

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA

VICTOR AUGUSTO MACÊDO SILVA

**INTEGRAÇÃO DE DADOS GEOELÉTRICOS E
AEROGAMAESPECTROMÉTRICOS NA CARACTERIZAÇÃO DE ZONA DE
ALTERAÇÃO HIDROTÉRMAL NA MINA PAREDÃO EM LAVRAS DO SUL – RS**

**CAÇAPAVA DO SUL
2016**

VICTOR AUGUSTO MACÊDO SILVA

**INTEGRAÇÃO DE DADOS GEOELÉTRICOS E
AEROGAMASPECTROMÉTRICOS NA CARACTERIZAÇÃO DE ZONA DE
ALTERAÇÃO HIDROTÉRMAL NA MINA PAREDÃO EM LAVRAS DO SUL – RS**

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

Orientador: Dr. Mario Jesus Tomas Rosales

Coorientador: Me. Hasan Shihadeh

**Caçapava do Sul
2016**

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

A645i Augusto Macedo Silva, Victor
INTEGRAÇÃO DE DADOS GEOELÉTRICOS E
AEROGAMAESPECTROMÉTRICOS NA CARACTERIZAÇÃO DE ZONAS DE
ALTERAÇÃO HIDROTERMAL NA MINA PAREDÃO EM LAVRAS DO SUL
- RS / Victor Augusto Macedo Silva.
50 p.

Tese (Doutorado) -- Universidade Federal do Pampa,
GEOFÍSICA, 2016.
"Orientação: Mário Jesus Tomas Rosales".

1. hidrotermalismo . 2. aerogamaespectrometria. 3.
eletrorresistividade. I. Título.

VICTOR AUGUSTO MACÊDO SILVA

**INTEGRAÇÃO DE DADOS GEOELÉTRICOS E
AEROGAMAESPECTROMÉTRICOS NA CARACTERIZAÇÃO DE ZONA DE
ALTERAÇÃO HIDROTHERMAL NA MINA PAREDÃO EM LAVRAS DO SUL – RS**

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

Orientador: Dr. Mario Jesus Tomas Rosales

Co-orientador: Me. Hasan Shihadeh

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em: 1 de dezembro de 2016.

Banca examinadora:

Prof. Dr. Mario Jesus Tomas Rosales
Orientador
(UNIPAMPA)

Prof. Dr. Felipe Guadagnin
(UNIPAMPA)

Prof. Dr. Tiago Rafael Gregory
(UNIPAMPA)

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha família, pelo amor, incentivo e apoio incondicional. Em especial a minha mãe Josiane, meu pai Marcos e meus Irmãos Jessica e Henrique. Aos meus amigos que conquistei durante minha vida, em especial a Turma do Litrão (Rondoninha, Sô, Petita, Vinicius, Araxá, Mayra), ao BDL, a Mariana, a Tamires, o Pablo, o Papai, o Jonas, o Yuri, o Propício, a Daianne, o Guaxi, a Yasmin, a Larissa, o Herisson, o Felipe, o Vinicius e a Fran e Família.

Agradeço ao meu Orientador Prof. Dr. Mario Rosales e meu Co-Orientador Prof. Me Hassan Shihadeh pela orientação e incentivo que tornaram possível a conclusão desta monografia.

A todos os professores do curso, que foram tão importantes na minha vida acadêmica e no desenvolvimento desta monografia.

Aos meus amigos que me auxiliaram em campo, Jean, Hasan, Lenon, Beto, Moriá.

Agradeço a *Empresa Amarillo Gold Corporation*, pela disponibilidade dos dados geofísicos e geológicos que tornaram possível a realização desse trabalho.

A esta universidade, seu corpo docente, direção e administração que oportunizaram a janela que hoje vislumbro um horizonte superior, eivado pela acendrada confiança no mérito e ética aqui presentes.

RESUMO

A pesquisa trata-se de um estudo geofísico realizado na mina inativa Paredão, localizada a oeste da cidade de Lavras do Sul, Rio Grande do Sul. O contexto geológico da área de estudo é composta por granodioritos e monzogranito do Complexo Intrusivo Lavras do Sul. Este trabalho tem como objetivo identificar e caracterizar zonas hidrotermalizadas portadoras ou não de mineralizações auríferas. Para realização deste estudo foram utilizados os dados aerogamaespectrométricos e geoeletricos. Através da integração de dados geofísicos e geológicos foi possível identificar 5 possíveis zonas de alteração hidrotermal na Mina Paredão com valores anômalos semelhantes comparado com uma zona de alteração hidrotermal mineralizada com ouro, comprovada por furos de sondagens realizados pela empresa *Amarillo Gold Corporation* na Mina Caneleira. Além disso, através da técnica de Caminhamento Elétrico foi possível identificar duas supostas fraturas com direções preferenciais NW que poderiam ter servidos de condutos para a mineralização auríferas.

Palavras-Chaves: Mina Paredão, alteração hidrotermal, método aerogamaespectrométrico, método de eletrorresistividade.

ABSTRACT

The research is a geophysical study carried out at the Paredão inactive mine, located west of the city of Lavras do Sul, Rio Grande do Sul. The geological context of the study area is composed of granodiorites and monzogranite of the Lavras do Sul Intrusive Complex. This work aims to identify and characterize hydrothermal zones with or without auriferous mineralization. For the accomplishment of this study the aero-gamma-spectrometric and geoelectric data were used. Through the integration of geophysical and geological data it was possible to identify 5 possible zones of hydrothermal alteration in the Paredão Mine with similar anomalous values compared to a hydrothermal alteration zone with gold, verified by drilling holes performed by the company Amarillo Gold Corporation in Mine Caneleira. In addition, through the Electric Hiking Technique, it was possible to identify two supposed fractures with preferred NW directions that could have served as conduits for auriferous mineralization.

KeyWords: Mine Paredão, hydrothermal alteration, Aero-gamma-spectrometric, eletroresistivity.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Mapa de localização da área de estudo próximo a cidade de Lavras do Sul.	12
Figura 2 – Mapa Geotectônico dos escudos do sul do Brasil e do Uruguai. Zonas de cisalhamento dúctil: 1 – Itajaí-Perimbó, 2 – Major Gercino, 3 – Caçapava do Sul, 4 – Dorsal de Canguçu, 5 – Passo do Marinheiro, 6 – Ibaré, 7 – Sarandí del Yí, 8 – Sierra Ballena, 9 – Cerro Amaro, 10 – Arroio Grande.	13
Figura 3 – Mapa geológico da região de lavras do Sul/RS, indicando as rochas pertencentes à Associação Shoshonítica.	14
Figura 4 - Mapa geológico do Complexo Intrusivo Lavras do Sul (CILS).	15
Figura 5 - Mapa geológico da Mina Paredão.	16
Figura 6 - Variação nos teores médios de Th e eU nas rochas ígneas em relação ao teor de sílica (Si).	19
Figura 7 - Espectros de radiação gama mostrando as posições da janela de energia para cada elemento e da contagem total.	20
Figura 8- Gráfico da interação dos raios gama com a matéria.	22
Figura 9 - Injeção de corrente elétrica em um único ponto.	29
Figura 10 - Representação das linhas de correntes (A e B) e o potencial (M e N) em um seção plana na subsuperfície.	30
Figura 11- Representação da geometria utilizada em campo com a técnica de Caminhamento elétrico com o arranjo dipolo-dipolo.	32
Figura 12 - Modelo de elevação Digital.	33
Figura 13- Imagens dos canais dos rádios-elementos. A) Contagem Total. B) Imagem do canal do Potássio. C) Imagem do canal do equivalente de Urânio. D) Imagem do canal do equivalente do Tório.	34
Figura 14- Imagem de Fator F.	36
Figura 15- Imagens de razões dos elementos radioativos. A) eTh/k . B) eU/eTh . C) eU/K	37
Figura 16- Mapas de Potássio normalizado (Kd) e Urânio normalizado (eUd).	38
Figura 17-Mapas de Potássio normalizado (Kd), Urânio normalizado (eUd) e fator F para as Minas Paredão e Caneleira.	40
Figura 18-Mapa Ternário para as Minas Paredão e Caneleira.	41
Figura 19-Mapas de anomalias do Ternário, juntamente com os principais lineamentos das Minas Paredão e Caneleira.	42
Figura 20-Modelo de inversão do Caminhamento elétrico (CE).	43
Figura 21-Modelo de inversão do Caminhamento elétrico (CE) e Modelo Geológico interpretado.	44
Figura 22- Perfis do fator F, Kd , eUd e DEM ao longo do Caminhamento elétrico (CE).	45

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
2 OBJETIVOS	11
2.1 Gerais	11
2.2 Específicos	11
3 JUSTIFICATIVA	11
4 ÁREA DE ESTUDO	11
4.1 Localização e acesso	11
5 CONTEXTO GEOLÓGICO	12
5.1 Geologia regional	12
5.2 Geologia local	14
6 MATERIAIS E MÉTODOS	16
6.1 Levantamento Geofísico	16
7 Referencial Teórico	18
7.1 Fundamentos teóricos da Gamaespectrometria	18
7.1.5. Correções de processamento dos dados aerogamaespectrométricos	22
7.1.6 Produtos Gráficos gerados a partir dos dados gamaespectrométricos	25
7.2 Método de Eletrorresistividade	27
7.2.1 Propriedades Elétricas	28
7.2.2 Fluxo de Corrente no solo	29
7.2.3 Caminhamento Elétrico	31
8 RESULTADOS	33
8.2 Interpretação dados aerogamaespectrométricos	33
8.3 Interpretação dos dados geoeletricos	42
8.4 Integração dos dados geoeletricos e gamaespectrométricos	44
9 CONCLUSÃO	46
10 REFERÊNCIAS	47

1 INTRODUÇÃO

A primeira lavra de ouro na região de Lavras do Sul ocorreu no final do século XVIII por algumas famílias oriundas das ilhas canárias. Porém, acredita-se que foram alguns mineiros, vindo de Minas Gerais, juntamente com as forças portuguesas, os responsáveis pela descoberta de ouro na região (Carvalho, 1932). A partir deste momento, iniciaram-se diversas sucessões de explorações de ouro principalmente relacionadas às garimpagens ao longo das margens dos rios que circundam a cidade.

Diversos pesquisadores começaram a estudar o Complexo Intrusivo Lavras do Sul (CILS) com intuito de entender como ocorreu sua evolução e suas mineralizações.

Carvalho (1932) propôs que as mineralizações auríferas, ocorriam tanto sobre o granito como no andesito Hilário e o preenchimento dos veios de quartzo era devido à ação hidrotermal. Nardi (1984) fez uma descrição mais detalhada do zoneamento das alterações hidrotermais considerando dois tipos de mineralização auríferas: na zona central (ZC) e nas rochas transicionais (RTr) o ouro estaria associado a sulfetos de Cu-Pb e Zn; e no pertita granito (PG), o ouro estaria associado à pirita, com pequena presença de sulfetos de Pb e Zn.

Strieder *et al.* (2001) observou que existem dois tipos básicos de zonas hidrotermais associados ao Complexo Intrusivo Lavras do Sul (CILS) na Mina Aurora e Valdo Teixeira. Na mina Aurora é de alta temperatura (mesotermal) e na mina Valdo Teixeira é de baixa temperatura (epitermal). Os dois tipos de zonas de alteração hidrotermal apresentam contrastes na assinatura geofísica para gamaspectrometria e magnetometria. Na Mina Aurora, apresenta mais baixas emissões radiométricas e maior intensidade magnética relacionado com o granito, enquanto que na mina Valdo Teixeira apresenta uma maior emissão radiométrica e menor intensidade magnética do que o granito (STRIEDER *et al.*, 2001).

Diante disso, o presente trabalho busca identificar e caracterizar zonas hidrotermalizadas, na Mina Paredão - oeste da cidade de Lavras do Sul - através da integração dos métodos geofísicos de aerogamaespectrometria e geolétrico e dados geológicos.

2 OBJETIVOS

2.1 Gerais

Os objetivos gerais desse presente trabalho são aprimorar o conhecimento geofísico e geológico da área de estudo.

2.2 Específicos

Os objetivos específicos desse trabalho são identificar zonas de alteração hidrotermal, através da aerogamaespectometria e verificar a presença de falhas e/ou fraturas através de levantamento geoeletricos.

3 JUSTIFICATIVA

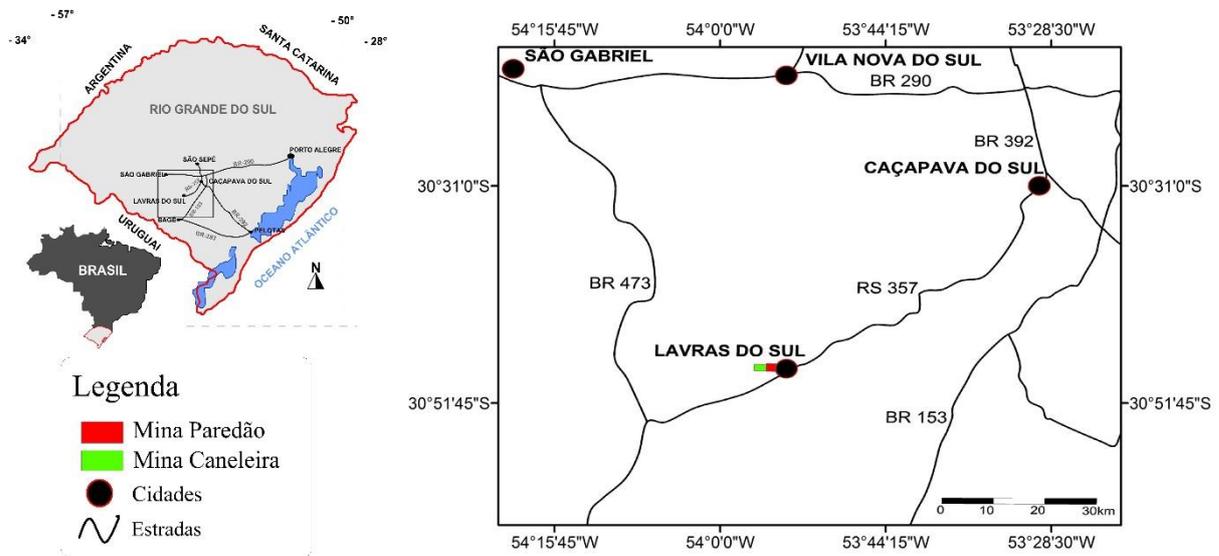
A escolha da Mina Paredão se deu pelo fato da não existência de trabalhos acadêmicos na área de estudo. Da disponibilidade de informações geofísicas, que foram cedidas gentilmente pela *Empresa Amarillo Gold Corporation*. Pela aplicabilidade do método gamaespectométrico na caracterização de zonas hidrotermalizadas com possíveis mineralizações. Além da eficiência comprovada do método da eletrorresistividade na identificação de falhas/e ou fraturas. Outro fator importante foi que o CILS possui um vasto material bibliográfico que serviram de auxílio nas respectivas interpretações.

