

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"



Trabalho de Conclusão de Curso

Curso de Graduação em Geologia

MÉTODOS GEOELÉTRICOS APLICADOS NA CARACTERIZAÇÃO DE OCORRÊNCIA AURÍFERA EM GABRO NO MUNICÍPIO DE SÃO SEPÉ-RS

Bruna Costa Lenko Orientador: Prof. Dr. César Augusto Moreira

Rio Claro (SP) 2017

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Instituto de Geociências e Ciências Exatas Campus de Rio Claro

BRUNA COSTA LENKO

# MÉTODOS GEOELÉTRICOS APLICADOS NA CARACTERIZAÇÃO DE OCORRÊNCIA AURÍFERA EM GABRO NO MUNICÍPIO DE SÃO SEPÉ – RS

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas - Câmpus de Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, para obtenção do grau de Geólogo.

Rio Claro – SP 2017

551 Lenko, Bruna Costa

L566m Métodos geoelétricos aplicados na caracterização de ocorrência aurífera em gabro no município de São Sepé (RS) / Bruna Costa Lenko. - Rio Claro, 2017 55 f. : il., figs., fots.

> Trabalho de conclusão de curso (Geologia) -Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas Orientador: César Augusto Moreira

 Geofísica. 2. Pesquisa mineral. 3. Eletrorressitividade.
 Polarização induzida. 5. Mineralizações filonianas. I. Título.

Ficha Catalográfica elaborada pela STATI - Biblioteca da UNESP Campus de Rio Claro/SP - Adriana Ap. Puerta Buzzá / CRB 8/7987

# NOME DA ALUNA: BRUNA COSTA LENKO

# MÉTODOS GEOELÉTRICOS APLICADOS NA CARACTERIZAÇÃO DE OCORRÊNCIA AURÍFERA EM GABRO NO MUNICÍPIO DE SÃO SEPÉ - RS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas - Câmpus de Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, para obtenção do grau de Geólogo.

Comissão Examinadora Prof. Dr. César Augusto Moreira (orientador) Ms.Bruno Lenhare Ms.Pedro Camarero

Rio Claro, 07 de Dezembro de 2017.

Assinatura do(a) orientador(a)

Assinatura do(a) aluno(a)

#### AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer a toda a humanidade que me antecedeu e que de alguma forma permitiu que eu chegasse até aqui.

A meus pais, mas principalmente minha mãe Rose, que sempre me deu o suporte necessário para que pudesse desfrutar das inúmeras oportunidades que tive.

As minhas filhas Luna e Aurora, por me tirarem da zona de conforto, me impulsionando e mostrando outros caminhos, agradeço por me proporcionarem a descoberta do amor.

Ao meu orientador, Prof. Dr. César Augusto Moreira, por toda a dedicação, paciência, ajuda nos momentos de dúvidas, e principalmente por me inspirar a ser a melhor profissional que eu posso ser.

Ao colega Bruno Lenhare, por toda sua ajuda, prontidão e disposição durante o desenvolvimento desse trabalho.

As pessoas que nos receberam em Caçapava-do-Sul e contribuíram para o desenvolvimento desse trabalho, Paulo e Lenon.

Aos meus familiares e amigos por trazerem leveza em todos os processos.

#### RESUMO

Métodos geofísicos associados a levantamentos estruturais são uma importante ferramenta para a prospecção e pesquisa mineral. A associação de parâmetros físicos como resistividade e cargabilidade na busca por sulfetos demonstra bastante relevância em determinar o tipo de ocorrência mineral. Este trabalho apresenta os resultados da aplicação dos métodos eletrorresistividade e polarização induzida, por meio da técnica de tomografia elétrica, a fim de caracterizar as ocorrências auríferas associadas a sulfetos do gabro Santa Catarina, localizado no município de São Sepé (RS), numa região, onde foram detectadas pintas de ouro e sulfetos em campanha de prospecção geoquímica em sedimentos de corrente à jusante do gabro e trabalhos geofísicos prévios relacionaram as ocorrências auríferas as direções principais de fraturas (NW e NE). Foram realizadas cinco linhas de tomografia elétrica dispostas em direção E-W com espaçamento de 100m entre elas, e leituras de resistividade e cargabilidade em arranjo Dipolo-Dipolo. A correlação das assinaturas geofísicas de zonas de alta resistividade e alta cargabilidade além de zonas de baixa resistividade e alta cargabilidade obtidas a partir de modelos de inversão bidimensionais permitiram definir zonas potenciais com mineralizações filonianas, em profundidade e próximas a superfície.

**Palavra-chave:** pesquisa mineral, eletrorresistividade, polarização induzida, mineralizações filonianas.

#### ABSTRACT

Geophysical methods associated with structural surveys are an important tool for prospecting and mineral exploration. The association of physical parameters such as resistivity and chargeability in the search for sulphides demonstrate great relevance in determining the type of mineral occurrence. This work presents the results of the application of the DC resistivity and induced polarization methods, by using the electrical tomography technique, with the objective of characterize the gold occurrences associated to sulphides of gabro Santa Catarina, located in the city of São Sepé (RS), where pints of gold and sulphides were detected in a geochemical prospecting campaign in stream sediments in an downstream of the gabbro and previous geophysical studies related the gold occurrences to the main directions of fractures (NW and NE). Five electrical tomography lines were arranged in an E-W direction with spacing of 100m between them, and readings of resistivity and chargeability in a Dipole-Dipole arrangement. The correlation of the geophysical signatures of zones of high resistivity and high chargeability besides zones of low resistivity and high chargeability obtained from 2D inversion models allowed to define potential zones with filonian mineralization, in depth and near the surface.

**Key-words:** prospecting and mineral exploration, DC resistivity, induced polarization, filonian mineralization.

# LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1: Localização da área de estudo	13
Figura 2.1: Compartimentação dos blocos do Escudo Sul-Rio-Grandense	15
Figura 5.1: Analogia entre corrente elétrica e fluxo de água em canos	25
Figura 5.2: Relação resistividade e resistência	26
Figura 5.3: Gráfico que apresenta intervalos de resistividade e tipos de condução d	e alguns
tipos de solo, rochas e alguns minerais de minério	28
Figura 5.4: A área da curva de decaimento entre dois pontos de leitura	30
Figura 5.5: Esquema do arranjo Schlumberger	32
Figura 5.6: Esquema do Arranjo Wenner	34
Figura 5.7: Esquema do Arranjo Dipolo-Dipolo	35
Figura 6.1: Disposição das linhas de investigação geofísica	36
Figura 6.2: Foto do Equipamento Terrameter LS	39
Figura 6.3: Foto A da linha geofísica montada para iniciar a aquisição de dados. B:	Eletrodo
não polarizável conectado ao cabo, posicionado de maneira a cortar a direção de d	renagem
com o Gabro Santa Catarina aflorante	40
Figura 8.1: Diagrama de rosetas	39
Figura 8.2: Foto do gabro Santa Catarina com fraturas destacadas	40
Figura 8.3: Modelo de inversão de resistividade e cargabilidade para a linha 1	41
Figura 8.4: Modelo de inversão de resistividade e cargabilidade para a linha 2	42
Figura 8.5: Modelo de inversão de resistividade e cargabilidade para a linha 3	43
Figura 8.6: Modelo de inversão de resistividade e cargabilidade para a linha 4 e 5	44

# SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
1.1 Objetivos	12
1.2 Área de estudo	12
2 CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL	14
2.1 Bloco São Gabriel	14
3 CONTEXTO GEOLÓGICO LOCAL – COMPLEXO ESTRAT	IFORME BÁSICO -
ULTRABÁSICO	19
3.1. Gabro Santa Catarina	19
4 METALOGÊNESE	21
5 MÉTODOS	23
5.1 Levantamento Bibliográfica	23
5.2 Levantamento Estrutural	23
5.3 Fundamentação Teórica da Geofísica Aplicada	24
5.3.1 Método da Eletrorresistividade	25
5.3.2 Método da Polarização Induzida	28
5.3.3 Técnica Tomografia elétrica/Imageamento elétrico	31
5.3.4 Arranjo dipolo-dipolo	31
6 AQUISIÇÃO DOS DADOS	33
7 PROCESSAMENTO DOS DADOS	37
8 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	39
9 CONCLUSÃO	47
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	

#### 1 INTRODUÇÃO

De acordo com o Sumário Mineral de 2015 do DNPM o Brasil é o 11° maior produtor mundial de ouro. Em 2014 o país produziu cerca de 81 t, sendo que 71,1 t são de ouro primário, Minas Gerais (46,6%) é o Estado pioneiro na produção seguido por Goiás (13,7%), Pará (12,8%), Mato Grosso (7,8%), Bahia (7,2%), Amapá (6,9%) e Maranhão (3,2%). Apenas 9,9 t são provenientes de atividades garimpeiras com destaque nos Estados de Mato Grosso (44,1%), Pará (41,7%) e Rondônia (7,4%).

O principal uso desse metal precioso é para o ramo de joalheria, seguido por usos na indústria/odontologia e aquisições de banco centrais. A Índia é o maior consumidor mundial, seguido pela China e em terceiro lugar os EUA.

Em 2014 o Brasil consumiu em torno de 29 t de ouro, considerando 15 t de reciclagem. O Instituto de Gemas e Metais Preciosos (IBGM) estimou em 5,5 bilhões de dólares a movimentação do setor joalheiro no mercado interno, possibilitando 350.000 empregos.

A mineração de insumos extraídos de depósitos minerais é um processo longo que compreende várias etapas como pesquisa, lavra e beneficiamento.

A etapa de pesquisa mineral tem como objetivo a descoberta de depósitos ou reavaliação de depósitos já conhecidos, e faz uso de métodos diretos ou indiretos em sua investigação.

Os métodos diretos consistem em análises químicas de amostras de solo, água ou rocha, podem ser de superfície através de tradagem ou coleta direta; ou de subsuperfície com análise de testemunhos de sondagem e/ ou galerias (PETERS, 1978; MARANHÃO, 1985; PEREIRA, 2003). Detectar áreas que apresentem o acúmulo ou a falta de determinados elementos químicos é de extrema importância, pois estes indícios podem estar diretamente ou indiretamente relacionados com a presença de minerais com viabilidade econômica.

No processo de prospecção, os métodos indiretos provenientes da geofísica aplicada proporcionam um rápido levantamento regional e de baixo custo, se comparado com os métodos diretos. Métodos geofísicos compreendem em aerolevantamentos, campanhas terrestres ou até mesmo sensoriamento remoto e fotos aéreas (TELFORD *et al.*, 1990; MOON *et al.*, 2006). A Investigação através desses métodos é baseada principalmente na sobreposição e contraste de propriedades físicas inerente à materiais geológicos. Dentre os métodos de

campanhas terrestres, os elétricos e eletromagnéticos são amplamente utilizados com foco em pesquisa mineral, justamente por apresentarem contrastes entre o depósito mineral e sua rocha hospedeira.

Na procura por depósitos de sulfeto, comumente, combina-se diversos métodos como a eletrorresistividade, polarização induzida, eletromagnéticos no domínio de tempo e espaço, bem como a magnetometria (MOON *et al.*, 2006). Historicamente a polarização induzida tem sido utilizada na busca por depósitos de ouro e sulfetos disseminados em diversos ambientes com distintas configurações geológicas. O método depende da superfície dos seus grãos minerais condutores e não de uma conectividade entre eles, dado essa sensibilidade é amplamente utilizado em mineralizações do tipo disseminadas (KELLER e FRISHKNECHT, 1970).

Depósitos de sulfetos maciços ou óxidos disseminados costumam apresentar assinatura marcante com valores de baixa resistividade e alta cargabilidade (ALLIS, 1990; IRVING e SMITH, 1990; LOCKE *et al.*, 1996; YANG *et al.*, 2008, MOREIRA *et al.*, 2012, 2014). No entanto, estudos científicos que pesquisam, através de métodos elétricos, sulfetos em rochas básicas/ ultrabásicas não são vastamente e comumente explorados, havendo poucos exemplos.

Na região próxima a área de estudos foram realizados ensaios de prospecção geoquímica realizados pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM, 1995), os quais, apresentaram resultados positivos, em relação a ouro, em análises de sedimento de corrente em drenagens provenientes de um gabro localizado na região de São Sepé (RS).

Posteriormente, MOREIRA *et al.*, 2014 desenvolveu estudos utilizando a geofísica aplicada, integrando métodos como a eletrorresistividade e polarização induzida, a fim de avaliar o potencial aurífero desse gabro, confirmando o potencial aurífero do litótipo e concluindo a necessidade de estudos mais aprofundados para caracterizar o depósito.

Nesse sentido, este trabalho prevê estudos de prospecção geofísica de detalhe, por meio da combinação de métodos como a Eletrorresistividade e Polarização Induzida, realizados no centro dessa rocha intrusiva, com o objetivo de reconhecimento de áreas com assinatura geofísica compatível com acumulações de sulfetos e ouro.

#### 1.1 Objetivo

Este trabalho tem como objetivo a caracterização de uma ocorrência de ouro num gabro localizado no município de São Sepé (RS), por meio do uso conjunto dos métodos de Eletrorresistividade e da Polarização Induzida em aquisição tomográfica 2D, acompanhado de análises estruturais de campo.

# 1.2 Área de estudo

As informações a seguir foram retiradas do trabalho realizado pela CPRM (1995).

A área de estudo faz parte da Folha SH.22-Y-A-I-4 (Passo do Salsinho), escala 1:50.000, do Serviço Geográfico do Exército. A Folha Passo do Salsinho está localizada na região centro-sul do Estado do Rio Grande do Sul e abrange parcialmente os municípios de Caçapava do Sul extremo sudeste da Folha), São Sepé (a nordeste), Lavras do Sul (sul da área), Santa Margarida do Sul (porção oeste) e Vila Nova do Sul, na porção central.

A região apresenta um clima classificado como subtropical úmido, que é constituído por invernos com temperaturas bastante rigorosas no mês de julho (min de 0°C) e verões quentes (>30°C) no mês de janeiro; o regime de chuvas possui média anual em torno de 1.600mm, ocorrendo todos os meses do ano.

A área está inserida na sub-bacia hidrográfica do rio Vacacaí (afluente do rio Jacuí), sendo as principais drenagens os arroios Bossoroca, São Rafael e Santa Bárbara; juntos estes rios formam padrão semi-retangular condicionado por fraturas.

A região é classificada na unidade geomorfológica Depressão Central do Rio Grande do Sul, Planalto Rebaixado.

A principal atividade econômica da área é a agropecuária, criação de gado (principalmente bovino) e atividades agrícolas mecanizadas, seguida pelo extrativismo mineral que foi representado em determinada época pelas minas de ouro de pequeno porte, quando estiveram em atividade, Cerrito do Ouro (KDG da Amazônia), Bossoroca (Minesul) e Passo da Juliana (Grupo Andreazza).

