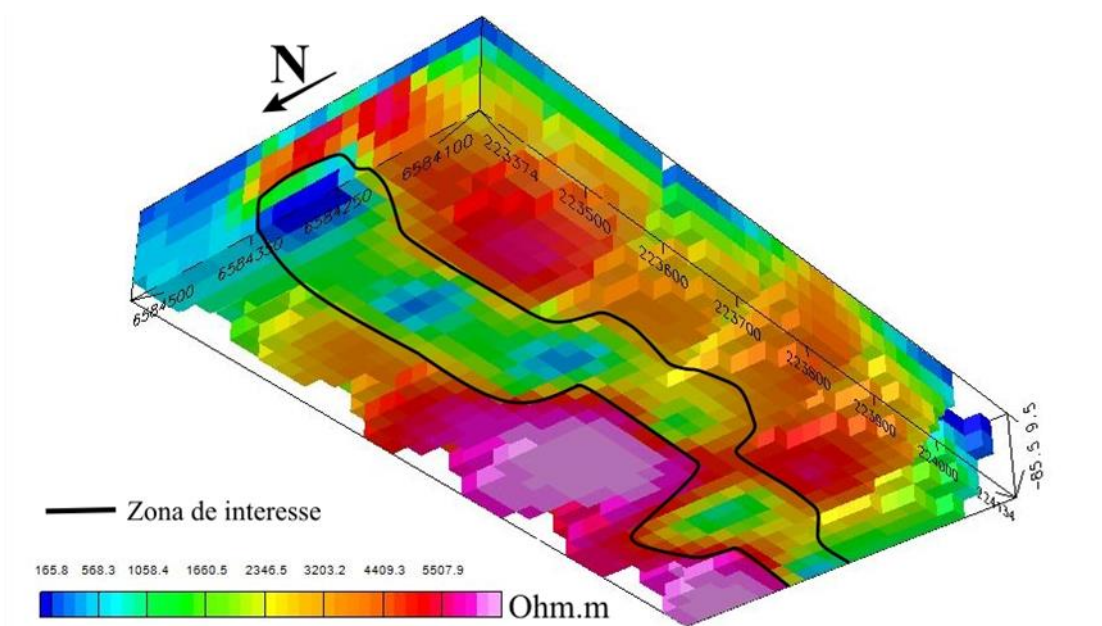
Fonte: Autora.

Como mostrado no mapa de intensidade magnética, a área de estudo está sobre forte influência magnética, mostrando alto contraste. Esta pode estar vindo através do carreamento de elementos de zonas topograficamente mais elevadas e se depositando em zonas mais baixas, susceptibilidade magnética, magnetização remanescente de minerais alojados nas rochas. Os valores mais elevados podem estar associados a concentração de minerais ferromagnéticos encontrados em lâmina A direção de continuidade lateral no qual estão submetidos os perfis geoeletricos é aproximadamente leste-oeste, sobre um dos lineamentos magnéticos com mesma direção, que pode ser interpretado como uma falha ou fratura em grande escala.

De acordo com Kaul & Zir (1974), as principais ocorrências no Distrito Aurífero de Lavras do Sul são classificadas como filoneano e disseminado, onde esforços compressivos com direção leste-oeste atuaram sobre os granitoides e as vulcânicas, formando falhas de tensão, nas quais encaixam as estruturas e filões mineralizados.

Assim, a geometria do corpo de interesse seria alongada (Figura 33), levemente ondulada, de composição Granodiorítica a Monzogranítica. A resistividade é média, variando de 1058 a 4409 Ohm.m, sendo representada por porções rochosas que estão entre um regolito e rocha alterada. Com zonas de mineralização ocorrendo em profundidade, devido ao ângulo de mergulho das discontinuidades e a alta densidade do ouro, que pode ocasionar na concentração minério em níveis basais.

Figura 33- Modelo 3D com ângulo de visão de baixo para cima, qual evidência a possível geometria do corpo mineralizado.



Fonte: Autora.

9. CONCLUSÃO

Os lineamentos magnéticos foram essenciais para detecção de feições estruturais em grande escala. Marcando a zona preferencial de alteração hidrotermal, qual possui direção leste-oeste, nas quais essas porções são favoráveis ao enriquecimento, remobilização e concentração de minerais associados ao ouro. Quais os tipos de alterações hidrotermais identificados como os que afetaram as rochas da região, por ordem de maior frequência e intensidade são: sericitização, cloritização, argilização, oxidação e carbonatação.

Desta forma, as porções centrais do levantamento magnético e elétrico se mostram muito importantes, pois através das mesmas foi possível delimitar a zona de interesse mineral e geometria do corpo, a partir da seleção das principais descontinuidades geológicas com continuidade lateral significativa, os quais são associadas a zonas hidrotermalizadas com estruturas subordinadas.

10. REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, F.F.M; et al. **The Upper Precambrian of South America**. Boletim do Instituto de Geociências, USP, São Paulo, 7: 45-80. 1976
- AMARILLO. **CORPORATE PROFILE**. AMARILLO GOLD CORPORATION. Disponível em: <<https://www.amarillogold.com/corporate-profile/>>. Publicado em: 2019. Acesso: 16 de abril, 2019.
- AMARILLO. **Exploration update for Lavras do Sul Project: New Matilde prospect discovered from soil sampling; Cerro Rico grab sample yields 15.6 g/t Au from outcrop**. AMARILLO GOLD CORPORATION. Disponível em: <<https://www.amarillogold.com/news/exploration-update-lavras-do-sul-project-new-matilde-prospect-discovered-soil-sampling-cerro/>>. Publicado em: 2010. Acesso: 16 de abril, 2019.
- AMARILLO. **Lavras do Sul**. AMARILLO GOLD CORPORATION. Disponível em: <<https://www.amarillogold.com/projects/lavras-do-sul/>>. Publicado em: 2010. Acesso: 16 de abril, 2019.
- AMARILLO. **Relatórios de sondagens**. AMARILLO GOLD CORPORATION. Executado em: 2011.
- ARCHIE, G.E. **The electrical resistivity log as na aid in determining some reservoir characteristics**. Trans, Am. Inst. Mining Met. Eng. 1942.
- BORGES, W.R. **Investigações Geofísicas na Borda da Bacia Sedimentar de São Paulo, utilizando GPR e eletrorresistividade**. Departamento de Geofísica- IAP/USP, 153.p. São Paulo, 2002.
- CARVALHO, F.R.T. **Rota do ouro: resgate da memória da mineração em lavras do sul através de seu patrimônio arquitetônico urbano**. Tese mestrado. UFSM. 2013.
- CARVALHO, P.F. **Reconhecimento Geológico do Estado do Rio Grande do Sul**. Boletim do Serviço Geológico e Mineralógico do Brasil, 66.73p.1932.
- CHEMALE, F. Jr. **Evolução Geológica do Escudo Sul-Riograndense**. Geologia do Rio Grande do Sul. Ed. Holz, M.; De Ros, L.F., Centro de Investigação do Gondwana, Instituto de Geociências, UFRGS, Porto Alegre, p.13-52. 2000
- CPRM. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. **Shapefiles**. 2010.

COSTA, A.F.U. **Teste e Modelagem Geofísica da Estruturação das Associações Litotectônicas Pré-Cambrianas no Escudo Sul-riograndense.** Tese de Doutorado, IG-UFRGS, Porto Alegre, 291 p. 1997.

ELIS, V.R. **Avaliação da aplicabilidade de métodos elétricos de prospecção geofísica no estudo de áreas utilizadas para disposição de resíduos.** Tese de Doutorado. IGCE - UNESP. 1998.

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.C; LAFON, J.M; FERREIRA, F.J; MAGRO, F.U.S; REMUS, M.V.D; SOMMER, C.A. **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.

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.** Revista Brasileira de Geologia, 45(2): 217-241, junho. 2015.

HARTMANN, L.A; CHEMALE, F. Jr; PHILLIPP, R.P. **Evolução Geotectônica do Rio Grande do Sul no Pré-Cambriano.** 50 Anos de Geologia. Instituto de Geociências. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Editora: Comunicação e Identidade. p.43. Porto Alegre, 2007.

KAUL, P.F.T.; ZIR, J.A. Filho. **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, RS. Anais... Porto Alegre, RS, SBG. p. 115-130. 1974.

KEAREY, P; BROOKS, M; HILL, I. **Geofísica de Exploração.** Editora: Oficina de Textos. Tradução: Cristina Moreira Coelho. São Paulo, 2009.

LUIZ, J.G. **Geofísica na prospecção mineral: guia para aplicação.** Séries de Geofísica 2-SBGf. 108p. Rio de Janeiro. 2013.

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

MEXIAS, A.S. et al. **Alterações Hidrotermais e Mineralizações nas Rochas da Associação Plutono-Vulcano-Sedimentar da Região de Lavras do Sul-RS**. 50 Anos de Geologia. Instituto de Geociências. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Editora: Comunicação e Identidade. p.43. Porto Alegre, 2007.

MINERAR. **VOLUME III A: OURO**. Minerar consultoria e projetos. 1997.

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

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

PEREIRA, R. M. **Fundamentos de Prospecção Mineral**. Rio de Janeiro. Editora: Interciência Ltda, 2003.

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

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.

SIMÕES, M.S. **Petrologia do Complexo Máfico-Ultramáfico Mata Grande, São Sepé, RS**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul-UFRGS. Instituto de Geociências. Porto Alegre, 2012.