4 ÁREA DE ESTUDO

4.1 Localização e acesso

O acesso à região de Lavras do Sul, a partir de Porto Alegre, é feito por meio da BR-290 até o entroncamento com a BR-392, de onde se dirige para Caçapava do Sul e, em seguida, toma-se a Rodovia Estadual RS-357 em direção à cidade de Lavras do Sul, por aproximadamente 60 km. A Mina Paredão encontra-se a oeste da cidade de lavras do sul-RS, delimitada pelas coordenadas UTM (22J): 219938 /221560 mE e 6587600 / 6589049 mS, conforme ilustrado na Figura 1.

Figura 1- Mapa de localização da área de estudo próximo a cidade de Lavras do Sul.



Fonte: adaptado de DNIT (2002).

5 CONTEXTO GEOLÓGICO

5.1 Geologia regional

A área de estudo está inserida no Escudo Sul rio-grandense (ESgr) (figura 2), o qual corresponde a porção meridional da Província Mantiqueira (HARTMANN *et al* 2007). o ESrg é constituído pelo Terreno São Gabriel (TSG), Terreno Tijucas(TT), Terreno Taquarembó e Batólito Pelotas(BP). Formando assim o Cinturão Dom Feliciano, estabelecidos durante o Neoproterozoico. Integrados a essas unidades geotectônicas estão as unidades paleoproterozoicas aflorantes no Terreno Taquarembó. (HARTMANN *et al*, 2007).

O Terreno São Gabriel (TSG) (0.93 a 0.68 Ga) (figura 2), onde a área de estudo está inserida, é limitado ao sul pelo lineamento Ibaré, que marca o contato entre o Terreno Taquarembó, ao norte pelas rochas da Bacia do Paraná e ao leste pelas Bacias pós-colisionais (0.64-0.54Ga) (Bacia Camaquã) e pelo Terreno Tijucas (CHEMALE, 2000). Teve sua origem durante o Neoproterozoico, apresentando associações petrotectônicas de ambientes de margem passiva e de retro-arco, ofiolitos, arcos magmáticos vulcano-sedimentares e plutônicos e possui gnaisses cálcico-alcalinos juvenis cortados por metagranitóides, ambos englobados no

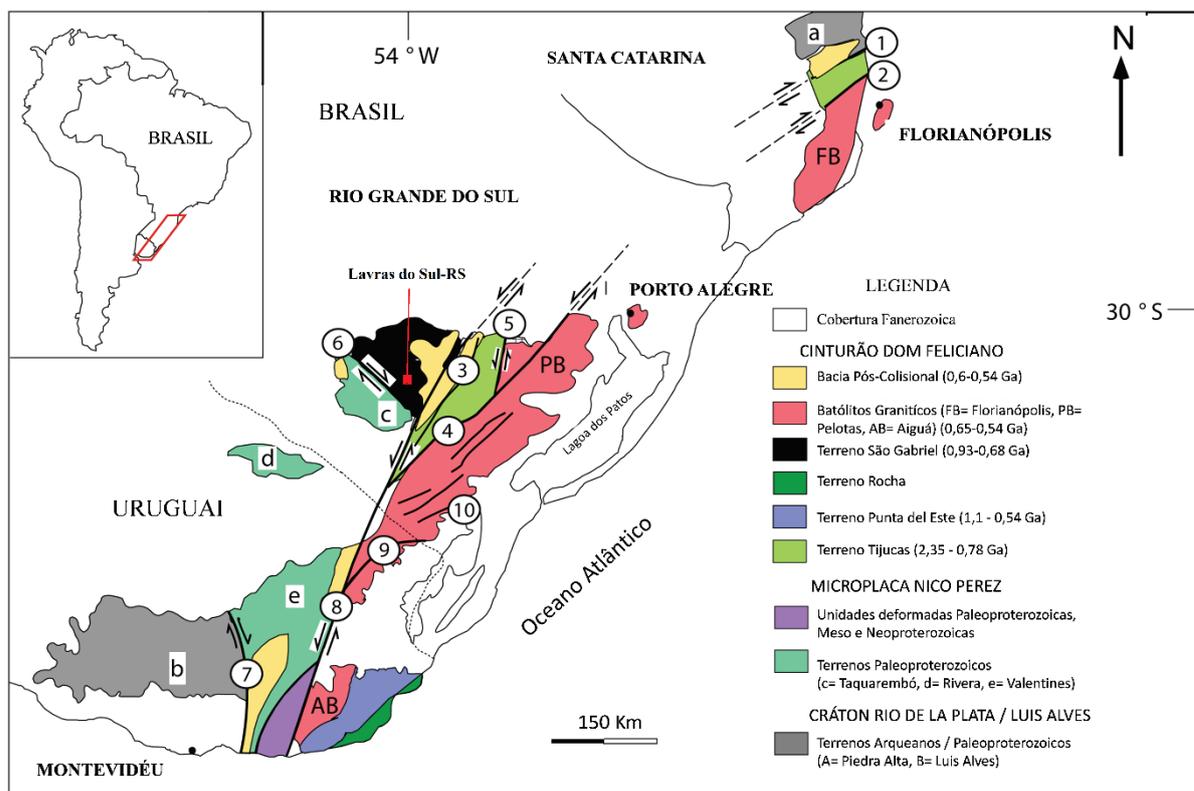
Complexo Cambaí, intrusivos em uma seqüência Vulcano-sedimentar (complexos Palma/Bossoroca) (HARTMANN et al., 2007).

O Terreno Tijucas ocorre ao leste do TSG, consiste basicamente por rochas gnáissicas, graníticas e anfibolíticas de idade paleoproterozoica (2,3 – 2,0 Ga), retrabalhadas ou não por um evento orogênico de 800-770 Ma, e por unidades vulcanossedimentares geradas entre 800-770 Ma a partir de material de idade predominantemente paleoproterozoica (CHEMALE, 2000).

Segundo Hartmann (1998) o Terreno Taquarembó possui idade paleoproterozoica, composto por granilitos, corpos metaltramaficos e anortositos. É limitado ao norte pela zona de Cisalhamento Ibaré, ao leste pela sutura de Caçapava do Sul (SCS), e ao oeste e sul é coberto pela bacia do Paraná.

O Batólito Pelotas é caracterizado por um conjunto contendo um complexo granítico e sete suítes graníticas geradas durante extenso retrabalhamento crustal neoproterozoico dos gnaisses do embasamento paleoproterozoico (CHEMALE, 2000).

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



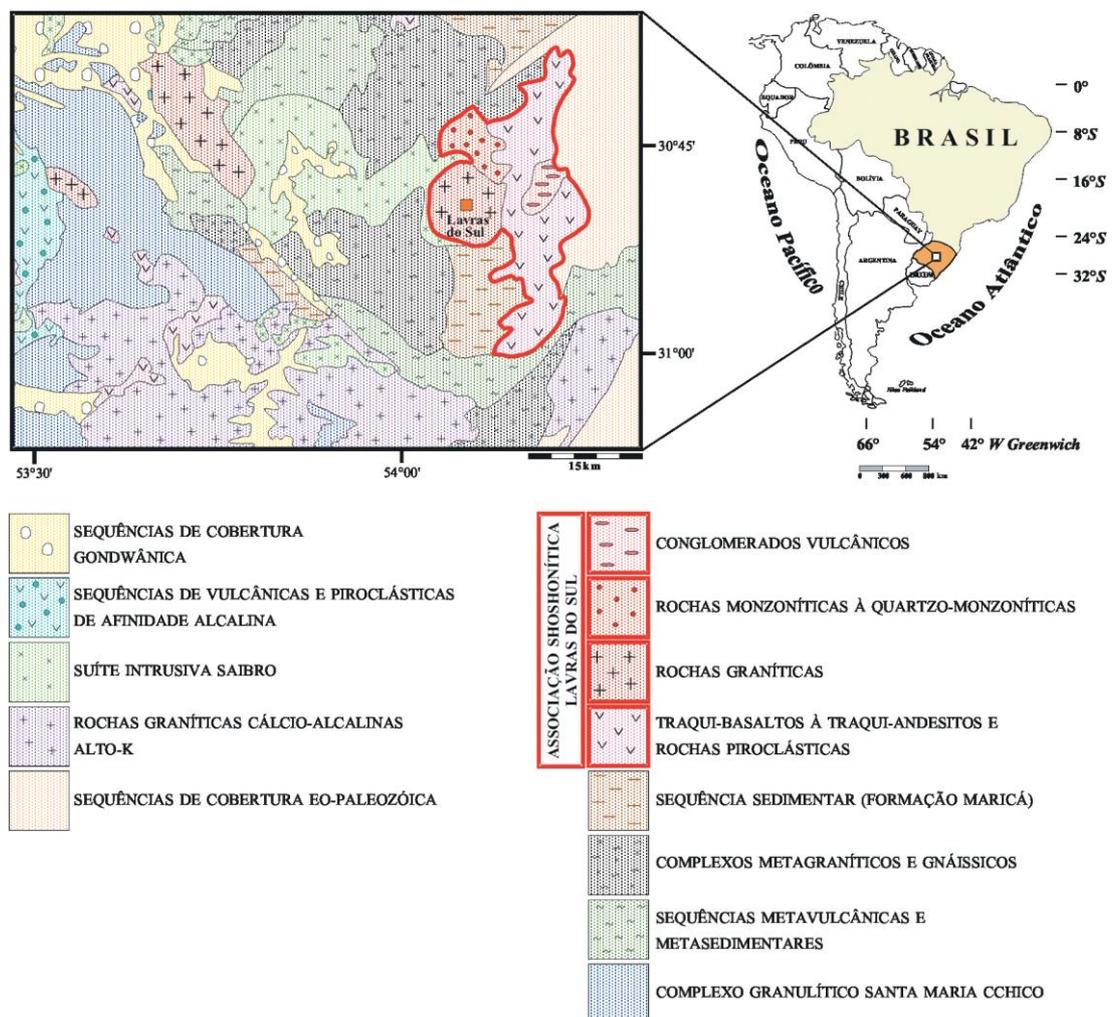
Fonte: extraído e adaptado de Philipp et al. (2016).

5.2 Geologia local

Segundo Nardi (1984), a região de Lavras do Sul é constituída por rochas graníticas, seu núcleo é composto por granodioritos, parcialmente assimilado por magmas graníticos alcalinos (sienogranitos e pertita granito), fazendo parte da Associação Shoshonítica de Lavras do Sul (ASLS) (Nardi & Lima, 1985) (Figura 3).

Circundam este complexo, a leste, a sequência vulcânica da Formação Hilário, constituída fundamentalmente por lavas andesíticas e rochas piroclásticas associadas. Ao Sul, encontra-se a sequência sedimentar da Formação Maricá. A oeste, está em contato com a suíte intrusiva saibro (rochas gnáissicas e metagranitoides do complexo Cambai, assim como o Granito Jaguarí). Ao norte, limitado por rochas monzoníticas à quarto-monzoníticas.

Figura 3 – Mapa geológico da região de lavras do Sul/RS, indicando as rochas pertencentes à Associação Shoshonítica.

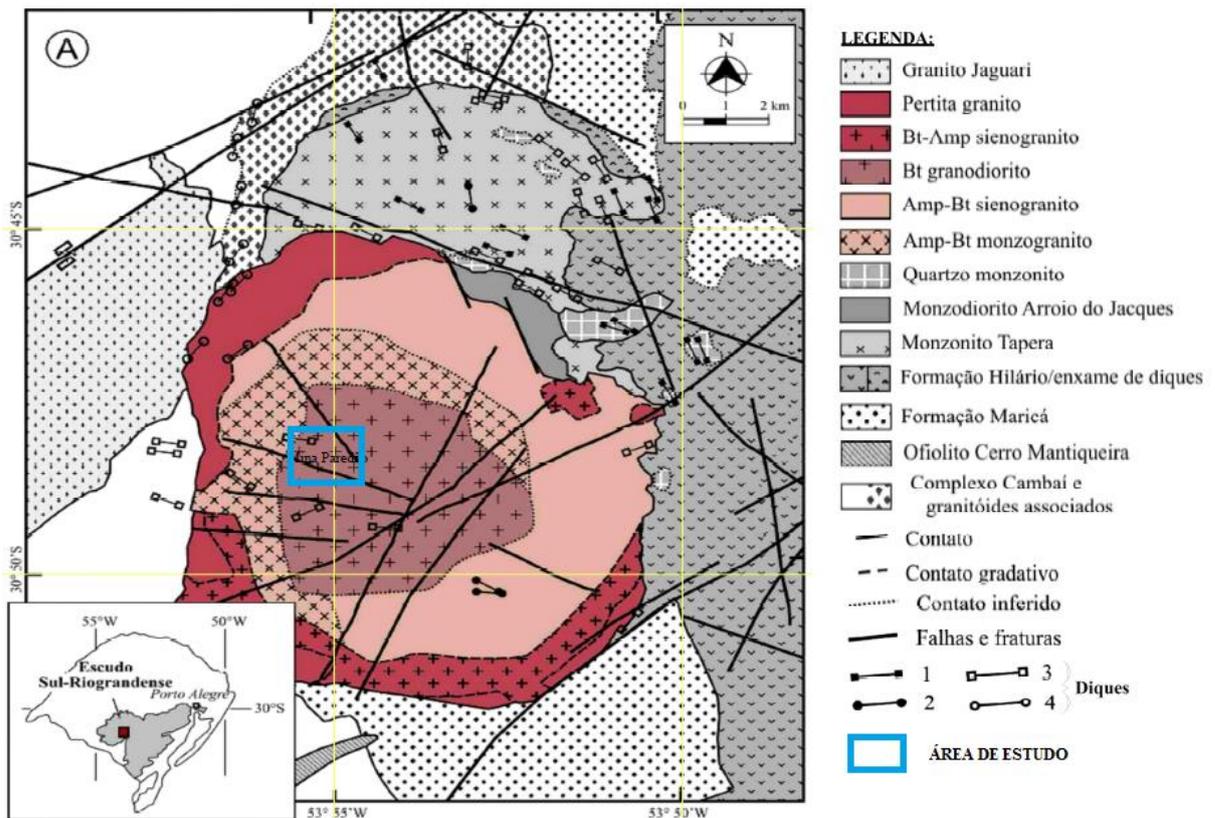


Fonte: extraído de Lima & Nardi (1985).

Gastal & Lafon (1998) redefiniram o Complexo Granítico Lavras (CGL) como Complexo Intrusivo Lavras do Sul (CILS), incluindo os monzodioritos, monzonitos e quartzo monzonitos que ocorrem ao norte, e reinterpretaram sua fácies graníticas.