Nas minas de Cerrito do Ouro e Bossoroca a extração se deu no minério primário, e no Passo da Juliana em colúvios e aluviões. Há, na área da Folha Passo

do Salsinho outras minas e garimpos de ouro abandonados (Guardinha, Lavrinha, Viúva Guerra Duval e Estuque) (CPRM, 1995).

A atividade extrativista mineira é composta ainda por pedreiras de granito, na área de afloramento do Granito São Sepé (para utilização na construção civil e no calçamento) e pedreiras de calcário.

A área de estudo está localizada no município de São Sepé, está distante cerca de 270 Km da capital Porto Alegre (Figura 1.1). A partir da capital pode-se acessar a área através da BR-290 até a zona rural de São Sepé chamada Vila Cerrito do Ouro, continuando cerca de 6 km ao norte da vila por estrada não pavimentada.

Figura 1.1 - Localização da área de estudo.



Fonte: Foto de satélite retirada do Google Earth Pro e modificada pelo autor (2017)

#### 2 CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL

O município de São Sepé está inserido numa unidade geotectônica a qual recebe o nome de Escudo Sul-Rio-Grandense (ESRG), a qual faz limite com a Bacia do Paraná à oeste, e à leste com a Província Margem Continental Leste (CARVALHO,1932).

O ESRG é caracterizado por uma grande diversidade genética de rochas (metamórfica, ígnea e sedimentar) de diversas idades, origem e evolução. O mesmo foi formado a partir de processos de geração e deformação de crosta continental, com dois ciclos orogênicos bem marcados: o primeiro de idade Paleoproterozóica chamado ciclo Transamazônico (2,26 – 2,0 Ga) e o segundo de idade Neoproterozóica chamado ciclo Brasiliano (900 – 535 Ga).

Não há registros da porção de crosta que serviu de anteparo para as colisões do ciclo Transamazônico, no entanto os processos orogênicos do ciclo Brasiliano tiveram como palco um continente antigo, cujos fragmentos constituem o atual Cráton *La Plata* (HARTMANN *et al.*, 2007).

O ESRG foi compartimentado em domínios limitados por grandes falhamentos regionais de direção NE-SW (HASUI *et al.* 1975, RIBEIRO e FANTINEL 1978, FRAGOSO-CÉSAR 1980, JOST 1981, FRAGOSO-CÉSAR *et al.* 1982, SOLIANI JR. 1986, CPRM 1995, ANDRIOTTI 1999, dentre outros).

No trabalho de SOLIANI JR. (1986) o ESRG está dividido em dois domínios: Domínio Ocidental que compreende os blocos Taquarembó, São Gabriel e Encruzilhada do Sul e o Domínio Oriental que compreende o bloco Dom Feliciano.

A área de estudo do presente trabalho está inserida no Domínio Ocidental, precisamente no Bloco São Gabriel.

# 2.1 Bloco São Gabriel

O Bloco São Gabriel está limitado à norte e à oeste com a Bacia do Paraná; a leste com os granitos e metamorfitos do Bloco Encruzilhada do Sul e a sul com o Bloco Taquarembó (CPRM, 1995) (Figura 2.1).



Figura 2.1 - Compartimentação dos blocos do Escudo Sul-Rio-Grandense.



O bloco é constituído por sequencias de rochas metamórficas, sobrepostas por sequencias vulcano-sedimentares formadas no intervalo entre o Proterozóico e o eo- Paleozóico, cortadas por corpos de composição granítica.

O bloco São Gabriel foi classificado em porções. Em sua porção central, descrita e individualizada por GOÑI (1962), há uma unidade basal composta por rochas máficas e ultramáficas, a Formação Cerro Mantiqueiras e uma outra unidade parametamórfica, a Formação Vacacaí, composta por filitos, xistos pelíticos, camadas arenosas e sílticas e uma fácie vulcanogênica e mármore. FRAGOSO-CÉSAR (1980) agrupa essas duas formações no que ele nomeia de Cinturão Rio Vacacaí por serem rochas vulcano-sedimentares metamorfizadas em baixo grau, que ocorrem em faixas descontínuas e isoladas, envolvidas por gnaisses do Grupo Cambaí. Há ainda corpos básicos e ultrabásicos estratiformes, na porção centro-norte, o Gabro Santa Catarina e Complexo Pedras Pretas correlacionados ao Gabro Mata Grande, que no entendimento de SOLIANI JR. (1986) são frações do embasamento transamazônico, constituindo as unidades mais antiga da área em questão.

Na porção oriental do bloco ocorrem sequencias metavulcanosedimentares de baixo à médio grau metamórfico que constituem o Grupo Porongos, assentados discordantemente sobre pequenos núcleos de gnaisses polideformados compreendidos como parte do embasamento antigo denominado Formação Encantadas (FRAGOSO-CÉSAR, 1980).

Segundo o mesmo autor os litotipos do Grupo Porongos, juntamente com gnaisses e granitoides que compõe o Bloco Dom Feliciano e Encruzilhada do Sul, constituíram uma parte da faixa móvel de idade brasiliana que recebeu o nome de Cinturão Dom Feliciano.

O autor SOLIANI JR. (1986) em seus trabalhos a partir de análises geocronológicas revisou a posição temporal das sequencias metamórficas Cinturão Rio Vacacaí e do Grupo Porongos e conclui que foram geradas num mesmo ciclo geotectônico com intervalo de tempo de 850 à 650ma, o chamado Ciclo Brasiliano, ambas fazendo parte do Cinturão Dom Feliciano.

As sequências de cobertura que recobrem o embasamento do Domínio Ocidental (blocos Taquarembó, Encruzilhada do Sul e São Gabriel) abrangem um espesso pacote vulcano-sedimentar que compreende a Bacia do Camaquã (LEINZ *et al.* 1941; GOÑI, 1962; FRAGOSO-CÉSAR 1980; PAIM, 1994, PAIM *et al.* 2000, ALMEIDA 2005). Com nomenclaturas que apresentam controvérsias essa bacia é dividida em três sequências vucano-sedimentares e uma eminentemente vulcânica, separadas entre si por inconformidades. No Domínio Ocidental do ESRG ocorre, com exclusividade desse domínio, uma unidade basal, a Formação Maricá de RIBEIRO *et al.* (1966) ou Formação Pessegueiro de SANTOS *et al.* (1978), que correspondem a depósitos flúvio deltaicos apresentando intercalações de derrames de caráter riolítico.

Sobrepostos por discordância erosiva a essa unidade basal, há depósitos vulcano-sedimentares correspondentes ao Grupo Bom Jardim de RIBEIRO *et al.* (1966) ou Formação Cerro dos Martins de SANTOS *et al.* (1978) composta basicamente por rochas vulcânicas intermediarias, vulcano-clásticas e áreas de domínio de rochas sedimentares clásticas. Ocorre uma zonação desses litotipos citados, porém as rochas vulcânicas predominam na faixa ocidental da bacia enquanto que a leste apenas os depósitos sedimentares se fazem presentes. Essas duas sequencias apresentam deformações em duas fases, sendo mais intensas na borda oriental e progressivamente diminuindo em intensidade sentido oeste.

Logo em seguida ocorre uma sequência eminentemente vulcânica que é descrita por RIBEIRO *et al.* (1966) como Membro Acampamento Velho, que apresenta caráter ácido continental composta por derrames igninbritos e tufos, sendo interpretada pelo mesmo autor como fases de estágios iniciais de rifteamento que ocorreu posteriormente ao arqueamento final da região em estágios finais do ciclo tectono-termal brasiliano sobreposto com discordância sobre as unidades geradas nos ciclos anteriores.

