

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA

LUCAS QUAIATTI VIEIRA

**APLICAÇÃO DE SENSORIAMENTO REMOTO E GEOCONDUTIVÍMETRO EM-
34 PARA PROSPECÇÃO DE OURO NAS IMEDIAÇÕES DA MINA DA
BOSSOROCA, VILA NOVA DO SUL, RS.**

Caçapava do Sul
2015

LUCAS QUAIATTI VIEIRA

**APLICAÇÃO DE SENSORIAMENTO REMOTO E GEOCONDUTIVÍMETRO EM-
34 PARA PROSPECÇÃO DE OURO NAS IMEDIAÇÕES DA MINA DE
BOSSOROCA, VILA NOVA 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 Geociências.

Orientador: Prof. Dr. Marco Antonio Fontoura
Hansen

Co-orientador: Prof. Dr. José Pedro Rebés
Lima

Caçapava do Sul
2015

LUCAS QUAIATTI VIEIRA

**APLICAÇÃO DE SENSORIAMENTO REMOTO E GEOCONDUTIVÍMETRO EM-
34 PARA PROSPECÇÃO DE OURO NAS IMEDIAÇÕES DA MINA DE
BOSSOROCA, VILA NOVA 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 Geociências.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em: 01 de dezembro de 2015.

Banca examinadora:

Prof. Dr. Marco Antonio Fontoura Hansen
Orientador
UNIPAMPA

Prof. Msc. Luiz Delfino Teixeira Albarnaz
UNIPAMPA

Prof. Msc. Rafael Lima Dessart
UNIPAMPA

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer primeiramente a toda a minha família e também ao meu pai, minha mãe e meu irmão que sempre me deram todo o suporte e apoio em todas as decisões e desafios da minha vida, tenho muito orgulho dessa família unida, que saudade de vocês !!.

Agradeço também aos meus amigos da graduação, que sabem as dificuldades que passamos durante todo curso, muito sofrimento e noites sem dormir... Mas a recompensa no final vale a pena!

Também aos amigos de longa data que fazem parte da minha vida, que me ajudaram de várias maneiras, e nesses anos de faculdade a saudade só aumentou, um grande abraço!

Também agradeço muito a minha grande amiga e namorada que esteve presente em todos os momentos bons e ruins da faculdade, que me ajudou, incentivou e me inspirou a sempre batalhar pelos sonhos que temos, serei eternamente grato de todo coração.

E por último quero agradecer aos professores que ajudaram muito na minha formação, não apenas lecionando as disciplinas, mas também dando suporte e conselhos em todos os assuntos que envolvem a graduação, principalmente meu orientador e co-orientador.

E da mesma maneira que um fóssil se preserva durante milhares anos em uma rocha, a lembrança de todos vocês ficara preservada na minha memória.

RESUMO

Este estudo se situa nas imediações da mina de ouro chamada Bossoroça, em Vila Nova do Sul. Nesta área a geologia é constituída pelas sequências Campestre e Arroio Lajeado na unidade geomorfológica do Escudo Sul-rio-grandense, região sudoeste do estado do Rio Grande do Sul, entre o município de Caçapava do Sul e Vila Nova do Sul. O objetivo é adquirir informações relevantes em relação a geologia, estruturas geológicas e geofísica, para enriquecer o conhecimento geológico sobre a área em questão e contribuir para a aquisição de mais informações, para a melhor compreensão do contexto geológico da área em subsuperfície e assim evoluir o estudo de prospecção de ouro. A metodologia envolve a utilização de sensoriamento remoto com imagens orbitais de satélite e dados adquiridos em campo, com a finalidade de gerar mapas e modelos na escala de detalhe da área de prospecção de ouro. Concomitantemente foram realizados estudos geofísicos com o método eletromagnético induzido (EM), que resultaram na diferenciação das litologias deste complexo e o direcionamento da prospecção para as rochas de caráter resistivo que possuem os aspectos do ambiente de formação relacionada a gênese do ouro nos veios de quartzo.

Palavras-Chave: sensoriamento remoto, geofísica, prospecção mineral.

ABSTRACT

This study is located in a gold mining area. This location is in the Sequences Campestre and Arroio Lajeado at the geomorphologic unit Escudo Sul-rio-grandense in the southwest region of the state of Rio Grande do Sul, between the cities of Caçapava do Sul and Vila Nova do Sul. It aims to acquire relevant information regarding geology, prospecting, topographic and structural conditions to enrich the geological knowledge of the area and therefor contribute to the acquisition of more information, to better understand the geological context of the area and so develop the study of gold mining. The methodology involves the use of remote sensing with satellite imagery and data acquired in the field, later to be processed generating maps and models in the detail scale of the gold mining area. Concomitantly have been made a geophysical study of the induced electromagnetic method (EM), which results in the differentiation of the lithologies in this complex and the direction of prospecting for rocks with resistive character that have the aspects related to the characteristics of a ambient for the genesis of gold in quartz veins.

Keywords: remote sensing, geophysics, mineral prospection.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Mapas de situação e localização da área de estudo do trabalho.....	14
Figura 2 – Exemplo esquemático da aplicação do método geofísico eletromagnético indutivo	16
Figura 3 – Unidades geomorfológicas do Rio Grande do Sul, com a área de estudo destacada no Escudo Sul-Rio-Grandense	19
Figura 4 – Este mapa representa a compartimentação geológica do ESRG, expondo a localização dos quatro Domínios, também estão localizadas no mapa as discontinuidades geofísicas, as designações regionais e ainda, em vermelho, as rodovias da região.....	21
Figura 5 – Modelo proposto segundo Borba, (2006) para a evolução do Domínio ou Cinturão Dom Feliciano	22
Figura 6 – Localização e as unidades geológicas que compõem a Bacia do Camaquã. CS = Caçapava do Sul; LS = Lavras do Sul; SBV Santana da Boa Vista.....	24
Figura 7 – Domínios Geofísicos divididos por Costa (1995) no Escudo-Sul-Rio-Grandens.	26
Figura 8 – Divisão geotectônica do ESRG com destaque para o Terreno São Gabriel (2) e as litologias que o compõem, na porção noroeste do Cinturão Dom Feliciano.....	28
Figura 9 – Mapa geológico da região do Complexo Bossoroca com a localização das três mineralizações auríferas segundo Pinto (1997). 1 – Bossoroca; 2 – Guardinha; 3 – Cerrito do Ouro	30
Figura 10 – Mapa geológico do depósito de ouro na Mina da Bossoroca, representando além das litologias as estruturas e os furos de sondagem analisados no estudo.	31
Figura 11 – Fotografia do equipamento EM-34XL geocondutímetro da Geonics. A) bobina transmissora (branca), B) bobina receptora (laranja), C) receptor e D) transmissor.....	32
Figura 12 - Metodologia da aplicação de contraste em imagens de satélite.....	35
Figura 13 – Comparação das imagens com composição RGB – 453, a) sem contraste e b) com contraste linear aplicado nas cores azul, vermelho e verde.	36
Figura 14 – Foto da amostra de veio de quartzo leitoso.....	37
Figura 15 – Foto do afloramento lajeado de quartzo boudinado no sericita xisto.....	38
Figura 16 – Foto de amostra de tufo a cristal.	39
Figura 17 – Foto de afloramento tipo lajeado de sericita talco xisto.....	40
Figura 18 – Foto de amostra de chert.	40

Figura 19 – Foto da aplicação do método eletromagnético com o equipamento EM-34XL geocondutímetro da Geonics utilizado em campo.....	41
Figura 20 – Mapa de localização das linhas dos perfis geofísicos realizados na área de estudo.	42
Figura 21 – Imagem de satélite com composição espectral RGB – 543, com a localização da mina da Bossoroca e as linhas de perfil geofísico.	44
Figura 22 – Mapa dos lineamentos extraídos da imagem de satélite utilizada.	45
Figura 23 – Diagrama de roseta da frequência absoluta dos 257 lineamentos de toda a imagem de satélite.....	46
Figura 24 – Mapa dos 28 lineamentos da área da mina da Bossoroca e a localização das linhas de perfil geofísico na área de estudo.	47
Figura 25 – Diagrama de roseta da frequência absoluta dos 28 lineamentos da área de estudo da imagem de satélite.....	48
Figura 26 – Localização das linhas de perfil geofísico dentro do mapa geológico do Rio Grande do Sul de Porcher; Lopes, (2000b).	48
Figura 27 – Gráfico do caminhamento eletromagnético da linha 1 na profundidade teórica de 15 metros para o dipolo horizontal (DH) e profundidade de 30 metros para o dipolo vertical (DV).....	49
Figura 28 – Gráfico do caminhamento eletromagnético da linha 2 na profundidade teórica de 15 metros para o dipolo horizontal (DH) e profundidade de 30 metros para o dipolo vertical (DV).....	50
Figura 29 – Gráfico do caminhamento eletromagnético da linha 3 na profundidade teórica de 15 metros para o dipolo horizontal (DH) e profundidade de 30 metros para o dipolo vertical (DV).....	51
Figura 30 – Gráfico do caminhamento eletromagnético da linha 3 na profundidade teórica de 30 metros para o dipolo horizontal (DH) e profundidade de 60 metros para o dipolo vertical (DV).....	51
Figura 31 – Gráfico do caminhamento eletromagnético da linha 4 na profundidade teórica de 15 metros para o dipolo horizontal (DH) e profundidade de 30 metros para o dipolo vertical (DV).....	52
Figura 32 – Gráfico do caminhamento eletromagnético da linha 4 na profundidade teórica de 30 metros para o dipolo horizontal (DH) e profundidade de 60 metros para o dipolo vertical (DV).....	53

Figura 33 – Gráfico do caminhamento eletromagnético da linha 5 na profundidade teórica de 15 metros para o dipolo horizontal (DH) e profundidade de 30 metros para o dipolo vertical (DV).....	53
Figura 34 – Gráfico do caminhamento eletromagnético da linha 5 na profundidade teórica de 30 metros para o dipolo horizontal (DH) e profundidade de 60 metros para o dipolo vertical (DV)	54
Figura 35 - Perfis geofísicos interpolados de distância e profundidade teórica das cinco linhas realizadas no campo.....	55
Figura 36 - Correlação dos perfis geofísicos com as falhas encontradas.	56
Figura 37 – Mapas da condutividade elétrica em diferentes profundidades.	58

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 OBJETIVOS	12
2.1 Geral.....	12
2.2 Específicos	12
3 JUSTIFICATIVA	13
4 ÁREA DE ESTUDO.....	14
5. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
5.1 Bibliografia local	16
6. GEOLOGIA REGIONAL	19
6.1 Escudo Sul-Rio-Grandense.....	20
6.2 Geofísica Regional.....	24
7. GEOLOGIA LOCAL.....	27
7.1 Mineralizações auríferas no Complexo Bossoroca.....	29
8. MATERIAIS E MÉTODOS	32
8.1 Análise e processamento digital de imagens	33
8.2 Atividades de campo.....	37
8.3 Processamento dos dados de campo	43
9. RESULTADOS	44
9.1 Sensoriamento Remoto	44
9.2 Perfis Geofísicos	49
10. CONCLUSÕES.....	59
11. REFERÊNCIAS	61
12. ANEXOS	67
12.1 Planilha dos dados do caminhamento eletromagnético	67
12.2 Perfil de elevação das cinco linhas de perfil geofísico	75

1 INTRODUÇÃO

O ouro é um elemento químico descoberto na pré-história, seu nome na tabela periódica é derivado do latim *aurum* (Au), cujo significado é brilhante. Em relação aos parâmetros da cristalografia deste mineral, de acordo com UNESP (2001), seu sistema é cúbico, não apresenta clivagem, a escala de dureza de Mohs está entre 2,5 e 3,0. Sendo sua ocorrência de duas formas, como ouro nativo ou disseminado com outros minerais.

O tema deste estudo envolve a exploração de informações sobre mineralizações de ouro na região da Mina da Bossoroca, no município de Vila Nova do Sul, Rio Grande do Sul. As informações foram adquiridas através do uso de sensoriamento remoto, atividades de campo e a aplicação de métodos geofísicos, para contribuir com informações relevantes para melhor compreensão geológica e geofísica em superfície e subsuperfície dos locais mais propícios para ocorrência deste minério. Outro aspecto importante a ser investigado que, de acordo com a bibliografia estudada, é o comportamento estrutural e geotectônico da região que apresenta forte relação com a mineralização do ouro.

A região da área de estudo há muito tempo já é conhecida por seu potencial em minério de ouro, de acordo com Garcia e Haag (2012) desde 1880 já existem relatos de extração rudimentar de ouro por pesquisadores da Bélgica e Inglaterra, que encontraram grandes quantidades de ouro na época.

Através de imagens de satélite, utilizando os conceitos do sensoriamento remoto, foi realizado a análise em escala maior dos aspectos geológicos da área, para contribuir e facilitar a realização deste estudo, através de *software* de processamento de imagens. Posteriormente foi realizado os estudos em escala de detalhe, com as atividades de campo de geologia e geofísica.

Os métodos geofísicos são amplamente utilizados na mineração na etapa de prospecção mineral. Em relação às questões econômicas, as aplicações destes métodos apresentam custos menores do que métodos diretos de investigação geológica, como amostras de rocha pela realização das sondagens com testemunhos. Desta forma, a obtenção de informações indiretamente da subsuperfície com a geofísica, ajuda a definir possíveis áreas mineralizadas com maior confiabilidade antes de realizar os procedimentos de prospecção direto que geram custos maiores, assim evitando gastos desnecessários.

2 OBJETIVOS

2.1 Geral

- Delimitar e identificar estruturas com potencial mineralização de ouro com a utilização de métodos geológicos e geofísicos diretos e indiretos.

2.2 Específicos

- Aplicar a técnica de sensoriamento remoto utilizando os sensores do satélite LandSat 7 ETM para obtenção das assinaturas espectrais de fraturas e falhas que podem estar associadas às mineralizações auríferas;

- Utilizar o método geofísico Eletromagnético (EM) com base na análise estrutural utilizando o sensoriamento remoto para determinar as áreas com potencial de anomalias e mineralizações de ouro; e

- Integrar os dados de sensoriamento remoto, geologia e geofísica para estabelecimento de um modelo na área de estudo.

3 JUSTIFICATIVA

O ouro apresenta uma relevância enorme para a humanidade, visto até hoje como símbolo de riqueza e ostentação, já foi utilizado como padrão monetário na economia global. Ele é o metal mais cobiçado por todo o planeta devido a suas características únicas, como sua alta condutibilidade elétrica e térmica, por ser o metal mais maleável e dúctil que existe, e por ser quimicamente estável as condições ambientes. Ele está presente em inúmeros produtos comercializados atualmente, como a fabricação de jóias preciosas e ligas metálicas.

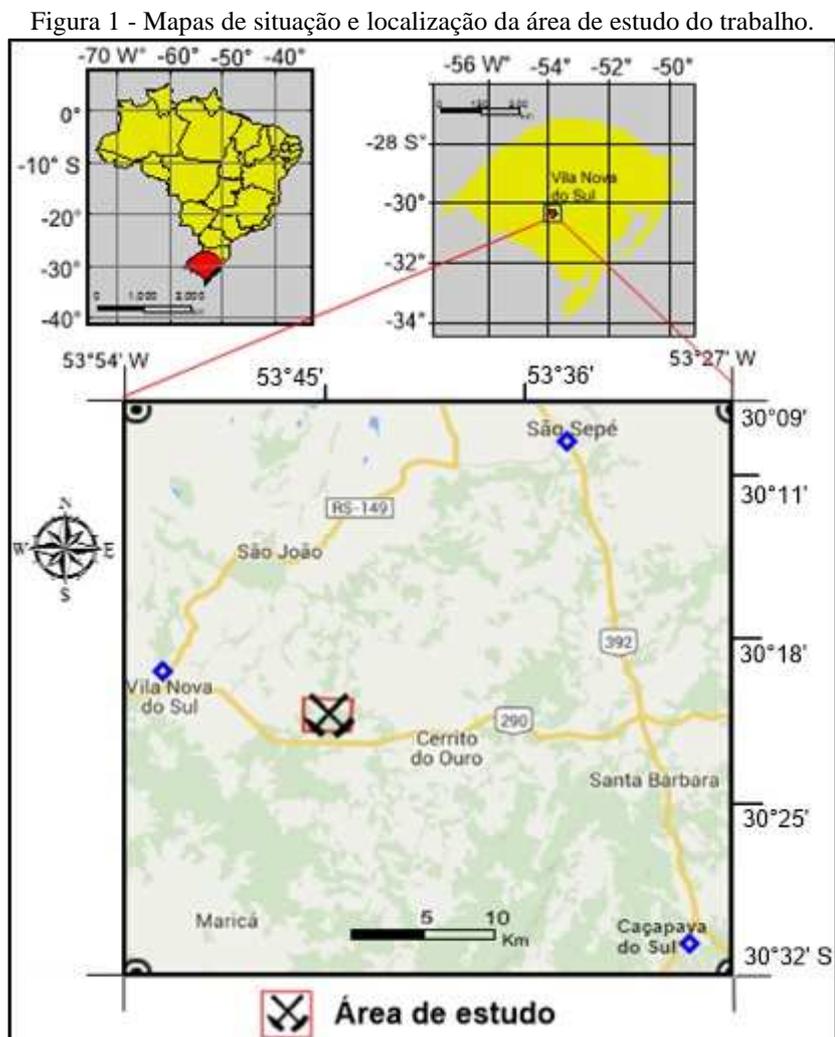
A realização deste estudo dentro da área de uma mineradora de ouro tem como objetivo adquirir e agregar novas informações, que assim, proporcionarão um avanço na compreensão dos jazimentos minerais. Desta forma proporcionar elementos para aumentar a produção e vida útil da mina, possibilitando o conhecimento e localização de maiores quantidades do minério. Assim este estudo é de grande importância para compreender a gênese das mineralizações envolvendo a relação da geologia associada as mineralizações auríferas.

A técnica de sensoriamento remoto com imagens de satélite fornecerá informações relevantes sobre a área de estudo e para a melhor locação da região, onde será aplicado o método geofísico com o geocondutímetro de terreno.

O método geofísico eletromagnético no domínio da frequência – *GCM*, foi escolhido para este estudo para possibilitar a separação de litologias de características condutivas e resistivas, devido a diferença de condutibilidade elétrica dos materiais em contraste com o metal em seu entorno. Possibilitando resultados satisfatórios, tanto para a identificação do minério como para identificação das estruturas geológicas, como lineamentos, falhas e fraturas.

4 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo se encontra na região conhecida, geologicamente, como Complexo Bossoroca, que se situa dentro dos limites do município de São Sepé e Vila Nova do Sul, região central do estado do Rio Grande do Sul, região Sul do Brasil. O acesso a área de estudo, partindo de Caçapava do Sul pela BR-392, segue por 16,5 km até o trevo que liga com a BR-290, por onde se vai para oeste por 26,1 km até uma estrada secundária não asfaltada a direita da rodovia. Nesta estrada secundária segue por 3,6 km até chegar à área da Mina da Bossoroca que se situa no município de Vila Nova do Sul, entre os centros urbanos de Caçapava do Sul e Vila Nova do Sul (figura 1) abaixo.



Fonte: Adaptado do mapa extraído do Google Maps.

5. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A revisão de literatura ou bibliográfica é uma etapa importante de qualquer trabalho científico, visando compreender melhor os conceitos dos estudos que serão utilizados nele, também os estudos realizados anteriormente na região e a evolução deles para aprimorar o conhecimento desta temática.

Sensoriamento Remoto

A palavra sensoriamento remoto implica na obtenção de informações a distância. Este conceito é utilizado para estudar eventos, fenômenos e processos que ocorrem na superfície terrestre e até de outros planetas. As ondas eletromagnéticas que são emitidas pelos objetos ou refletidas por eles podem ser obtidas por sensores, onde posteriormente usaram esta energia gerada neste processo para obter informações (NOVO, 2008).

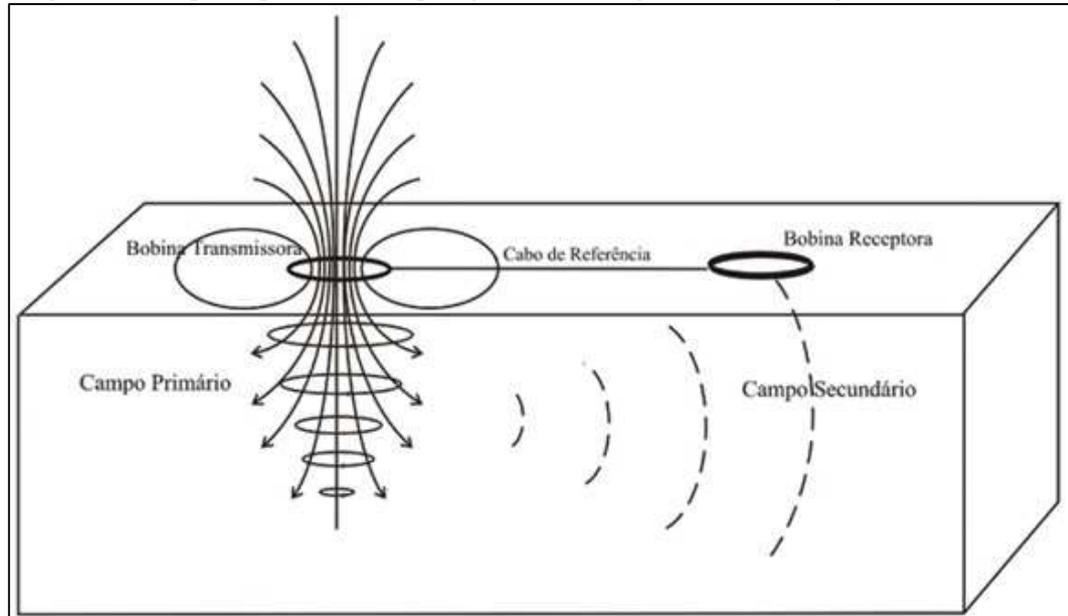
Desta forma, atualmente com a ajuda dos satélites é possível obter informações a distância sobre qualquer local da superfície do nosso planeta. Imagens de satélite vêm sendo usadas para mapeamento geológico há muito tempo, obtendo informações, sobre o relevo, diferenças nas litologias, hidrologia, estruturas, vegetação e outros. Assim seu uso na prospecção mineral é de grande importância. Com as imagens de satélite é possível, com a ajuda de *software*, aplicar filtros nas imagens alterando as bandas das cores criando falsas cores, detalhar e destacar a informação desejada para o estudo, como por exemplo, separar uma grama natural de uma sintética, que apesar de apresentarem uma coloração semelhante, com o sensoriamento remoto se pode diferenciá-las através de comprimentos de onda diferenciado.

Geofísica

No ramo da mineração são aplicados inúmeros métodos geofísicos, dentre eles, o eletromagnético é de suma importância para a prospecção mineral de metais, devido à alta condutibilidade dos metais que gera um contraste evidente na leitura dos dados, e já vem sendo utilizado no Brasil há décadas.

Este método é baseado no conceito físico da eletricidade e do magnetismo, que resultam em um campo eletromagnético de baixa frequência, quando aplicado uma carga elétrica nas rochas (figura 2). Para a aplicação deste método são necessários dois sistemas, um transmissor e um receptor. Basicamente a corrente elétrica é transmitida para subsuperfície e após as interações com o subsolo, que geram um campo magnético nos materiais, um receptor faz a leitura do sinal captado pelo mesmo. As características de condutividade e resistividade elétrica dos materiais, pelo qual a corrente elétrica passa, também é medida pelos equipamentos (ROBERTO, 2000).

Figura 2: Exemplo esquemático da aplicação do método geofísico eletromagnético indutivo.



Fonte: (MOREIRA; DOURADO, 2005).

5.1 Bibliografia local

Em relação a área de estudo do Complexo Bossoroca, devido a presença de mineralizações auríferas, esta é a temática mais estudada nesta região. Há muito tempo foi e continua sendo alvo de inúmeros estudos geológicos, sendo estes voltados para fins econômicos e acadêmicos. Como se trata de uma área, onde ocorre prospecção de ouro, já existem vários estudos geofísicos realizados, porém a maioria deles foi feita por aeronaves, como por exemplo, gamaespectrometria e magnetometria. Os estudos geofísicos realizados diretamente dentro da área de mineração, não são muito conhecidos por se tratar de uma empresa de ouro, que muitas vezes não disponibilizam, ou divulgam os estudos.

Em uma visão mais regional, Santos (2014), aplicando o método geofísico de aeromagnetismo, conseguiu destacar dentro da Bacia do Camaquã áreas de prospecção mineral de minerais metálicos, neste caso cobre e ouro. A partir de um *grid*, com células de 100 metros de resolução, com dados de magnetometria analisando os resultados do campo magnético total obtido, o autor identificou elevados valores na região do Granito Caçapava do Sul, onde ocorrem mineralizações de cobre, no Granito Lavras do Sul e no Complexo Bossoroca, onde em ambos se encontram com mineralizações de ouro. Ainda sobre os dados

de magnetometria, foi gerado um mapa da amplitude do sinal analítico do campo magnético total, e nele as regiões que compreendem complexos metamórficos ficaram destacadas com altos valores de nT/m.