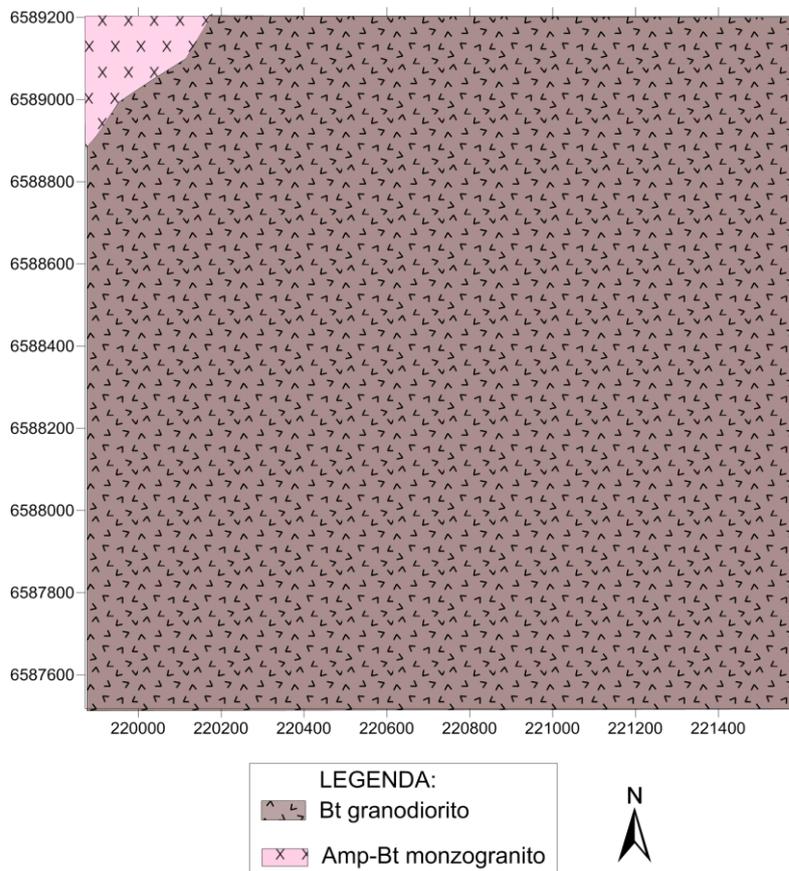
De acordo com o mapa geológico do CILS (Figura 4) idealizado por Gastal *et al.* (2006), na mina inativa Paredão ocorre o biotita-granodiorito, sendo cortado por duas falhas de direção NW-SE.

Figura 4 - Mapa geológico do Complexo Intrusivo Lavras do Sul (CILS).



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

Figura 5 - Mapa geológico da Mina Paredão



Fonte: autor.

6 MATERIAIS E MÉTODOS

6.1 Levantamento Geofísico

6.1.1 Aerogamaespectrometria

Para os dados aerogamaespectrométricos, cedidos pela *Empresa Amarillo gold Corporation*, e corrigidos pela *Empresa Prospector*, foi utilizado o equipamento Gamaespectrômetro Exploranium GR-820 de 256 canais. Este equipamento é caracterizado por uma estabilização automática de ganho, eliminando a deriva espectral. Os dados de saída consistem em quatro canais de integração (Contagem Total, Potássio, Urânio e Tório) e canal cósmico, sincronizados com 256 canais espectrais de leitura dos conjuntos de cristais para cima e para baixo

A altura das linhas de voos foi de aproximadamente 100m, com uma taxa de amostragem de 60 m e os dados já possuem as devidas correções: tempo morto, o

cálculo de altura efetiva de voo, espalhamento Compton, radiação de fundo (*background-BKG*) e correção altimétrica. Para a confecção dos mapas de aerogamaespectrometria foram utilizados os *softwares* Surfer e Oasis Montaj.

6.1.2 Interpolação dos dados aerogamaespectrométricos

Os dados foram interpolados usando o método de mínima curvatura com espaçamento de células de 25 metros, $\frac{1}{4}$ da linha de voo. Segundo Andriotti (2009), essa é uma técnica de interpolação que se utiliza de um polinômio para gerar uma superfície que minimize a curvatura da mesma, resultando em uma superfície suavizada que passa através dos pontos amostrados reproduzindo os valores da variável. Foram gerados mapas de contorno dos canais de Contagem Total (CT), Pótassio (K), Urânio equivalente (eU), Tório equivalente (eTh), Potássio normalizado (Kd), Urânio normalizado (eUd), além dos mapas de razões, fator F e Ternário (Fator F, Kd, eUd). Foi realizado também imagens do kd, eUd, Fator e imagem de composição ternária (Fator F, Kd, eUd) contendo a Mina Caneleira.

6.1.3 Geoelétrico

Na aquisição de dados geoelétricos utilizou-se um eletrorresistivímetro SYSCAL – PRO, fabricado pela *Iris Instrument*, Franca, pertencente ao Laboratório de Geofísica Aplicada da UNIPAMPA. Este sistema possui uma potência de 250W, alimentado por uma bateria interna de 12V, que é acoplada a conversores DC-DC capazes de produzir tensões máximas de saída de 800 e 1000V. Para a etapa de processamento dos dados utilizou-se os *softwares* Res2dinv.

6.1.4 Inversão dos dados geoelétricos

O modelo de inversão de resistividade foi realizado a partir do *software* Res2dinv, utilizando o método de inversão de Mínimos Quadrados, com fator de amortecimento de 0,25. Utilizou-se também valores limites para o modelo de

resistividade. O limite superior foi de 20 vezes os valores médios do modelo de resistividade para a iteração anterior, enquanto o limite inferior foi de 0,05 vezes (ou seja, 1/20 vezes). A partir desses parâmetros geramos o modelo de inversão ilustrado na Figura 21.

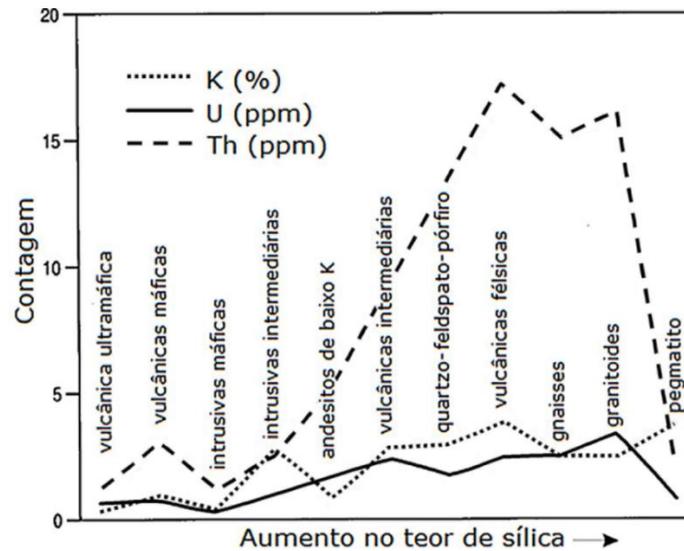
O CE foi realizado em cima de uma área anômala, delimitada por aerogamaespectrometria, como zona de possível alteração hidrotermal. O CE foi realizado perpendicularmente à direção NW, para tentar identificar as falhas e/ou fraturas. O perfil possui uma extensão de 360 metros com abertura do dipolo-dipolo de 5 metros, atingindo uma profundidade de 67 metros, aproximadamente.

7 Referencial Teórico

7.1 Fundamentos teóricos da Gamaespectrometria

A gamaespectrometria é um método geofísico utilizado para fazer o mapeamento geoquímico dos elementos radioativos (potássio, urânio e tório), presentes nos primeiros 60 cm da crosta continental da terra. Segundo Moxham (1963) diferentes tipos de rochas possuem diferentes assinaturas radiométricas, o que possibilita a caracterização de domínios geológicos. É sabido também que a crosta continental sofre diversos processos que alteram de forma física e/ou química as rochas, um desses processos é chamado de hidrotermalismo, que muda a distribuição original dos elementos radioativos, possibilitando assim a identificação de áreas que poderiam ter sido submetidas a processos de alterações hidrotermais. A figura 8 apresenta a variação nos teores dos radio-elementos nas rochas em função do aumento do teor de sílica.

Figura 6 - Variação nos teores médios de Th e eU nas rochas ígneas em relação ao teor de sílica (Si).



Fonte: extraído e modificado de Dickson & Scott (1997).

7.1.2 Radiação Gama

Segundo a revisão feita Ferreira *et al.* (2002) as radiações de substâncias radioativas naturais são classificadas em três diferentes tipos, partículas alfa (α), beta (β) e os raios gama (γ), dependendo de suas energias penetrativas.

Partículas alfa (α): Caracterizado por uma energia muito pouco penetrativa, sendo barrada por uma fina lâmina de papel, causando ionização no ar.

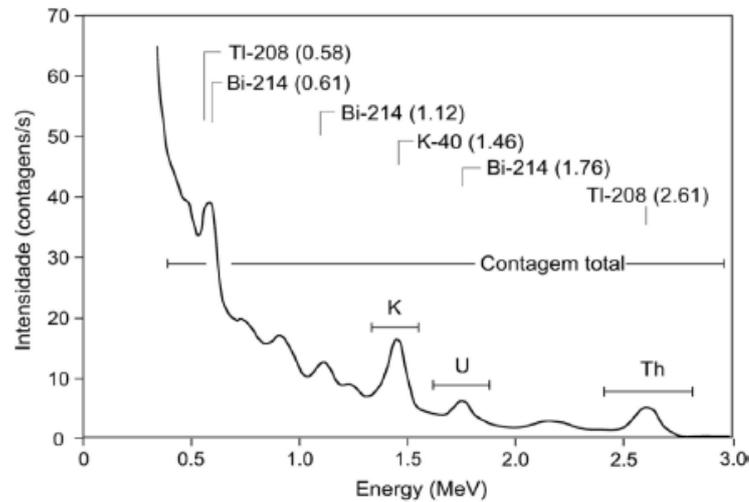
Partículas beta (β): Apresenta energia penetrativa maior e ioniza o ar por alguns centímetros, podendo facilmente atravessar uma lâmina metálica com poucos milímetros de espessura.

Raios gama (γ): Pode ionizar o ar até 300 metros e por isso é registrado em levantamentos aerogamaespectrométricos, além de atravessar lâminas de muitos centímetros de espessura, de diferentes materiais.

A Figura 9 apresenta as principais fontes de radiação gama e seus respectivos picos energéticos.

As radiações gama detectados pelo gamaespectrometro são: Potássio 40, o equivalente de Urânio (o bismuto (Bi^{214})) e equivalente de Tório (eTh) (o tálio (Tl^{208})).

Figura 7 - Espectros de radiação gama mostrando as posições da janela de energia para cada elemento e da contagem total.



Fonte: modificado de Foote (1968)

7.1.3 Caracterização dos elementos

Potássio (K): é o elemento radioativo mais abundante da crosta terrestre, quase 3%, está associado principalmente nos minerais feldspatos potássicos e seus polimorfos mais abundantes são os ortoclásio e o microclínio com teores variando de 2,45% a 13,28% (COX *et al.*, 1979). Nas rochas, o potássio tem a maior concentração nas rochas ígneas félsicas, podendo também estar presentes nas rochas metamórficas (principalmente nos xistos e gnaisses). Nas sedimentares, o potássio pode estar presente em folhelhos e argilitos. É importante notar que o potássio é um elemento que possui uma alta mobilidade durante o intemperismo e em ambientes de alteração hidrotermal. (WILFORD *et al.*, 1997).

Urânio (U): apresenta um valor médio de 3 partes por milhão (ppm) na crosta continental (RUDNICK & GAO, 2004), estando presente principalmente em minerais acessórios de rochas ígneas e metamórficas-feldspáticas (BOYLE, 1982).

Tório (Th): apresenta um valor médio de 12 ppm na crosta continental, estando presente também nos minerais acessórios das rochas ígneas e metamórficas, além de ser facilmente absorvidos pelos mesmos minerais do urânio. O tório pode estar presente nos minerais de alanita, monazita, xenotima, zircão entre outros. (DICKSON & SCOTT, 1997).

7.1.4 Interação da Radiação Gama com a Matéria

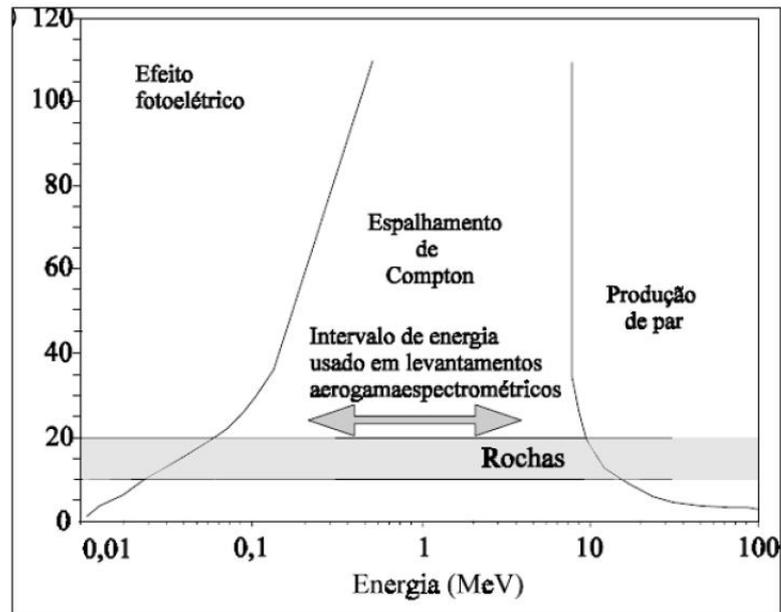
Existem diversos processos da interação da radiação gama com a matéria, os quais foram descritos por Fano (1953). De acordo com Fano (1953) *apud* Ferreira *et al* (2002) os principais processos são: Efeito Compton, Efeito Fotoelétrico e Produção de par elétron-pósitron, conforme a Figura 10.

O Espalhamento Compton é um processo pelo qual um fóton incidente perde parte de sua energia para um elétron e é espalhado segundo um ângulo relacionado à sua direção original. A perda de energia do raio gama é transferida por energia cinética para um elétron. É um processo onde predominam níveis moderados de energia. Uma das consequências do efeito Compton é o fato de que a radiação gama de baixa energia é mais frequente que aquela de alta energia (FANO,1953; *apud* Ferreira *et al.*, 2002).

○ Efeito Fotoelétrico o raio gama é completamente absorvido por um elétron periférico, o qual é expelido de um átomo. É um processo de absorção que se processa, predominantemente, em condições de baixos níveis de energia (FANO,1953; *apud* Ferreira *et al.*, 2002).