Acima do Grupo Bom Jardim, ocorrendo também em discordância erosiva, a terceira sequência vulcano-sedimentar, o Grupo Camaquã de ROBERTSON (1966), composto dominantemente por rochas clásticas, conglomerados, arcóseos e pelitos (Formação Guaritas) e por tufos e derrames andesíticos (Membro Rodeio Velho). Esta sequência é interpretada como de preenchimento de rifte constituindo depósitos de leques aluviais, fluviais e eólicos, deltaicos e lacustres, intercalados com derrames de lavas relacionados a períodos de instabilidade tectônica regional (CPRM, 1995).

Ademais aos diversos litótipos que compõe o Bloco São Gabriel, ocorre uma intensa manifestação magmática na forma de *stocks* e batólitos graníticos: Complexo Granítico São Sepé, Granito Ramada, Granito Cerro da Cria, Complexo Granítico Caçapava do Sul, Granito Jaguari e Complexo Granítico Lavras do Sul. De maneira geral constituem intrusões de composições granodioríticas, monzograníticas, sienograníticas e graníticas alcalinas; sin a pós tectônicas cuja gênese é a partir da refusão de material siálico com contribuição mantélica; formadas no intervalo de 670 a 460ma (SOLLIANI JR. 1986).

# 3 CONTEXTO GEOLÓGICO LOCAL – COMPLEXO ESTRATIFORME BÁSICO-ULTRABÁSICO

O Complexo Estratiforme Básico – Ultrabásico compreende duas unidades – Complexo Pedras Pretas e Gabro Santa Catarina que é a unidade, objeto de estudo, do presente trabalho.

# 3.1 Gabro Santa Catarina

O Gabro Santa Catarina foi melhor estudado por RODRIGUES *et al.* 1982, está situado na porção centro-norte da Folha Passo do Salsinho, e ocupa uma área de 0,8km<sup>2</sup>. É correlacionável com o Gabro Mata Grande, exposto na folha contígua de Vila Nova, para o qual é adotada a idade de 2.2bi (CPRM, 1995).

O Gabro Santa Catarina aflora sobre a forma de matacões arredondados com diâmetros que variam de 0,5m a 1,0m.

Esta unidade tem relação de contato com o Cinturão Metavulcano Sedimentar – Complexo Metamórfico Vacacaí, referido por FRAGOSO-CÉSAR (1980) como Cinturão Rio Vacacaí; unidade que o envolve, sendo esta mascarada pelo manto de intemperismo e pela cobertura de arenitos da Formação Rio Bonito, em sua porção sul.

A relação de contato com o Maciço Pedras Pretas não é clara, devido principalmente a forma de exposição dessas rochas se dar na forma de blocos, no entanto no núcleo ultrabásico na porção sudeste do Maciço Pedras Pretas é observado um intenso fraturamento, ao qual se supõe que seja o contato tectônico com o Gabro Santa Catarina.

A ausência de deformações sugere que o gabro seja um corpo autóctone, de idade transamazônica datada por SOLIANI JR. (1986). Por meio desses dados o Gabro Santa Catarina é entendido atualmente como uma janela tectônica de um embasamento mais antigo, sobre o qual se alojaram rochas do Cinturão Metavulcano Sedimentar.

Estudos geofísicos de gravimetria como o Mapa Bouger Provisório do Escudo Sul-Rio-Grandense/Uruguaio e aeromagnetometria – Projeto Aerogeofísico Extremo Sudeste do Brasil realizados na área corroboram com as suposições tectônicas para a unidade. O gabro é uma rocha básica de estrutura maciça, equigranular de granulação média a fina e coloração escura. De acordo com a descrição de Rego (1981) ocorre a presença de veios pegmatíticos constituídos basicamente de plagioclásio e anfibólio. A mineralogia do gabro é constituída por plagioclásio (45 a 80%), piroxênio (5%), minerais opacos (5%), apatita (2%), quartzo (0 a 7%) e traços de feldspato alcalino e zircão. A mineralogia secundária é composta por anfibólio (30 a 50%), epídoto (5%), clorita (10%), sericita, carbonatos, e opacos secundários. A textura mais comum é a cumulática, apresentando também em termos mais diferenciados e inequigranulares textura ofítica a subofítica.

De acordo com a interpretação, da Coordenação regional de Petrologia (CPRM, 1995), a paragênese mineral associadas aos aspectos texturais, evidenciam que o Complexo Estratiforme Básico-Ultrabásico sofreu metamorfismo em fácies xisto verde superior a anfibolito interpretado por D'ÁVILA *et. al.* (1985) como metamorfismo de contato (fácies hornblenda cornubianito) gerado pela intrusão do Granito São Sepé, no entanto o gabro Santa Catarina não está incluso nessa interpretação, pois é petrologicamente compatível a um rocha básica intrusiva, com ausência de minerais metamórficos e/ou metais como ouro e sulfetos.

Apesar da análise petrológica do gabro não apresentar ouro e sulfetos em sua composição, no trabalho de CPRM (1995) - Folha Passo do Salsinho, foram explicitados alguns ensaios de concentrados de bateia, nos quais a Zona 6 (referida no trabalho citado acima) apresenta uma anomalia para Au e As. Esta área está situada à 2 km a jusante do Gabro Santa Catarina, as análises foram feitas em confluências de drenagens todas elas originadas no gabro. Foram registradas 48 pintas de ouro, valor muito acima da média (3 a 5 pintas) da região, no concentrado de bateia, bem como anomalias para Cu e As.

## 4 METALOGÊNESE

Não existem estudos específicos a respeito da metalogênese no Gabro Santa Catarina, contudo muitos estudos foram realizados nas rochas encaixantes - Complexo Metamórfico Vacacaí, o qual pode ser considerado uma província aurífera, com minas importantes do Rio Grande do Sul, como Bossoroca, Cerrito do Ouro e Passo da Juliana. Segundo KOPPE (1990) essas minas são caracterizadas como uma jazida hidrotermal orogênica epizonal de fonte profunda, derivado da crosta juvenil há cerca de 700Ma, durante metamorfismo regional dinamotermal e magmatismo TTG da região do arco vulcânico, associados a veios extensionais ligados a zona de cisalhamento. Estes veios apresentam direções entre E-W a NW. Estes depósitos auríferos apresentam auréolas de metamorfismo de contato próximos ao Granito São Sepé, pós - tectônico de idade 550Ma, contudo datações SHRIMP U/Pb realizadas no granito mostram idade diferentes das datações de U/Pb encontradas nas mineralizações da mina de Bossoroca podendo concluir que o granito São Sepé não foi a fonte de metais nos depósitos de ouro (REMUS, 1999).

O termo depósito orogênico foi proposto por GROVES *et al.* (1998), estes depósitos ocorrem em rochas metamórficas de todos os graus, associados a orógenos acrescionais e colisionais de idades que vão desde o Arqueano até o Cenozóico. De acordo com a profundidade de formação desses depósitos, os autores o dividiram em epizonais (<6km), mesozonais (6 – 12km) e hipozonais (12km). São depósitos que possuem forte controle estrutural, associados, em geral, a falhas regionais, e caracterizados por conterem Au> Ag e As±Te± Sb± B± W. Associados a baixos teores de Cu-Pb-Zn, a deposição do minério ocorre a partir de soluções de baixa salinidade, com pH quase neutro e composição representado pelo sistema H<sub>2</sub>O-CO<sub>2</sub>±CH<sub>4</sub> (GROVES, 1996; GROVES *et al.*,1998) condições estas que corroboram com as análises a respeito da metalogênese de depósitos hidrotermais de Au e metais de base no Bloco São Gabriel realizadas por REMUS (1999).