SOARES, M.S. **Processamento e interpretação de dados aerogeofísicos magnetométricos e gamaespectrométricos no estudo do controle das mineralizações auríferas na região do Complexo Bossoroca, São Sepé, RS**. Dissertação de mestrado. UFRGS. 2001.

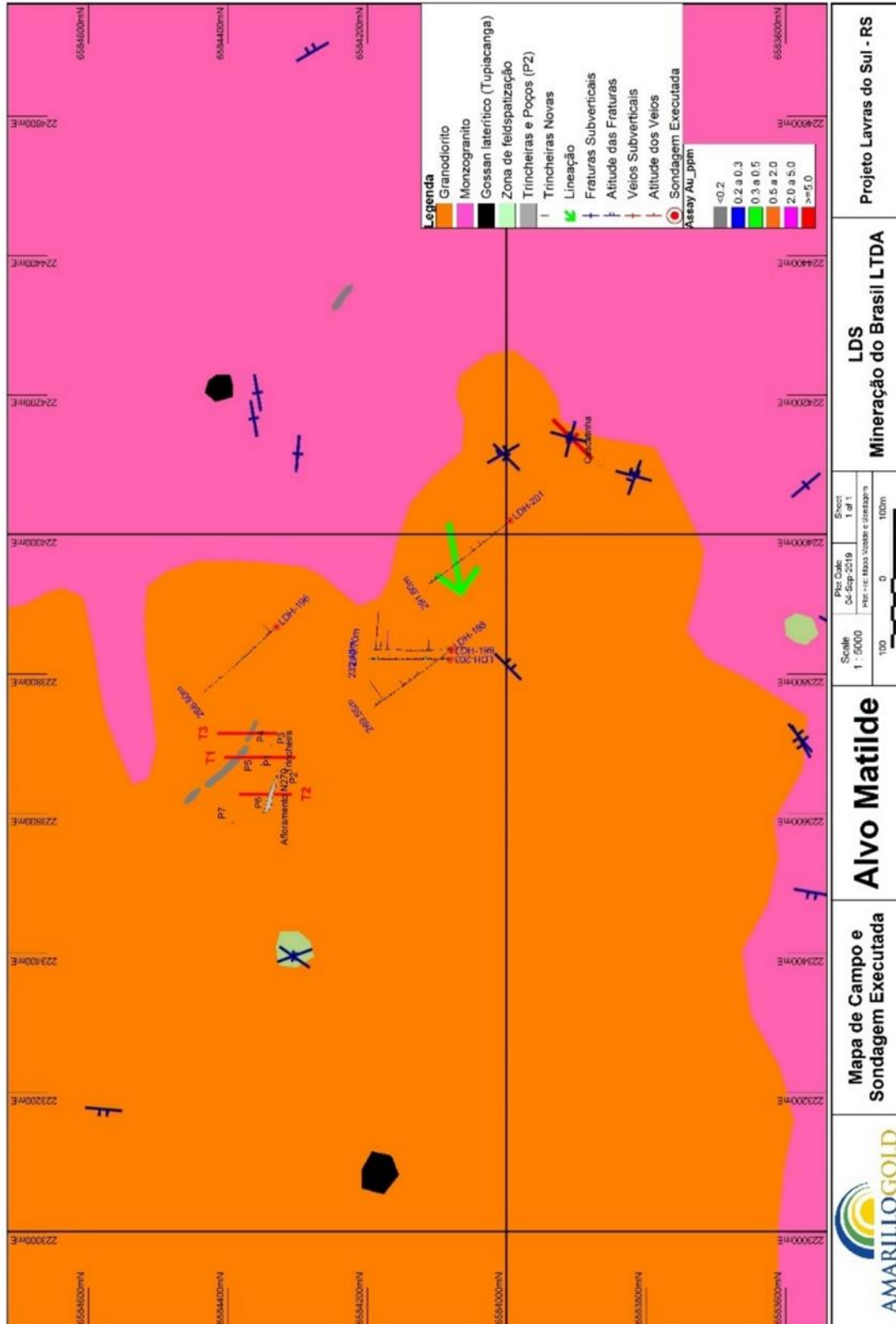
TEIXEIRA, E. **Lavras do Sul na bateia do tempo**. Universidade Federal de Santa Maria-UFSM. Santa Maria. 1992.

TEIXEIRA, E.A; LEINZ, V. **Ouro no Bloco do Butiá**. Boletim da Divisão de Fomento da Produção Mineral, DNPM, 50, p. 81.1942.

VASCONCELLOS, R. M et al. **Geofísica em levantamentos geológicos**. Rio de Janeiro: CPRM. p 165. 1994

11. ANEXO

Anexo 1- Mapa com as sondagens executadas, trincheiras e direção das estruturas.



Fonte: Amarillo (2010).