Na produção de par elétron-pósitron o fóton incidente é completamente absorvido, resultando na criação de um par de elétron-pósitron, no campo eletrostático de um núcleo, com uma energia total equivalente àquela do fóton original. Podem ocorrer em níveis energéticos maiores do que 1,02 MeV e predomina em energias muito altas, particularmente em materiais de número atômico maior do que 30 (FANO,1953; *apud* Ferreira *et al.*, 2002).

Figura 8- Gráfico da interação dos raios gama com a matéria.



Fonte: modificado de Minty (1997).

7.1.5. Correções de processamento dos dados aerogamaespectrométricos

A correção de dados de gama é umas das fases mais importantes do processamento. Através das correções é possível separar o sinal dos ruídos, os quais podem comprometer a confiabilidade do dado. Os levantamentos gamaespectrométricos aéreos e terrestres devem seguir as recomendações especificadas nos relatórios técnicos desenvolvidos pela Agência Internacional de Energia Atômica (IAEA, 1991, 2003).

7.1.5.1 Tempo morto

Segundo Minty *et al* (1997), o tempo morto representa o tempo que os espectrômetros levam para processar cada pulso do detector (na ordem de 5 a 15 Ms/pulso). Nesse período não são registradas novas contagens. A correção dessa defasagem é feita pela equação 1 (IAEA, 2003):

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

Onde

N : representa o valor corrigido de contagem em contagens por segundo (cps);

n : é o valor das contagens observadas em cps;

C_t : é a contagem total de todos os canais;

t : é o valor do “tempo morto” do equipamento por pulso;

7.1.5.2 Correção do Background Atmosférico

A correção feita para eliminar a influência da contribuição do radônio nas janelas dos radio-elementos. Sendo expressa por: (IAEA, 1991):

$$U_r = \frac{u - a_1 U - a_2 Th - a_2 b_t - b_u}{a_u - a_1 - a_2 a_t} \quad (2)$$

Onde:

U_r - *background* do radônio observado no canal do urânio pelo detector *downward*;

u - contagem medida no canal do urânio pelo detector *upward*;

U - contagem medida no canal do urânio pelo detector *downward*;

Th - contagem medida no canal do tório pelo detector *downward*;

$a_1, a_u, a_2, a_t, b_u, b_t$ - coeficientes de proporcionalidade derivados da calibração adequada.

7.1.5.3 Correção do Background Cósmico

Correção feita para eliminar a soma das contribuições da influência da aeronave e da radiação cósmica em cada uma das janelas do gamaespectrômetro. O cálculo dessas contribuições é feito através da equação 3 (RIBEIRO V.B *et al.*, 2014; IAEA, 1991):

$$N = a + bC \quad (3)$$

Onde:

N : somatória das contribuições da aeronave e cósmica (em cps),

a : background da aeronave em cada janela (em cps),

C : contagens observadas no canal de radiação cósmica (em cps),

b : razão entre a contagem em uma determinada janela e a contagem no canal cósmico.

As estimativas dos valores associados aos coeficientes a e C são feitas durante o Voo Cósmico, efetuado sobre uma grande superfície de água.

7.1.5.4 Correção do Espalhamento Compton

Segundo Minty *et al.* (1997) a Correção do Efeito Compton é aplicada para corrigir a contagem das taxas de radiação gama nas janelas de Th, U e K não originárias do rádio-elemento ou das séries de decaimento. Ou seja, radiações atribuídas aos canais de mais alta energia nos canais de menor energia.

$$\begin{aligned}
 N_{eTh}^4 &= (N_{eTh}^3 - aN_{eU}^3)/(1 - a\alpha) \\
 N_{eU}^4 &= (N_{eU}^3 - \alpha N_{eTh}^3)/(1 - a\alpha) \\
 N_K^4 &= (N_K^3 - \beta N_{eTh}^3 - \gamma N_{eU}^3) \\
 N_{CT}^4 &= N_{CT}^3
 \end{aligned} \tag{4}$$

Onde: N_n^4 razão de contagem de Compton corrigido por canal 'n' e N_n^3 razão de contagem de background corrigido por canal.

α : eTh \rightarrow eU relação pura;

β : eU \rightarrow K relação pura;

a : eU \rightarrow relação pura (back-scatter);

7.1.5.5 Correção da Atenuação de Altura

Para eliminar falsas anomalias geradas por elevações na topografia, os valores radiométricos são referidos à altura nominal do aerolevante.

A atenuação das radiações gama em relação ao afastamento da fonte pode ser expressa pela equação 4 (IAEA, 1991):

$$N_h = N_o e^{-\mu h} \quad (5)$$

Onde:

N_h : razão de contagem a altura = h

N_o : razão de contagem a altura = 0

μ : coeficiente de atenuação de altitude

7.1.6 Produtos Gráficos gerados a partir dos dados gamaespectrométricos

A interpretação dos dados radiométricos é extraída das imagens dos canais dos elementos radioativos. Cada imagem destaca informações geofísicas diferentes, e para o intérprete é indispensável as informações geológicas e o contexto tectônico da região a ser estudada.

7.1.6.1 Imagens dos canais de potássio (K), Tório (eTh) e Urânio (eU)

Os mapas de distribuição dos elementos radioativos servem para evidenciar a presença elementos nos primeiros 60 cm da superfície da crosta continental e suas relações com os processos geológicos os quais foram submetidos.

7.1.6.2 Imagem do canal de Contagem Total (CT)

De acordo com Dickson & Scott (1997), a imagem do canal de contagem total representa a medida da radioatividade total do espectro raios gama, englobando os canais de K, eU, eTh. É utilizado principalmente na separação das unidades gamaespectrométricas, por apresentar um maior valor de intensidade radioativa.

7.1.6.3 Imagens Ternárias

Segundo Miligan & Gunn (1997), as imagens ternárias representam a composição das imagens dos canais radiométricos. Normalmente é utilizado os canais de k, eU e eTh (cada um representado por uma cor). Nesse projeto as imagens ternárias foram geradas pelas composições das imagens do fator F, potássio anômalo (Kd) e urânio anômalo (eUd). Utilizada principalmente para destacar zonas com valores elevados dos três canais (destacada pela cor branca) que podem, sugerir ser zonas de alterações hidrotermais.

7.1.6.4 Mapas de imagens das Razões: eTh/k, eU/k e eU/Th

São utilizados para destacar a diferença observada entre as concentrações dos elementos radiométricos em corpos graníticos ou para a identificação de áreas com forte alteração hidrotermal do tipo potássica e/ou sílica.

7.1.6.5 Mapa do Fator F

O parâmetro F, descrito por Efimov (1978), ressalta o enriquecimento do K e do U em relação ao tório, principalmente quando associado a áreas com alteração hidrotermal. O mesmo autor estabeleceu, valores de fator F entre 1,2 a 1,4 para rochas não alteradas (granitos e rochas metamórficas quartzo-feldspáticas) e valores maiores de 2 para rochas hidrotermalmente alteradas.

O Fator F é expresso pela equação 6:

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

7.1.6.5 Mapas normalizados de Potássio (Kd) e Urânio (Ud)

Conforme os pesquisadores Wilford *et al.* (1997) e Dickson & Scott (1997), os teores dos elementos radiométricos podem ser susceptíveis a diversos processos geológicos (intemperismo, processos de alterações hidrotermais, entre outros). Segundo Saunders *et al.* (1987), os teores de tório podem ser usados como controle litológico para definir valores ideais de potássio e urânio. Os mesmos autores propuseram uma normalização do potássio e urânio, aplicada a prospecção mineral.

Pode-se normalizar K e eU pelo eTh através das fórmulas

$$K_d = \frac{K_s - K_i}{K_s}$$

$$U_d = \frac{U_s - U_i}{U_s} \quad (7)$$

Onde:

$$K_i = \left(\frac{\text{média de } K_s}{\text{média de } Th_s} \right) Th_s$$

$$U_i = \left(\frac{\text{média de } U_s}{\text{média de } Th_s} \right) Th_s \quad (8)$$

Onde os valores de K_s , Th_s e U_s correspondem aos valores reais medidos desses elementos.

7.2 Método de Eletroresistividade

O método da eletroresistividade baseia-se no estudo do potencial elétrico dos campos elétricos naturais (existentes na crosta terrestre) e dos campos artificialmente provocados. A partir de medições do potencial elétrico na superfície pode-se sugerir, no subsolo, a existência de corpos minerais e reconhecer estruturas geológicas (TELFORD *et al.*, 1990).

7.2.1 Propriedades Elétricas

Segundo o físico alemão Georg Simon Ohm (1787-1854) a resistividade elétrica (ρ) é definida pela dificuldade imposta por um material a passagem de corrente elétrica pela sua estrutura.

Numericamente, a resistividade (ρ) para um condutor homogêneo, é expressa por:

$$\rho = \frac{RA}{L} \quad (9)$$

Onde:

R : resistência;

A : área transversal a corrente do condutor;

L : comprimento do condutor.

Tabela 1: Resistividade de rochas e solos.

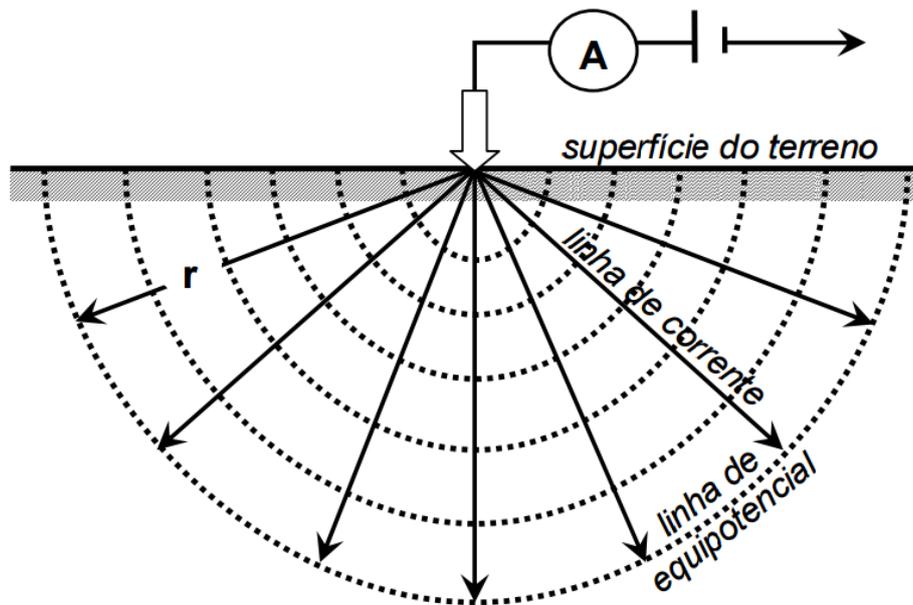
Material	Resistividade (Ohm.m)
<i>Rochas ígneas e metamórficas</i>	
Granito	5.0×10^3 a 1.0×10^6
Basalto	1.0×10^3 a 1.0×10^6
Ardósia	6.0×10^2 a 4.0×10^7
Mármore	1.0×10^2 a 2.5×10^8
Quartzito	1.0×10^2 a 2.0×10^8
<i>Rochas sedimentares</i>	
Arenito	8.0×10^1 a 1.0×10^3
Folhelho	2.0×10^1 a 2.0×10^3
Calcário	5.0×10^1 a 4.0×10^2
<i>Solos e água</i>	
Argila	1.0×10^0 a 1.0×10^2
Aluvião	1.0×10^1 a 8.0×10^2
Água fresca	1.0×10^1 a 1.0×10^2
Água do mar	2.0×10^{-1}

Fonte: Loke (1999).

7.2.2 Fluxo de Corrente no solo

O método de eletroresistividade utiliza-se de contato galvânico (não indutivos) entre eletrodos e o solo. Considerando um meio homogêneo e isotrópico, a propagação de correntes elétricas introduzida em um ponto (Figura 11) por um meio de um eletrodo (o segundo é considerado estando no infinito) ocorrerá em forma de superfícies semiesféricas, supondo a resistividade do ar como infinita. Por causa desta distribuição de todas as correntes iguais nestas superfícies a uma distância r do eletrodo de corrente C_1 , o potencial também é igual (BURGER, SHEEHAN e JONES).

Figura 9 - Injeção de corrente elétrica em um único ponto.



Fonte: Braga (2007).

A Lei de Ohm estabelece uma relação entre intensidade de corrente (i), a diferença de potencial (dV) e resistência elétrica (R), expressar pela equação:

$$dV = iR \quad (10)$$

Substituindo a equação 9 na 10 e considerando a área como metade de uma esfera em função de um diferencial de raio (dr), temos;

$$dV = ip \frac{dr}{2\pi r^2} \quad (11)$$

Assim pode-se determinar o potencial V é integrando a equação 11, obtendo:

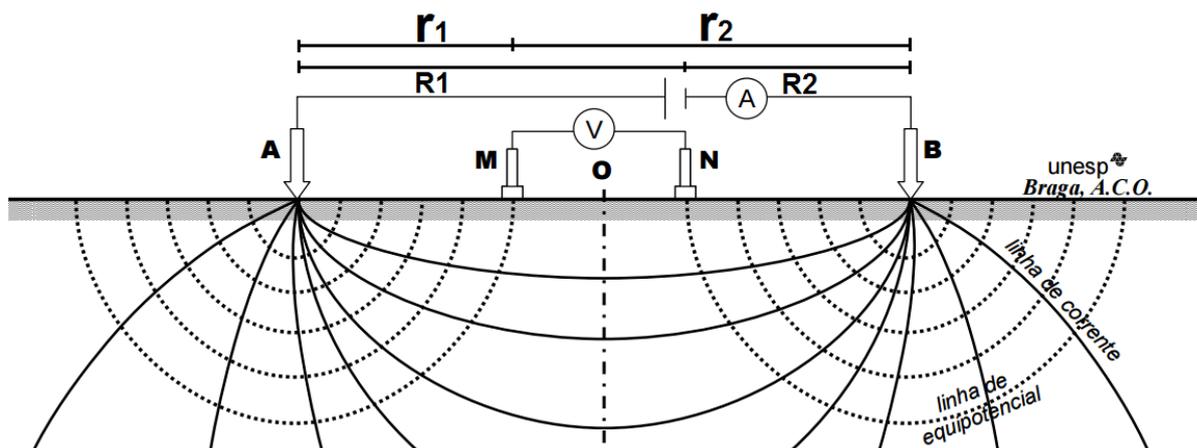
$$V = \frac{ip}{2\pi} \int_D^\infty \frac{dr}{r^2} = \frac{ip}{2\pi D} \quad (12)$$

Onde

D é a distância entre o eletrodo de corrente e o ponto onde se deseja determinar o potencial;

Em geral, é utilizado um sistema constituído de quatro eletrodos, sendo dois de injeção de corrente (A e B) e dois para a leitura do potencial (M e N), como ilustrado na figura 12.

Figura 10 - Representação das linhas de correntes (A e B) e o potencial (M e N) em um seção plana na subsuperfície.