No trabalho realizado pela CPRM (1995) estas mineralizações da Folha do Passo do Salsinho são descritas como jazimentos filonianos, caracterizados por associações de filões de quartzo com ouro e pequenas proporções de óxidos de ferro, pirita e calcopirita. Estes filões apresentam direções NE e NW e encontram-se encaixadas preferencialmente em rochas do Cinturão Metavulcano-Sedimentar, subconcordantes ou concordantes em relação as estruturas regionais do cinturão. Na região do presente estudo, trabalhos de bateamento foram realizados a cerca de 2 km a jusante do centro do Gabro Santa Catarina, registraram 48 pintas de ouro, além de pirita e minerais pesados, as amostras foram coletadas numa convergência de drenagens de diversos cursos d'água provenientes do gabro. Um estudo de geoquímica desses concentrados de bateia apontaram As e Cu também para a região. Mesmo não apresentando dados diretos de ocorrência de ouro na área onde o gabro aflora os dados geológicos e geoquímicos acusam uma área potencial para Au± sulfetos, que estariam relacionados à lixiviação dessas substancias em fases de metamorfismo e deformação, e sua posterior reconcentração ao longo das zonas de cisalhamento de baixo ângulo, sob a forma de veios de quartzo e corpos filonianos hidrotermais (CPRM, 1995).

Assim como não há estudos a respeito da mineralização no gabro, não há estudos específicos sobre a origem do fluido hidrotermal e fonte de metais que originaram as mineralizações auríferas no gabro, no entanto, dada as interpretações de D'ÁVILLA *et al.* (1985) a respeito dos indícios de metamorfismo gerados por contato em unidades do Complexo Estratiforme Básico-Ultrabásico, este relacionado com a intrusão do Complexo Granítico São Sepé (de idade pós-tectônica, 550ma) apontam que esta foi a provável fonte de calor responsável por mobilizar metais e concentrar minério nas fraturas presentes no gabro.

## 5 MÉTODOS

#### 5.1 Levantamento Bibliográfico

Esta etapa, com a finalidade de melhor compreender o Escudo Sul-Rio-Grandense e o potencial econômico do Gabro Santa Catarina, acompanha todo o trabalho de maneira prévia e contínua, e consiste em revisão bibliográfica detalhada de trabalhos realizados a respeito da caracterização geológica da área, por meio de teses acadêmicas, dissertações e artigos de periódicos técnico-científicos, bem como a análise do relatório produto do DNPM, Programa levantamentos geológicos básicos do Brasil – Passo do Salsinho – Folha SH.22-Y-A-I-4 (CPRM,1995). Neste trabalho consta um mapeamento geológico sistemático (petrografia, estrutural, ocorrências de mineralizações) além de estudos prospectivos (geofísica e geoquímica) prévios que apresentaram resultados promissores para a área. A partir desses trabalhos prévios MOREIRA *et al.* (2014) realizou um estudo geofísico preliminar, cuja conclusão apontou para estudos geofísicos mais detalhados na área do gabro.

Foram necessários também estudos a respeito da fundamentação teórica dos meios, métodos e técnica utilizados na etapa de aquisição de dado e a respeito do funcionamento do equipamento responsável pela aquisição dos dados, além de programas para a geração de modelos de visualização 2D e técnicas numéricas de análises estatísticas para a filtragem e interpretação dos dados gerados.

#### 5.2 Levantamento Estrutural

Para uma aquisição de dados geofísicos capaz de gerar resultados satisfatórios é necessário o posicionamento de suas linhas de maneira ortogonal a estruturas geológicas regionais. Portanto, no presente trabalho foi realizado um levantamento estrutural prévio, com o uso de imagens de satélite, e em campo com o auxílio de bússola, a fim de confirmar as principais direções de estruturas, nesse caso direções de fraturas sobre as quais, as drenagens se desenvolveram.

#### 5.3 Fundamentação teórica da Geofísica Aplicada

Essa seção e as próximas foram elaboradas conforme consulta nos seguintes livros de geofísica aplicada, PARASNIS (1972), SUMNER (1976), TELFORD *et al.* (1990), MUSSETT e KHAN (2000), KEAREY (2002) e LOWRIE (2007).

A geofísica aplicada utiliza métodos, com parâmetros físicos de avaliação, para auxiliar na compreensão dos estudos da Terra.

Deste modo é possível a investigação da subsuperfície por meio de contrastes existentes entre as propriedades físicas das rochas e o objeto foco de estudo (corpos mineralizados, estruturas geológicas, nível d'água, trapas de petróleo, etc.).

Com o objetivo de obter resultados satisfatórios é necessário escolher métodos geofísicos adequados a análise desejada e as especificidades da área em questão.

A geofísica é baseada nos principais fenômenos físicos que ocorrem no interior da Terra, e para cada um deles um método é associado, por exemplo: campo magnético – magnetometria; fluxo geotérmico – geotermia; propagação de ondas sísmicas – sísmicos; gravidade - gravimetria; campos elétricos e eletromagnéticos – geoelétricos; e radioatividade – espectrometria.

Esses métodos e a tecnologia para aplicá-los passaram por avanços e aperfeiçoamentos ao longo do tempo.

Apesar de possuir algumas limitações, a geofísica, contudo, pode ser aplicada em diferentes ambientes: por meio de aparelhos portáteis, na superfície terrestre; transporte aéreo (com restrições de métodos), e por meio de navios, voltado para investigação do assoalho oceânico.

Em prospecção mineral, os métodos com aplicabilidade na superfície terrestre e aerotransportados são os mais utilizados. São eles: o magnetométrico, gravimétrico, eletrorresistividade, polarização induzida, potencial espontâneo, eletromagnético e gamaespectométrico.

No presente trabalho os métodos que mais se aplicam a busca por sulfetos na área de estudo são a eletrorresistividade e a polarização induzida, em ambos os métodos serão utilizadas a técnica de tomografia elétrica/imageamento elétrico.

#### 5.3.1 Método da Eletrorresistividade

Para compreender esse método é necessário entender o comportamento da corrente elétrica.

A matéria é formada por átomos e estes contêm cargas elétricas positivas (prótons) e neutras (nêutrons) em seu núcleo; que é rodeado por cargas elétricas negativas (elétrons). Quando a quantidade de cargas positivas e negativas é igual, o corpo está em equilíbrio e há neutralidade elétrica. No entanto, caso haja um desequilíbrio de cargas, as propriedades elétricas do corpo serão aparentes, e haverá um fluxo de cargas que busca encontrar novamente a neutralidade.

Na utilização do método da resistividade o que interessa é o fluxo de cargas através da rocha e não o desequilíbrio.

Na tentativa de explicar esse fluxo de cargas nas rochas, MUSSET E KHAN (2000), faz uma analogia de um circuito elétrico fechado com fluxo de água através de canos. Da mesma forma que a água flui nos canos como uma corrente, o fluxo de cargas também se movimenta e a esse fluxo é dado o nome de corrente elétrica (I). A unidade de medida da corrente elétrica é o amperes (A) que significa a quantidade de cargas que passam por um determinado ponto do circuito em um segundo.

A analogia com o sistema de água nos canos (Figura 5.1), no qual é necessária que ocorra uma diferença de pressão para que a água flua; em termos de corrente elétrica é fundamental uma diferença de potencial elétrico (ddp) e esta é medida em Volt (V).





Fonte: Modificado de Musset e Khan (2000).