Em seu estudo é possível observar em destaque o contorno do Complexo Metamórfico Vacacaí no entorno do Granito Caçapava do Sul, e o mesmo se repete nas litologias do Complexo Bossoroca e no Granito Lavras do Sul. Assim, Santos (2014) destaca as áreas de complexos metamórficos, que conseqüentemente evidenciam a presença de mineralizações de minerais metálicos, que apresentam campos magnéticos totais anômalos em relação as demais da área estudada.

Segundo Costa *et al.* (1995b), embasado nos dados geofísicos aeromagnéticos do Escudo Sul-Rio-Grandense, ele pode ser dividido em três domínios Ocidental, Central e Oriental estes diferem entre si de acordo com suas características de estruturação, orientação preferencial das mesmas e nas associações tectonogeológicas em relação ao conteúdo de minerais ferromagnesianos que apresentam os domínios.

A região de estudo do complexo Bossoroca está inserida no domínio Ocidental, na região oeste do Estado, que apresentam grandes e alongadas anomalias na direção NE-SW e a estrutura que separa este domínio do domínio central é o lineamento que separa os granitos e xistos da região de Caçapava do Sul, a oeste, e as sequências vulcanossedimentares da Bacia do Camaquã a leste (PORCHER; LOPES, 2000b).

Segundo Mattos; Mexias; Formoso (2004), a mineralização aurífera está diretamente relacionada com a formação do Complexo Granítico São Sepé. Na região sudoeste do complexo se pode observar a exposição de rochas que indicam o contato do granito com as rochas encaixantes. A intrusão deste batólito granítico gerou um hidrotermalismo em seu contorno, no contato com rochas encaixantes, proporcionando a formação de veios de quartzo mineralizados. Esses autores explicam “A alteração hidrotermal associado ao Granito Periférico (...) gerou uma intensa silicificação, a qual se manifesta principalmente em veios compostos por quartzo, mica branca e pirita.”

Na região da mineração aurífera do complexo de Bossoroca, de acordo com os resultados obtidos por Pinto *et al.* (2013), conseqüentes do mapeamento da área de mineração, coleta e descrição de amostras de sondagem. A mineralização de ouro ocorre em veios de quartzo e “stock works”, com os minerais pirita, calcopirita e galena subordinados, sendo estes veios formados em rochas vulcanoclásticas. A ganga é principalmente constituída por carbonato, clorita, sericita e turmalina. Baseado na análise dos fluidos da mineralização os autores concluem que a deposição do ouro está associada a um mecanismo de ebulição, onde o ouro

se encontra na fase aquosa, assim a mineralização ocorre de duas maneiras, predominantemente e com maior teor, em veios de quartzo e secundariamente nas rochas encaixantes com menor teor.

Pinto *et al.* (2013), também concluem que a litologia principal da Sequência Campestre é constituída por tufos e elabora um modelo para a proveniência e gênese dos fluidos que são canalizados pelas estruturas regionais como a falha da Bossoroca relacionada a uma zona de cisalhamento transcorrente. Estes fluidos ocorrem devido a desvolatilização inicial da parte superior ou inferior da crosta durante o metamorfismo. Assim como Koppe (1990) concluiu que os eventos de vulcanismo e metamorfismo que ocorreram na área de estudo podem revelar informações relevantes para a prospecção de ouro.

A complexidade do hidrotermalismo associado às mineralizações auríferas da região, também são alvos de estudos geológicos. Soares *et al.* (2004), utilizaram as anomalias de potássio e o parâmetro F para compreender a formação deste hidrotermalismo associado ao ouro e encontrar outras possíveis mineralizações semelhantes. O parâmetro F, de acordo com Ostrosvskiy (1973) possui um alto poder de migração do potássio em relação ao tório e urânio e nas zonas hidrotermais ocorre a acumulação do potássio.

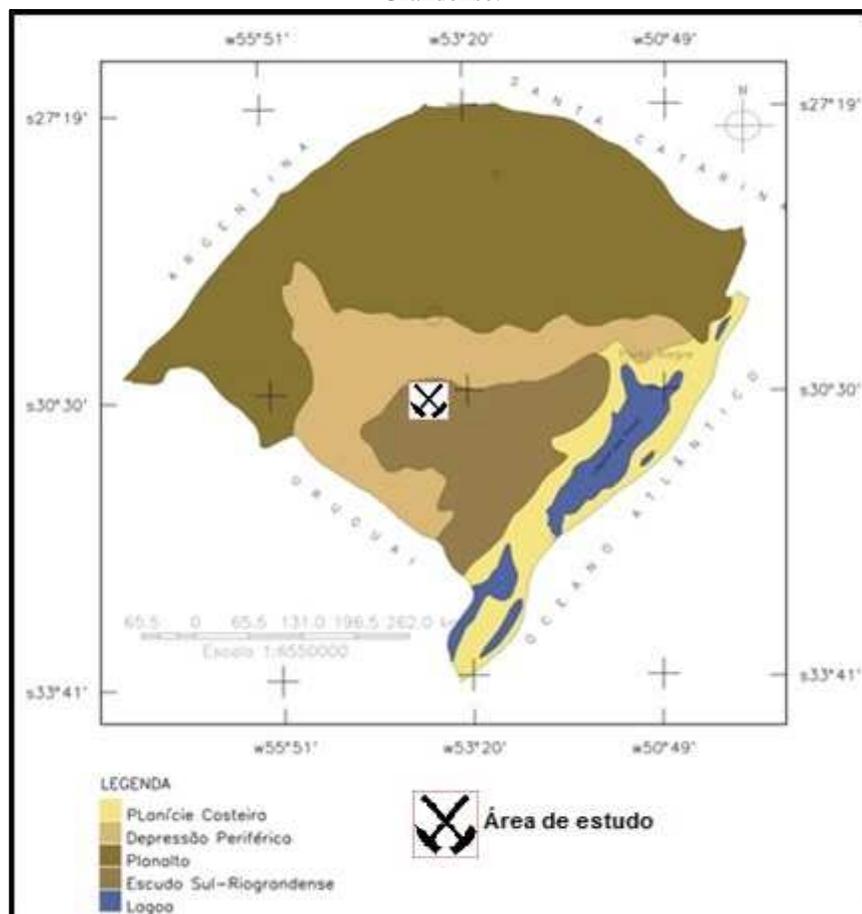
Partindo deste conhecimento, o estudo procura os elementos químicos móveis, que são alterados pelo hidrotermalismo, um destes elementos é o potássio, que acaba ficando em uma concentração anômala. A partir do Projeto Camaquã, este autor utilizou uma malha mais densa, com espaçamento menor e utilizou um algoritmo com o interpolador mínima curvatura para obter os dados. Este algoritmo, resumidamente, relaciona o potássio e o tório por meio de uma função linear. Com a análise destes dados foi possível encontrar uma enorme variabilidade de litologias no Complexo Bossoroca, que inclui a Sequência Campestre e Arroio Lajeado, (KOPPE, 1990), a comparação entre potássio e tório resultou em uma dispersão muito grande dos dados e uma relação não linear, assim este estudo se mostrou eficiente destacando as áreas, onde contem ouro com uma alta concentração de potássio.

6. GEOLOGIA REGIONAL

Este tópic apresenta uma síntese geológica em escala regional das principais características geológicas e geofísicas pertinentes e associadas com a área de estudo deste trabalho, como as litologias, eventos geológicos e associações responsáveis por sua gênese e evolução durante o tempo geológico para melhor compreensão de todos os aspectos genéticos envolvidos. Para a aplicação de qualquer estudo relacionado a geologia, como sensoriamento remoto e método geofísico, é crucial a compreensão do ambiente geológico em que se está trabalhando.

O estado do Rio Grande do Sul é dividido em quatro unidades geomorfológicas, da mais antiga a mais recente se tem o Escudo Sul-rio-grandense, a Depressão Central, o Planalto Meridional e a Planície Costeira (figura 3). A região de estudo se localiza dentro da unidade do Escudo Sul-rio-grandense, que concentra diversas áreas de mineração nas regiões de Caçapava do Sul, Lavras do Sul, Pelotas, Santana da Boa Vista, Vila Nova do Sul e também São Sepé.

Figura 3 - Unidades geomorfológicas do Rio Grande do Sul, com a área de estudo destacada no Escudo Sul-Rio-Grandense.



Fonte: Alberti *et al.* (2015) *apud* Carraro *et al.*, (1974).

6.1 Escudo Sul-Rio-Grandense

Esta unidade geomorfológica consiste em associações de rochas metamórficas, ígneas e sedimentares, de variadas idades em relação à origem e evolução. Sua distribuição se apresenta com lineamentos regionais a NE-SW e NW-SE, que segmentam o escudo Sul Rio-Grandense em cinturões orogênicos, complexos arranjos tectono-estratigráficos, que foram fortemente afetados pela atividade tectônica do final do Ciclo Brasileiro 600 Ma (PORCHER; LOPES, 2000a). Sua gênese está ligada aos ciclos Transamazônico e Brasileiro, durante o Neoproterozóico (900 Ma – 500 Ma) ocorreu uma intensa acreção e retrabalhamento crustal, (BORBA, 2006), este último evento é de grande importância para este trabalho, pois a área de estudo do Complexo Bossoroca se encontra nesta região e os depósitos de ouro estão diretamente relacionados a estes eventos.

Segundo Borba (2006), o Escudo Sul-Rio-Grandense (ESRG) se divide em quatro domínios denominados de Taquarembó, São Gabriel, Santana da Boa Vista e Pelotas, definidos a partir do contexto estrutural, petrotectônico e isotópicos distintos e limitados por expressivas estruturas tectônicas em subsuperfícies (figura 4).

O Domínio Taquarembó, é interpretado como uma porção do cráton Rio de La Plata, sendo o Complexo Granulítico Santa Maria Chico a principal unidade deste Domínio, ele formado por granulitos básicos e ácidos, piroxenitos, anortositos e lherzolitos (TICKYJ *et al.* 2004). Fazem parte também do Domínio Taquarembó rochas intrusivas de composição granodiorítica a monzogranítica e rochas vulcânicas e vulcanoclásticas ácidas de afinidade cálcio-alcalina a alcalina, todas de idade Neoproterozóica (HARTMANN & NARDI, 1982; CHEMALE JR., 2000).

O Domínio Santana da Boa Vista é composto por ortognaisses granodioríticos e tonalíticos que pertencem ao Complexo Encantadas (CHEMALE JR., 2000). As rochas do Complexo Porongos, formado por rochas do Neoproterozóico, recobrem os gnaisses Encantadas de forma discordante (BORBA, 2006).

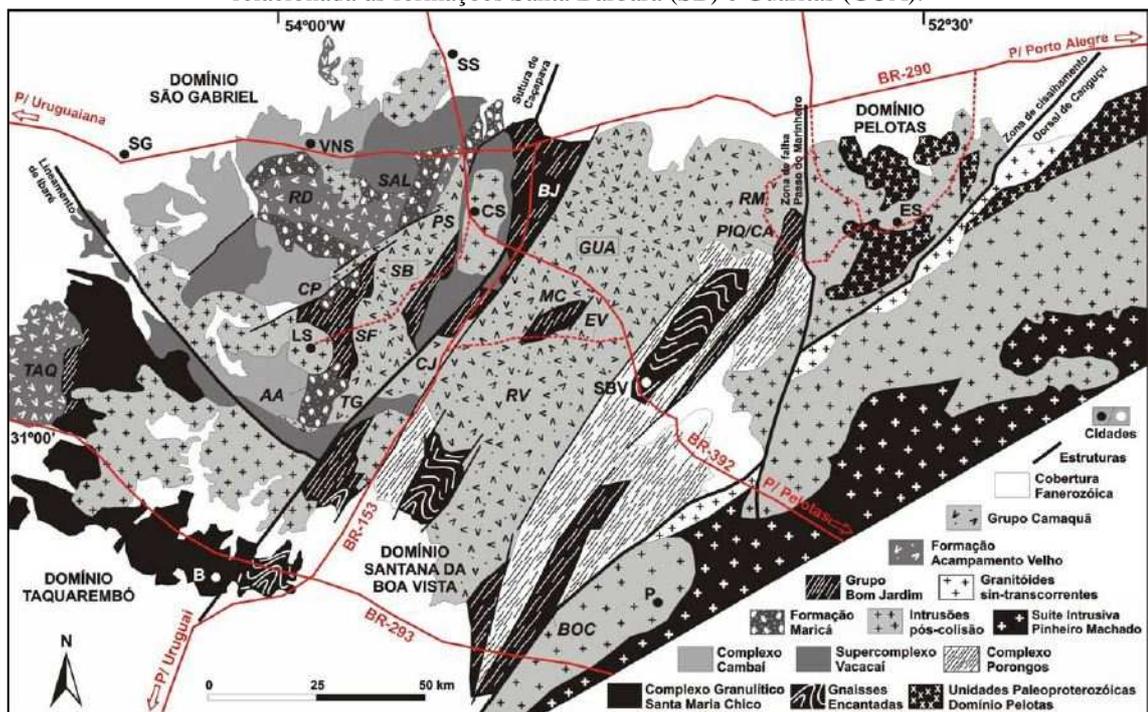
O Domínio Pelotas é recoberto a leste pelos sedimentos da Planície Costeira, composto por granitos relacionados aos estágios colisionais (FRANZ *et. al.*, 2003) e pós-colisionais (BITENCOURT & NARDI, 1993) do Ciclo Brasileiro.

Philipp *et al.* (2002) constataram que xenólitos de orto e paragnaisses, anfíbolitos, metapelitos e mármore, de idades Paleoproterozóicas, ocorrem em todas as suítes.

O Domínio São Gabriel é representado pelo Supercomplexo Vacacaí e Complexo Cambaí. Sendo o Cambaí composto por gnaisses e granitóides de composição tonalítica-

trondhjemítica-granodiorítica com intercalações de rochas metavulcânicas e metassedimentares (BORBA, 2006). A composição das rochas e sua estruturação, segundo Hartmann *et al.*, (2011) evidenciam a formação de um arco magmático de margem continental. O Supercomplexo Vacacaí é constituído por metatoleítos máficos-ultramáficos, metapelitos, anfibolitos e rochas metavulcanoclásticas (SAALMANN *et al.*, 2005). Resumidamente o Domínio São Gabriel é composto de rochas juvenis plutônicas, cálcio-alcálicas de um arco magmático e rochas metavulcânicas máficas associadas a sedimentares do Meso e Neoproterozóico, onde se encontra o Complexo Bossoroca (PEREIRA, 2011).

Figura 4 - Este mapa representa a compartimentação geológica do ESRG, expondo a localização dos quatro Domínios, também estão localizadas no mapa as discontinuidades geofísicas, as designações regionais e ainda, em vermelho, as rodovias da região. Cidades: SG - São Gabriel; B - Bagé; LS - Lavras do Sul; VNS - Vila Nova do Sul; SS - São Sepé; CS - Caçapava do Sul; SBV - Santana da Boa Vista; ES - Encruzilhada do Sul; P - Piratini. Designações regionais dos setores de afloramento da Bacia do Camaquã citados no mapa: TAQ - Platô do Taquarembó; AA - Arroio América; RD - Platô da Ramada; CP - Cerro da Pedra; TG - Passo do Tigre; SF - Santa Fé; SAL - Passo do Salsinho; PS - Pedra do Segredo; CJ - Arroio Carajá; RV - Rodeio Velho; MC - Minas do Camaquã; BJ - Bom Jardim; EV - Estrada Velha da Mina; RM - Rincão dos Mouras; PIQ/CA - Vale do Piquiri ou Cerro da Árvore; BOC - Arroio Oici; estão indicadas as áreas do Grupo Camaquã relacionada às formações Santa Bárbara (SB) e Guaritas (GUA).

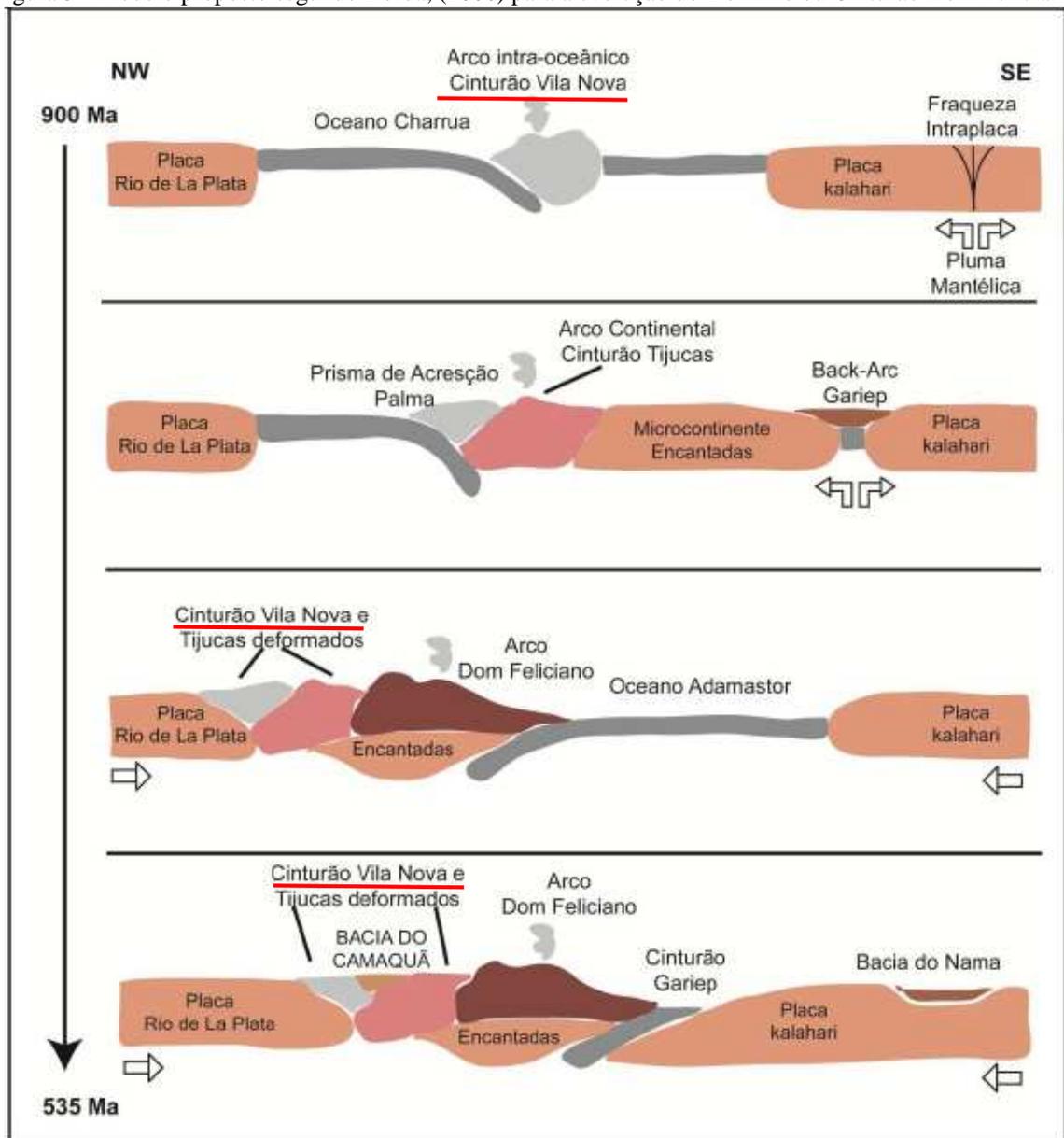


Fonte: Borba (2006).

A partir da década de 90 foram propostos vários modelos evolutivos para o ESRG. Dessa forma, o modelo de Fernandes *et. al* (1995) é baseado principalmente na geologia estrutural e em resultados de técnicas geofísicas aplicadas por Borba, (2006). Este modelo sugere uma fase de separação entre os continentes Rio de La Plata (América do Sul) e Kalahari

(sul da África) com a formação do Oceano Adamastor. Um processo de subducção sobre o Cráton Rio de La Plata teria formado um arco magmático, com o consumo da crosta oceânica do Adamastor e colisão continental (BORBA, 2006). Para este autor, o Oceano Charrua haveria se formado a partir de uma nova crosta oceânica, consumida durante a formação de um arco magmático ocidental, também com subducção para oeste. No Escudo Sul-Rio-Grandense predominam processos tectônicos transcorrentes que começaram no Neoproterozóico 650 Ma juntamente com intrusões graníticas e formação de bacias pós-colisionais, ou pós tectônicas, por exemplo a Bacia do Camaquã (BORBA, 2006 *apud* MENEGAT *et al.*, 1998), como mostra a figura 5 abaixo.

Figura 5 - Modelo proposto segundo Borba, (2006) para a evolução do Domínio ou Cinturão Dom Feliciano.



Fonte: Borba (2006).

A bacia do Camaquã está dentro do Escudo Sul-Rio-Grandense, que é uma bacia de idade neoproterozóica localizada na região centro sul sobre as rochas do Escudo Sul-Rio-Grandense do estado limitada a oeste e noroeste pelo Bloco São Gabriel, a leste e sul pelo Batólito Pelotas, como pode ser visto na figura 6 e sua localização está dividida a oeste no Domínio Geofísico Ocidental e a leste no Central, figura 7, (COSTA *et al.*, 1995).

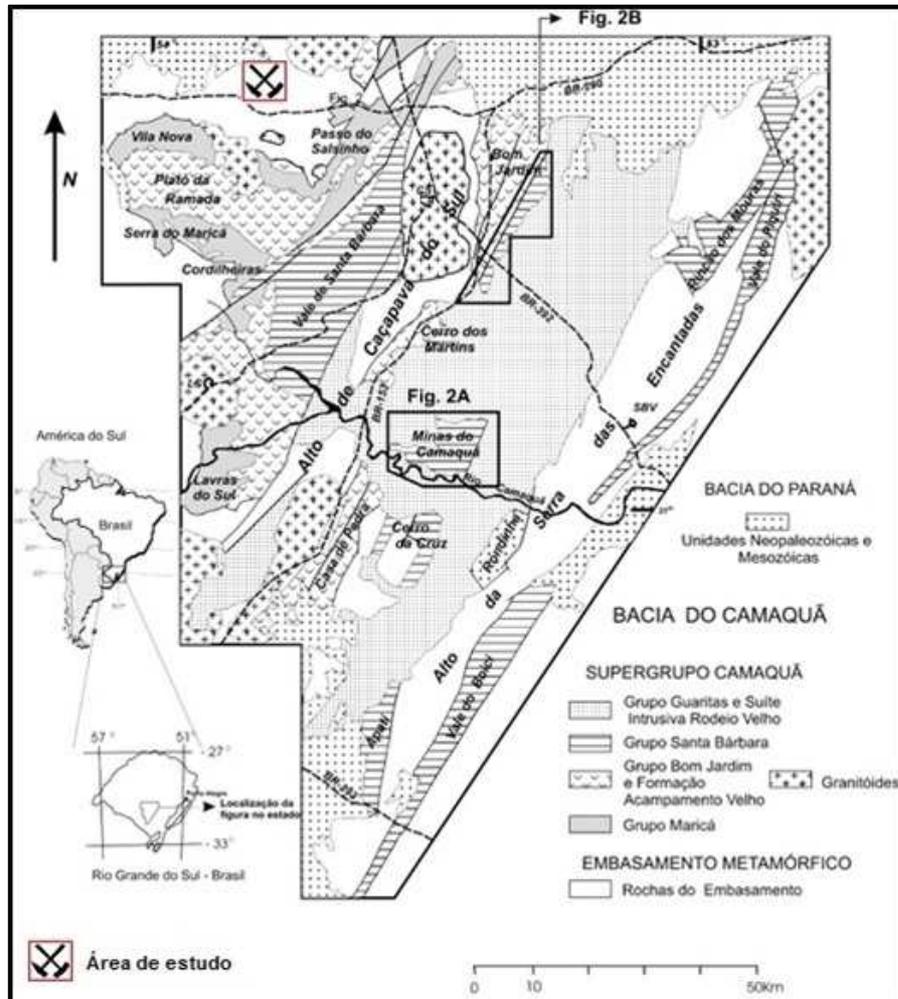
Detalhando ainda mais a Bacia do Camaquã, Fambrini, Jankian *et al.*, (2007) subdivide o Supergrupo Camaquã (FRAGOSO-CESAR *et al.*, 2003), em três sub bacias, chamadas de Ocidental, Central e Oriental com orientação preferencial NE-SW, limitadas pela região elevada de Caçapava do Sul a oeste e na Serra das Encantadas a leste. A sub bacia ocidental, que é a mais próxima da área de estudo, compõem a Formação Maricá na borda oeste, o Cerro do Bugio, Platô da Ramada, Formação Santa Bárbara e, parcialmente, o Bloco São Gabriel na região de Vila Nova do Sul e Lavras do Sul e a leste a Formação Santa Bárbara (ALMEIDA, 2001). A região da Mina da Bossoroca está localizada no embasamento metamórfico que é formada pelo arco magmático de Vila Nova (figura 6).