Fonte: modificado Braga (2007).

O potencial no eletrodo M e N podem ser expressos como:

$$V_M = \frac{ip}{2\pi} \left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} \right) \quad V_N = \frac{ip}{2\pi} \left(\frac{1}{AN} - \frac{1}{BN} \right) \quad (13)$$

Onde r_1 e r_2 são as respectivas distâncias entre os eletrodos de potencial M em relação ao eletrodo de injeção A, e a distância entre o eletrodo de potencial M e o eletrodo de injeção B;

A resistividade pode ser obtida em por meio da equação 13, resultando em:

$$\rho_a = \frac{2\pi\Delta V}{i} \left(\frac{1}{\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} - \frac{1}{AN} + \frac{1}{BN}} \right) \quad (14)$$

O valor de ρ_a obtido na equação 14, representa, a resistividade aparente da subsuperfície.

7.2.3 Caminhamento Elétrico

A técnica do caminhamento elétrico (CE) é uma investigação lateral onde se estuda horizontalmente a variação da resistividade e/ou cargabilidade.

De acordo com Orellana (1972) as sondagens dipolares (CE) são classificadas de acordo com a geometria empregada com os eletrodos, sendo os principais: sondagens axiais, sondagens dipolares equatoriais e sondagens dipolares azimutais.

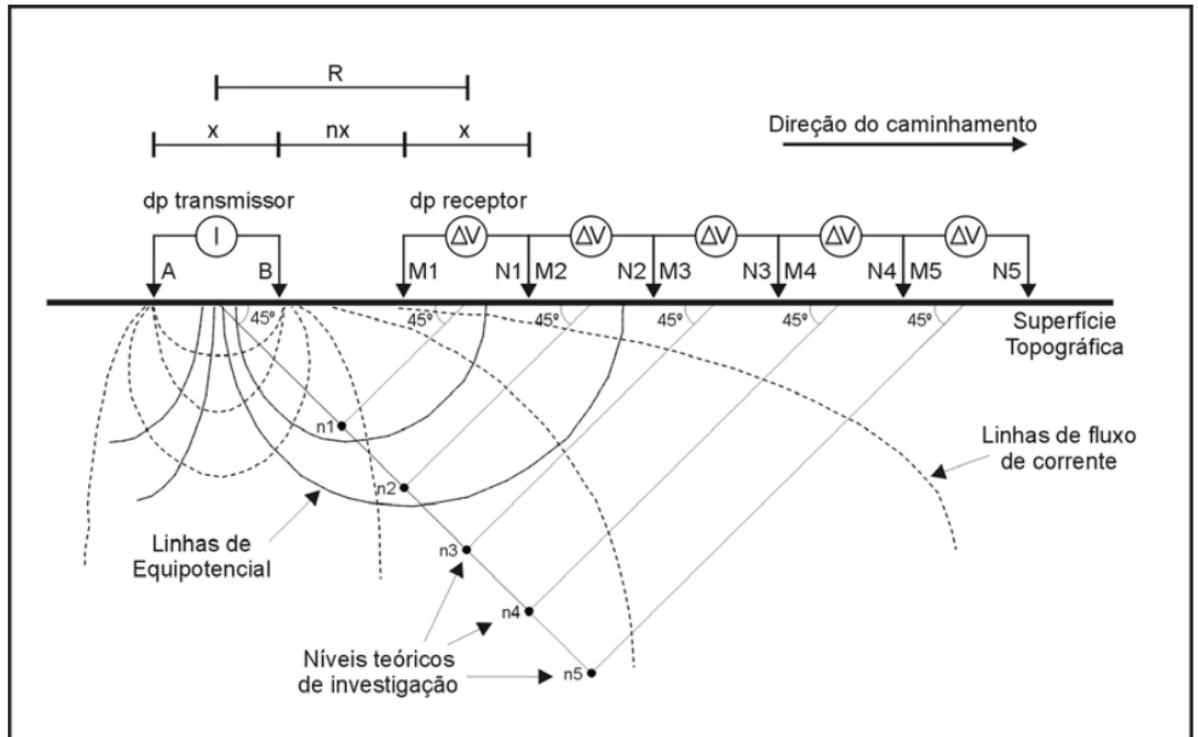
7.2.3.1 Caminhamento Elétrico Dipolo-Dipolo

O caminhamento elétrico dipolo-dipolo (Figura 13) é uma técnica geoeétrica de quatro eletrodos, sendo dois de injeção de corrente (A e B) e dois de leitura de potencial (M e N). O sistema de plotagem dos parâmetros geoeétricos obtidos é efetuado considerando como ponto de distribuição das leituras uma projeção de 45° a partir dos centros dos dipolos AB e MN, até atingir o ponto médio entre o centro destes dipolos, obtendo a resistividade aparente (ORELLANA, 1972)

Nos levantamentos de CE dipolo-dipolo, é determinada uma distância x entre os eletrodos AB e MN, mantida fixa quando deseja-se determinar os valores da resistividade aparente a um mesmo nível de investigação, deslocando lateralmente os pares AB e MN. Havendo necessidade de variar os níveis de investigação em

profundidade, o procedimento adotado consiste na abertura entre os centros dos pares AB e MN. O passo comumente adotado é nx , onde n é o nível de investigação.

Figura 11- Representação da geometria utilizada em campo com a técnica de Caminhamento elétrico com o arranjo dipolo-dipolo.



Fonte: adaptada de Elis(1996).

Resistividade aparente é dada pela equação 15:

$$\rho_a = \pi x n (1 + n)(2 + n) \frac{v}{i} \quad (15)$$

Onde:

x : distância fixa entre os eletrodos de injeção (AB), potencial (MN) e entre os pares de eletrodo AB e MN

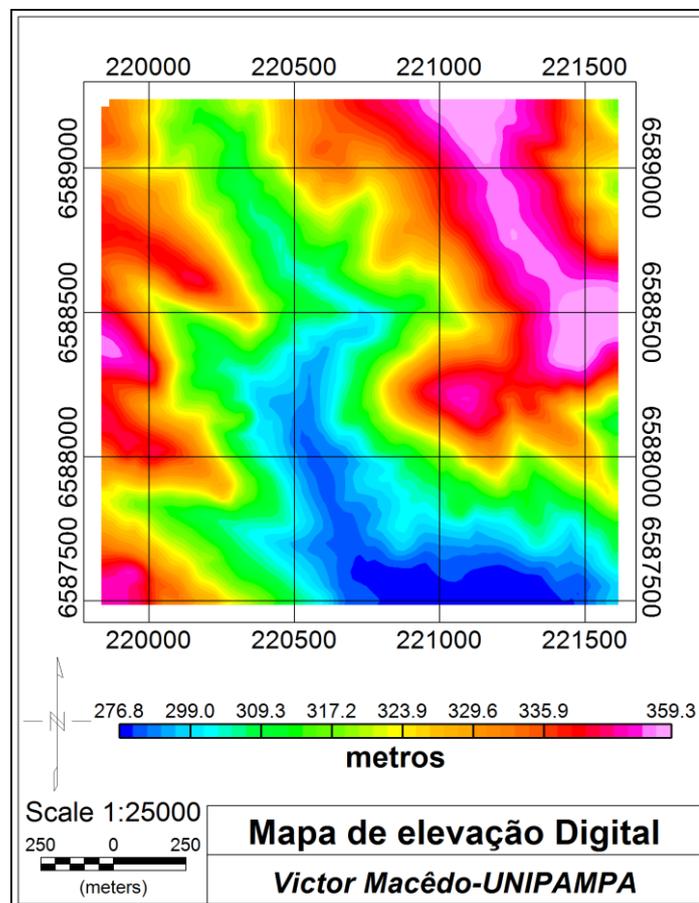
n : numero de afastamento entre os eletrodos AB e MN

8 RESULTADOS

8.1 Modelo de Elevação Digital da Mina Paredão

A Figura 5 apresenta o Modelo de elevação digital (DEM) da área de estudo. Os dados topográficos foram cedidos pela empresa *Amarillo Gold Corporation*. As cotas variam de 280 á 360 m. A resolução espacial dos dados topográficos é de 1 metro.

Figura 12 - Modelo de elevação Digital.



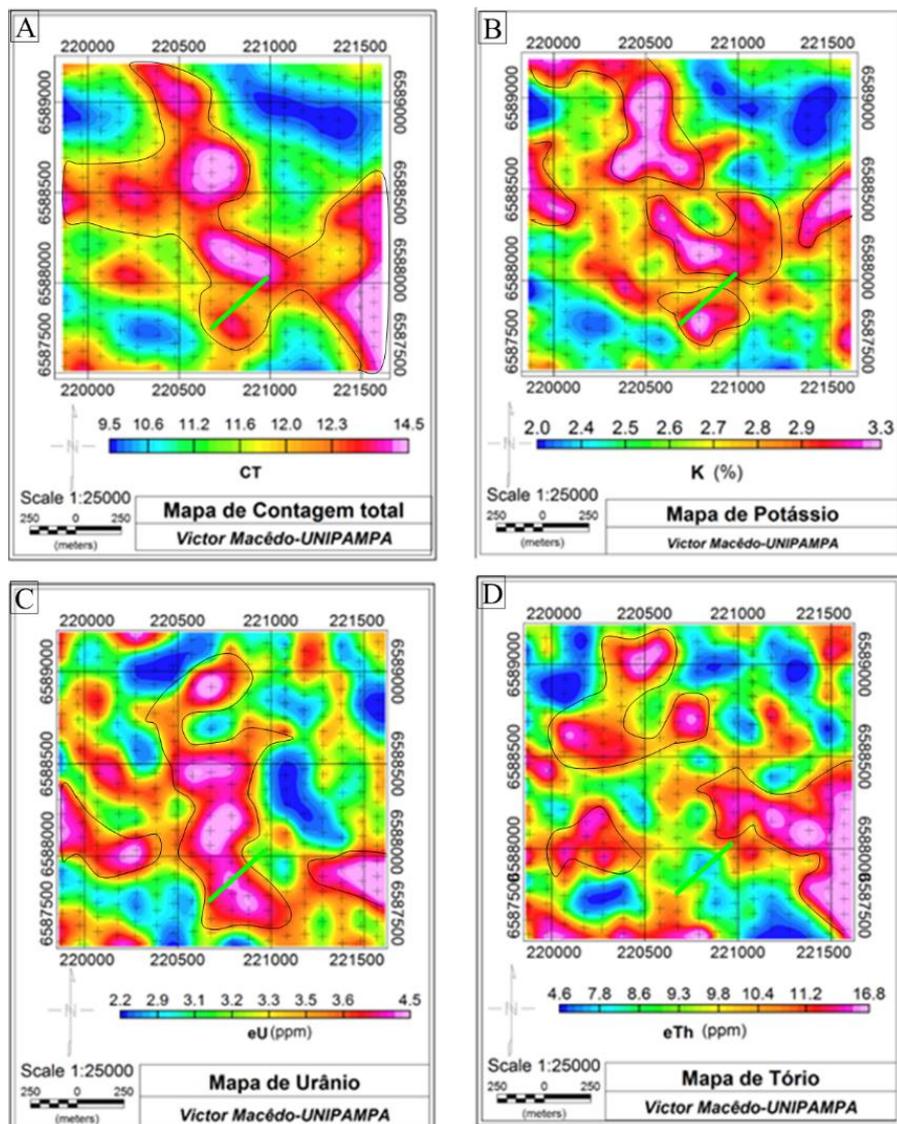
Fonte: autor.

8.2 Interpretação dados aerogamaespectrométricos

Ao comparar e analisar o mapa do modelo digital de terreno com o mapa de contagem dos radioelementos (Figuras 11 e 12) nota-se que o canal do Pótassio (K) e de Urânio (eU) tiveram uma relação direta com a topografia. Possivelmente o

potássio (K) e o Urânio (eU) foram lixiviados das regiões com maiores altitudes para as de menores altitudes, devido a sua mobilidade ser maior que o tório. Os valores anômalos de 3 a 3.5% de K e 4 a 4,9 ppm de eU podem estar relacionados a alguns afloramentos granodioríticos ou zonas de alteração hidrotermais. O mapa do tório (eTh) mostrou respostas elevadas (14,5 a 18 ppm) nas regiões onde o granodiorito foi fortemente intemperizado (baixo de K e eU) indicando uma consequência da sua menor mobilidade em relação aos demais

Figura 13- Imagens dos canais dos rádios-elementos. A) Contagem Total. B) Imagem do canal do Potássio. C) Imagem do canal do equivalente de Urânio. D) Imagem do canal do equivalente do Tório.



 Zonas anômalas
 Caminhamento elétrico (CE)

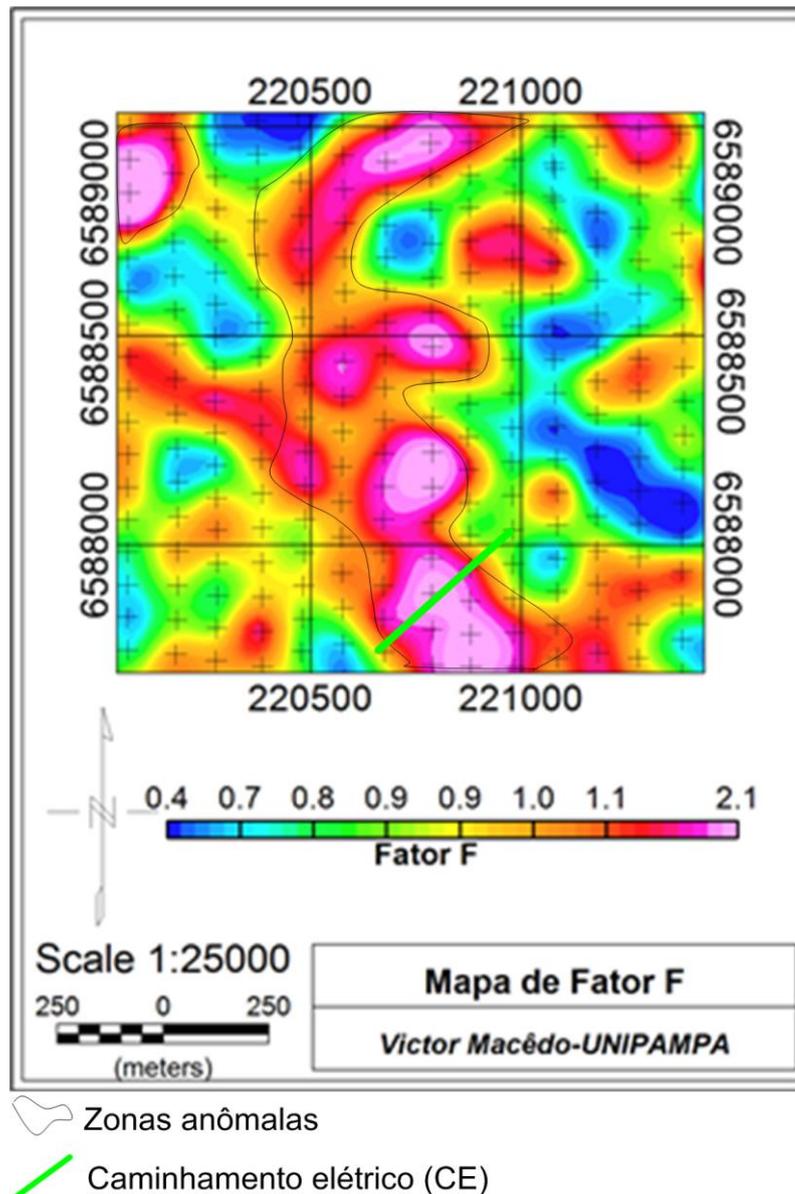
Fonte: autor

Com o mapa de contorno do Fator F (Figura 13) foi possível identificar áreas que tiveram o enriquecimento de potássio (K) e urânio (eU) o que sugere ser um possível produto de alteração hidrotermal. Ocorrem cinco principais áreas anômalas de fator F na área de estudo, localizadas no centro-norte e no centro-sul nas zonas de menores altitudes. Essas áreas anômalas apresentam fator F variando de 1.3 a 2.2. Segundo Efimov (1978), os valores maiores que 2 para o fator F são características de rochas alteradas por processos hidrotermais o que sustenta a ideia de que as anomalias estejam associadas com hidrotermalismo.