O cientista Georg Simon Ohm, em 1827, definiu a 1º Lei de Ohm como a proporcionalidade entre a corrente elétrica (I) em um fio condutor e a diferença de potencial  $\Delta V$  no mesmo, no qual ocorre uma resistência R, específica para cada condutor, e esta recebe a unidade de medida Ohm ( $\Omega$ ) LOWRIE (2007).

$$\Delta V = R.I$$
 (Equação 1)

A resistência de um determinado material é proporcional ao seu comprimento (L) e inversamente proporcional a sua área de seção transversal (S). Esse valor também depende do tipo e forma do material (Figura 5.2).

Figura 5.2 - Relação resistividade e resistência.



Fonte: Modificado de Musset e Khan (2000).

Estas definições foram possíveis através de observações experimentais que demonstraram que fios longos e/ou de menor espessura apresentavam maior resistência que fios curtos e/ou de espessura maior.

A resistividade é expressa por  $\rho$ , e como citado acima é uma propriedade física que os materiais apresentam em atenuar um fluxo de carga elétrica. A unidade de medida da resistividade é o ohm-metro ( $\Omega$ m).

A resistividade é uma das principais propriedades elétricas do meio geológico. Dessa maneira, esta propriedade apresenta sensibilidade de acordo com a composição mineralógica, grau de saturação, porosidade, resistividade do fluido que preenche os vazios (em função da salinidade do fluido), tamanho e forma das partículas sólidas, e da temperatura e estado da solução aquosa contida nos poros ou nas estruturas das rochas. De acordo com TELFORD *et al.* (1990) a corrente se propaga de 3 diferentes mecanismos, de acordo com o tipo de material (Figura 5.3):

a) condutividade eletrônica ocorre por meio do transporte de elétrons na matriz da rocha; é característica de metais e semicondutores (minerais que tem elementos metálicos em sua composição). Nos minerais há elétrons livres que possuem em velocidade considerada alta e colidem com os átomos fixos do mineral que acabam saltando em direções aleatórias. Quando um campo elétrico é criado os elétrons livres se movem a uma velocidade comum e uma direção é imposta a eles que até então moviam-se aleatoriamente e consequentemente a velocidade desses movimentos diminui. A resistividade é o tempo médio entre colisões de elétrons livres e átomos fixos do material em questão. Metais e semicondutores possuem baixa resistividade, pois há um longo intervalo entre as colisões.

b) *condutividade dielétrica* normalmente ocorre em minerais isolantes que possuem poucos ou quase nenhum elétron livre em sua estrutura.

c) condutividade eletrolítica ou iônica é especifica de soluções aquosas que contem íons livres. Pela característica polar da molécula de água que possibilita um forte campo elétrico, o qual quebra as moléculas de sais solúveis e os dissolve liberando na solução íons positivos e negativos. Quando a solução é exposta a um campo elétrico, os íons movem-se gerando um fluxo de corrente, que possibilita a colisões entre os íons. Águas subterrâneas podem conter diversos sais minerais dissolvidos. A resistividade das águas é inversamente proporcional à concentração de sais dissolvidos.

**Figura 5.3** - Gráfico que apresenta intervalos de resistividade e tipos de condução de alguns tipos de solo, rochas e alguns minerais de minério.



Resistividade,  $\rho$  ( $\Omega$ .m)

Fonte: Modificado de LOWRIE (2007).

# 5.3.2 Método da Polarização Induzida

A polarização induzida é um fenômeno elétrico manifestado a partir do estímulo do meio físico através de corrente elétrica e sua resposta é observada como o retardamento na perda de voltagem nos materiais quando é interrompido o fluxo de corrente.

Atualmente seu uso é mais comum em prospecção de minérios metálicos e em menor extensão na busca por água subterrânea. Devido à baixa frequência e uma vez que depende de baixa quantidade de carga elétrica armazenada no minério para ser medido.

A aplicação desse método consiste em aplicar uma diferença de potencial primária no solo, chamada  $\Delta V$ , em consequência ocorre a polarização do mesmo, o tempo que o meio geológico ficará exposto a esse campo elétrico artificial tem que ser suficiente para permitir que a carga dos grãos adquira um valor estável tornando constantes a corrente e a diferença de potencial. Em seguida a corrente é desligada por um mesmo intervalo de tempo a que ficou ligada.

Para medir a polarização o parâmetro aferido pelo método da polarização induzida é a cargabilidade (M). Proporcional ao total de carga acumulada no terreno, e que pode estar relacionada com a concentração de minerais metálicos disseminados na área.

Essa diferença de potencial primária ( $\Delta$ V) não é estabelecida ou anulada quando a corrente é emitida e cortada em pulsos sucessivos (Figura 5.4a). Ela varia com o tempo na forma de uma curva (Figura 5.4b). Essa curva liga-se a assíntota V<sub>(t)</sub> em regime estacionário com a assíntota zero após o corte da corrente (Figura 5.4c). A amplitude de um determinado valor de V<sub>(t)</sub> está diretamente ligada à maior ou menor capacidade de polarização do material ou conjunto de materiais em estudo, constituindo-se, portanto, na base do método. A área da curva de decaimento entre dois pontos de leitura consecutivos (Figura 5.4d) é calculada e dividida pela diferença de potencial registrada pouco antes da corrente ser desligada, em medidas no domínio do tempo. A integral da série de intervalos resulta na cargabilidade e é expressa em tempo (milissegundos) ou voltagem (Mv/V) se rebatida para o eixo y.

Figura 5.4 - (a) Após o corte da corrente, emite corrente em pulsos sucessivos. (b)
ΔV varia na forma de curva. (c) curva do decaimento de potencial em função do tempo.
(d) área hachurada indica o intervalo de medida de despolarização.





#### 5.3.3 Técnica Tomografia elétrica/Imageamento elétrico

Esta técnica é amplamente utilizada em situações geológicas de maior complexidade como monitoramento de plumas de contaminação e prospecção mineral, pois permite que façamos análises e interpretação de parâmetro geoelétricos, como os métodos descritos acima, investigam-se ao longo de linhas, as variações laterais, a uma ou mais profundidades pré-determinadas; com isso a direção da linha de investigação permanece fixa e o centro do arranjo de pares de eletrodos de corrente e potencial (AMNB) varia com o seu desenvolvimento.

Através do uso de sistemas de aquisição automática de dados, a técnica utiliza um número grande de medições do parâmetro geolétrico escolhido, por meio de diferentes arranjos de eletrodos (escolhidos de acordo com a geologia e necessidade da área). As informações são processadas e o resultado é apresentado na forma de seções bi e tridimensionais com valores geoelétricos verdadeiros, contendo várias profundidades de investigação; quanto maior o espaçamento utilizado entre os eletrodos, maior a profundida de investigação.

Para a aplicação dessa técnica, podem ser utilizados diversos arranjos como Schlumberger, Wenner, gradiente, dipolo-dipolo, etc.

#### 5.3.4 Arranjo dipolo-dipolo

Dentre os diversos tipos de arranjos que podem ser utilizados na técnica de tomografia elétrica, o arranjo Dipolo-Dipolo é o que melhor se aplica ao presente trabalho, devido à disposição simétrica, baixa razão sinal/ruído dos eletrodos, resolução lateral compatível com os objetivos do trabalho e facilidade operacional durante a aquisição dos dados.

Neste arranjo os eletrodos de corrente (AB) e de potencial (MN) são alinhados numa mesma direção em espaçamento (a) constante. No desenvolvimento pode-se utilizar vários dipolos de recepção (MN) dispostos ao longo do sentido de aquisição dos dados (Figura 5.5).