Em relação à geocronologia, Solani Jr. *et al.*, (2000) verificou nesta região litologias mais antigas que o Ciclo Brasileiro e litologias com datações dentro deste ciclo. A litologia pré brasileira encontrada foi a do Gabro Mata Grande, que pelo método K/Ar encontrou 1.826 ± 55 Ma. As litologias do Bloco São Gabriel apresentam datação entre 880 Ma e 650 Ma (BABINSKI *et al.*, 1996).

Segundo Pinto, (1997) os estudos geocronológicos de U/Pb pelo método SHRIMP (*Sensitive High-Resolution Ion MicroProbe*), Sm/Nd e Pb/Pb evidenciam que durante o Ciclo Brasileiro a evolução do Bloco São Gabriel está associada a uma zona de subducção, onde a Sequência Campestre representa um arco vulcânico, a Sequência Arroio Lajeado é parte de uma crosta oceânica e os gnaisses do Grupo Cambaí em Vila Nova do Sul estão relacionados com um sistema de arco de ilhas, de 735 Ma a 705 Ma (BABINSKI *et al.*, 1996), com a formação de granitos pós-tectônicos na região, como o granito São Sepé, Cerro da Cria e Ramada. Segundo os estudos geocronológicos de U/Pb e também pelo método SHRIMP, aplicados por Remus *et al.* (1999), a formação da sequência vulcanogênica (Sequência Campestre) do arco de ilhas apresenta datação de 757 Ma, no começo do Ciclo Brasileiro e seu metamorfismo regional de baixa pressão a cerca de 700 Ma, na transição da fácies xisto verde/anfibolito. Posteriormente, a cerca de 500 Ma a intrusão do Granito São Sepé pós tectônico foi responsável pela geração de fluidos mineralizadores que podem estar associados a mineralização aurífera inserida nas estruturas geológicas das rochas vulcanogênicas, resultando em um depósito de ouro de característica epizonal orogênico.

Os granitos da Ramada e Cerro da Cria foram datados por Naime (1987) utilizando Rb/Sr de 525 ± 3 Ma a 464 ± 34 Ma para o Ramada e 564 ± 4 Ma para o Cerro da Cria.

Figura 6 - Localização e as unidades geológicas que compõem a Bacia do Camaquã. CS = Caçapava do Sul; LS = Lavras do Sul; SBV = Santana da Boa Vista.



Fonte: Fragozo-Cesar *et al.*, (2000).

6.2 Geofísica Regional

Como explicado por Porcher; Lopes, (2000a), *apud* Haralyi; Hasui, (1982), a magnetometria evidencia corpos intrusivos e associações a eles, que na resposta magnética apresentam descontinuidades como falhas com minerais ferromagnesianos, na superfície e também subsuperfície. Assim na região do Escudo Sul-rio-grandense, em relação aos estudos regionais de geofísica, as intrusões graníticas e associações de complexos metamórficos com formações de depósitos de minerais apresentam um contraste muito evidente.

A partir dos dados aeromagnetométricos obtidos a leste do meridiano 54° W do Escudo Sul-rio-grandense, baseado nas características do relevo, magnitude do campo magnético total e a orientação dos eixos magnéticos Costa *et al.*, (1995) dividiram esta unidade geomorfológica em três Domínios Geofísicos (figura 7).

O **Domínio Geofísico Oriental** compreende a região leste do cinturão Dom Feliciano limitado a oeste pela Anomalia Magnética Leste. Apresenta um relevo magnético acentuado com uma maior complexidade de estruturas que são lineares, onduladas, curtas e longas, a orientação preferencial é de 70° NE sendo estas interceptadas por outras com orientação 40° NE, (PORCHER; LOPES, 2000a). Os mesmos autores inserem as litologias dos terrenos granito-gnáissicos, granitóides sintranscorrentes e pós-tectônicos.

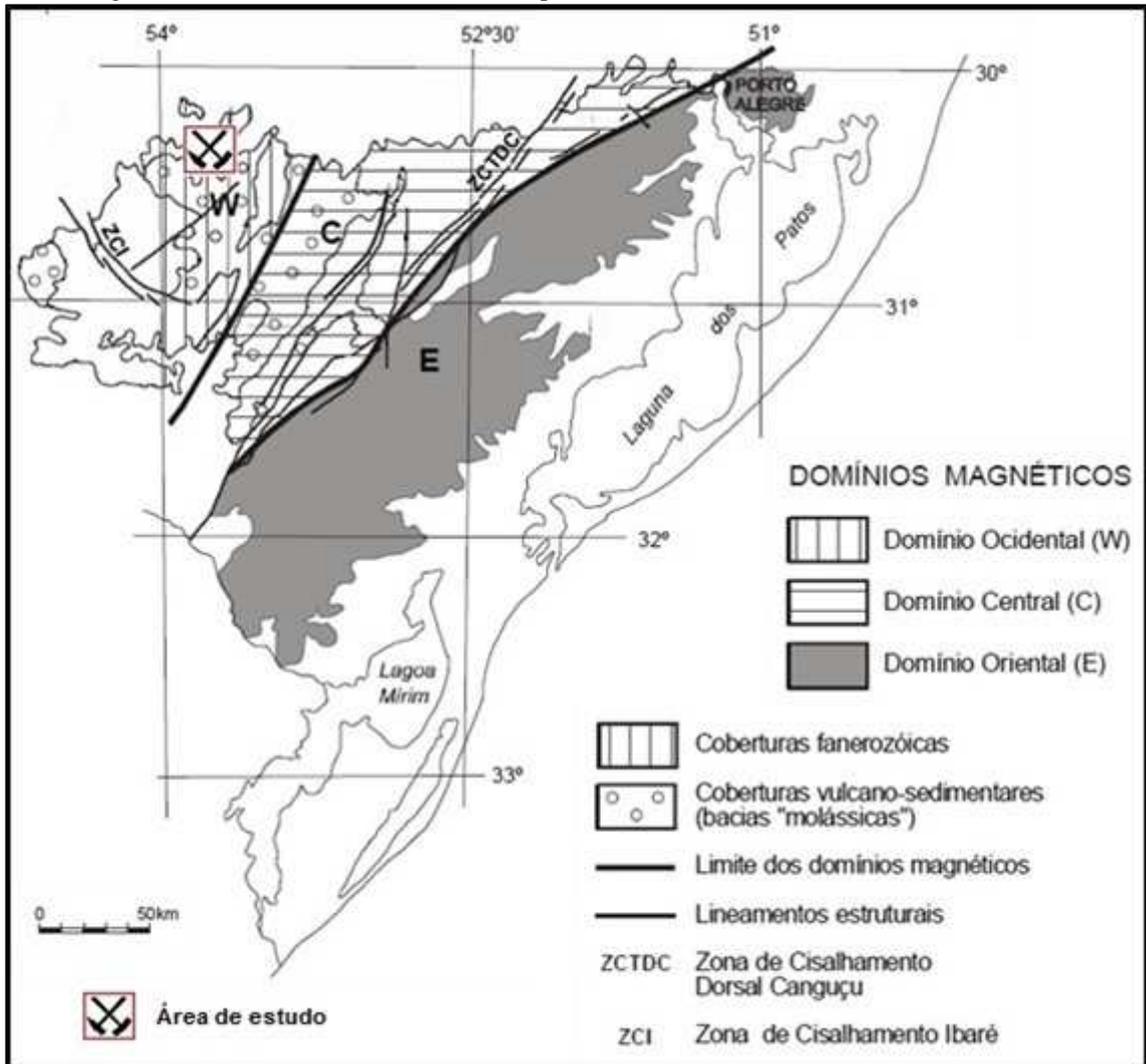
O **Domínio Geofísico Central** está situado entre os Domínios Ocidental e o Oriental, abrangendo o Cinturão Tijuca e região oeste do Cinturão Dom Feliciano Porcher; Lopes, (2000a) *apud* Chemale Jr. *et al.*, (1995b). Este domínio apresenta um relevo magnético pouco acentuado, e rochas do Complexo Metamórfico Porongos, Gnaisses Encantadas, Granitos Miloníticos Santana da Boa Vista e as unidades vulcanossedimentares da Bacia do Camaquã. O limite do domínio central com o oriental apresenta um extenso alinhamento magnético dividido em sul e norte, o primeiro com direção 45° NE, e o segundo aumentando para 60°-70° NE, coincidindo parcialmente com a Zona de Cisalhamento Transcorrente Dorsal de Canguçu. A região oeste deste domínio é limitada pela Zona de Falha de Caçapava do Sul (PORCHER; LOPES, 2000b).

O **Domínio Geofísico Ocidental** é separado em norte e sul. A região norte se situa no Bloco São Gabriel, limitada pelo Domínio Central e ao norte do Lineamento de Ibaré. A região sul é representada pelo Bloco Taquarembó, pelos granitos granulíticos limitado pelo Domínio Ocidental e ao sul do Lineamento Ibaré (LI). Este domínio, parte norte e sul, apresenta anomalias alongadas de orientação preferencial a nordeste (30° - 45° NE). Que abrange as litologias do Complexo Cambaí, Complexo Metamórfico Básico-Ultrabásico, a Sequência Metamórfica Vacacaí e ainda os corpos graníticos intrusivos pós tectônicos do Bloco São Gabriel (SANTOS, 2014).

De acordo com Porcher; Lopes, (2000a), no limite do domínio ocidental com o domínio central, que se localiza a oeste do município de Caçapava do Sul, ocorre a separação dos xistos e granitos a oeste e das sequências vulcanossedimentares da Bacia do Camaquã a leste. As rochas andesíticas da Formação Hilário são responsáveis pelo padrão magnético apresentado na porção norte do Domínio Ocidental, e na região sul deste mesmo domínio, o padrão magnético é consequência das rochas básicas metamórficas da Formação Cerro da Mantiqueira.

No domínio Ocidental se tem a região do Cinturão Vila Nova do Bloco São Gabriel, onde se encontra o Complexo Bossoroca (SOLANI JR., 1986).

Figura 7 - Domínios Geofísicos divididos por Costa (1995) no Escudo-Sul-Rio-Grandense.



Fonte: Porcher; Lopes, (2000a).

7. GEOLOGIA LOCAL

Agora em uma escala de maior detalhe, a área de estudo está localizada na região do Pampa Gaúcho, que abrange diversos municípios inclusive Vila Nova do Sul e São Sepé. O relevo se caracteriza pela presença de coxilhas e várzeas com área de baixa elevação e muito úmidas, com vegetação relativamente rasteira, como arbustos e gramíneas (SEPLAN, 2008).

Dos terrenos do neoproterozóico no Escudo Sul-Rio-Grandense o Bloco São Gabriel é o único que apresenta uma assinatura evidentemente juvenil, de acordo com Borba, (2006).

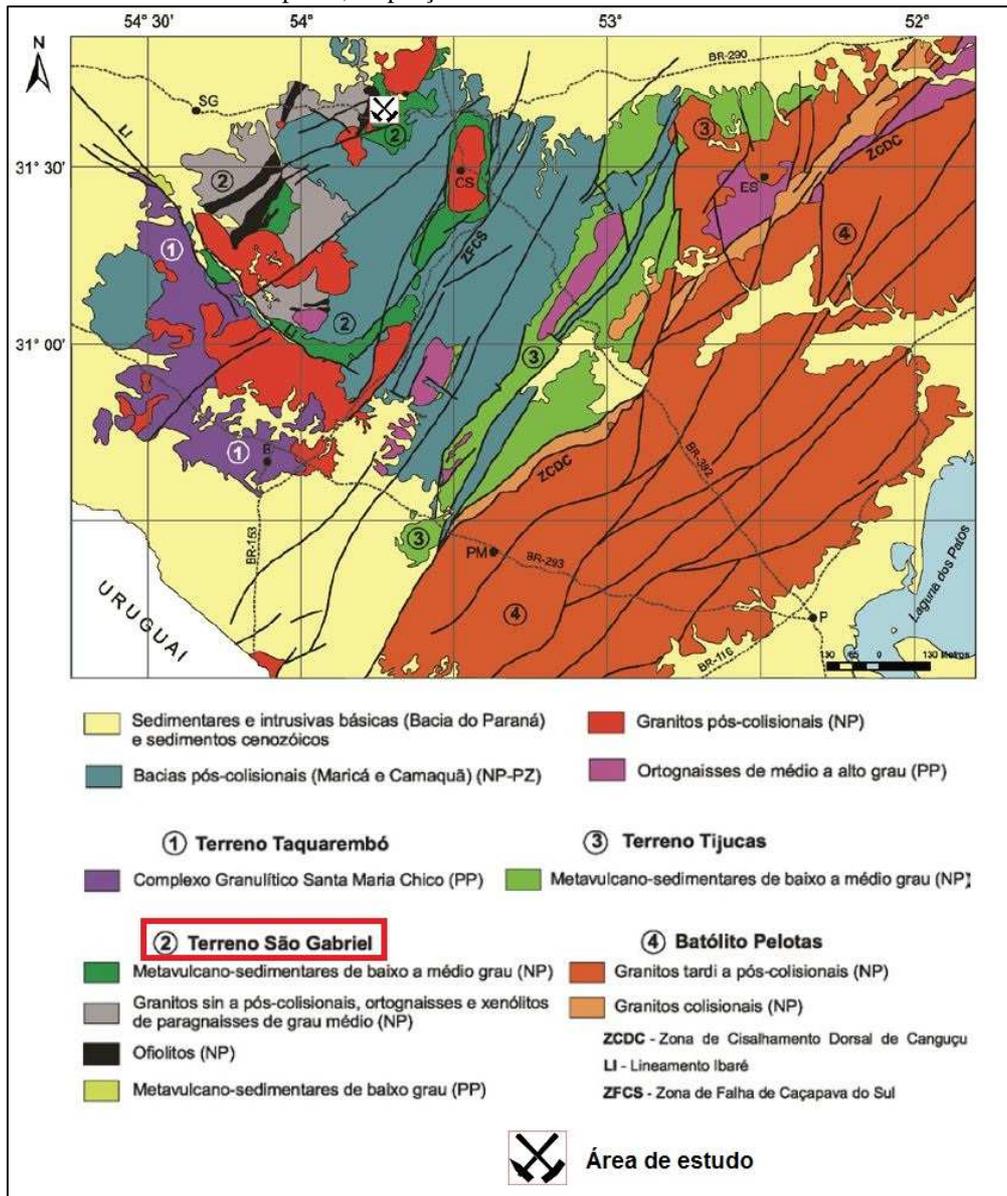
A região do Complexo Bossoroca está inserida na subdivisão do Cinturão Dom Feliciano, o chamado Bloco São Gabriel (SOLANI JR., 1986) ou Terreno São Gabriel (figura 8) localizado na região noroeste do Escudo Sul-Rio-Grandense. Este bloco possui duas unidades tectônicas, o Cinturão Vila Nova 700 Ma a 750 Ma e rochas da Bacia do Camaquã associadas ao magmatismo, conhecida como a associação do Seival de rochas plutônicas, vulcânicas e sedimentares de 600 Ma, (BABINSKI *et al.*, 1996). O mesmo autor denomina que o Cinturão Vila Nova é constituído por rochas do Grupo Cambaí e da Sequência Metamórfica Vacacaí.

A evolução do Cinturão Vila Nova segundo Babinski *et al.*, (1996), ocorreu em quatro estágios: i) abertura de bacia 750 Ma; ii) formação de um arco magmático durante o estágio principal do evento Orogênico São Gabriel de 700 Ma a 750 Ma; iii) a exumação do arco entre 700 Ma e 600 Ma; iv) e a acreção juvenil no craton durante o Evento Dom Feliciano 650 Ma.

O Grupo Cambaí apresenta gnaisses de protólito monzogranítico e diorítico, com intercalações de corpos máficos e ultramáficos metamorfizados na fácies anfibolito, presentes na região de Vila Nova do Sul. De acordo com estudos geoquímicos de Babinski *et al.*, (1996) *apud* Silva Filho e Remus (1999) este grupo é classificado como rochas cálcio-alcalinas com ambiente de formação de arco magmático.

Mais precisamente dentro do Cinturão Vila Nova está contido a região da Folha Cachoeira do Sul, que foi mapeada e detalhada nos aspectos da geologia estrutural econômica e metalogênica no Projeto Cachoeira do Sul realizado por Porcher; Lopes, (2000a).

Figura 8 – Divisão geotectônica do ESRG com destaque para o Terreno São Gabriel (2) e as litologias que o compõem, na porção noroeste do Cinturão Dom Feliciano.



Fonte: Laux *et al.* (2012).

Baseado nos estudos do Projeto Cachoeira do Sul, e o trabalho de Pinto (1997), em relação as mineralizações auríferas na região de São Sepé e Vila Nova do Sul, do Complexo Bossoroca, a geologia local da região que contem esta área de estudo as litologias associadas, se tem o Complexo Cambaí, Complexo Metamórfico Básico-Ultrabásico, a Sequência Metamórfica Vacacaí, o Gabro Mata Grande e ainda os corpos graníticos intrusivos pós tectônicos, como os granitos São Sepé, Ramada e Cerro da Cria.

A Sequência Metamórfica Vacacaí proposta por Porcher; Lopes (2000b), é dividida em Associação Metassedimentar e Associação Metavulcânica, esta última que representa a

Sequência Campestre proposta por Koppe *et al.*, (1985). Estes mesmos autores ainda definiram a Sequência Arroio Lajeado que segundo Porcher; Lopes (2000b), consiste no Complexo Metamórfico Básico e Ultrabásico (figura 9) do mapa geológico da região.

A Associação Metassedimentar é predominante no entorno do granito Caçapava do Sul, porém uma pequena parte dela, representada por clorita xistos, faz contato com a Sequência Campestre, no cruzamento entre as rodovias BR-392 e BR-290, (PORCHER; LOPES, 2000b).

A Sequência Campestre que está localizada a leste da Sequência Arroio Lajeado e a oeste da Formação Acampamento Velho, é constituída por rochas vulcanoclásticas do Neoproterozóico, intercaladas com rochas porfiríticas provenientes de derrames de lava com composição andesítica. As rochas vulcanoclásticas são representadas por fragmentos que variam de pó a lápili, com domínio de tufos a pó. O metamorfismo predominante nesta região é da fácies xisto verde, porém, posteriormente com a intrusão dos corpos graníticos foi gerado uma auréola de metamorfismo de grau mais elevado (fácies hornblenda e hornfels) no entorno dos granitos São Sepé e Cerro da Cria gerando rochas cornubianíticas. Pinto (1997) ainda menciona diques de diabásio e riolito na região da Mina da Bossoroça, e rochas epiclásticas e químicas, como os cherts.

A Sequência Arroio Lajeado descrita por Pinto (1997) está localizada entre o Complexo Cambaí e a Sequência Campestre em uma faixa com espessura de aproximadamente 4 quilômetros com orientação NE-SW. Composta predominantemente por rochas ultrabásicas e básicas, com corpos lenticulares de serpentinito associados a xistos magnesianos representando as rochas meta-ultrabásicas (PORCHER; LOPES, 2000a).

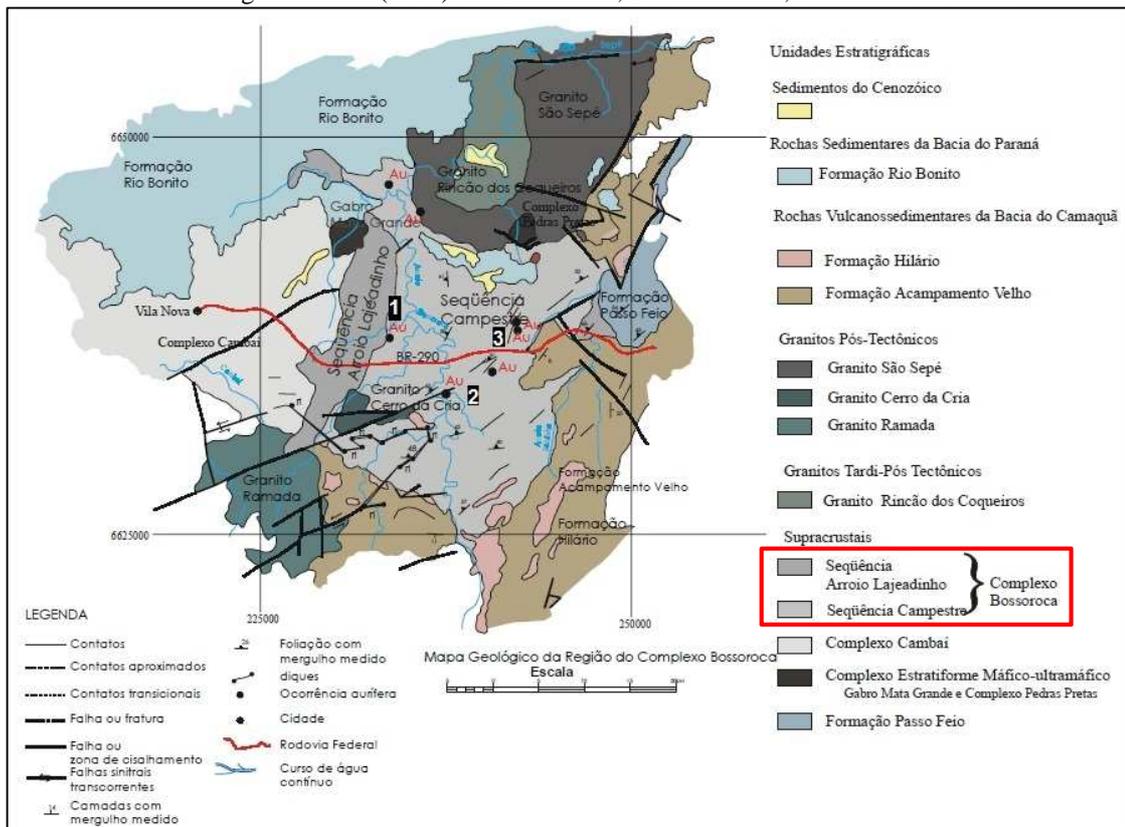
A mina da Bossoroça está contida no complexo Bossoroça, que por sua vez é composto pelas litologias da Sequência Campestre e a Sequência Arroio Lajeado.

7.1 Mineralizações auríferas no Complexo Bossoroça

Como apresentado nos estudos da tese de mestrado de Pinto (1997) sobre as mineralizações auríferas da região, a partir de mapeamentos geológicos e descrição de furos de sondagem, foram descritas as mineralizações do Cerrito do Ouro e da Guardinha, que estão no município de São Sepé e a mina da Bossoroça que está no município de Vila Nova do Sul (figura 9), porém, apenas a mina da Bossoroça e a do Cerrito do Ouro possuem decreto de lavra outorgados.

O ouro da Mina Cerrito do Ouro está contido em filões de quartzo leitoso, encaixados em estruturas (falhas e fraturas) com clorita xisto e sericita xisto, na Sequência Metamórfica Vacacaí e também pequenas aglomerações nas rochas metabásicas encaixantes associado à pirita e calcopirita, com reservas estimadas em 202.000 toneladas e teores médios de 5,65 g/t (PORCHER; LOPES 2000a).

Figura 9 - Mapa geológico da região do Complexo Bossoroca com a localização das três mineralizações auríferas segundo Pinto (1997). 1 – Bossoroca; 2 – Guardinha; 3 – Cerrito do Ouro.