Para interpretação dos mapas utilizou-se como valores de *background* para zonas hidrotermalizadas, os valores encontrados por Ggnojek & Prichystal (1985). Segundo aqueles autores, as áreas com presença de alterações hidrotermais e portadoras de mineralizações de zinco e ouro apresentam um patamar de 6,7% para potássio (acima da média do valor de referência para crosta terrestre), urânio com concentrações variando de 1 a 4 ppm e tório variando de 1 a 4ppm (abaixo do valor de referência para a crosta terrestre).

Na Mina Paredão foram identificadas zonas anômalas (Figura 14) (possíveis zonas alteradas) com os seguintes valores: potássio 3,5% (acima da distribuição média crustal), urânio variando de 4 a 4,9 ppm e tório variando de 4 a 7,5 ppm. Assim, os valores anômalos estão concordantes com os valores de zonas hidrotermalizadas encontrados por Ggnojek & Prichystal (1985).

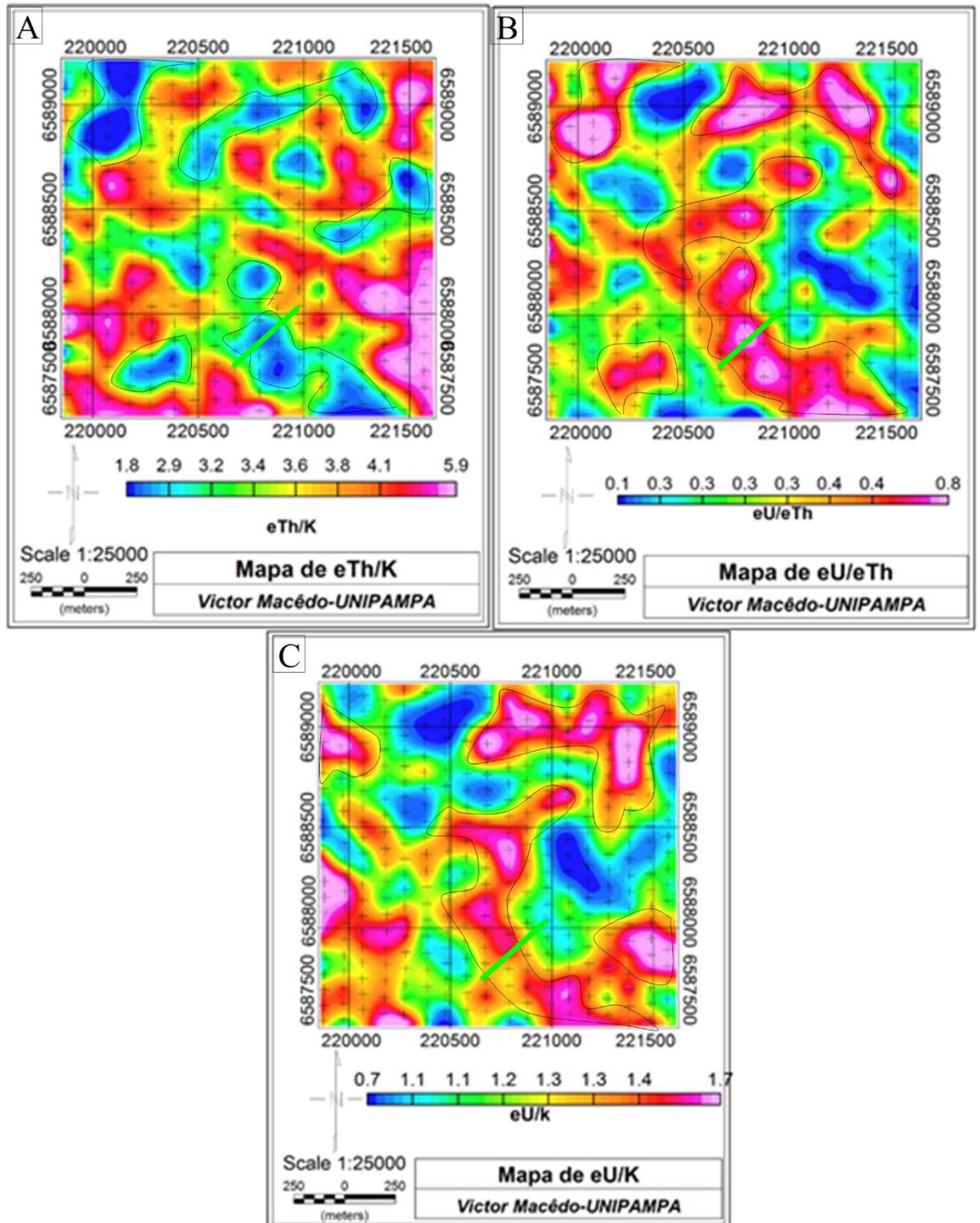
Figura 14- Imagem de Fator F



Fonte: autor

Segundo Ostrovskiy (1975), a baixa razão eTh/K pode indicar possíveis zonas de alteração hidrotermal. Ao analisar o mapa da razão de eTh/K (Figura 14) nota-se que os baixos valores coincidem com as anomalias do fator F (Figura 13), isso ressalta o chamado “antagonismo” entre o tório e o potássio, o primeiro aumentando quando o segundo diminui. Os mapas de eU/K e eU/eTh obtiveram relações altas nas regiões onde o mapa de fator F foi anômalo, evidenciando ainda mais as possíveis zonas de alteração hidrotermal.

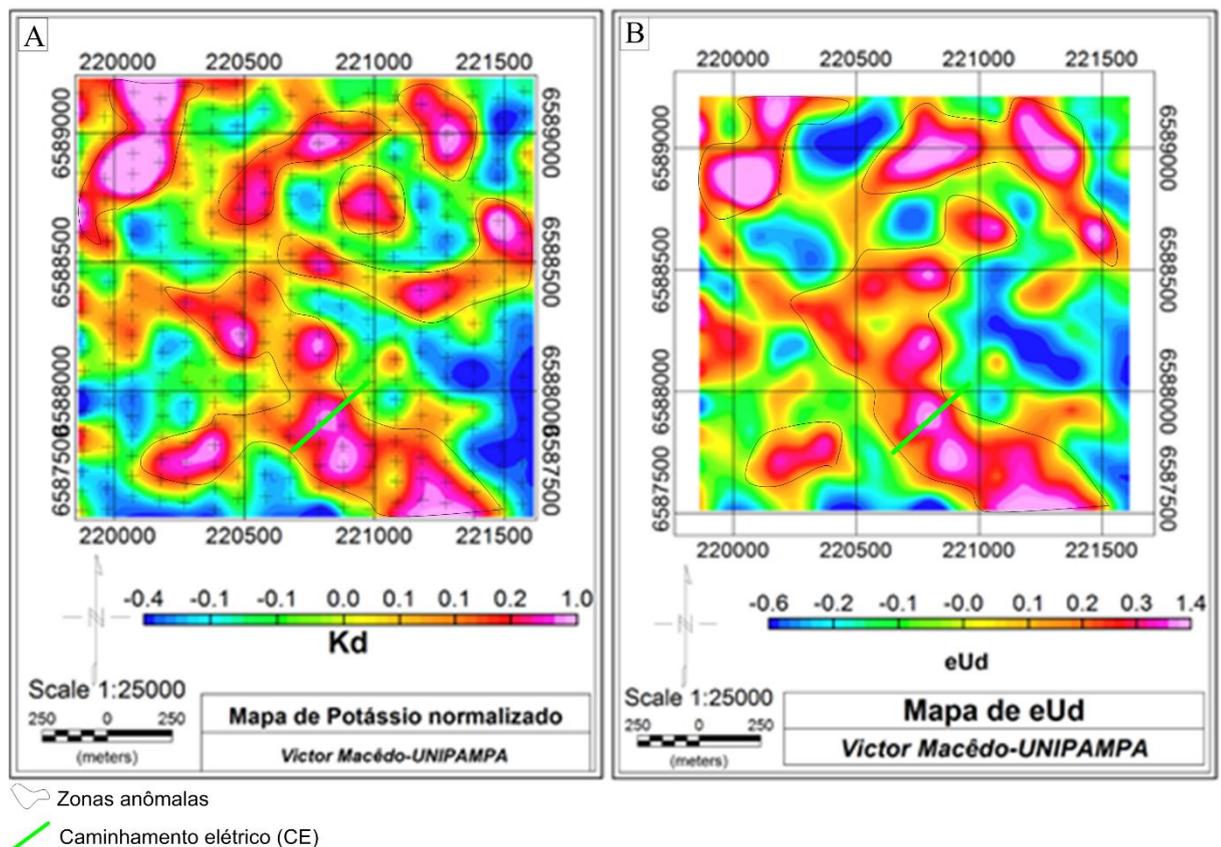
Figura 15- Imagens de razões dos elementos radioativos. A) eTh/k . B) eU/eTh . C) eU/k .



Fonte: autor

Os resultados obtidos Kd e eUd (Figura 15) mostraram correlações importantes. As regiões com concentrações anômalas Kd (1) e Ud (1.4) coincidem com áreas anômalas de fator F. Pires (1995) observou que zonas com valores elevados de Kd e Ud estavam associadas a ocorrências minerais (ouro (Au), talco (Tl), amianto (Am) e mica (Mu)), de reconhecida influência hidrotermal.

Figura 16- Mapas de Potássio normalizado (Kd) e Urânio normalizado (eUd)



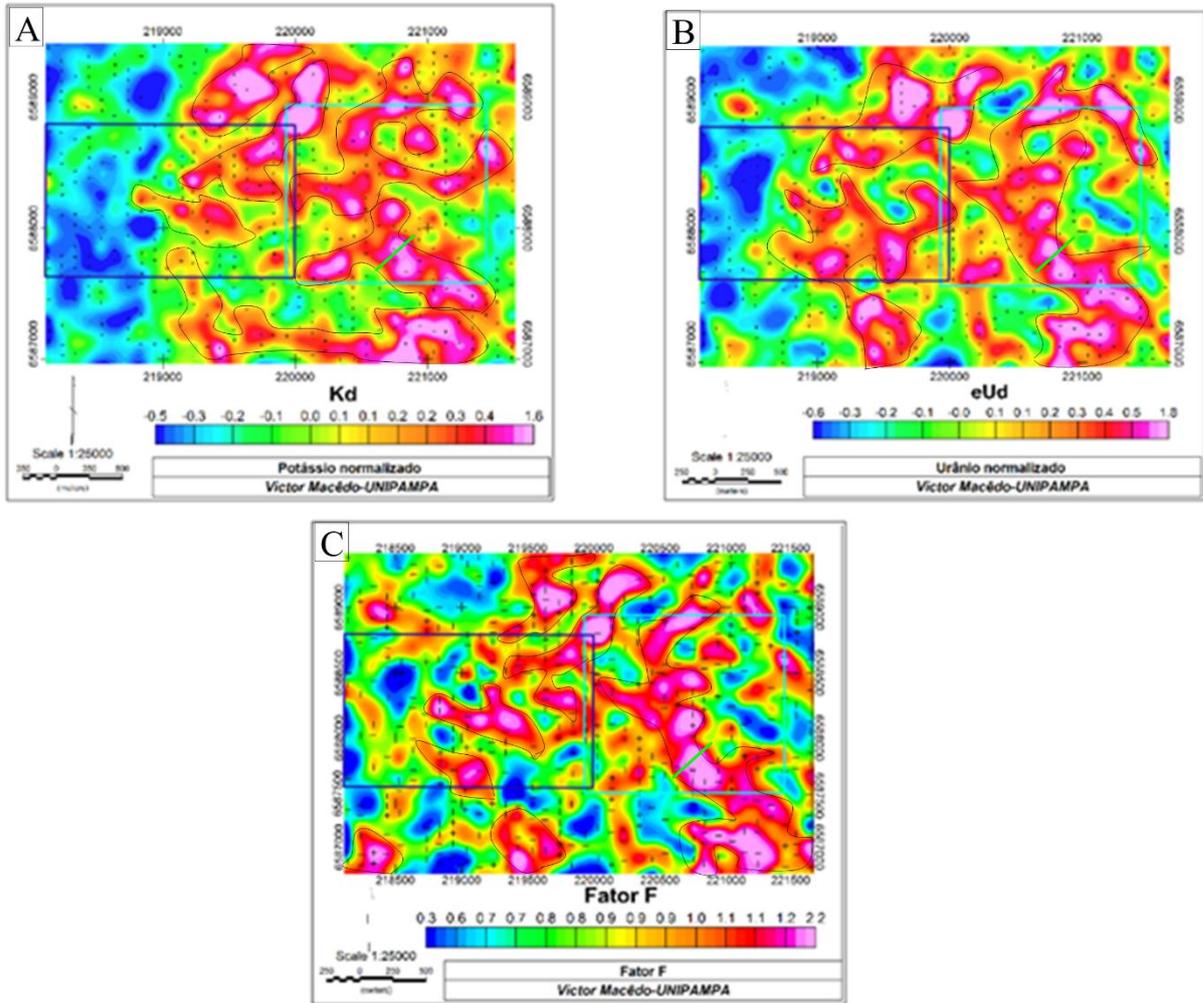
Fonte: autor

Procurou-se estabelecer uma comparação entre as zonas anômalas delimitadas na Mina Paredão com uma zona de alteração hidrotermal na Mina Caneleira mineralizada com ouro (Au) e provada através de furos de sondagens realizados pela empresa *Amarillo Gold*. Foram gerados mapas de potássio normalizado (Kd), Urânio normalizado (eUd), Fator F e ternário (com composição do fator F, Kd e eUd). Adicionalmente, foi confeccionado um mapa com as anomalias (prováveis zonas de alteração hidrotermal) com os principais lineamentos inferidos por Ferreira (em preparação) na região (Figura 16, 17, 18).