Figura 5.5- Esquema do Arranjo dipolo-dipolo.



Fonte: Modificado de LOWRIE (2007).

Cada dipolo (MN), corresponde a um nível de investigação, o que permite o estudo de variações horizontais de um parâmetro geoelétrico ao longo de um perfil com um ou mais dipolos, atingindo várias profundidades de investigação. O ensaio é mais produtivo se os eletrodos estiverem com um espaçamento relativamente menor entre si, dado que a profundidade de investigação depende tanto do espaçamento entre os dipolos, como os números de dipolos utilizados.

A plotagem dos parâmetros geoelétricos é feita a partir de um ponto atribuído a uma projeção de 45° a partir dos centros dos dipolos de corrente e de potencial (AB e MN respectivamente) até o ponto médio no centro desses dipolos. Após a obtenção dos parâmetros geoelétricos obtidos um perfil é confeccionado e tem-se uma seção de resistividade ou cargabilidade aparente. Que serão posteriormente analisados e transformados em valores reais através de softwares.

## 6 AQUISIÇÃO DE DADOS

Esta etapa foi realizada no mês de julho de 2017 e consistiu em descrição da rocha aflorante, análise estrutural de afloramentos do Gabro Santa Catarina com o objetivo de definir as principais famílias de fraturas, bem como tentativa de identificar indícios de mineralizações. Os afloramentos foram em drenagens na mesma área que foram feitos os ensaios geofísicos, a rocha estava pouco intemperizada, com estruturas facilmente identificáveis, um dique félsico foi observado e medido sua direção, foram coletadas 130 medidas de fraturas com a finalidade de correlacionar os sentidos preferenciais de fraturas aos condutos para ascensão do fluido hidrotermal mineralizante.

A etapa seguinte foi determinar as linhas geofísicas, utilizando a técnica de Tomografia Elétrica de Resistividade (ETR); foram realizadas 5 linhas de investigação, cada uma com 410 metros de comprimento, com espaçamento de 10 metros entre os eletrodos, totalizando 42 eletrodos por linha. Essas linhas foram planejadas e executadas na direção N90°, perpendicular a direção preferencial de fraturas e drenagens (Figura 6.1).



**Figura 6.1-** Disposição das linhas de investigação geofísica. As setas indicam a direção das linhas de aquisição geofísica.

Fonte: O autor (2017).

O equipamento geofísico utilizado foi um resistivímetro chamado Terrameter LS, fabricado pela ABEM Instrument Suécia, disponibilizado pelo Laboratório de Geofísica do Departamento de Geologia Aplicada da Universidade Estadual Paulista (UNESP) (Foto 6.2), o aparelho é conectado à uma bateria e consiste, a partir de programação prévia, num modelo de transmissão e recepção de sinal, com potência de 250W e resolução de 1µV e corrente máxima de 2,5 A, o mesmo pode realizar ensaios de potencial espontâneo (SP), eletrorresistividade (ER) e polarização induzida (IP), por meio de ciclos periódicos de corrente alternada de baixa frequência, o que possibilita a filtragem de ruídos durante a aquisição dos dados. Os dados são registrados por meio de planilhas (arquivo *dat.*) que podem ser transferidas através de um conector USB para formatação e tratamentos futuros.

**Figura 6.2** - Foto do resistivímetro Terrameter LS conectado a bateria e ao sistema multi-cabo.



Fonte: o autor (2017).

Foram utilizados eletrodos com base porosa de cerâmica, corpo de PVC, nos quais uma solução de sulfato de cobre (CuSO<sub>4</sub>) foi adicionada, para que através da base porosa, vagarosamente o fluido percole no solo e dessa maneira a condutibilidade de corrente elétrica no mesmo seja facilitada e correntes parasíticas geradas por eletrodos metálicos sejam eliminadas , por fim uma haste de cobre conecta o interior do eletrodo à parte superior do mesmo, a qual é conectada um sistema multi-cabo (Figura 6.3 A e B) e conectado ao equipamento Terrameter LS que deve estar no meio do comprimento de extensão de toda a linha.

**Figura 6.3 -** A: Linha geofísica montada para iniciar a aquisição de dados. B: Eletrodo não polarizável conectado ao cabo, posicionado de maneira a cortar a direção de drenagem com o Gabro Santa Catarina aflorante.



Fonte: o autor (2017).

Diante dos indícios de mineralizações de ouro associado a sulfetos, foram feitos ensaios combinados de eletrorresistividade e polarização induzida, em arranjo dipolo-dipolo. O uso em conjunto desses métodos visa diminuir a ambiguidade de interpretação dos dados, uma vez que os sulfetos apresentam baixa resistividade e elevada polarizabilidade (IRVINE E SMITH, 1990). O equipamento foi calibrado para emitir uma corrente de 500mA, e o tempo de transmissão de corrente foi de 1 segundo; duas janelas de leitura fixas e consecutivas de 0,3 segundos e o início da janela de leitura após o corte de corrente (*delay time*) de 0,2 segundos.

#### 7 PROCESSAMENTO DOS DADOS

Os dados estruturais coletados foram analisados e plotados no programa OpenStereo para a confecção de estereogramas.

Os dados geofísicos obtidos através do equipamento Terrameter LS, no formato .*dat* são processados no programa Res2dinv (GEOTOMO SOFTWARE, 2003) gerando modelos 2D de inversão. Este programa permite o processamento de enormes conjuntos de dados em duas dimensões e determinar a partir de técnicas de modelagem numérica, como o método de inversão, um modelo de resistividade e cargabilidade da área próximo ao modelo real (GRIFFITS e BARKER, 1993).

Primeiramente o programa produz pseudosessões de cargabilidade e resistividade aparentes, ou seja, que não refletem a real distribuição, profundidade e geometria do meio pesquisado (FACHIN, 2007). Isto ocorre, pois, a grandeza apresentada e as medidas de profundidades plotadas são valores aparentes. No entanto, este é um modo eficiente para a visualização dos dados. Apesar de não apresentarem um modelo, possibilitam o controle dos dados, no qual valores muito discrepantes ficam destacados, possibilitando a identificação e exclusão dos mesmos nessa primeira etapa de análise e tratamento dos dados.

Com a finalidade de aproximar os resultados obtidos com essas pseudosessões, de um modelo que reflete o real, são aplicadas técnicas numéricas de interpretação quantitativa e processo de inversão. Gerando dessa forma um modelo idealizado de subsuperfície, unindo os dados obtidos em campo com os idealizados de subsuperfície, com a finalidade de minimizar diferenças (GANDOLFO, 2007).

Para executar essa função, o programa Res2dinv, faz uso do método de interpolação de Mínimos Quadrados, com o intento de reduzir a soma dos quadrados dos erros entre o modelo gerado e as informações coletadas. O programa trabalha a partir de um reconhecimento da subsuperfície terrestre como blocos retangulares, com valores constantes no parâmetro investigado, e ajuste posterior a partir das medidas obtidas em campo (LOKE e BARKER, 1996).

O programa ajusta automaticamente o tamanho e distribuição dos blocos e a linha inferior dos blocos tem sua profundidade ajustada de modo a ser aproximadamente igual à profundidade média de investigação dos pontos de dados com o maior espaçamento entre eletrodos (EDWARDS, 1977).

Dessa maneira teremos valores aparentes, calculados e medidos em campo e os obtidos pelo modelo de blocos, a diferença entre eles é expressa pelo erro RMS (*Root Mean Squared*) (LOKE e BARKER,1996). Este cálculo é comparável ao conceito de desvio padrão, no qual as diferenças encontradas entre valores medidos e dados calculados são elevados ao quadrado e somados, o resultado da soma é dividido pelo número de dados, para então obter uma média, cuja raiz quadrada forneça um valor característico de erro na mesma unidade dos dados originais (FACHIN, 2007).