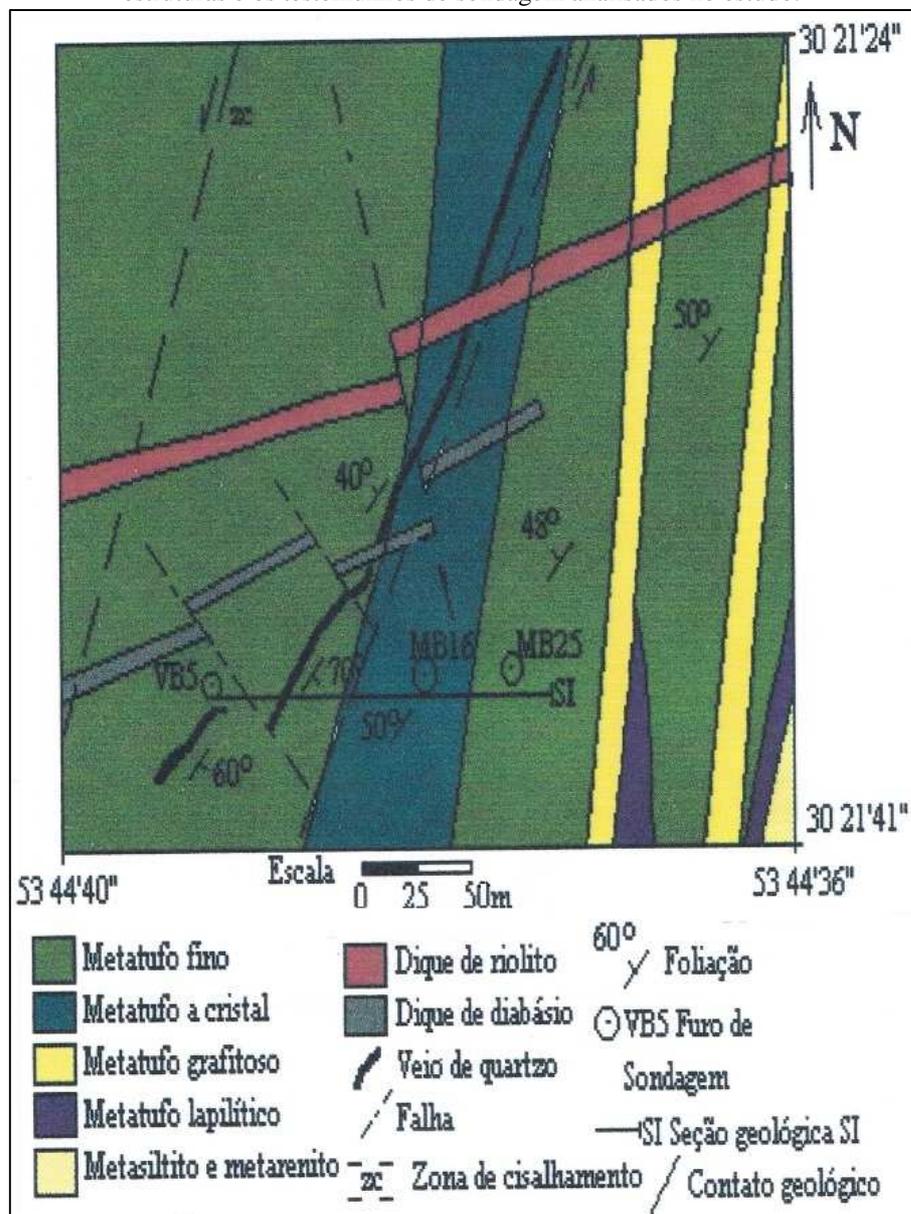
Fonte: (PORCHER; LOPES, 2000b).

A mineralização da Guardinha não possui muitas informações devido a seu baixo teor, estimado em menor que 1 g/t, existem poucos estudos sobre ela, porém, segundo Pinto (1997), o depósito se encontra em rochas vulcanoclásticas da Sequência Campestra do Neoproterozóico.

Na mina da Bossoroca, pertencente à empresa Meridional Metais e Mineração Ltda as mineralizações também estão contidas em filões de quartzo, hospedados em rochas vulcânicas preenchendo micro fraturas junto com minerais de ferro, pirita, galena e arsenopirita, com uma reserva de 7.800 toneladas, (PORCHER; LOPES 2000a), e segundo Pinto (1997) um teor médio de 15 g/t.

O veio de quartzo onde se encontram as mineralizações possui características geométricas de 350 metros de extensão, profundidade máxima de 30 metros e espessuras que variam de 0,1 a 1,5 metros, sua orientação preferencial é de 30° - 35° NE com mergulho de 30° para SE. Este veio é interceptado e segmentado por diques de riolito e diabásio, sendo o veio de quartzo deslocado por falhas de pequeno porte, como mostra a figura 10. O ouro é encontrado principalmente nos veios de quartzo e secundariamente nas rochas encaixantes, que são metatufos fino. (PINTO, 1997, p. 28 *apud* KOPPE, 1990).

Figura 10 - Mapa geológico do depósito de ouro na Mina da Bossoroca, representando além das litologias as estruturas e os testemunhos de sondagem analisados no estudo.



Fonte: Pinto (1997) adaptado de Koppe (1990).

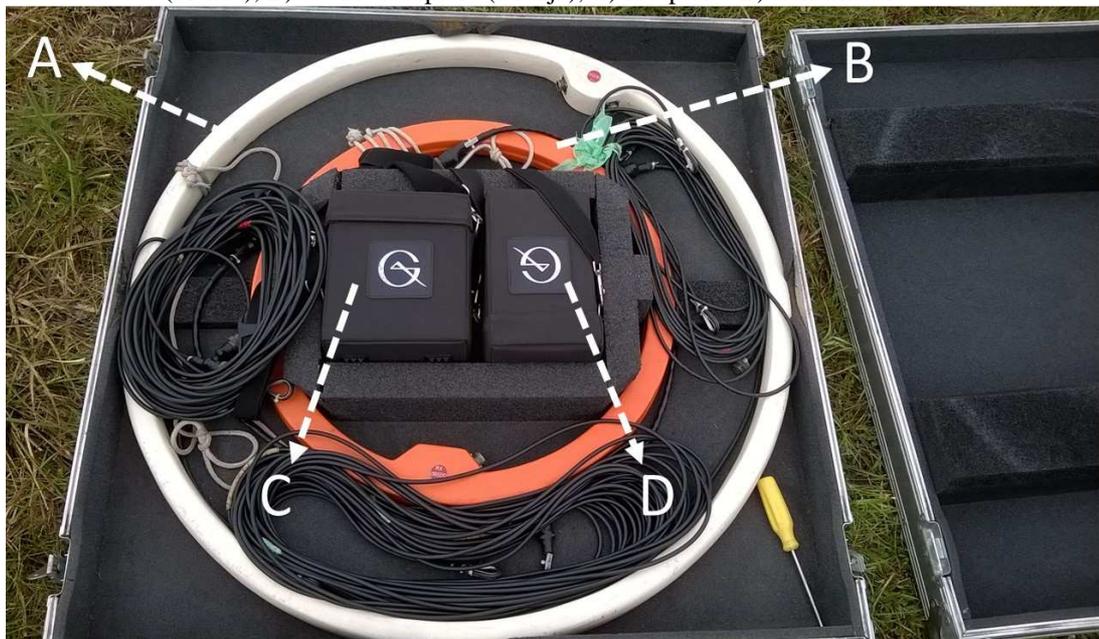
8. MATERIAIS E MÉTODOS

A etapa de atividades de campo, foi realizada através de veículos e equipamentos, como a bússola geológica tipo Brunton, GPS *Garmin Etrex Legend*, martelo geológico e caderneta de campo. Para a aquisição de dados primários, como das litologias, estruturas geológicas encontradas e também para aquisição de dados topográficos e coordenadas para localização. Todos os materiais, equipamentos e veículos utilizados neste trabalho foram fornecidos pela própria Universidade Federal do Pampa.

A elaboração de mapas e perfis, foi realizado com base nas aquisições de imagens de satélite fornecida pelo banco de dados do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), do satélite Landsat ETM 7. Foi criado um banco de dados com todas as bandas espectrais das imagens de satélite no *software* livre do INPE, o Spring versão 4.2 (CÂMARA, 1996), em conjunto com *softwares* como *Surfer 9.0*, *Quantum Gis 2.8.2* e o pacote *Microsoft Office 2013*.

O método geofísico eletromagnético Condutímetro de Terreno (*GCM-FEM*) foi realizado com o equipamento EM-34XL da Geonics (figura 11). Este equipamento é composto por uma bobina de transmissão, uma de recepção, um transmissor, um receptor e os cabos de conexão. As bobinas são conectadas entre si a uma determinada distância, de acordo com o cabo que se utiliza, a bobina receptora com o receptor e a transmissora com o transmissor. E desta forma,

Figura 11 – Fotografia do equipamento EM-34XL geocondutímetro da Geonics. A) bobina transmissora (branca), B) bobina receptora (laranja), C) receptor e D) transmissor.



Fonte: Autor.

desloca-se com o equipamento adquirindo os dados no intervalo de deslocamento, com a posição da bobina tanto na vertical (dipolo horizontal) como na horizontal (dipolo vertical). O tratamento destes dados obtidos na área de estudo, foram utilizados para a elaboração de perfis geofísicos com os *softwares Excel 2013 e Surfer 9.0*.

A utilização de cabos com espaçamentos diferentes possibilita a obtenção de dados em profundidades diferentes, quanto maior a distância entre o receptor e o transmissor, maior a profundidade de investigação. Foram utilizados os cabos de 20 e 40 metros de comprimento, o cabo de 40 metros atinge uma profundidade maior do que o de 20 metros. A relação da profundidade e o espaçamento dos cabos para o equipamento utilizado na atividade de campo está representada na tabela abaixo (tabela 1).

Tabela 1 - Relação da profundidade teórica para os cabos de 20 e 40 metros de espaçamento para o equipamento EM-34 geocondutímetro da Geonics.

Comprimento do cabo utilizado	Dipolo	Profundidade teórica máxima de investigação
20 m	Horizontal	15
	Vertical	30
40 m	Horizontal	30
	Vertical	60

Fonte: Adaptado de McNeill (1980).

8.1 Análise e processamento digital de imagens

As imagens de satélite obtidas no INPE foram adquiridas pelo satélite LandSat 7 ETM, na órbita 222 do ponto 081, que teve sua passagem neste ponto no dia 02 de outubro de 2002. O critério para escolha da imagem foi a isenção de nuvens, que prejudicariam o estudo. Dentro do *software Spring 4.2* foi criado um banco de dados com um recorte da imagem de satélite abrangendo mais detalhadamente a área de estudo, foram importadas as bandas 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 e a 8 (pancromática). A banda 8 com resolução de 15 por 15 metros, a banda 6 com 60 por 60 metros e as outras com 30 por 30 metros.

Utilizando as ferramentas do Spring 4.2 foi feita a análise dos lineamentos encontrados nas imagens LandSat 7, para isso foi utilizado variações de bandas espectrais, aplicando o contraste linear nos canais azul, verde e vermelho e ainda um óculos 3D para melhor

visualização das estruturas. Após a identificação destas estruturas na imagem, a partir da ferramenta de Análise Exploratória de lineamentos foram gerados dados de estatística descritiva e um diagrama de roseta com intervalos de 10° da frequência absoluta dos lineamentos.

Desta forma, foram obtidos análises descritivas, diagramas de roseta e os mapas dos lineamentos. Primeiramente obtendo dados mais abrangentes contendo todo o recorte da imagem de satélite e o segundo de maior detalhe, posicionado apenas sobre a área de estudo, na mina da Bossoroca onde foram feitos os perfis geofísicos de caminhamento eletromagnético.

A metodologia utilizada para identificação de lineamentos foi a expressa por Liu (1987), onde a definição de um lineamento é muito ampla e está relacionado diretamente com a topografia, relevo, vegetação, água, ou seja, todos os aspectos físicos da superfície. Assim para encontrar um lineamento é preciso analisar estes aspectos nas imagens de satélite, estas características da superfície expressam tendências retilíneas na superfície, que são chamadas de lineamentos. Inclusive estruturas que não afloram, como fraturas, influenciam nas feições do terreno, uma alteração abrupta no tipo de solo e vegetação, por exemplo, pode evidenciar uma falha.

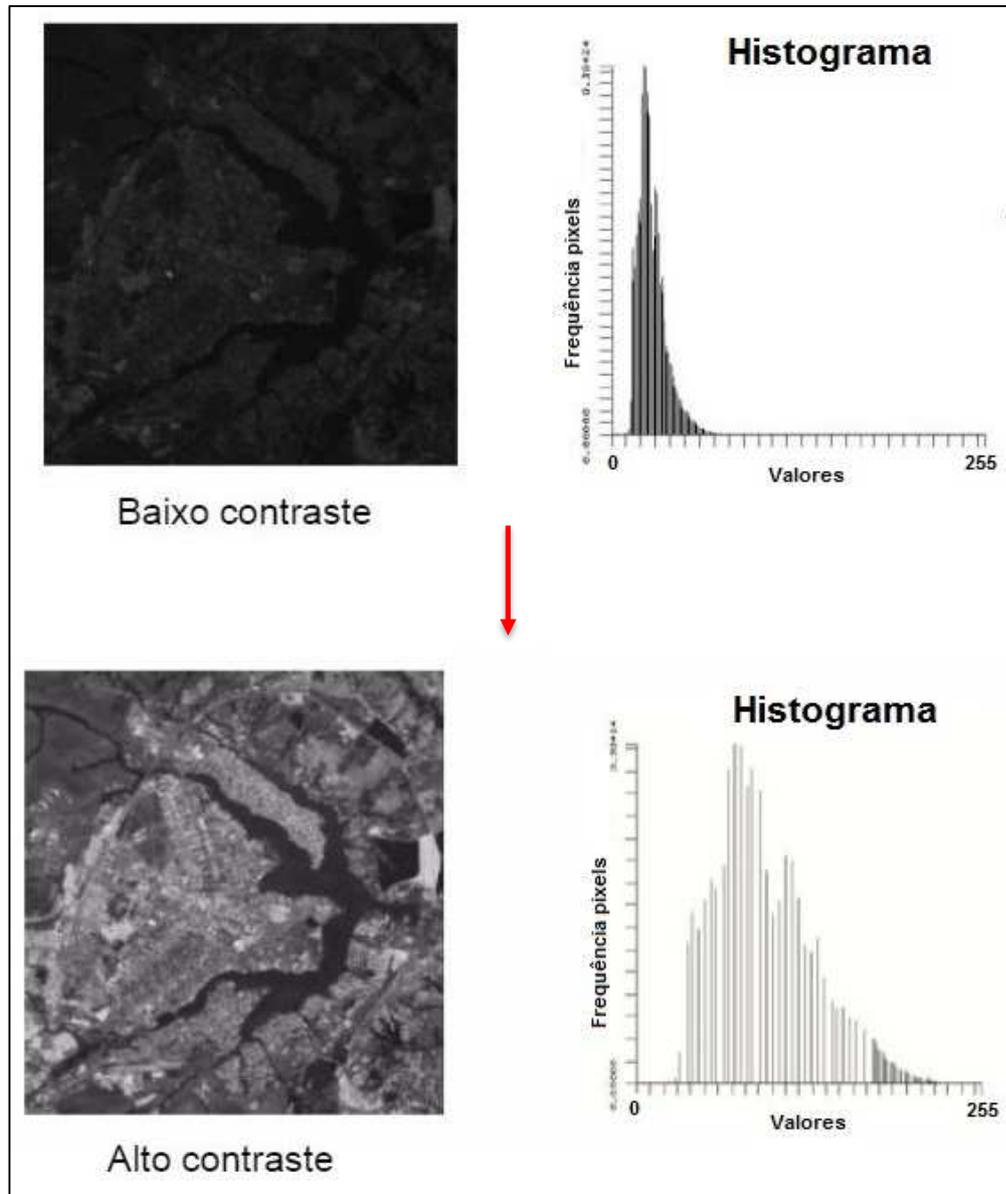
Os lineamentos que segundo O’Leary *et al.*, (1976) podem ser definidos mais detalhadamente como “ (...) *a mappable, simple or composite linear feature of a surface, whose parts are aligned in a rectilinear or slightly curvilinear relationship and which differs distinctly from the patterns of adjacent features and presumably reflects a subsurface phenomenon*¹”

Desta forma lineamentos podem ser feições lineares de uma encosta, de um contraste de vegetação, de um talvegue, o alinhamento de elevações semelhantes, a orientação de um vale, entre outras feições que podem representar um lineamento na superfície. Assim o Spring 4.2 foi utilizado neste procedimento devido a sua grande capacidade de combinação de cores e falsa cores, filtros direcionais e contrastes que ajudam a identificar os lineamentos.

O contraste realizado no Spring é feito com base na manipulação da curva de transformação de um histograma, da frequência dos pixels em relação aos níveis de cinza, de 0 a 255 para uma resolução rediométrica de 8 bits (figura 12).

¹ Uma feição linear simples ou composta de uma superfície que pode ser mapeada, onde as partes estão alinhadas em uma relação retilínea ou suavemente curvada, que difere dos padrões das feições adjacentes e presumivelmente reflete um fenômeno da subsuperfície.

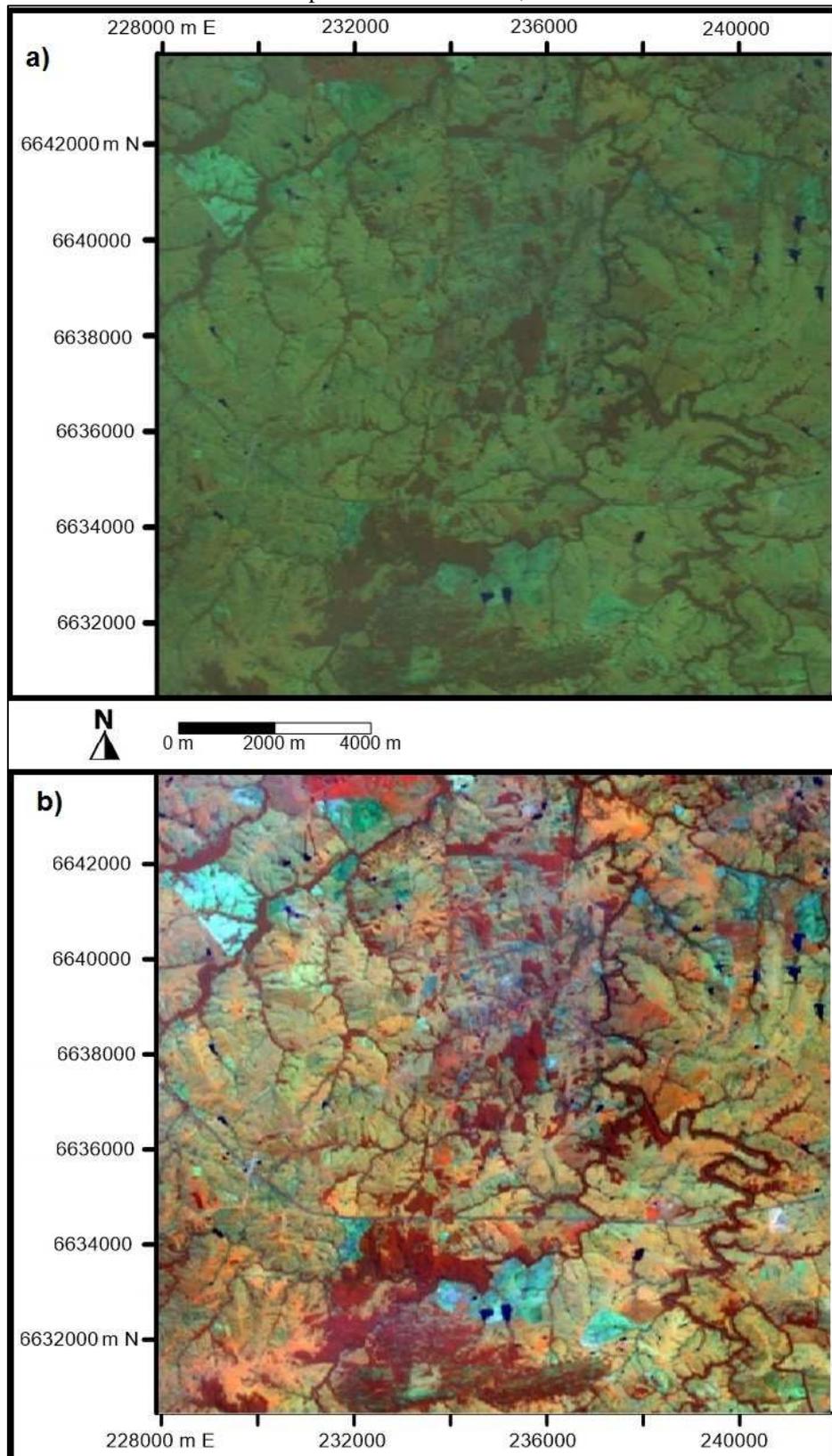
Figura 12 – Metodologia utilizada para a aplicação de contraste linear nas imagens de satélite LandSat 7 utilizadas no trabalho.



Fonte: Modificado de INPE Spring versão 4.2 (CÂMARA, 1996).

A figura 13 mostra a comparação entre duas imagens de satélite, a primeira sem contraste e a segunda com contraste linear. Resumidamente a aplicação do contraste melhora a qualidade visual da imagem para o olho humano. Em relação as cores da imagem, o contraste a torna mais heterogênea, as cores passam a ser mais evidentemente visíveis, facilmente distinguíveis entre si e destaca na superfície as feições geomorfológicas do terreno. Tornando assim mais fácil a identificação das estruturas da imagem, como textura, forma, tonalidade, cor e sombra. E dentro destas estruturas encontra-se os lineamentos.

Figura 13: Comparação das imagens com composição RGB – 453 em falsa cor, a) sem contraste e b) com contraste linear aplicado nas cores azul, vermelho e verde.



Fonte: INPE Spring versão 4.2 (CÂMARA, 1996).

8.2 Atividades de campo

Neste tópico será descrito a área de estudo e explicado as atividades de campo realizadas para obter os dados. As atividades de campo envolveram a análise e descrição geológica do terreno e também a locação e execução dos perfis do método geofísico eletromagnético.

Os trabalhos de campo foram realizados nos dias 14 e 15 de setembro de 2015 na área da mina da Bossoroca. Nestes dias foram feitas coletas de amostras, análise de campo obtendo dados primários da área e foram realizados os perfis do método geofísico eletromagnético.

Figura 14 – Foto da amostra de veio de quartzo leitoso.



Fonte: Autor.

Descrição do terreno

A área de estudo se encontra em um terreno de pouca variação topográfica e uma vegetação rasteira sobre as linhas de perfil que se intensificam nas áreas mais baixas (figura 19 e 20). O relevo varia gradualmente e se mantém em torno de aproximadamente 185 a 200 metros, como pode ser visto nos perfis de elevação das cinco linhas nos anexos. Este tipo de relevo facilitou a aplicação do método geofísico.

Foram coletadas amostras de afloramentos encontrados na área de estudo, dentro da mina da Bossoroca, onde foram realizadas as linhas de perfil do método geofísico que passaram sobre estes afloramentos. Foram encontrados poucos afloramentos pontuais, de pequenas dimensões do tipo lajeado e rochas das litologias da Sequência Arroio Lajeado e Sequência Campestre.

A figura 14 mostra um afloramento de veio de quartzo leitoso, encontrado a SE das linhas de perfil, próximo ao final da linha número 5.

Figura 15 – Foto do afloramento lajeado de quartzo boudinado no sericita xisto.



Fonte: Autor.

A figura 15 mostra um afloramento de quartzo com boudins, que é uma estrutura extensional encontrada nas rochas, que indica um processo de extensão paralela, que foi encontrada a NW das linhas de perfil (figura 19) próximo a uma falha.

Figura 16 – Foto de amostra de tufo a cristal.



Fonte: Autor.

Na figura 16, a amostra de tufo a cristal pertence a litologia da Sequência Campestre. Acompanhando a separação das litologias do Complexo Bossoroca, as rochas da Sequência Campestre foram encontradas em afloramentos a leste e sudeste como o tufo a cristal e o chert (figura 18). As rochas da Sequência Arroio Lajeado foram encontradas a oeste, no afloramento de sericita talco xisto (figura 17), que é a rocha que aflora em uma falha identificada no campo, onde a Sequência Arroio Lajeado se sobrepõe a Sequência Campestre. A localização dos afloramentos foi obtida através do GPS e suas coordenadas foram plotadas no mapa (figura 20), para compreender a correlação das litologias.

Figura 17 – Foto de afloramento tipo lajeado de sericita talco xisto.



Fonte: Autor.

Figura 18 – Foto de amostra de chert.



Fonte: Autor.

Perfil geofísico

O perfil foi realizado aplicando a técnica do caminhamento eletromagnético (figura 19), que consiste em caminhar com o equipamento em uma linha com a determinada distância e direção previamente estipulada e coletando os dados a cada intervalo de distância que se deseja.

As 5 linhas de perfis realizadas foram locadas de tal forma que abrangessem todo o contorno de uma possível zona mineralizada, de acordo com dados obtidos de estudos prévios pela empresa de mineração. Primeiramente seriam feitas 5 linhas todas com comprimento de 400 metros, com espaçamento entre elas de 30 metros, mas após a realização da linha 1 e 2 com o cabo de 20 metros, o espaçamento entre as linhas foi alterado para 60 metros para obter o melhor contorno da zona mineralizada. Devido a esta alteração, as linhas 1 e 2 ficaram somente com o perfil do cabo de 20 metros e o espaçamento entre as linhas 1 - 2 e 2 - 3 foi de 30 metros e as linhas 3 - 4 e 4 - 5 foi de 60 metros.

Figura 19 - Foto da aplicação do método eletromagnético com o equipamento EM-34XL geocondutivímetro da Geonics utilizado em campo.