Com isso foi possível correlacionar as zonas anômalas na Mina Paredão com as zonas anômalas na Mina Caneleira, principalmente com a zona de alteração hidrotermal com mineralização de ouro (Au). Os valores anômalos das zonas com prováveis alterações hidrotermais na Mina Paredão (em torno de 1,4 do Kd; 1,6 do eUd e 2,2 do Fator F) apresentam os mesmos patamares dos valores anômalos encontrados na zona mineralizada por processos hidrotermais na Mina Caneleira. Percebe-se também que a maioria das anomalias está seguindo uma direção preferencial (NW), juntamente com os lineamentos.

A Figura 18 mostra o mapa de anomalias geradas a partir da composição ternária (Fator F, Potássio normalizado (Kd) e Urânio normalizado (eUd)) da Mina Paredão (a leste) e da Mina Caneleira (a oeste). Os lineamentos presentes foram inferidos por Ferreira (em preparação), através de mapas de relevo sombreados iluminados nos azimutes 315° e 045° e sobrepostos através de transparência. O caminhamento elétrico foi realizado na tentativa de identificar os lineamentos na direção preferencial (NW) e inferir sua continuidade e subsuperfície.

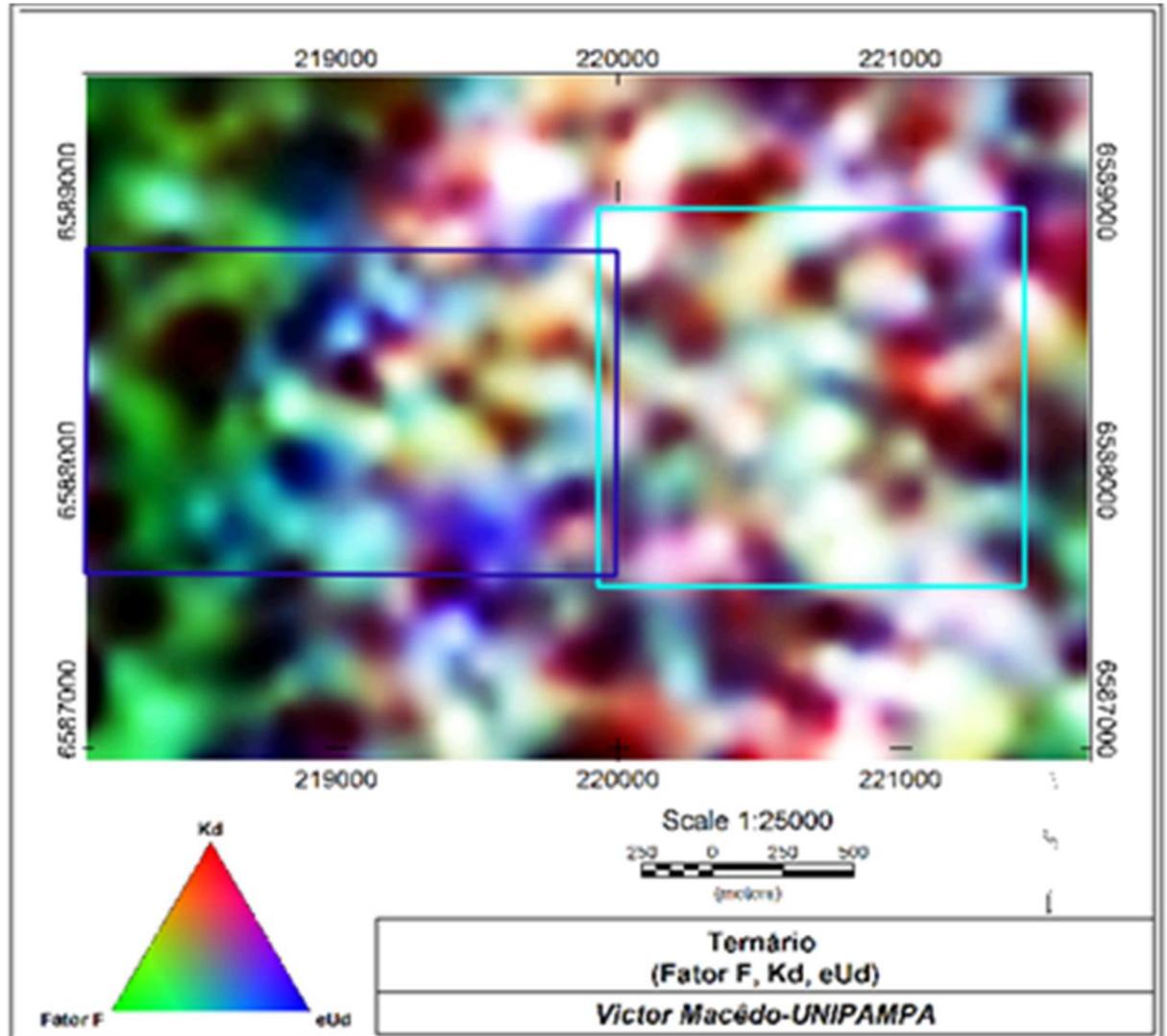
Figura 17-Mapas de Potássio normalizado (Kd), Urânio normalizado (eUd) e fator F para as Minas Paredão e Caneleira.



- Mina Caneleira
- Mina Paredão
- Zonas anômalas
- Caminhamento elétrico (CE)

Fonte: autor

Figura 18-Mapa Ternário para as Minas Paredão e Caneleira

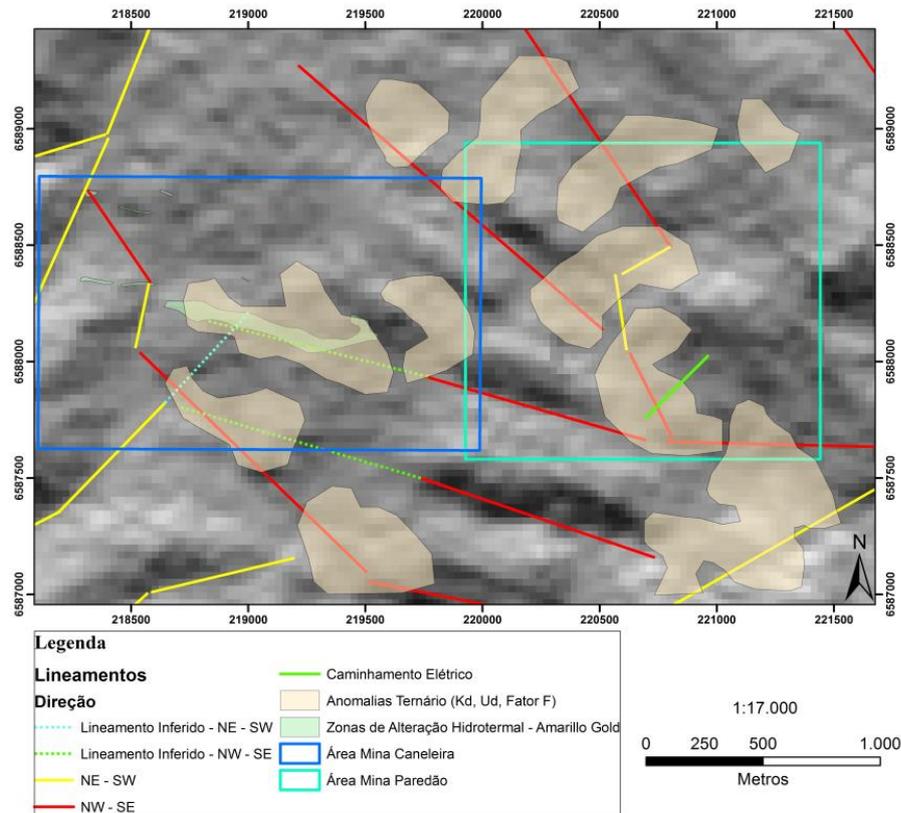


□ Mina Caneleira

□ Mina Paredão

Fonte: autor.

Figura 19-Mapas de anomalias do Ternário, juntamente com os principais lineamentos das Minas Paredão e Caneleira.

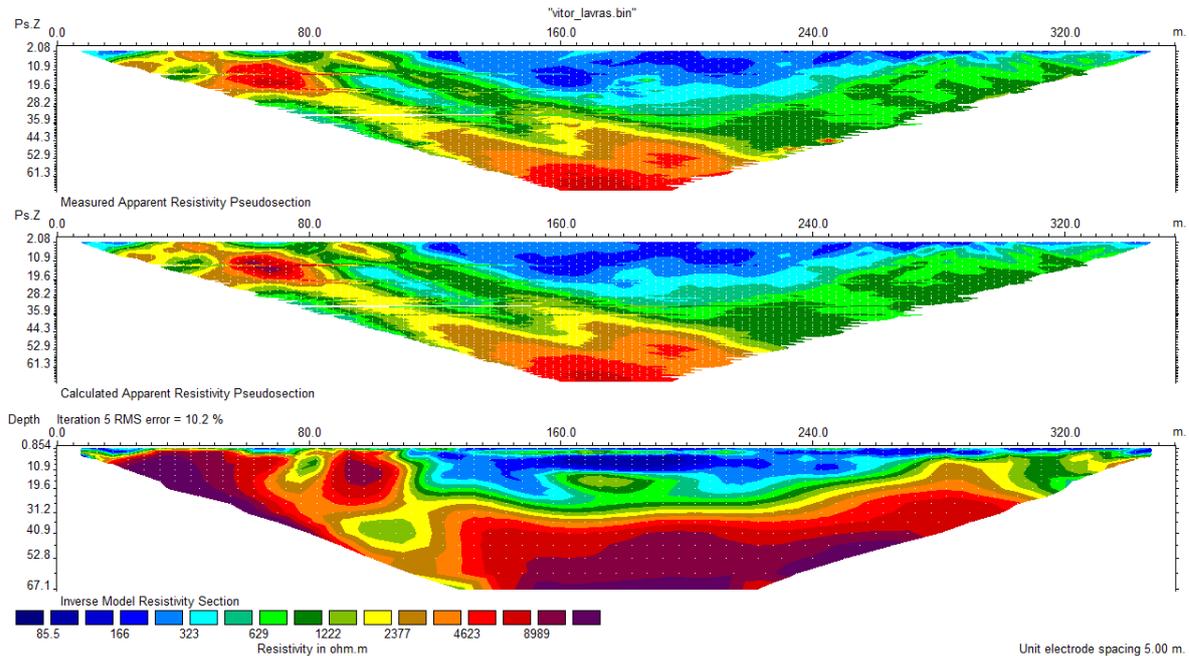


Fonte: adaptado de Ferreira (em preparação).

8.3 Interpretação dos dados geoeletricos

Após analisar o perfil de CE (Figura 19), verificou-se a existência de duas descontinuidades geoeletricas (falha e/ou fratura), uma a 80 metros e outra a 115 metros, com patamar de resistividade entre 700 a 2.000 ohm.m. Os valores de resistividade acima de 5600 ohm.m, aproximadamente à 40 metros de profundidade, correspondem ao granodiorito inalterado. A zona de alteração do granodiorito foi marcada por valores de resistividade entre 1.000 a 3.000 ohm.m. A camada intermediaria, que possui valores de resistividades entre 700 a 1000 ohm.m, pode ser interpretada como um saprólito. A camada mais superficial mostrada no CE, com valores de resistividade entre 80 a 400 ohm.m, possivelmente deve ser uma camada de solo saturado (próximo de onde foi realizado o CE se encontrava um banhado).

Figura 20-Modelo de inversão do Caminhamento elétrico (CE).



Fonte: autor.

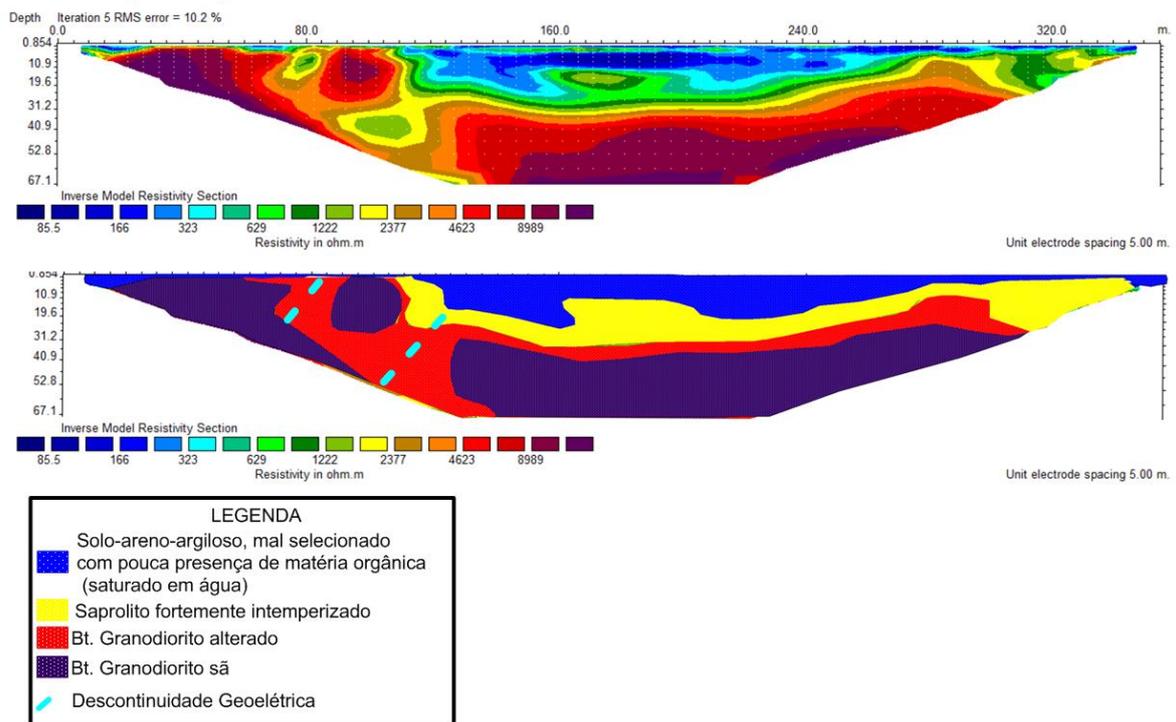
8.3.1 Modelo geológico interpretado a partir do CE

A figura 20 apresenta o modelo geológico em subsuperfície interpretado através do perfil de CE e das informações de furos de sondagens pertencentes à empresa *Amarillo Gold*, localizados na Mina Caneleira, descritos por Coelho (em preparação).