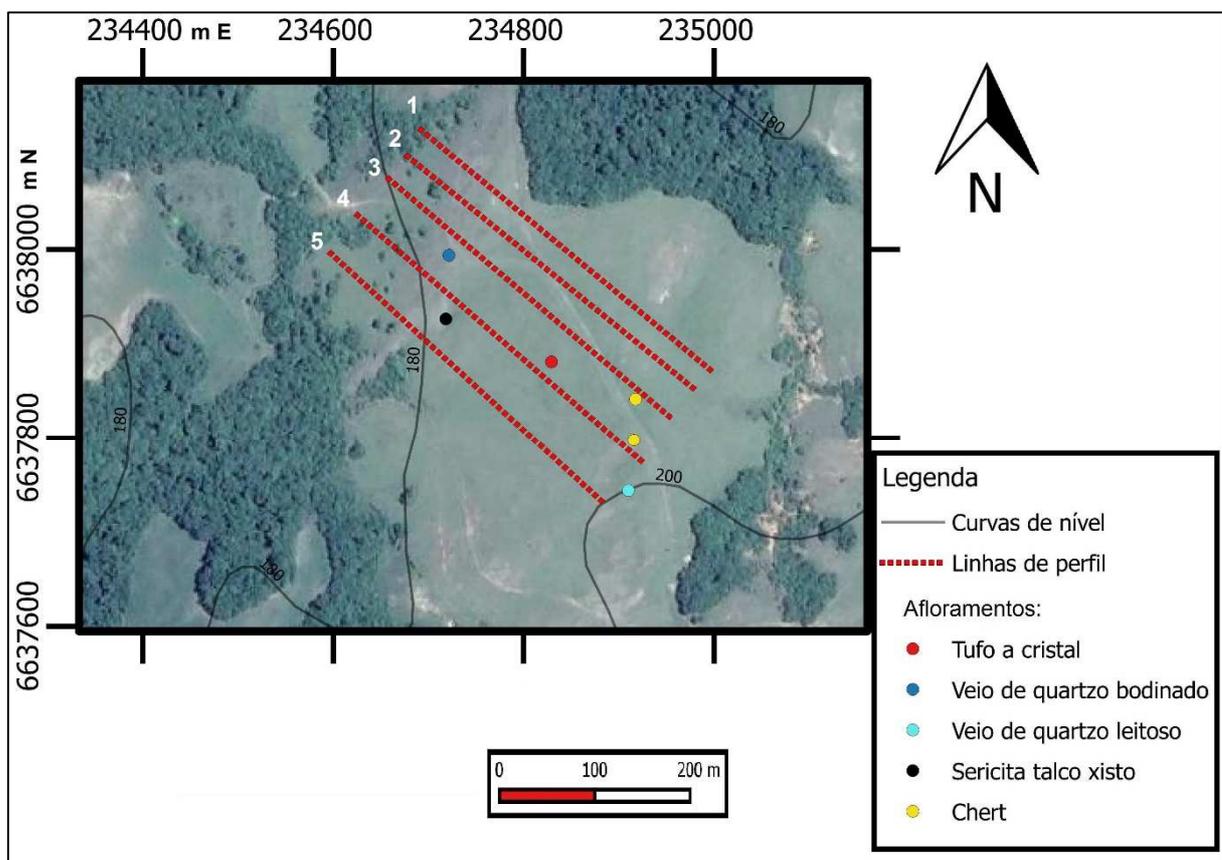
Fonte: Câmera digital usada no campo.

Desta forma totalizando 5 linhas (1, 2, 3, 4 e 5), em todas as cinco linhas foram realizados o perfil geofísico com o cabo de 20 metros, e nas linhas 3, 4 e 5 foi realizado um

segundo perfil com o cabo de 40 metros. Assim com um total de 8 perfis geofísicos nas 5 linhas (figura 20).

Os perfis realizados foram orientados na direção do azimute de 135° (NW-SE), com dados obtidos a cada 10 metros em uma linha de perfil de 400 metros. Assim, foram obtidos 82 dados por perfil, em cada ponto obteve-se dados do dipolo vertical e horizontal, com um total de 656 dados de condutividade elétrica no terreno da mina da Bossoroca.

Figura 20 - Mapa de localização das linhas dos perfis geofísicos realizados e a localização dos afloramentos na área de estudo.



Fonte: Imagem do Google Earth adaptada.

A orientação das linhas de perfis é muito importante para este método, porque esta deve ser ortogonal a orientação preferencial dos lineamentos tectônicos e também a orientação das anomalias magnéticas. Desta forma, analisando os estudos prévios sobre a geofísica regional do estado do Rio Grande do Sul e a análise dos lineamentos através do sensoriamento remoto, eles indicam que as anomalias do campo magnético e os lineamentos da região que abrange a área de estudo estão na orientação preferencial $N 30^\circ$ a 45° E, portanto, a orientação dos perfis foi posicionada ortogonalmente com orientação NW-SE, azimute de 135° .

8.3 Processamento dos dados de campo

Os dados obtidos com o método geofísico eletromagnético foram anotados em uma planilha e posteriormente organizados em uma planilha virtual no Excel, onde foram feitos os gráficos de caminhamento eletromagnético para todos os oito perfis das cinco linhas. Este gráfico consiste em plotar os dados obtidos pelo equipamento ao longo da distância do percurso de caminhamento que foi realizado em campo. Os dados de condutividade da leitura do equipamento são obtidos na unidade de miliSiemens por metro (mS/m) que também pode ser expressa pelo símbolo (σ), que é a unidade utilizada em todos os mapas e modelos deste trabalho.

A planilha destes dados foi também processada no *software Surfer 9.0*, para gerar os perfis com os dados obtidos nos caminhamentos, que correspondem a uma profundidade teórica. Assim os perfis possuem dois eixos, um da distância percorrida na superfície do terreno, que neste caso cada perfil possui 400 metros, e o outro a profundidade teórica obtida por cada tipo de cabo utilizado e a escala são os valores de condutividade obtidos em mS/m.

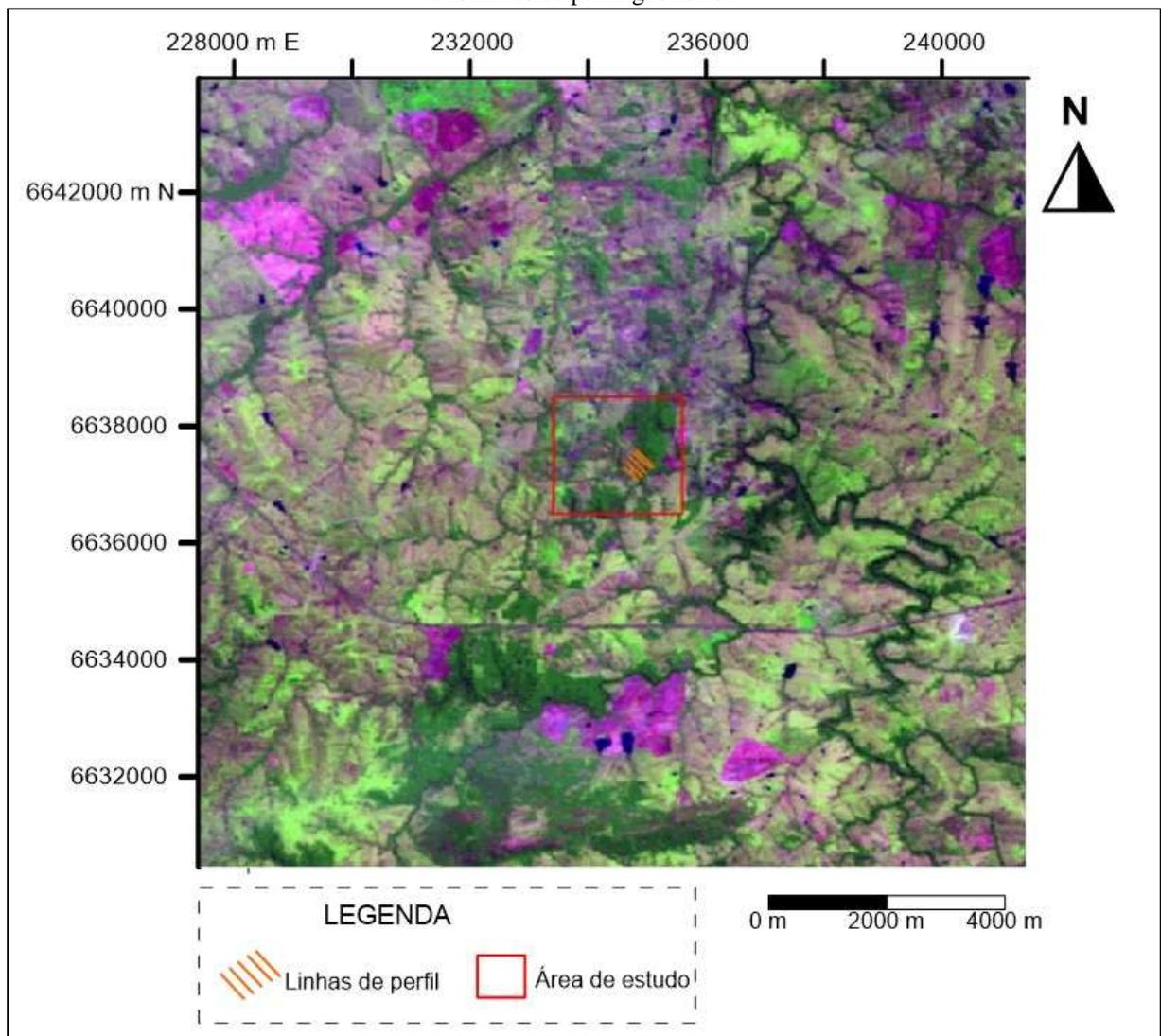
Para gerar os perfis foi utilizado o interpolador *kriging* sem efeito pepita (valor nulo), que resulta em um interpolador exato, sem suavização e que é mais fiel ao valor utilizado. Este tipo de interpolação é eficiente com valores obtidos em uma malha regular, como o que foi feito com as linhas de perfis geofísico nas atividades de campo. As linhas 1 e 2 apresentam menor profundidade teórica, de 15 e 30 metros, porque foi feito apenas o perfil com o cabo de 20, as linhas 3, 4 e 5 foram realizados perfis com cabo de 20 e 40, assim foram obtidos dados de maiores profundidades, 30 e 60 metros.

9. RESULTADOS

9.1 Sensoriamento Remoto

Na etapa do sensoriamento remoto a partir das imagens de satélite, foi utilizado a composição espectral, RGB – 543 (figuras 21 e 22) com contraste linear, onde foram extraídos 253 lineamentos estruturais. Na região da área de estudo totalizaram 28 lineamentos (figura 24). Também foi realizado um diagrama de roseta da frequência absoluta dos 253 lineamentos, (figura 23) e outro abrangendo apenas os 28 lineamentos que se encontram nas imediações da mina da Bossoroca (figura 25).

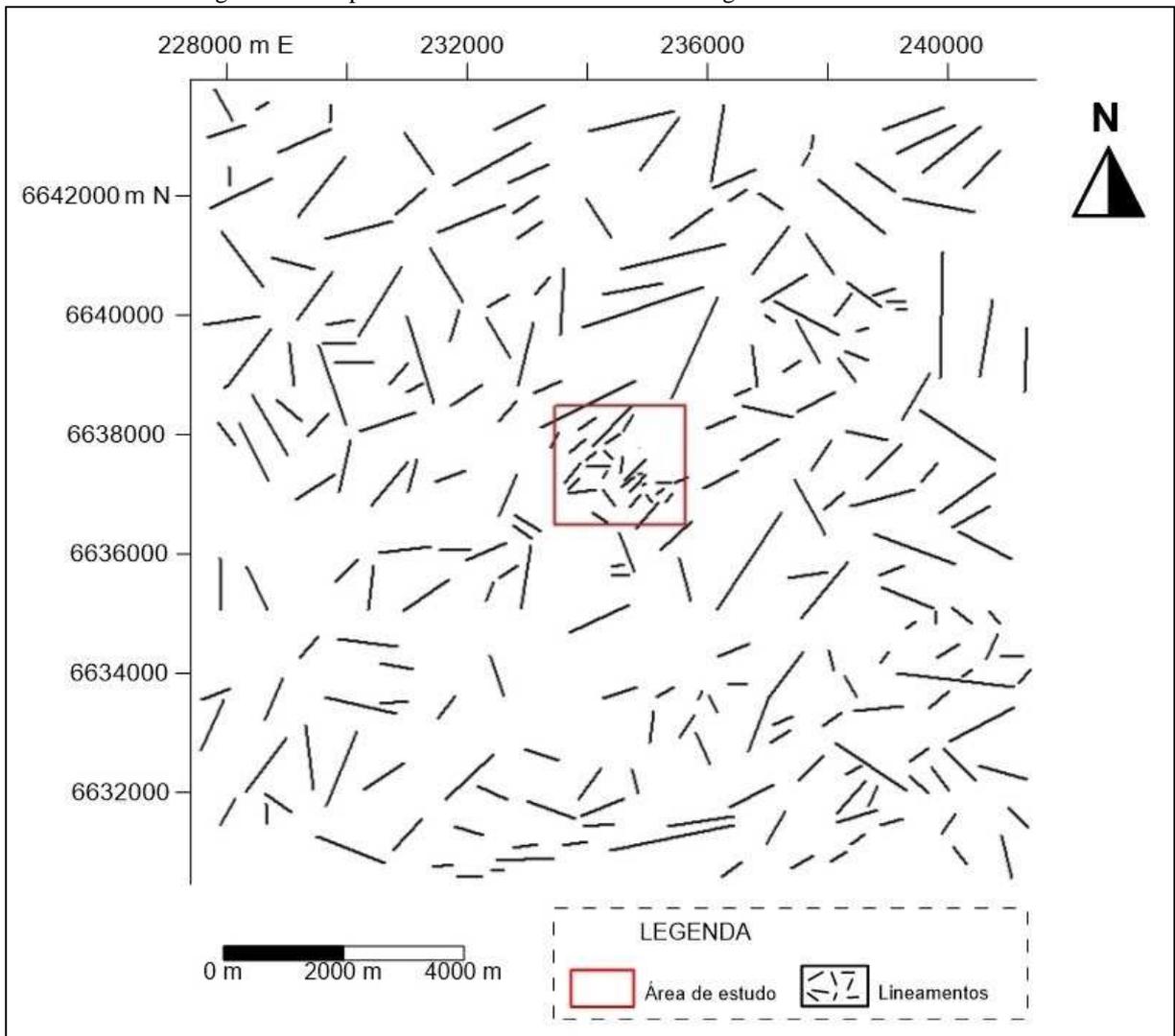
Figura 21 – Imagem de satélite com composição espectral RGB – 543, com a localização da mina da Bossoroca e as linhas de perfil geofísico.



Fonte: Autor.

A partir da análise dos mapas e dos diagramas, fica evidente que a orientação preferencial dos lineamentos na região da imagem de satélite é na direção NE-SW, entre 20° e 70°. E na área de estudo da mina da Bossoroca essa mesma tendência dos lineamentos, diminui sua variação angular, esta orientação se concentra agora entre 30° e 60°. Em relação ao tamanho dos lineamentos, os de maiores comprimentos também são os lineamentos na direção NE-SW.

Figura 22 - Mapa dos lineamentos extraídos da imagem de satélite utilizada.



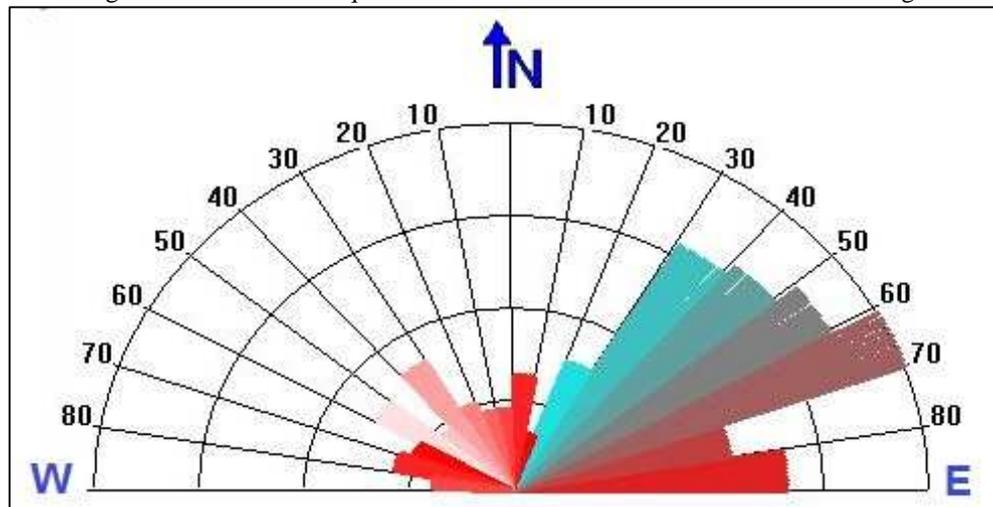
Fonte: Autor.

Subordinadamente, encontra-se tendências estruturais com menor frequência e comprimento na orientação NW-SE, como pode ser observado nos diagramas de roseta.

A tendência que foi encontrada nos lineamentos já era esperada, de acordo com as bibliografias da região, as litologias da área sofreram movimentos geotectônicos no sentido NE-

SW, esses movimentos geraram estruturas lineares, estiramentos, nas litologias que podem ser identificados na superfície.

Figura 23 - Diagrama de roseta da frequência absoluta dos 257 lineamentos de toda a imagem de satélite.

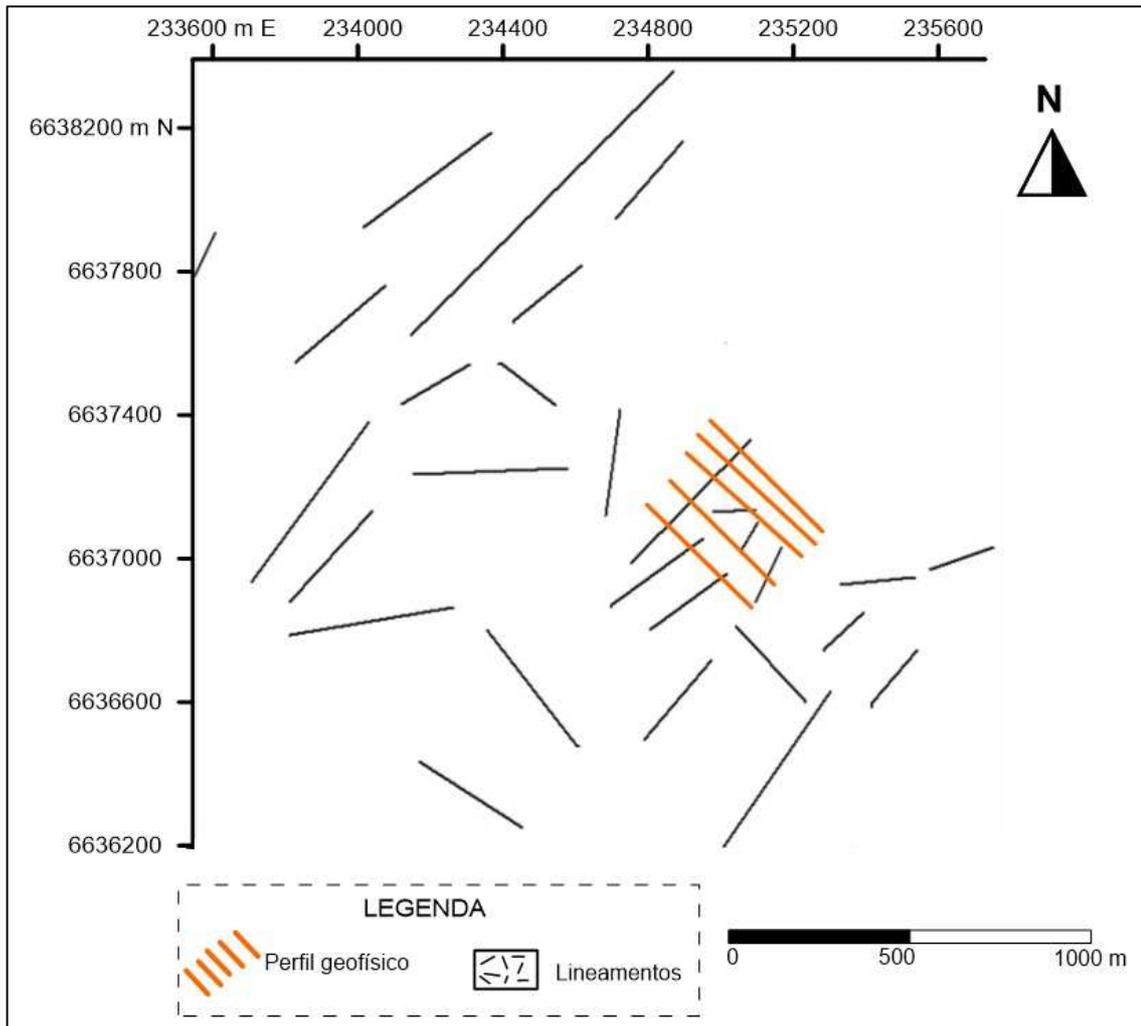


Fonte: Autor.

Os lineamentos apresentados na região noroeste do mapa (figura 24) se comportam de maneira mais homogênea, contínua e com comprimentos maiores. Isto ocorre devido a esta região estar mais afastada da área de contato entre as duas litologias do Complexo Bossoroca que ocorre mais para a região SE (figura 26), assim a tendência estrutural desta litologia a NW, na Sequência Arroio Lajeado, é preservada.

De maneira oposta, ao sul e SE do mapa os lineamentos se comportam de maneira mais heterogênea, descontínua e com menores comprimentos, devido a maior aproximação da área de contato entre as duas litologias, no contato entre as litologias ocorrem lineamentos em maior quantidade e variação da orientação das estruturas lineares e maior intensidade de falhamentos.

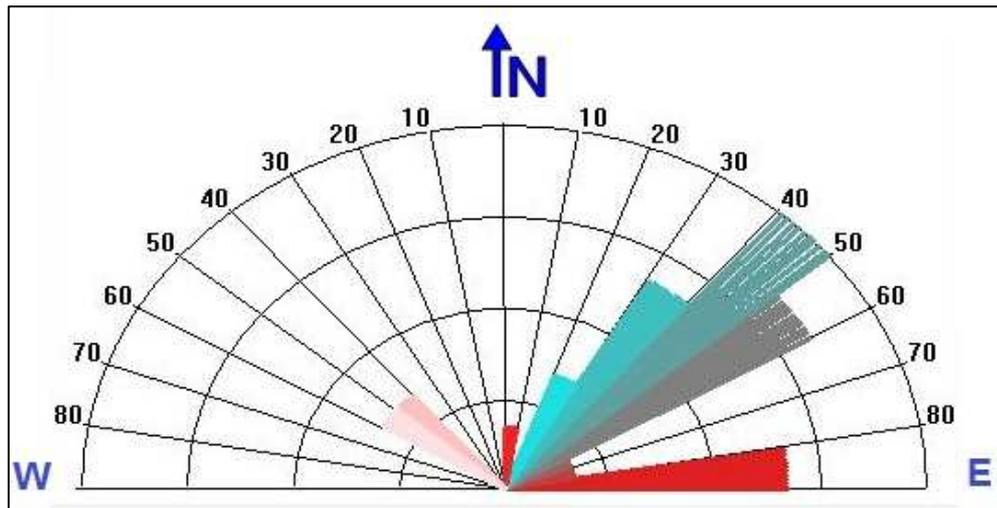
Figura 24 - Mapa dos 28 lineamentos da área da mina da Bossorooca e a localização das linhas de perfil geofísico na área de estudo.



Fonte: Autor.

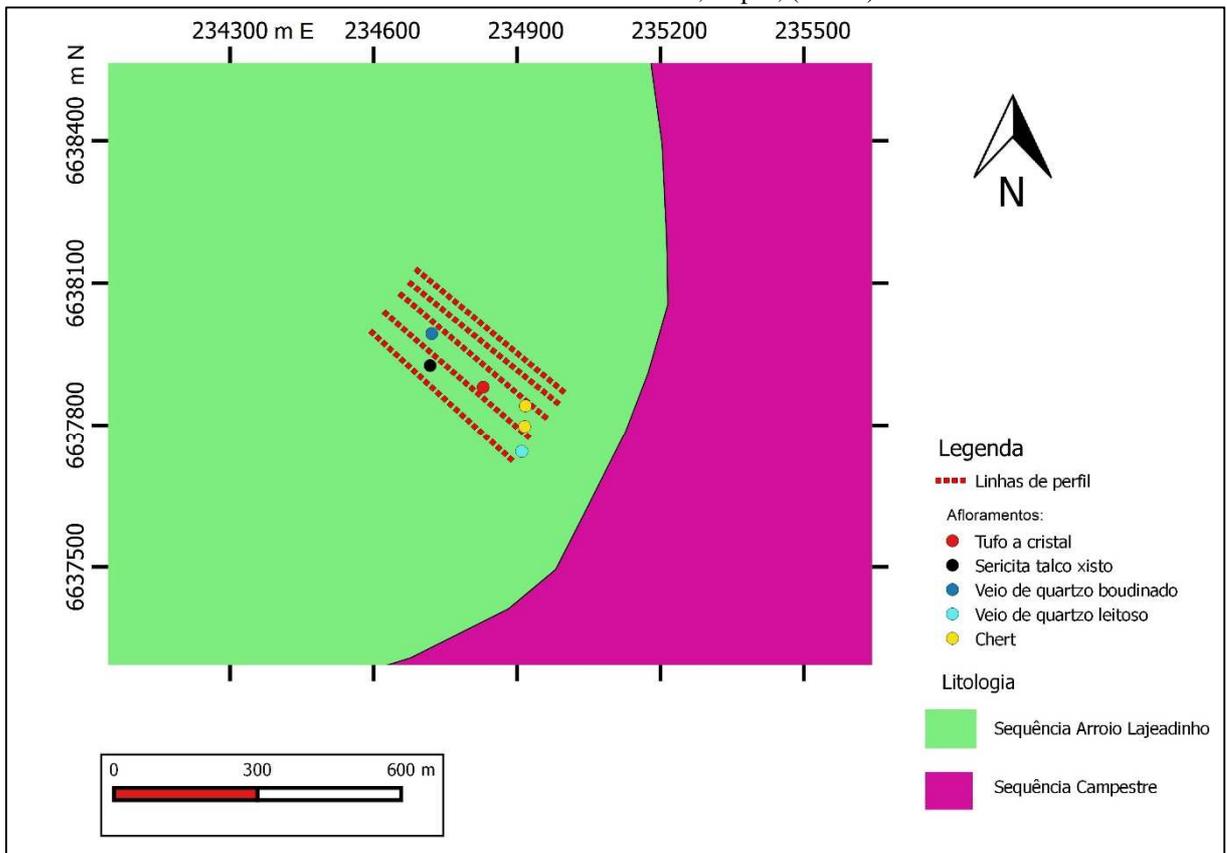
Dos 28 lineamentos extraídos nas imediações da área de estudo da mina da Bossorooca, 6 lineamentos interceptam as linhas de perfil geofísico, 5 deles com orientação NE-SW e apenas 1 com orientação E-W. O lineamento de maior comprimento e o único que intercepta todas as linhas de perfil, é o de maior representatividade na superfície, que está diretamente relacionado a uma falha vista em campo.

Figura 25 - Diagrama de roseta da frequência absoluta dos 28 lineamentos da área de estudo da imagem de satélite.



Fonte: Autor.

Figura 26 – Localização das linhas de perfil geofísico e os afloramentos encontrados dentro do mapa geológico do Rio Grande do Sul de Porcher; Lopes, (2000b).



Fonte: Adaptado de Porcher; Lopes, (2000b).

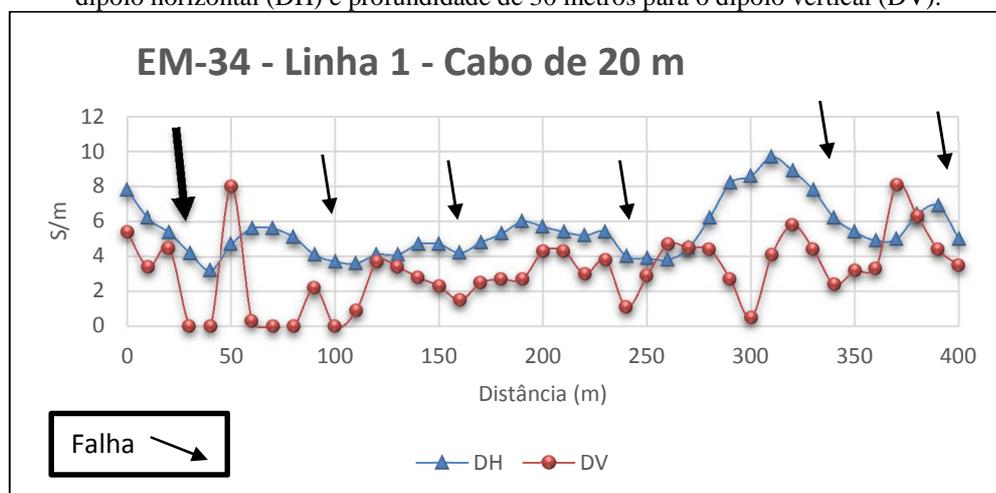
9.2 Perfis Geofísicos

É importante salientar que observando o perfil de elevação de cada linha de perfil geofísico que se encontra nos anexos, que a elevação na posição inicial (0 metros) das linhas 2, 3, 4 e 5 é de aproximadamente 190 metros e ela aumenta de maneira constante até a posição dos 100 metros de comprimento, onde a elevação chega nos 200 metros e depois se mantém próximo dos 200 metros até a posição final da linha, (400 metros de comprimento). A linha 1 apresenta uma variação topográfica ainda menor em relação as outras linhas, uma elevação de 5 metros de em todo o seu comprimento. Desta forma na representação dos perfis geofísicos apresentados, temos uma diferença de elevação de aproximadamente 10 metros entre os primeiros 100 metros de comprimento e os outros 300 metros de cada uma das linhas 2, 3, 4 e 5.

Para estabelecer uma relação estrutural da área de estudo com a ajuda dos dados do método geofísico, foram realizados oito gráficos de caminhamento eletromagnético dos oito perfis (figuras 27 a 34), pseudoseções (figura 35) e mapas de condutividade elétrica (figura 37) com os dados.

Através dos lineamentos extraídos da imagem de satélite e os gráficos apresentados, pode se fazer a correlação das estruturas encontradas em superfície e subsuperfície. Nos gráficos do caminhamento eletromagnético foi possível analisar as estruturas verticais encontradas. As setas indicam a localização de onde foram inseridas as falhas interpretadas em cada perfil.

Figura 27 – Gráfico do caminhamento eletromagnético da linha 1 na profundidade teórica de 15 metros para o dipolo horizontal (DH) e profundidade de 30 metros para o dipolo vertical (DV).

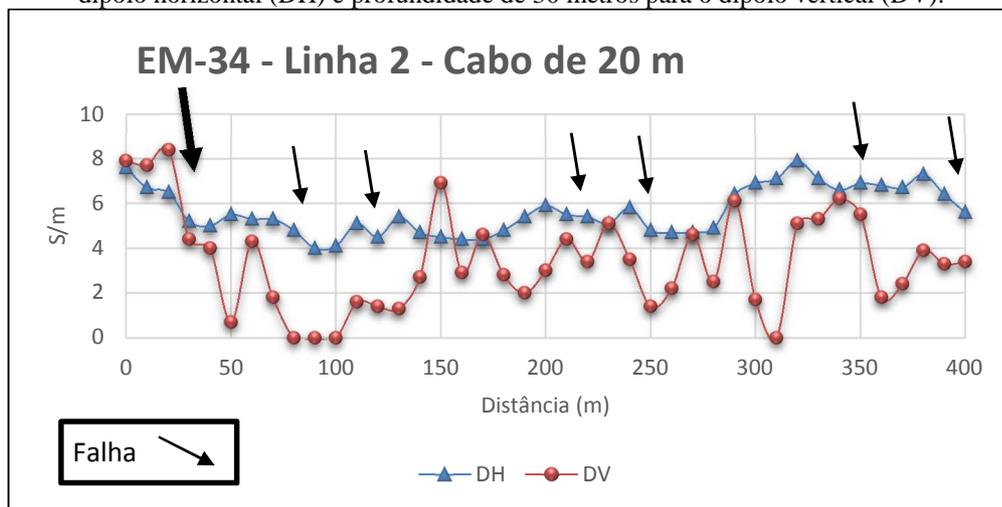


Fonte: Elaborado pelo autor no *software Excel* 2013.

As falhas foram identificadas observando a variação dos dipolos vertical e horizontal, onde em uma mesma posição ocorre uma queda simultânea do valor dos dois dipolos e a orientação dos falhamentos é NE-SW.

A linha 1 intercepta apenas um lineamento extraído da imagem de satélite (figura 24), porem no gráfico apresenta seis falhas, a primeira, próximo da posição inicial, é a falha mais marcante, representada por uma seta maior nos gráficos, e que também corresponde há um lineamento que intercepta todas as cinco linhas de perfil. As outras falhas inseridas no gráfico da linha não correspondem há nenhuma estrutura linear visível através da imagem de satélite. Porém, outros lineamentos que interceptaram outras linhas podem estar associados a estas falhas.

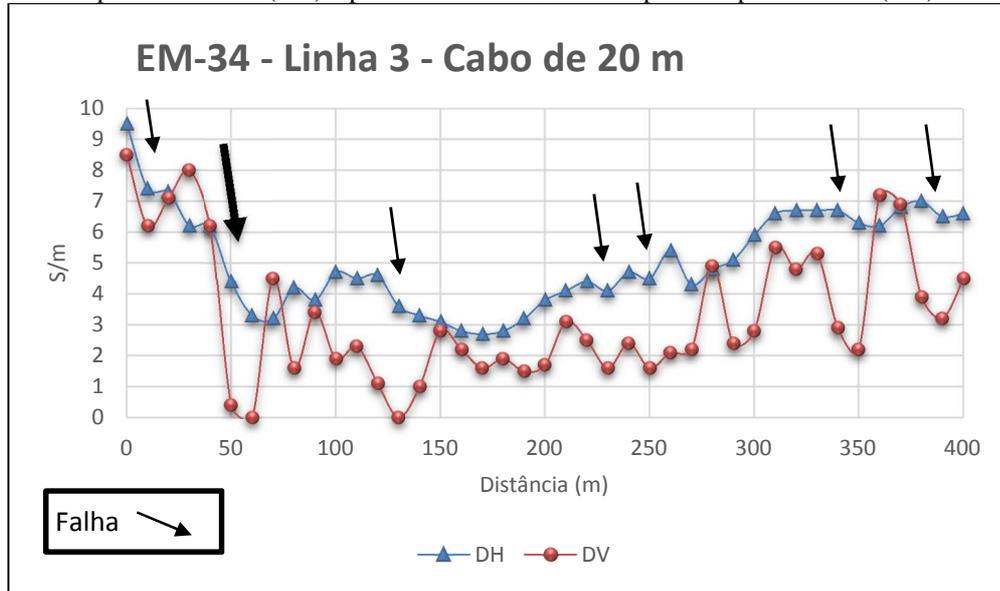
Figura 28 – Gráfico do caminhamento eletromagnético da linha 2 na profundidade teórica de 15 metros para o dipolo horizontal (DH) e profundidade de 30 metros para o dipolo vertical (DV).



Fonte: Elaborado pelo autor no *software Excel 2013*.

Na linha 2, através do gráfico foi inserida a mesma tendência e posicionamento de falhas, sem grandes variações em relação a primeira linha, apenas uma nova falha foi inserida. E novamente apenas o lineamento associado a primeira falha intercepta a linha 2 na imagem de satélite.

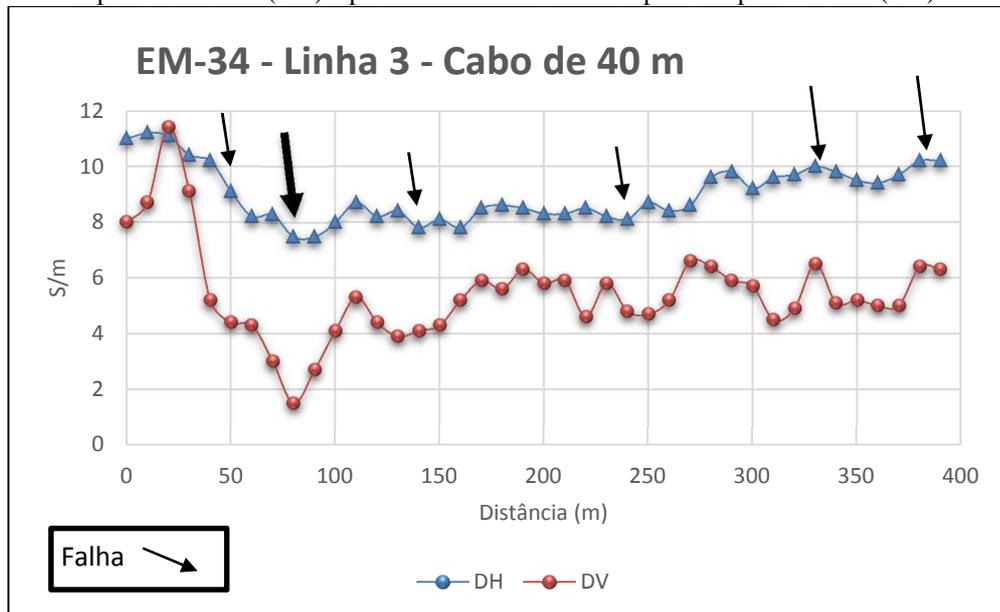
Figura 29 – Gráfico do caminhamento eletromagnético da linha 3 na profundidade teórica de 15 metros para o dipolo horizontal (DH) e profundidade de 30 metros para o dipolo vertical (DV).



Fonte: Elaborado pelo autor no *software Excel 2013*.

A análise da linha 3 mostra as mesmas falhas no gráfico, porém a falha 1 está mais deslocada para SE, agora ela está na posição dos 50 metros. Entre as linhas 3 e 4 na imagem de satélite foram extraídos dois lineamentos que estão correlacionados com as estruturas de falha encontradas nos gráficos.

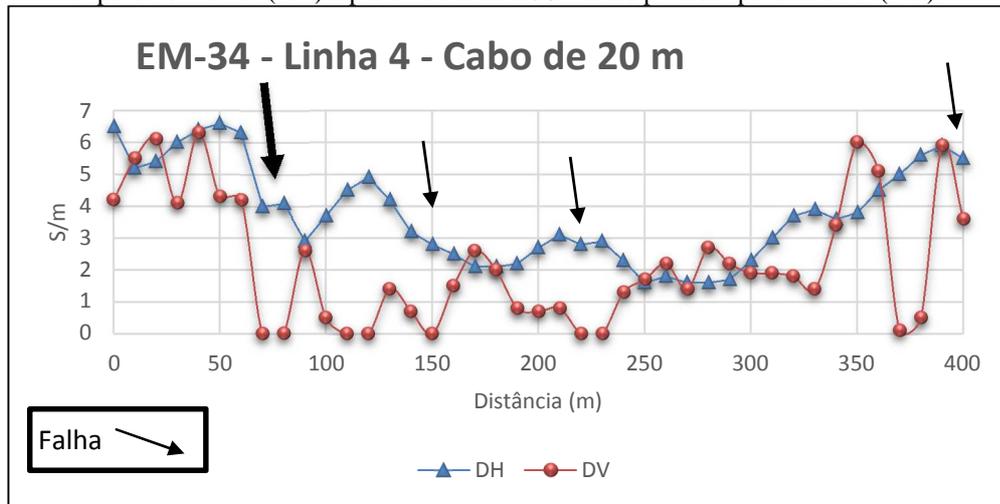
Figura 30 – Gráfico do caminhamento eletromagnético da linha 3 na profundidade teórica de 30 metros para o dipolo horizontal (DH) e profundidade de 60 metros para o dipolo vertical (DV).



Fonte: Elaborado pelo autor no *software Excel 2013*.

Na linha 4, a falha 1 se desloca ainda mais, agora na posição de 70 metros e apenas uma falha no final da linha (400 metros). No final da linha 4 na imagem de satélite encontra-se um lineamento que está associado as falhas que tendem a aparecerem no final de todos os gráficos.

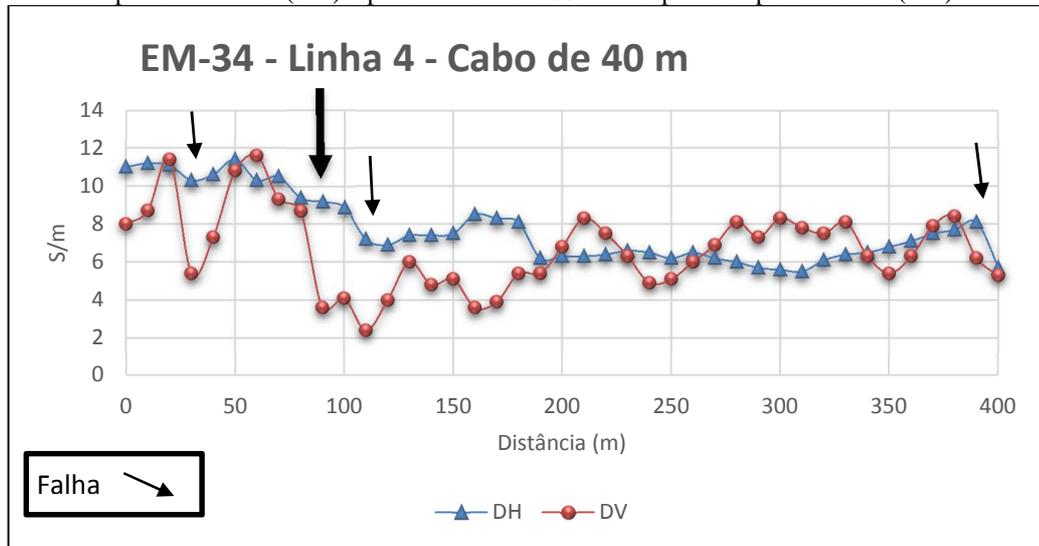
Figura 31 – Gráfico do caminhamento eletromagnético da linha 4 na profundidade teórica de 15 metros para o dipolo horizontal (DH) e profundidade de 30 metros para o dipolo vertical (DV).



Fonte: Elaborado pelo autor no *software Excel* 2013.

Da linha 1 até a linha 5, a variação de valores entre o dipolo vertical e o dipolo horizontal tendem a diminuir, assim como a quantidade de estruturas verticais observadas. Ainda na linha 5, está não apresenta falhas depois dos 300 metros de comprimento, elas se concentram no centro do perfil. A falha 1 continua sua tendência de deslocamento, agora chegando a posição de 100 metros no gráfico do perfil. Não foi encontrada nenhuma falha na posição final do perfil e uma nova falha foi inserida próxima falha 1, na posição de 150 metros.

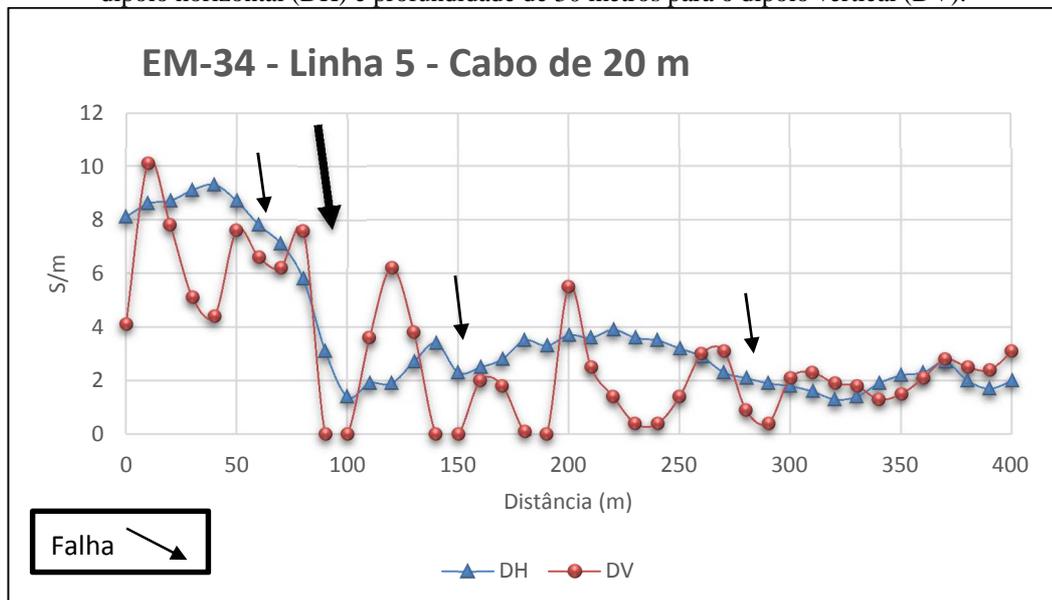
Figura 32 – Gráfico do caminhamento eletromagnético da linha 4 na profundidade teórica de 30 metros para o dipolo horizontal (DH) e profundidade de 60 metros para o dipolo vertical (DV).



Fonte: Elaborado pelo autor no software Excel 2013.

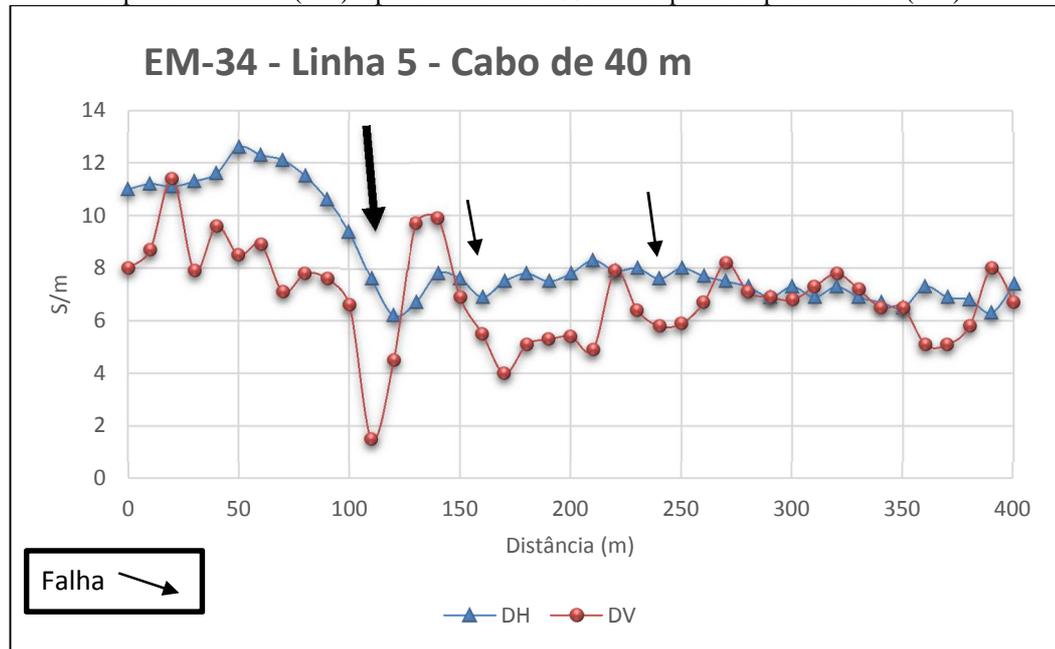
Na imagem de satélite a linha 5 intercepta três lineamentos, o lineamento correspondente a falha 1 e outros dois na posição mais central da linha de perfil, mesma posição no gráfico onde uma nova falha foi inserida e na posição final da linha, onde um lineamento interceptava a linha 4 os dipolos se apresentam de maneira muito mais homogênea sem representar nenhuma estrutura vertical.

Figura 33 – Gráfico do caminhamento eletromagnético da linha 5 na profundidade teórica de 15 metros para o dipolo horizontal (DH) e profundidade de 30 metros para o dipolo vertical (DV).



Fonte: Elaborado pelo autor no software Excel 2013.

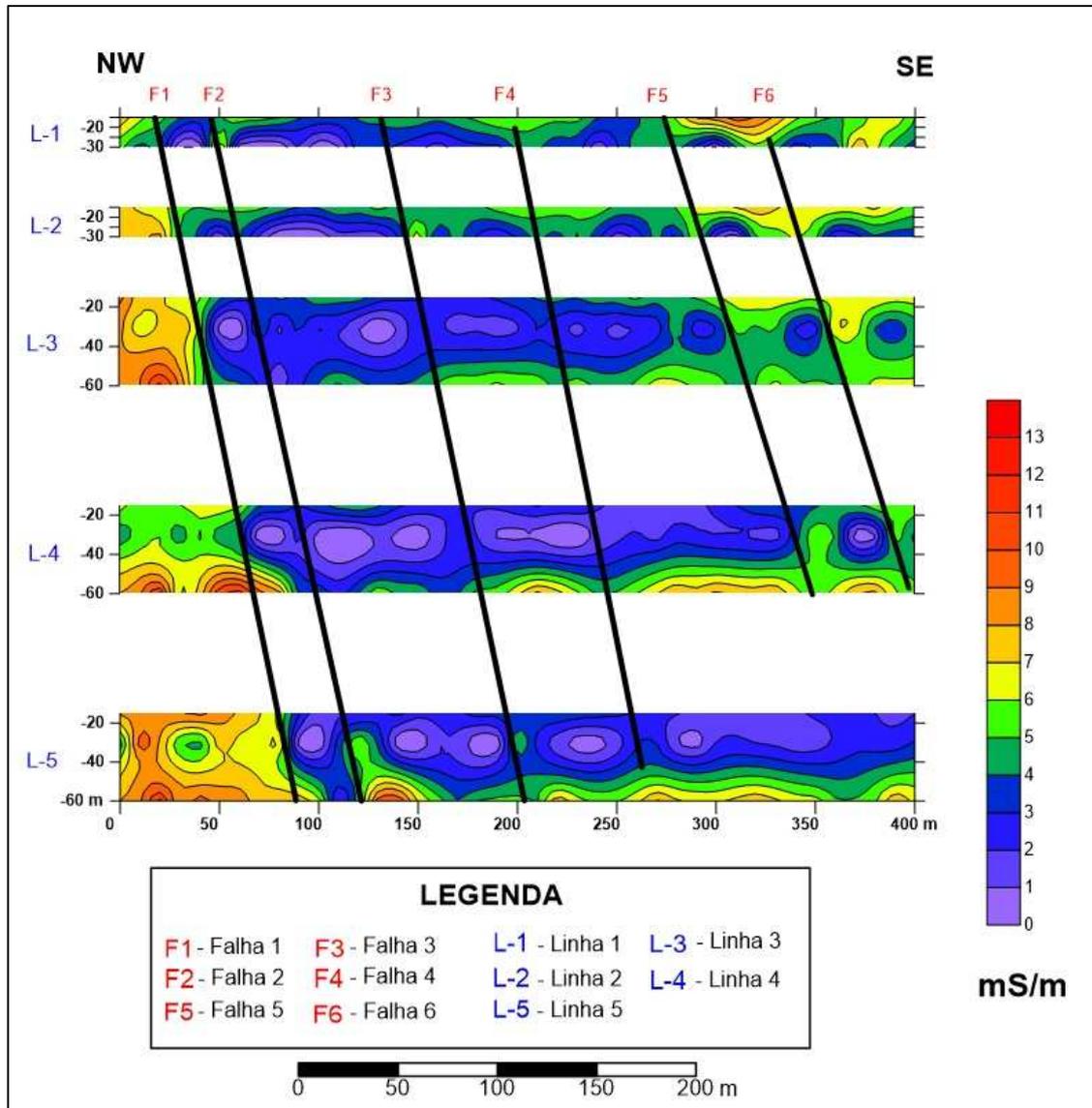
Figura 34 – Gráfico do caminhamento eletromagnético da linha 5 na profundidade teórica de 30 metros para o dipolo horizontal (DH) e profundidade de 60 metros para o dipolo vertical (DV).