A camada mais superficial (80 a 400 ohm.m), variando em profundidade entre 0 a 20 metros, corresponde a um solo-areno-argiloso, mal selecionado com pouca presença de matéria orgânica, constituído por quartzo e feldspato alcalino. Os baixos valores de resistividades foram devidos à saturação do solo nessa região.

A Camada intermediária (700 a 1.000 ohm.m) corresponde a um saprólito intercalado com granito com fortemente intemperizado. Os valores de 1.000 a 3.000 ohm.m correspondem a zona de alteração do granodiorito, e por fim, o granodiorito são, com valores de resistividades acima de 5.000 ohm.m.

Figura 21-Modelo de inversão do Caminhamento elétrico (CE) e Modelo Geológico interpretado.

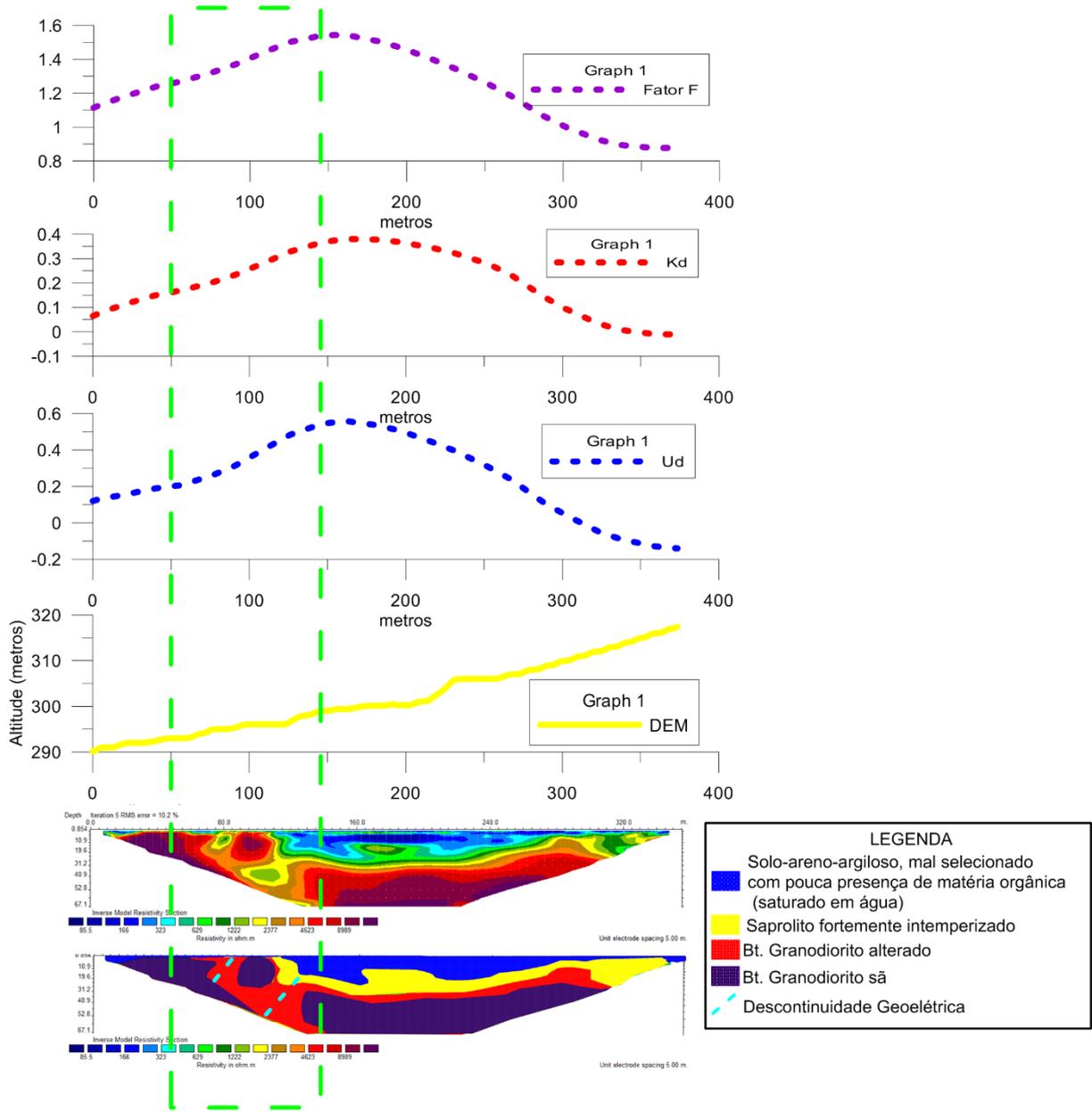


Fonte: autor.

8.4 Integração dos dados geoeletricos e gamaespectrométricos

A figura 21 mostra os *perfis* para os canais de fator F, Urânio normalizado (Ud), Potássio normalizado (Kd), modelo de elevação digital (DEM) e caminhamento elétrico (CE). Nota-se um enriquecimento dos valores de todos os canais (fator F variando de 1.2 a 1.5, o Kd variando 0.05 a 0.5, Ud variando de 0.2 a 0.5) na zona onde se encontra as descontinuidades geoeletricas, correspondendo com a associação feita por Pires (1995), que existe um enriquecimento de potássio, urânio e do fator F em zonas que sofreram algum tipo de alteração hidrotermal.

Figura 22- Perfis do fator F, Kd, eUd e DEM ao longo do Caminhamento elétrico (CE).



Fonte: autor.

9 CONCLUSÃO

As técnicas de processamento e interpretação de dados aerogamaespectrométricos utilizadas na avaliação de alterações hidrotermais foram positivas relacionando áreas anômalas como guias prospectivos para exploração mineral regional (Ostrovskiy (1975); Efimov (1978); Gnojek & Prichystal (1985); Pires (1995); Dickson & Scoot (1997); Strieder *et al.* (2001)). Através da integração de dados geofísicos e geológicos foi possível identificar possíveis zonas de alteração hidrotermal na Mina Paredão e sua validação se deu de modo independente através da comparação com uma zona de alteração hidrotermal mineralizada com ouro, comprovada por furos de sondagens na Mina Caneleira. Assim, verificaram-se anomalias gamaespectométricas com patamares semelhantes em ambas as regiões e com a mesma direção preferencial dos lineamentos regionais (NW). Além disso, através da técnica de Caminhamento Elétrico foi possível identificar uma suposta fratura com direção preferencial NW, também correspondente aos lineamentos regionais inferidos por Gastal *et al.* (2015).

10 REFERÊNCIAS

ARYA, A. P. **Fundamentals of Nuclear Physics**. Boston: Allyn and Bacon Inc. 1974

BOYLE R.W.. **Geochemical prospecting for thorium and uranium deposits**. Amsterdam: Elsevier. (Develop-ments in Economic Geology, 16). 1982.

BONGIOLO, E.M **Mineralização de ouro da região de Lavras do Sul/RS e alteração hidrotermal associada**. Porto alegre. 131p. Dissertação de Mestrado em Geociências. 2002.

BONGIOLO, E.M. **Integração de dados mineralógicos, isótopos estáveis (O, H) e porosidade de rochas (¹⁴C-PMMA) dans la reconnaissance de l'évolution de l'altération dans le Système Hydrothermale de Lavras do Sul/RS, Brésil**. 2006

BURGER, H.R., A.F, JONES, C.H. **Introction to Applied Geophysics: Exploring the Shallow Subsurdface**. W.W. Norton & Company, 2006.

BRAGA, A.C.O Módulo: **Métodos Geométricos Aplicados nos Estudos de Captação e Contaminação das Águas Subterrâneas**. Rio Claro. Unesp, 2007.

CARVALHO, P.F. **Reconhecimento Geológico do Estado do Rio Grande do Sul**. **Boletim do Serviço Geológico e Mineralógico do Brasil**, 66.73p.1932.

COX K.G., Bell J.D., Pankhurst R.J. **The interpretation of igneous rocks**. Londres: George Allen & Unuwin. 450p. 1979

CHEMALE, F JR. Evolução geológica do Escudo Sul-rio-grandense. In: Holz, M. & De Ros, L. F. (eds). **Geologia e Estratigrafia do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre, Editora Gráfica da UFRGS, p.3-44.2000

DICKSON. B.L and SCOTT K.M. **Interpretation of aerial gamma-ray surveys - adding the geochemical factors**. AGSO Journal of Australian Geology & Geophysics, Australia, 17(2): 187–200. 1997.

DEPARTAMENTO NACIONAL de INFRA-ESTRUTURA e TRANSPORTE (DNIT). Mapa rodoviário Rio Grande do Sul. 2002. Disponível em: <<http://www.dominiiopublico.gov.br/download/imagem/dn000021.pdf>>. Acesso em 29 de maio de 2016.

EFIMOV, A.V.**Multiplikativnyj pokazatel dlja vydelenija endogennykh rud po aerogamma-spektrometricheskim dannym**. In: Metody rudnoj geofiziki, edited by: Naucno-proizvodstvennoje objedinenie “**Geofizika**” Leningrad. 1978

ELIS, V.R. & ZUQUETTE, L.V. - **Caminhamento elétrico dipolo-dipolo - uma técnica eficiente na investigação de depósitos de resíduos**. Anais do VIII Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, Rio de Janeiro, Vol I, pp. 39-48. 1996 -

FANO, U. **γ -Ray Attenuation**. *Nucleonics*, 11(8), 8-12; (9), 55-61. 1953.

FERREIRA, F. J. F; SOUZA. J. L.**Gamaespectrometria – Fundamentos, Geoquímica e Distribuição dos Radioelementos em Rochas e Solos**.2002.

FERREIRA, G. H. C. **Alteração Hidrotermal e mineralização na mina caneleira, Lavras do Sul,RS**. 2016.

FOOTE, R. S. **Improvement in airborne gamma radiation data analyses for anomalous radiation changes.** In: SYMPOSIUM ON USE OF NUCLEAR TECHNIQUES IN THE 110 PROSPECTING AND DEVELOPMENT OF MINERAL RESOURCES, International Atomic Energy Meeting, Buenos Aires. Anais... Buenos Aires, 1968, p. 855-875. 1968.

GNOJEK, I., & PRICHYSTAL, A., **A new zinc mineralization detected by airborne gamma-ray spectrometry in northern Moravia (Czechoslovakia).** *Geoexploration*, 23:491-502. 1985.

GUNN, J.J; MINTY, B.R.S; MILLIGAN, P.R.. **The Airborne Gamma-Ray Spectrometric Response Over Arid Australian Terranes.** In: **Exploration 97: Fourth decennial international conference on mineral exploration**, Proceedings..., edited by A.G. Gubins, 1997, p.733-740. 1997

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

GASTAL, M.C., LAFON, J.M., FONSECA, F.J., MAGRO, F.U.S., REMUS, M.V.D., SOMMER, C.A. **Reinterpretação do Complexo Intrusivo Lavras do Sul, RS, de acordo com os sistemas Vulcano-plutônicos de subsidência. Parte 1: Geologia, Geofísica e Geocronologia (207pb/206pb/238u).** *Revista Brasileira de Geologia*, 36 (01): p 99-113. Outubro de 2006.

HARTMANN, L.A. **Deepest Exposed Crust of Brazil-geochemistry of paleoproterozoic Depleted Santa Maria Chico granulites.** *Gond. Res.*, 1:331-341. 1998.

HARTMANN, L. A.; CHEMALE Jr., F. & PHILIPP, R.P. 50 anos de Geologia. Capitulo 2:**Evolução Geotectônica do Rio Grande do Sul no Pré-Cambriano**. 2007

HANSEN, D.A. **Geological applications manual for portable gamma-ray spectrometers**, Exploranium, Toronto, 87p. 1975

IAEA. **Airborne gamma ray spectrometer surveying**. Technical Reports Series nº 323. Viena: Intern. Atomic Energy Agency. 1991.

IAEA. **Guidelines for radioelement mapping using gamma ray spectrometry data**. Viena: Intern. Atomic Energy Agency. 179 p. 2003.

LOKE MH. Electrical imaging surveys for environmental and engineering studies. A practical guide to 2-D and 3-D surveys. Notes, 57 pp. 1999.

MOXHAM, R.M. **Natural radioactivity in Washington County**, Maryland. 1963.

MINTY, B. R. S. **The fundamentals of airborne gammaray spectrometry**. *AGSO Journal of Australian Geology and Geophysics* v. 17, n. 2, p. 39-50, 1997.

MINTY, B. R. S.; LUYENDY, A. P. J.; BRODIE, R. C. **Calibration and data processing for airborne gamma-ray spectrometry**. *AGSO Journal of Australian Geology & Geophysics*, v. 17, n. 2, p. 51-62, 1997.

MILLIGAN PR & GUNN PJ. **Enhancement and presentation of airborne geophysical data**. *AGSO Journal of Australian Geology & Geophysics*, 17(2): 63-75. 1997

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

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

ORELLANA, E. 1972. **Prospeccion Geoelectrica em corriente continua**, Madrid.

OSTROVSKIY, E. Ya. **Antagonism of radioactive elements in wallrock alteration fields and its use in aerogamma spectrometric prospecting.** *International Geological Review*, v. 17, p. 461-468, 1975.

PIRES, A. C. B. **Identificação geofísica de áreas de alteração hidrotermal, Crixás-Guarinos, Goiás.** *Revista Brasileira de Geociências* 25, 61-68, 1995.

RUDNICK, R.; GAO, S. **Composition of the continental crust.** In: HOLLAND H. D.; TUREKIAN, K. K. (Ed.): *Treatise on Geochemistry*. Amsterdam: Elsevier, p.1-64. 2004.
RIBEIRO, V.B., MANTOVANI, M.S.M., LOURO V.H.A. **Aerogamaespectrometria e suas aplicações no mapeamento geológico.** *Terræ Didatica*, 10(1):29-51. <<http://www.ige.unicamp.br/terraedidatica/>>.2014

STRIEDER, A. J., FERREIRA J. F.J.F, BUFFON F.S.A FORLIN M., PALMA P.S **Geophysical Signatures of Lode Au-Quartz vein type deposits related to Lavras do Sul intrusive Complex (RS, Brazil)** Labor. Modelagem Geológica, MODELAGE-UFRGS, Porto Alegre – RS – Brazil (2) Laboratório de Pesquisas em Geofísica Aplicada, LPGA-UFPR, Curitiba – PR – Brazil 2001

TELFORD, W.M., Geldart, L.P. and Sheriff, R.E. **Applied geophysics**, 2nd edition, Cambridge University Press, Cambridge, 792p. 1990

WILFORD, J.R.; BJERWIRTH, P.N.; Craig, M.A.. **Application of airborne gamma-ray spectrometry in soil/regolith mapping and applied geomorphology**. *Journal of Australian Geology & Geophysics*, 17(2): 201-216. 1997