Fonte: Elaborado pelo autor no software Excel 2013.

A figura 35 representa as pseudoseções dos mesmos valores de condutividade elétrica usados nos gráficos de caminhamento eletromagnético, as seções foram utilizadas para identificar e correlacionar as estruturas verticalizadas encontradas anteriormente, estas estruturas foram inseridas entre contrastes de valores, onde os valores elevados e baixos são representados pela diferença de coloração, onde a região de coloração tendendo para o azul e roxo, de 4 a 0 mS/m, representa um material com menor condutividade ou maior resistividade. E os valores mais elevados, de 7 a 13 mS/m, com coloração amarela, laranja e vermelha, representa um material com maior condutividade e de menor resistividade. Desta forma foi possível encontrar as mesmas tendências estruturais inseridas nos gráficos.

Figura 35 - Perfis geofísicos interpolados de distância e profundidade teórica das cinco linhas realizadas no campo.



Fonte: Elaborado pelo autor no *software Surfer 9.0*.

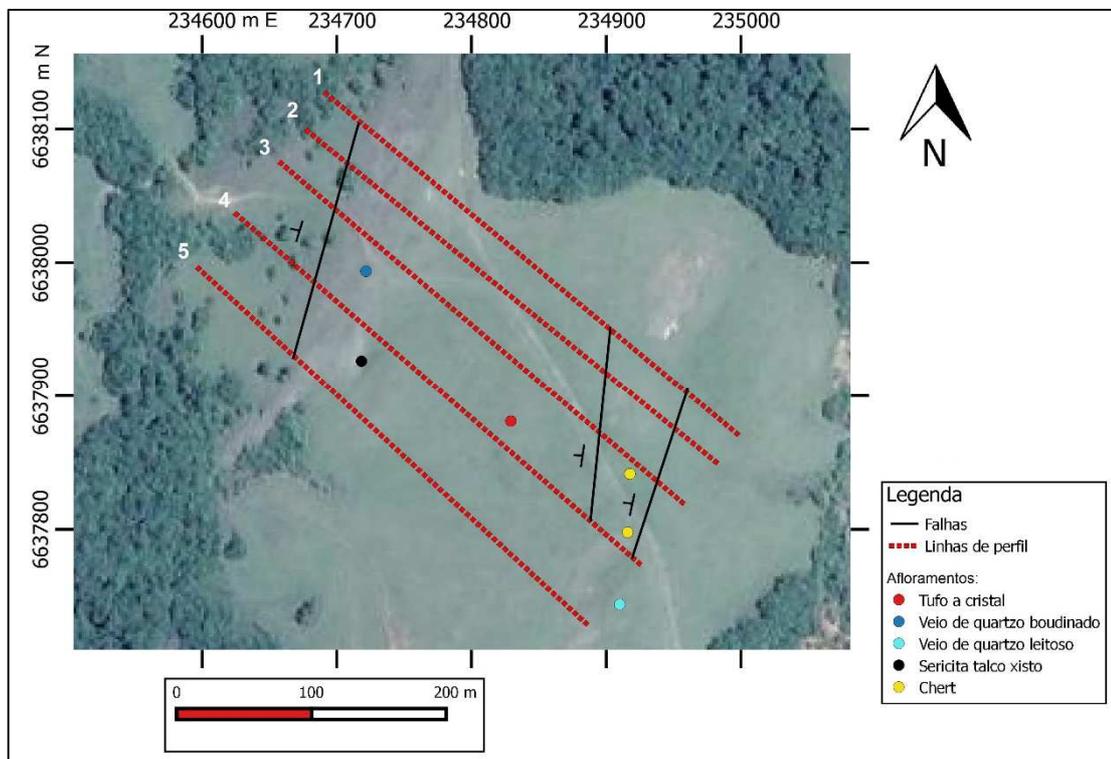
As estruturas verticais foram novamente analisadas nas seções, correlacionadas entre as cinco linhas para obter a continuidade das estruturas e compreender melhor seu comportamento ao longo de toda a área que as linhas abrangem. Através da análise dos lineamentos dos gráficos e pseudoseções, as estruturas apresentam boa correlação, onde elas foram identificadas com os mesmos padrões na interpretação dos dados.

Comparando os dados geofísicos dos perfis com a geologia local do Complexo da Bossoroca, é possível associar os valores de menor condutividade representando rochas da Sequência Campestre, com maiores concentrações de sílica como o chert veios de quartzo e também os derrames de lava de composição andesítica. Os valores de condutividade elevados,

na posição inicial das linhas a NW, representam a litologia da Sequência Arroio Lajeado com rochas básicas e meta-ultrabásicas, como os xistos magnesianos, sericita talco xisto e serpentinitos.

Através do mapa e com as observações de campo, a região de maior resistividade está relacionada a presença de afloramentos de chert e dos veios de quartzo leitoso que preencheram as discontinuidades das rochas, desta forma as regiões onde ocorre uma anomalia do tipo “bullseye”, que representa uma anomalia central de valor baixo e ao seu redor apresenta linhas, que de maneira gradacional aumentam os valores, marcando a presença destas rochas.

Figura 36 - Correlação dos perfis geofísicos com as falhas encontradas.



Fonte: Imagem do Google Earth adaptada.

De acordo com o mapa geológico de Porcher; Lopes, (2000b), (figura 25), os perfis geofísicos se encontram sobre a litologia da Sequência Arroio Lajeado, porém as falhas inseridas em subsuperfície, com orientação NE-SW e mergulho NW (figura 36), no mapa da condutividade elétrica indicam um elevado contraste nos valores, no início das linhas 2, 3, 4 e 5 a NW da falha 1, que está associado ao contato entre as duas litologias do Complexo Bossoroca, Sequência Campestre a leste e Sequência Arroio Lajeado a oeste.

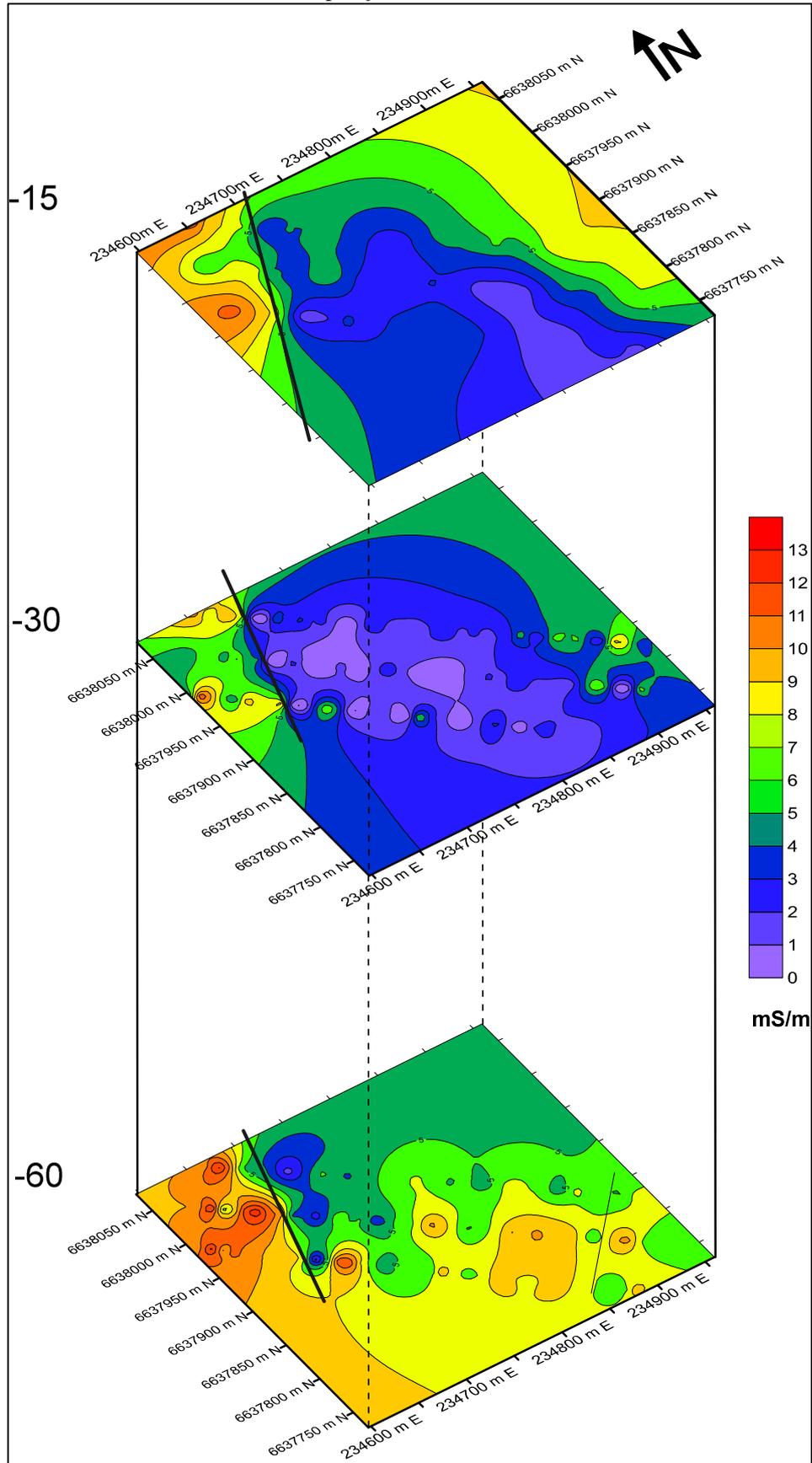
Ainda sobre os dados do método eletromagnético, os mapas de condutividade elétrica (figura 37) foram elaborados através das coordenadas das linhas 3, 4 e 5 e os valores de condutividade destas linhas de perfil, as linhas 1 e 2 não foram inseridas nestes mapas devido à falta destes perfis com o cabo de 40 metros.

As seções do dipolo horizontal representam melhor a continuidade horizontal das anomalias, no mapa as linhas se comportam de maneira mais espaçada e com uma gradação de valores mais suave, como mostra o mapa da profundidade de 15 metros. Já nas seções com dipolo vertical, os valores representam melhor as continuidades verticais, como estruturas de falhas, assim as linhas dos valores se alteram de maneira mais abrupta quando observadas horizontalmente. Através deste princípio, nos mapas pode se observar a tendência dos contrastes de valores na orientação NE-SW, que é concordante com a tendência das estruturas lineares encontradas e identificadas através do sensoriamento remoto e da interpretação dos dados do geocondutímetro.

O mapa de menor profundidade corresponde aos dados do dipolo horizontal do cabo de 20 metros que atinge a profundidade teórica de 15 metros. O mapa de profundidade intermediária (30 metros) corresponde a junção dos dados do dipolo vertical do cabo de 20 metros com os dados do dipolo horizontal do cabo de 40 metros. No último mapa, o de profundidade de 60 metros, estão os dados do dipolo vertical do cabo de 40 metros. Através da associação destes mapas, foi possível correlacionar não só as estruturas verticais como também as litologias envolvidas e sua estruturação espacial sob as linhas de perfil eletromagnético.

Os valores de condutividade baixos se apresentam como uma camada depositada horizontalmente na região central, que se estende para a região sul do mapa e é encontrado nas profundidades de 15 e 30 metros nos dois primeiros mapas. Esta camada corresponde aos derrames de lava de composição andestítica, o chert e os veios de quartzo leitoso. Na profundidade de 60 metros este corpo resistivo não é encontrado. Já a litologia condutiva é encontrada em todas as profundidades a NW da falha 1, representada pelo traço preto nos mapas. E se mostra com mais representatividade horizontal na profundidade de 60 metros. Esta litologia está representada em campo apenas pelo afloramento de sericita talco xisto.

Figura 37 – Mapas da condutividade elétrica em diferentes profundidades. O traço preto no mapa representa a posição da falha 1.



Fonte: Elaborado pelo autor no software Surfer 9.0.

10. CONCLUSÕES

A grande diferença de escalas, entre a imagem de satélite utilizada com resolução de 30 por 30 metros, e os dados obtidos no campo com o geocondutímetro de terreno, em uma linha com comprimento de 400 metros e profundidade máxima de 60 metros, resultaram em uma análise em escalas muito distintas, apresentando assim as estruturas em perspectivas diferentes. Com a imagem de satélite é possível associar estruturas de grande porte que de alguma forma apresentam evidências na superfície do terreno, já com a aplicação do método geofísico eletromagnético, é possível encontrar estruturas de pequena magnitude e em subsuperfície. Desta forma a junção destes dois métodos possibilita uma melhor compreensão das estruturas encontradas.

O método geofísico eletromagnético se mostrou satisfatório na caracterização e diferenciação de corpos condutivos e resistivos, pois as rochas que envolvem as litologias do Complexo Bossoroca apresentaram estas características na análise de seus dados. A aplicação do sensoriamento remoto foi de suma importância para a correta locação e orientação das linhas de perfil geofísico em relação as tendências dos lineamentos encontrados, que condizem com as estruturas das bibliografias estudadas.

A área de estudo se encontra em um local de contato entre litologias, assim a presença de falhas é mais intensa. A falha 1, que é a mais evidente e de maior porte, tem suas características observadas tanto nos lineamentos da imagem de satélite, quanto nos gráficos e perfis geofísicos, já outras falhas menores que foram encontradas com o caminhamento eletromagnético não foram completamente observadas na imagem de satélite, ou foram parcialmente encontradas, devido falta de evidência em superfície. Esta falha 1 ainda representa a separação das litologias, Sequência Arroio Lajeado a oeste e Sequência Campestre a leste, em campo foi possível observar um contraste na vegetação presente no solo de cada lado da falha, a noroeste o solo apresenta uma vegetação mais elevada, e a sudeste uma vegetação mais rasteira representada por gramíneas.

Com base nos dados obtidos pode-se observar que o comportamento estrutural e geotectônico da área apresenta orientações, tendências das falhas e litologias na direção NE 30° a 45°SW. A gênese do ouro nessa mina é de origem mesotermal, a partir de líquidos hidrotermais que percolam pelas discontinuidades das rochas, desta forma a identificação e compreensão do comportamento destas falhas é crucial para o estabelecimento de diretrizes prospectivas do ouro.

Em relação a prospecção de ouro, que neste caso ocorre nos veios de quartzo e nas rochas encaixantes aos veios, o corpo de caráter resistivo é de grande importância. Rochas com características resistivas como o chert e os veios de quartzo foram encontrados em afloramento do tipo lajeado e em profundidade, através dos dados é possível delimitar, até aonde os dados geofísicos deste estudo abrangem, a extensão e continuidade deste corpo que pode conter todos os aspectos necessários para uma mineralização aurífera.

Após compreender e identificar a estruturação, tendência e localização espacial destas estruturas é possível direcionar e delimitar uma área para os futuros avanços nos processos de prospecção mineral na região. Este corpo resistivo encontrado mais evidentemente a 30 metros de profundidade e com continuidade para a direção sul, deve ser mais detalhadamente explorado, buscando separar as litologias envolvidas nele e os falhamentos, para encontrar a orientação dos veios de quartzo, que é a litologia mais importante para a prospecção de ouro e as falhas que são as estruturas que possibilitam a formação destes veios. Desta forma a litologia da Sequência Campestre é a litologia do Complexo Bossoroca mais importante para a prospecção de ouro e o contato entre as duas litologias favorece a formação falhas que por sua vez podem hospedar os veios de quartzo mineralizados.

11. REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Renato Paes de. **Evolução tectono-sedimentar da Formação Santa Bárbara na Sub-bacia Camaquã ocidental, RS** Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo (USP). Instituto de Geociências. 2001.

ALBERTI, Edison A.; ARNUTI, Fabrício; CAMPONOGARA, Isabel; FILHO, Waterloo PEREIRA. **Uso da Terra na Microbacia da Sanga Alberti e Sua Influência em Variáveis Limnológicas – São João do Polêsine/RS**. In: X SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA. Rio de Janeiro, maio de 2015.

BORBA, A. W. **Evolução geológica da “Bacia do Camaquã” (Neoproterozóico e Paleozóico Inferior do Escudo Sul-rio-grandense, RS, Brasil): Uma Visão com Base na Integração de Ferramentas de Estratigrafia, Petrografia e Geologia Isotópica**. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2006.

BABINSKI, M.; CHEMALE Jr. F.; HARTMANN, L. A.; VAN SCHMUS, W. R.; SILVA, L. C. **Juvenile Accretion at 750±700 Ma in Southern Brazil**. *Geology*, v. 24, n. 5, p. 439-442. 1996.

BITENCOURT, M. F. A. S.; NARDI, L. V. S. **Late-to Post-Collisional Brasileiro Magmatism in Southernmost Brazil**. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v. 65 (1), p. 3-16, 1993.

CAMARA, G.; SOUZA, R.C.M.; FREITAS, U.M.; GARRIDO, J. **SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling**. *Computers & Graphics*. p. 395-403. 1996.

COSTA, A. F. U.; FERNANDES, L.A.D.; MAGRO, F.H.S.; NADAL, C.A.; FÉLIX, L.M. **Modelagem Gravimétrica dos Granitóides Sintectônicos à Zona de Cisalhamento Transcorrente Dorsal de Canguçu**. *Revista Brasileira de Geofísica*. 1995a.

COSTA, A. F. U.; RAMGRAB, G.; CAMOZZATO, E.; FERNANDES, L.; AZAVEDO, M. **Compartimentação Tectônica das Associações de Rochas Pré-Cambrianas do Escudo Sul-Rio-Grandense Baseada em Dados de Magnetometria e Gravimetria**. In: Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos. Gramado, RS, 1995b.

COSTA A. F. U. **Teste e Modelagem Geofísica das Associações Litotectônicas Précambrianas no Escudo Sul-Rio-Grandense**. Tese de Doutorado em Ciências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 1997.

CHEMALE JR. **Evolução Geológica do Escudo Sul-Rio-Grandense**. In: Geologia do Rio Grande do Sul, p. 13-52. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2000.

FAMBRINI, Gelson Luís; JANIKIAN, Liliane; ALMEIDA, Renato Paes de; FRAGOSO-CESAR, Antonio Romalino Santos. **Evolução Estratigráfica e Paleogeográfica do Grupo Santa Bárbara (Ediacarano) na Sub-bacia Camaquã Central, RS**. Revista do Instituto de Geociências – USP, v. 7, p. 1-24. São Paulo, outubro de 2007.

FERNANDES, L. A. D.; MENEGAT, R.; COSTA, A. F. U.; KOESTER, E.; PORCHER, C. C.; TOMMASI, A.; KRAEMER, G.; RAMGRAB, G. E. & CAMOZZATO, E. **Evolução Tectônica do Cinturão Dom Feliciano no Escudo Sul-Rio-Grandense: Parte I- Uma Contribuição a Partir do Registro Geológico**. Revista Brasileira de Geociências 25 (4), 351-374. Dezembro de 1995.

FRAGOSO-CESAR, A. R. S., Almeida, R. P., Fambrini, G. L., Pelosi, A. P. M. R., & Janikian, L. A **Bacia Camaquã: Um Sistema Intracontinental Anorogênico de Rifts do Neoproterozóico III-Eopaleozóico no Rio Grande do Sul**. In: Encontro sobre a Estratigrafia do Rio Grande do Sul, Boletim de Resumos, SBG, p. 139-144. Porto Alegre, 2003.

FRANTZ, J. C.; MARQUES, J. C.; HARTMANN, L. A. *Assesment of the Dom Feliciano Belt: Some Implications for the Tectonic Modeling of the Brasiliano Cycle in Southern Brazil*. In: I Encontro sobre a estratigrafia do Rio Grande do Sul: Escudo e Bacias, p. 58-62. Porto Alegre 2003.

GARCIA, Bruno; HAAG, Gabriel. **A Era do Ouro em São Sepé. São Sepé**. Jornal Investigativo UNIFRA. 2012. Disponível em < <http://centralsul.org/investigativo/?p=743>>. Acesso em: 10 de maio de 2015.

HARTMANN, L. A.; NARDI, L. V. S. **Os granitos Santo Afonso, Saibro e Vauthier da Região do Arroio Santa Maria Chico, Dom Pedrito, RS – Geologia, Petrologia e Geoquímica de Elementos Maiores, com Interpretação Geotectônica.** Ata Geológica Leopoldense, v. 12, p. 153-158. 1982.

HARTMANN, L. A.; PHILIPP, R.P.; SANTOS, J.O.S. & McNaughton, N. J. **Time Frame of 753 680Ma Juvenile Accretion During the São Gabriel Orogeny, Southern Brazilian Shield.** *Gondwana Research*, 19: p. 84-99. 2011.

INPE, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Catálogo de Imagens.** Disponível em: <<http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>>. Acesso em: 16 de maio, 2015.

Koppe, J., Hartmann, L. A., Lisboa, P. F. C., & Monteiro, R. N. **Aspetos geológicos e estratigráficos do Complexo Bossoroca, São Sepé, Rio Grande do Sul.** *SBG*, Simpósio Sul-Brasileiro de Geologia, 2, p. 32-36. 1985.

KOPPE, J. C. **Metalogênese do Ouro da Mina da Bossoroca, São Sepé, RS.** Instituto de Geociências, UFRGS. Porto Alegre 1990.

LAUX, J. H. *et al.* **Mapa Geológico Lagoa da Meia Lua.** CPRM, Escala: 1:100.000. Porto Alegre, 2012.

Liu, C. C. **A Geologia Estrutural do Estado do Rio de Janeiro, Vista Através de Imagens MSS do Landsat.** Simpósio de Geologia Regional RJ-ES, 1, 282-293. São José dos Campos, SP 1987.

MATTOS, I. C.; MEXIAS, Andre S.; FORMOSO, M. L. L. **Alteração Hidrotermal a SW do Complexo Granítico São Sepé – São Sepé/RS.** *Geochim.* p. 12-27. Brasil, 2004.

MCNEILL, J. D. **Electromagnetic Terrain Conductivity Measurement at Low Induction Numbers.** 1980.

MOREIRA, CÉSAR AUGUSTO; DOURADO, JOÃO CARLOS. **Análise de Contaminantes de Fase Líquida Não Aquosa (NAPLs) por Aplicação do Método Eletromagnético**

Indutivo (EM). Revista Brasileira de Geofísica, São Paulo, v. 23, n. 3, p. 213-220. Setembro de 2005. Disponível em <
http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102261X2005000300001#tab01 >.

NAIME, R. H. Geologia do Complexo Granítico Ramada e do Granito Cerro da Cria. Dissertação de Mestrado, UFRGS. Porto Alegre, 1987.

NOVO, Evlyn M. L. Sensoriamento Remoto Princípios e Aplicações. 3ª edição, São Paulo: Editora Blucher, 2008.

OSTROSVSKIY, E. Y. Antagonism of Radioactive Elements in Wallrock Alterations and Its Use in Aerogamma Spectrometric Prospecting. International geology review, 1973.

O'LEARY, D. W., FRIEDMAN, J. D., & POHN, H. A. Lineament, Linear, Lineation: Some Proposed New Standards For Old Terms. Geological Society of America Bulletin, v. 87, p. 1463-1469. 1976.

PEREIRA, Janaína Gattermann. Contribuição ao Estudo Geológico da Bacia do Camaquã – RS, Através de Modelagem Aeromagnética 2,5D. Dissertação de Mestrado. Porto Alegre, 2011.

PHILIPP, R. P.; MACHADO, R.; NARDI, L. V. S.; LAFON, J. M. O Magmatismo Granítico Neoproterozóico do Batólito Pelotas no Sul do Brasil: Novos Dados e Revisão da Geocronologia Regional. Revista Brasileira de Geociências, v. 32 , n. 2, p. 277-290. 2002.

PINTO, Viter M.; Contribuição ao Estudo Metalogenético dos Principais Depósitos Auríferos da Sequência Campestre, RS. Dissertação de Mestrado. Porto Alegre 1997.

PINTO, Viter M.; HARTMANN, Léo A.; RONCHI, Luiz H.; KOPPE, Jair C.; SOARES, Evaldo; REMUS, Marcus V.; ATHAYDE, Gustavo; MENTESINOS, Delia del Pilar de A. Geology, Ore Characterization And Fluid Inclusions Study Of Gold Deposits From The Campestre Formation, Southernmost Brazil. In: Congresso Uruguaio de Geologia, Uruguai, 2013.

PORCHER, C. A.; LOPES, R. C. **Relatório Folha Cachoeira do Sul SH.22 – Y – A. Estado do Rio Grande do Sul**. CPRM, Programas Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil, p. 9-58. Porto Alegre 2000a.

PORCHER, C. A.; LOPES, R. C. **Cachoeira do Sul, Folha SH.22 - Y - A. Estado do Rio Grande do Sul**. CPRM, Programas Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil, Escala 1: 250.000. Porto Alegre 2000b.

REMUS, M. V. D.; MCNAUGHTON, N. J.; KOPPE, Jair C.; FLETCHER, I. R.; GROVES, D. I.; PINTO, Viter M. **Gold in the Neoproterozoic Juvenile Bossoroca Volcanic Arc of Southernmost Brazil: Isotopic Constraints on Timing and Sources**. *Journal of South American Earth Sciences*, v. 12, n. 4, p. 349-366. 1999.

ROBERTO, Vagner. **Métodos Elétricos e Eletromagnéticos**. UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas. São Paulo, 2000. Disponível em <<http://www.iag.usp.br/siae98/eletromag/eletromag/.htm>>. Acesso em: 11 de abril de 2015.

SANTOS, Roberto Paulo Z. **Análise Multivariada de Dados Aerogamaespectrométricos, Aeromagnéticos e Sensoriamento Remoto Como Auxiliar na Prospecção de Minerais Metálicos na Região da Bacia do Camaquã – RS**. Dissertação de Mestrado. São Paulo, 2014.

SAALMANN, K.; HARTMANN, L. A.; REMUS, M. V. D.; KOESTER, E.; CONCEIÇÃO, R. V. ***Sm-Nd Isotope Geochemistry of Metamorphic Volcano-Sedimentary Successions in the São Gabriel Block, Southernmost Brazil: Evidence for The Existence of Juvenile Neoproterozoic Oceanic Crust to The East of The Rio de La Plata Craton***. *Precambrian Research*, 136: p. 159-175. 2005.

SEPLAN - Secretaria do Planejamento e Desenvolvimento Regional. **Hipsometria e Unidades Geomorfológicas**. 2008. Disponível em: <http://www.scp.rs.gov.br/atlas/conteudo.asp?cod_menu_filho=791&cod_menu=790&tipo_menu=APRESENTACAO&cod_conteudo=1330>. Acesso em: 25 maio 2015.

SOARES, Marcio; KOPPE, Jair; COSTA, João Felipe C. L.; ROLIM, Silvia Beatriz. **Interpretação das Anomalias de Potássio Hidrotermal e Parâmetro F da Região do Complexo Bossoroca, São Sepé, RS.** REM - Revista Escola de Minas, v. 57, p. 39-44. Ouro Preto, 2004.

SOLIANI Jr., E. **Os Dados Geocronológicos do Escudo Sul-Rio-Grandense e Suas Implicações de Ordem Geotectônica.** Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. Teses (Doutorado), p. 425. São Paulo, 1986.

SOLIANI JR, E.; KOESTER, E.; FERNANDES, L. A. D. **Geologia Isotópica do Escudo Sul-Rio-Grandense, Parte II: Os Dados Isotópicos e Interpretações Petrogenéticas.** Geologia do Rio Grande do Sul, p. 175-230. Porto Alegre, 2000.

TICKYJ, H.; HARTMANN, L.A.; VASCONCELOS, M.A.Z.; PHILLIPP, R.P.; REMUS, M.V.D. **Electron Microprobe Dating of Monazite Substantiates Ages of Major Geological Events in The Southern Brazilian Shield.** Journal of South American Earth Sciences, v.16 (8), p. 669-713. 2004.

UNESP - UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA JULIO DE MESQUITA. **Banco de Dados – Minerais.** Museu de Minerais e Rochas "Heinz Ebert". São Paulo, 2001. Disponível em: <<http://www.rc.unesp.br/museudpm/banco/elementos%20nativos/ouro.html>>. Acesso em: 01 de maio de 2015.

12. ANEXOS

12.1 Planilha dos dados do caminhamento eletromagnético

EQUIPAMENTO: EM-34-3XL			DATA: 14/09/2015		
EST.	PERFIL:	linha 1	CABO: 20	UTM-WGS84	
Nº	DH	DV	LONGITUDE	LATITUDE	OBSERVAÇÃO
0	7.8	5.4	234692.214	6638126.285	
10	6.2	3.4	234699.921	6638119.684	
20	5.4	4.5	234707.658	6638113.451	
30	4.2	0.0001	234715.333	6638106.912	
40	3.2	0.0001	234722.978	6638100.526	
50	4.7	8	234730.623	6638094.14	
60	5.6	0.3	234738.329	6638087.723	
70	5.6	0.0001	234746.005	6638081.275	
80	5.1	0.0001	234753.711	6638074.889	
90	4.1	2.2	234761.448	6638068.503	
100	3.7	0.0001	234769.155	6638062.025	
110	3.6	0.9	234776.83	6638055.577	
120	4.1	3.7	234784.506	6638049.191	
130	4.1	3.4	234792.089	6638042.744	
140	4.7	2.8	234799.888	6638036.358	
150	4.7	2.3	234807.502	6638029.91	
160	4.2	1.5	234815.208	6638023.524	
170	4.8	2.5	234822.853	6638017.138	
180	5.3	2.7	234830.498	6638010.752	
190	6	2.7	234838.204	6638004.274	
200	5.7	4.3	234845.911	6637997.888	carro passou
210	5.4	4.3	234853.617	6637991.409	
220	5.2	3	234861.293	6637985.023	
230	5.4	3.8	234868.876	6637978.668	
240	4	1.1	234876.613	6637972.19	
250	3.9	2.9	234884.258	6637965.804	
260	3.8	4.7	234891.964	6637959.417	
270	4.5	4.5	234899.563	6637952.939	
280	6.2	4.4	234907.269	6637946.522	
290	8.2	2.7	234915.006	6637940.106	
300	8.6	0.5	234922.651	6637933.719	
310	9.7	4.1	234930.327	6637927.333	
320	8.9	5.8	234938.003	6637920.947	
330	7.8	4.4	234945.678	6637914.469	
340	6.2	2.4	234953.354	6637908.144	
350	5.4	3.2	234960.999	6637901.697	
360	4.9	3.3	234968.674	6637895.341	
370	5	8.1	234976.35	6637888.863	*
380	6.4	6.3	234984.025	6637882.446	(+ 8.8 metros)
390	6.9	4.4	234991.67	6637875.999	
400	5	3.5	234998.271	6637870.488	

EQUIPAMENTO: EM-34-3XL			DATA: 14/09/2015		
EST.	PERFIL:	linha 2	CABO: 20	UTM-WGS84	
Nº	DH	DV	LONGITUDE	LATITUDE	OBSERVAÇÃO
0	7.6	7.9	234677.999	6638098.545	estaca
10	6.7	7.7	234685.859	6638092.129	
20	6.5	8.4	234693.442	6638085.835	
30	5.2	4.4	234701.302	6638079.541	
40	5	4	234709.07	6638073.216	
50	5.5	0.7	234716.807	6638066.799	
60	5.3	4.3	234724.452	6638060.567	
70	5.3	1.8	234732.281	6638054.119	
80	4.8	0.0001	234739.987	6638047.794	
90	4	0.0001	234747.816	6638041.5	
100	4.1	0.0001	234755.461	6638035.206	
110	5.1	1.6	234763.168	6638028.851	
120	4.5	1.4	234771.027	6638022.465	
130	5.4	1.3	234778.764	6638016.232	
140	4.7	2.7	234786.563	6638009.815	
150	4.5	6.9	234794.238	6638003.368	*
160	4.4	2.9	234801.975	6637997.135	
170	4.4	4.6	234809.774	6637990.811	
180	4.8	2.8	234817.388	6637984.547	
190	5.4	2	234825.248	6637978.038	
200	5.9	3	234832.77	6637971.775	
210	5.5	4.4	234840.538	6637965.604	
220	5.4	3.4	234848.275	6637959.279	
230	5.1	5.1	234855.981	6637952.924	
240	5.8	3.5	234863.749	6637946.691	
250	4.8	1.4	234871.455	6637940.244	
260	4.7	2.2	234879.223	6637933.98	
270	4.7	4.6	234886.868	6637927.656	
280	4.9	2.5	234894.789	6637921.116	
290	6.4	6.1	234902.464	6637915.006	
300	6.9	1.7	234910.201	6637908.497	
310	7.1	0.0001	234917.908	6637902.265	
320	7.9	5.1	234925.676	6637896.002	
330	7.1	5.3	234933.105	6637889.83	
340	6.6	6.2	234941.119	6637883.414	
350	6.9	5.5	234948.856	6637876.966	
360	6.8	1.8	234956.593	6637870.611	
370	6.7	2.4	234964.453	6637864.255	
380	7.3	3.9	234972.128	6637857.961	
390	6.4	3.3	234979.128	6637852.22	
400	5.6	3.4	234984.317	6637847.952	

EQUIPAMENTO: EM-34-3XL			DATA: 14/09/2015		
EST.	PERFIL:	linha 3	CABO: 20	UTM-WGS84	
Nº	DH	DV	LONGITUDE	LATITUDE	OBSERVAÇÃO
0	9.5	8.5	234658.327	6638074.515	
10	7.4	6.2	234666.002	6638068.006	
20	7.3	7.1	234673.524	6638061.589	
30	6.2	8	234681.077	6638055.019	
40	6.2	6.2	234688.722	6638048.541	
50	4.4	0.4	234696.336	6638042.032	
60	3.3	0.0001	234703.981	6638035.553	afloram. quartzo
70	3.2	4.5	234711.595	6638029.075	
80	4.2	1.6	234719.117	6638022.597	
90	3.8	3.4	234726.762	6638016.027	
100	4.7	1.9	234734.346	6638009.548	
110	4.5	2.3	234742.052	6638003.101	
120	4.6	1.1	234749.636	6637996.623	
130	3.6	0.0001	234757.219	6637990.083	
140	3.3	1	234764.864	6637983.605	
150	3.1	2.8	234772.448	6637977.096	
160	2.8	2.2	234780.062	6637970.587	
170	2.7	1.6	234787.768	6637964.14	
180	2.8	1.9	234795.229	6637957.631	
190	3.2	1.5	234802.874	6637951.214	
200	3.8	1.7	234810.457	6637944.736	
210	4.1	3.1	234818.071	6637938.227	
220	4.4	2.5	234825.624	6637931.749	
230	4.1	1.6	234833.238	6637925.148	
240	4.7	2.4	234840.853	6637918.731	
250	4.5	1.6	234848.467	6637912.253	
260	5.4	2.1	234855.989	6637905.774	
270	4.3	2.2	234863.634	6637899.204	
280	4.8	4.9	234871.279	6637892.756	quartzo
290	5.1	2.4	234878.862	6637886.217	quartzo avermelhado
300	5.9	2.8	234886.446	6637879.8	
310	6.6	5.5	234893.998	6637873.322	
320	6.7	4.8	234901.705	6637866.844	
330	6.7	5.3	234909.196	6637860.396	
340	6.7	2.9	234916.81	6637853.826	
350	6.3	2.2	234924.425	6637847.409	
360	6.2	7.2	234932.008	6637840.9	*
370	6.8	6.9	234939.653	6637834.33	
380	7	3.9	234947.359	6637827.821	estaca
390	6.5	3.2	234954.605	6637821.588	
400	6.6	4.5	234959.21	6637817.689	*

EQUIPAMENTO: EM-34-3XL			DATA: 14/09/2015		
EST.	PERFIL:	linha 3	CABO: 40	UTM-WGS84	
Nº	DH	DV	LONGITUDE	LATITUDE	OBSERVAÇÃO
0	11	8	234658.327	6638074.515	estaca 0 m
10	11.2	8.7	234666.002	6638068.006	
20	11.1	11.4	234673.524	6638061.589	
30	10.4	9.1	234681.077	6638055.019	
40	10.2	5.2	234688.722	6638048.541	
50	9.1	4.4	234696.336	6638042.032	
60	8.2	4.3	234703.981	6638035.553	
70	8.3	3	234711.595	6638029.075	
80	7.5	1.5	234719.117	6638022.597	
90	7.5	2.7	234726.762	6638016.027	
100	8	4.1	234734.346	6638009.548	
110	8.7	5.3	234742.052	6638003.101	
120	8.2	4.4	234749.636	6637996.623	
130	8.4	3.9	234757.219	6637990.083	
140	7.8	4.1	234764.864	6637983.605	
150	8.1	4.3	234772.448	6637977.096	
160	7.8	5.2	234780.062	6637970.587	
170	8.5	5.9	234787.768	6637964.14	
180	8.6	5.6	234795.229	6637957.631	
190	8.5	6.3	234802.874	6637951.214	
200	8.3	5.8	234810.457	6637944.736	
210	8.3	5.9	234818.071	6637938.227	
220	8.5	4.6	234825.624	6637931.749	
230	8.2	5.8	234833.238	6637925.148	
240	8.1	4.8	234840.853	6637918.731	
250	8.7	4.7	234848.467	6637912.253	
260	8.4	5.2	234855.989	6637905.774	
270	8.6	6.6	234863.634	6637899.204	
280	9.6	6.4	234871.279	6637892.756	
290	9.8	5.9	234878.862	6637886.217	
300	9.2	5.7	234886.446	6637879.8	
310	9.6	4.5	234893.998	6637873.322	
320	9.7	4.9	234901.705	6637866.844	Metachert
330	10	6.5	234909.196	6637860.396	
340	9.8	5.1	234916.81	6637853.826	
350	9.5	5.2	234924.425	6637847.409	
360	9.4	5	234932.008	6637840.9	
370	9.7	5	234939.653	6637834.33	
380	10.2	6.4	234947.359	6637827.821	
390	10.2	6.3	234954.605	6637821.588	
400	9.5	6.3	234959.21	6637817.689	estaca

EQUIPAMENTO: EM-34-3XL			DATA: 14/09/2015		
EST.	PERFIL:	linha 4	CABO: 20	UTM-WGS84	
Nº	DH	DV	LONGITUDE	LATITUDE	OBSERVAÇÃO
0	6.5	4.2	234625.414	6638036.198	subindo
10	5.2	5.5	234632.874	6638029.751	baixada
20	5.4	6.1	234640.243	6638023.119	baixada
30	6	4.1	234647.704	6638016.702	
40	6.4	6.3	234655.226	6638010.132	
50	6.6	4.3	234662.656	6638003.654	
60	6.3	4.2	234670.147	6637996.991	encosta
70	4	0.0001	234677.669	6637990.482	quartzo leitoso
80	4.1	0.01	234685.191	6637983.912	
90	2.9	2.6	234692.621	6637977.372	estaca do alto
100	3.7	0.5	234700.113	6637970.802	
110	4.5	0.0001	234707.665	6637964.201	
120	4.9	0.0001	234715.218	6637957.6	
130	4.2	1.4	234722.71	6637951.091	
140	3.2	0.7	234730.232	6637944.459	
150	2.8	0.0001	234737.6	6637937.95	
160	2.5	1.5	234745.214	6637931.319	
170	2.1	2.6	234752.737	6637924.779	
180	2.1	2	234760.228	6637918.178	
190	2.2	0.8	234767.75	6637911.638	
200	2.7	0.7	234775.272	6637905.068	
210	3.1	0.8	234782.764	6637898.467	
220	2.8	0.0001	234790.255	6637891.927	
230	2.9	0.0001	234797.9	6637885.296	
240	2.3	1.3	234805.361	6637878.756	
250	1.6	1.7	234812.852	6637872.186	
260	1.8	2.2	234820.374	6637865.616	
270	1.6	1.4	234827.865	6637859.045	aforam. Tufo
280	1.6	2.7	234835.387	6637852.444	
290	1.7	2.2	234842.91	6637845.935	
300	2.3	1.9	234850.37	6637839.334	
310	3	1.9	234857.892	6637832.733	
320	3.7	1.8	234865.384	6637826.224	
330	3.9	1.4	234872.906	6637819.593	
340	3.6	3.4	234880.428	6637813.053	
350	3.8	6	234887.919	6637806.483	
360	4.5	5.1	234895.441	6637799.943	aflorm. Quartzo
370	5	0.1	234902.994	6637793.281	aflorm. Quartzo
380	5.6	0.5	234910.578	6637786.68	
390	5.9	5.9	234918.069	6637780.048	
400	5.5	3.6	234925.192	6637773.907	

EQUIPAMENTO: EM-34-3XL			DATA: 14/09/2015		
EST.	PERFIL:	linha 4	CABO: 40	UTM-WGS84	
Nº	DH	DV	LONGITUDE	LATITUDE	OBSERVAÇÃO
0	11	8	234625.414	6638036.198	
10	11.2	8.7	234632.874	6638029.751	
20	11.1	11.4	234640.243	6638023.119	
30	10.3	5.4	234647.704	6638016.702	
40	10.6	7.3	234655.226	6638010.132	estaca de 0 m
50	11.4	10.8	234662.656	6638003.654	
60	10.3	11.6	234670.147	6637996.991	
70	10.5	9.3	234677.669	6637990.482	
80	9.4	8.7	234685.191	6637983.912	
90	9.2	3.6	234692.621	6637977.372	
100	8.9	4.1	234700.113	6637970.802	
110	7.2	2.4	234707.665	6637964.201	
120	6.9	4	234715.218	6637957.6	
130	7.4	6	234722.71	6637951.091	
140	7.4	4.8	234730.232	6637944.459	
150	7.5	5.1	234737.6	6637937.95	
160	8.5	3.6	234745.214	6637931.319	
170	8.3	3.9	234752.737	6637924.779	
180	8.1	5.4	234760.228	6637918.178	
190	6.2	5.4	234767.75	6637911.638	
200	6.3	6.8	234775.272	6637905.068	
210	6.3	8.3	234782.764	6637898.467	
220	6.4	7.5	234790.255	6637891.927	
230	6.6	6.3	234797.9	6637885.296	
240	6.5	4.9	234805.361	6637878.756	
250	6.2	5.1	234812.852	6637872.186	
260	6.5	6	234820.374	6637865.616	
270	6.2	6.9	234827.865	6637859.045	
280	6	8.1	234835.387	6637852.444	
290	5.7	7.3	234842.91	6637845.935	
300	5.6	8.3	234850.37	6637839.334	
310	5.5	7.8	234857.892	6637832.733	
320	6.1	7.5	234865.384	6637826.224	
330	6.4	8.1	234872.906	6637819.593	
340	6.5	6.3	234880.428	6637813.053	
350	6.8	5.4	234887.919	6637806.483	
360	7.1	6.3	234895.441	6637799.943	
370	7.5	7.9	234902.994	6637793.281	
380	7.7	8.4	234910.578	6637786.68	
390	8.1	6.2	234918.069	6637780.048	
400	5.7	5.3	234925.192	6637773.907	estaca

EQUIPAMENTO: EM-34-3XL			DATA: 14/09/2015		
EST.	PERFIL:	linha 5	CABO: 20	UTM-WGS84	
Nº	DH	DV	LONGITUDE	LATITUDE	OBSERVAÇÃO
0	8.1	4.1	234597.229	6637995.794	
10	8.6	10.1	234604.229	6637989.316	
20	8.7	7.8	234611.536	6637982.469	
30	9.1	5.1	234618.813	6637975.837	
40	9.3	4.4	234626.181	6637968.991	
50	8.7	7.6	234633.458	6637962.267	*
60	7.8	6.6	234640.734	6637955.543	
70	7.1	6.2	234648.103	6637948.758	
80	5.8	7.6	234655.41	6637941.942	
90	3.1	0.0001	234662.686	6637935.157	
100	1.4	0.0001	234670.055	6637928.433	
110	1.9	3.6	234677.362	6637921.678	
120	1.9	6.2	234684.577	6637914.893	
130	2.7	3.8	234691.915	6637908.2	
140	3.4	0.0001	234699.13	6637901.476	
150	2.3	0.0001	234706.529	6637894.752	
160	2.5	2	234713.867	6637887.936	afloram quartzo
170	2.8	1.8	234721.174	6637881.12	
180	3.5	0.1	234728.451	6637874.396	
190	3.3	0.0001	234735.82	6637867.642	
200	3.7	5.5	234743.157	6637860.826	
210	3.6	2.5	234750.495	6637854.01	
220	3.9	1.4	234757.802	6637847.255	
230	3.6	0.4	234765.11	6637840.47	
240	3.5	0.4	234772.509	6637833.654	
250	3.2	1.4	234779.755	6637826.93	
260	2.9	3	234787.031	6637820.115	
270	2.3	3.1	234794.4	6637813.421	
280	2.1	0.9	234801.707	6637806.636	
290	1.9	0.4	234809.075	6637799.82	
300	1.8	2.1	234816.321	6637793.066	
310	1.6	2.3	234823.659	6637786.311	
320	1.3	1.9	234830.966	6637779.587	
330	1.4	1.8	234838.335	6637772.771	
340	1.9	1.3	234845.703	6637765.925	
350	2.2	1.5	234853.041	6637759.14	
360	2.3	2.1	234860.379	6637752.385	
370	2.7	2.8	234867.717	6637745.569	afloram quartzo
380	2	2.5	234875.024	6637738.753	afloram quartzo
390	1.7	2.4	234882.301	6637732.152	estaca 400 m
400	2	3.1	234887.52	6637727.27	

EQUIPAMENTO: EM-34-3XL			DATA: 14/09/2015		
EST.	PERFIL:	linha 5	CABO: 40	UTM-WGS84	
Nº	DH	DV	LONGITUDE	LATITUDE	OBSERVAÇÃO
0	11	8	234597.229	6637995.794	
10	11.2	8.7	234604.229	6637989.316	
20	11.1	11.4	234611.536	6637982.469	
30	11.3	7.9	234618.813	6637975.837	estaca inicial
40	11.6	9.6	234626.181	6637968.991	
50	12.6	8.5	234633.458	6637962.267	
60	12.3	8.9	234640.734	6637955.543	
70	12.1	7.1	234648.103	6637948.758	
80	11.5	7.8	234655.41	6637941.942	
90	10.6	7.6	234662.686	6637935.157	
100	9.4	6.6	234670.055	6637928.433	
110	7.6	1.5	234677.362	6637921.678	
120	6.2	4.5	234684.577	6637914.893	
130	6.7	9.7	234691.915	6637908.2	
140	7.8	9.9	234699.13	6637901.476	
150	7.6	6.9	234706.529	6637894.752	
160	6.9	5.5	234713.867	6637887.936	
170	7.5	4	234721.174	6637881.12	
180	7.8	5.1	234728.451	6637874.396	
190	7.5	5.3	234735.82	6637867.642	
200	7.8	5.4	234743.157	6637860.826	
210	8.3	4.9	234750.495	6637854.01	
220	7.9	7.9	234757.802	6637847.255	
230	8	6.4	234765.11	6637840.47	
240	7.6	5.8	234772.509	6637833.654	
250	8	5.9	234779.755	6637826.93	
260	7.7	6.7	234787.031	6637820.115	
270	7.5	8.2	234794.4	6637813.421	
280	7.3	7.1	234801.707	6637806.636	
290	6.9	6.9	234809.075	6637799.82	
300	7.3	6.8	234816.321	6637793.066	
310	6.9	7.3	234823.659	6637786.311	
320	7.3	7.8	234830.966	6637779.587	
330	6.9	7.2	234838.335	6637772.771	
340	6.7	6.5	234845.703	6637765.925	
350	6.5	6.5	234853.041	6637759.14	
360	7.3	5.1	234860.379	6637752.385	
370	6.9	5.1	234867.717	6637745.569	
380	6.8	5.8	234875.024	6637738.753	
390	6.3	8	234882.301	6637732.152	
400	7.4	6.7	234887.52	6637727.27	Estaca final

12.2 Perfil de elevação das cinco linhas de perfil geofísico