Por fim, os dados finais serão demonstrados na forma de seções 2D, em termos de distância x profundidade. Neste trabalho a representação cromática adotada foram cores quentes para índices elevados e cores frias para índices diminutos, válidos tanto para os parâmetros de cargabilidade quanto para o de resistividade.

# 8 Apresentação e Discussão dos Resultados

Os dados estruturais levantados através de medidas de fraturas em afloramento da área de estudo e os levantamentos geofísicos realizados por meio de tomografia elétrica obtendo valores de resistividade e cargabilidade do meio geológico na área de estudo visaram a identificação de mineralizações de ouro no Gabro Santa Catarina.

De acordo com o diagrama de rosetas (Figura 8.1) a direção média de faturamento do Gabro Santa Catarina, corrobora com os trabalhos de CPRM (1995), REMUS (1999), ANDRIOTTI (1999) e CPRM (2014).

**Figura 8.1-** Diagrama de rosetas, obtido a partir de 130 medidas estruturais de fraturas no Gabro Santa Catarina.





As fraturas apresentam direção N355, com mergulhos verticais a subverticais (Figura 8.2). As drenagens da área de estudo apresentam a mesma direção de desenvolvimento, uma vez que elas se desenvolvem encaixadas nesse tipo de estrutura. Essa análise preliminar é fundamental para o posicionamento das linhas de tomografia elétrica que foram localizadas de maneira ortogonal a direção preferencial dessas estruturas com o espaçamento de 100m entre elas. A partir de

então foram executados os ensaios geofísicos com aquisição de informações de resistividade (ER) e cargabilidade (IP).



Figura 8.2- Foto do gabro Santa Catarina com fraturas destacadas.

Fonte: o autor (2017).

Os dados de resistividade e cargabilidade foram processados em termos de modelos de profundidade obtidos por inversão com distância em superfície e profundidade em metros. Cores frias representam baixos valores e cores quentes representam altos valores. São relevantes para o presente trabalho valores de alta resistividade e alta cargabilidade.

A resistividade e cargabilidade modeladas possuem ampla variação, porém não é possível observar uma tendência geral nos perfis geofísicos, pois estas estão diversificadas em termos de profundidade e lateralidade. Valores abaixo de  $35\Omega$ .m são considerados de baixa resistividade, enquanto valores acima de  $10000\Omega$ .m são considerados de resistividade elevada. Para a cargabilidade, valores menores que

0.90 mV/V, são considerados baixos e valores acima de 20.0 mV/V são considerados altos.

Os modelos de inversão gerados para a linha 1 (Figura 8.3) evidenciam duas áreas de expressiva resistividade, a área A está situada na superfície entre as estacas de 150m e 200m com profundidade que vai desde a superfície até 30m de profundidade. A segunda região de alta resistividade B está situada entre as estacas de 200m à 300m na superfície do terreno, de 20m à 80m de profundidade. Três áreas de cargabilidade elevada são destacadas na seção abaixo. Zonas C e D estão situadas na superfície entre as estacas de 130m e 240m, com no máximo 50m de profundidade e a terceira (E) mais profunda, mínima de 60m atingindo 80m de profundidade.



Figura 8.3 - Modelo de inversão de resistividade e cargabilidade para a linha 1.



São destacados nos modelos de inversão de resistividade e cargabilidade da linha 2 (Figura 8.4), valores de alta resistividade entre 160m e 260m na superfície e

profundidade mínima de 50m. E valores de alta cargabilidade em duas regiões (B e C), B está entre as estacas de 50m e 170m ao longo da superfície, de 20m a cerca de 80m de profundidade; e C entre as estacas de 240m a 310m na superfície do terreno atingindo 35m de profundidade.







Na linha 3 (Figura 8.5), para o modelo de inversão da resistividade podemos destacar altos valores de resistividade em duas áreas relativamente próximas (A e B) que estão entre as estacas de 90m e 200m na superfície do terreno, de 20m à 65m de profundidade. Em relação ao modelo de inversão de cargabilidade são destacadas algumas regiões, todas com formato arredondado apresentando altos valores de cargabilidade, a C está localizada na superfície entre as estacas de 60m e 120m à no máximo 20m de profundidade. A região D apresenta pequenos núcleos alinhados diagonalmente entre as estacas de 110m à 240m na superfície com profundidades que variam de 20m à 60m.





Fonte: o autor (2017).

As linhas 4 e 5 não apresentaram resultados significativos de resistividade e cargabilidade (Figura 8.6). Representam apenas um perfil comum de alteração, solo em áreas próximas a superfície, valores de baixas resistividades, e saprolito em profundidade, valores médios de resistividade, sem expressividade quanto as medidas de cargabilidade.



# Figura 8.6 - Modelo de inversão de resistividade e cargabilidade para a linha 4 e 5.

Fonte: o autor (2017).

Diante dos resultados descritos é importante ressaltar que as zonas mais favoráveis ao acúmulo de minério são caracterizadas por alta resistividade e alta cargabilidade, relacionadas a sulfetos em zonas silicificadas, além de zonas de alta cargabilidade e baixa resistividade, associadas a zonas metassomáticas submetidas a intemperismo. Este padrão é descrito em artigos cientifícos que descrevem estudos de caso de geofísica aplicada em áreas sulfetadas. (IRVINE e SMITH, 1990; MOREIRA *et. al.*, 2014)

Como apresentado no capítulo 4 sobre metalogênese o modelo genético que melhor explica a ocorrência de ouro no Gabro Santa Catarina, é do tipo hidrotermal orogênico-epizonal, gerado a partir da interação de fluidos quentes circundantes, oriundo de rochas magmáticas, que reagem quimicamente com os minerais das rochas hospedeiras. A troca de componentes químicos resulta na formação de novos minerais, em resposta as novas condições físico-químicas presentes (BIONDI,2003). A percolação dos fluidos nesse caso ocorreu por meio de estruturas de canalização (falhas, fraturas). A passagem desses fluidos pela rocha, geram alterações hidrotermais e desenvolvimento de uma nova assembleia mineral. De acordo com CPRM (1995), o gabro possui composição dunítica, peridotítica, piroxenítica, gabróica até anortosítica, serpentinizada em porções variáveis. Essa serpentinização característica, imprime contrates de resistividade se comparadas as adjacentes, o que permite sua identificação em seções geofísicas (IRVINE e SMITH, 1990; LOWRIE, 2007).

Nos modelos de inversão discriminados acima é possível destacar nas seções, zonas de baixa resistividade (>  $35 \Omega$ .m) em regiões centrais e próximas a superfície, correlacionáveis com zonas de alta cargabilidade (seção1 A e B e seção 3 C e D), estas possivelmente estão relacionadas a fraturas hidrotermalizadas e mineralizadas com sulfetos, atuando também como direções preferenciais de fluxo d'água, o que resulta em zonas saturadas em profundidade e um potencial aquífero até 80m de profundidade (Figura 6.1). São atribuídas para regiões de alta cargabilidade correlacionáveis com baixa resistividade próximas a superfície, zonas de sericitização com presença de sulfetos e minério de ouro associado, estas áreas provavelmente foram a fonte que possibilitou resultados positivos para a ocorrência de ouro (48 pintas de ouro) em análise de sedimentos de corrente, realizado em drenagens com relação direta ao gabro, no entanto em análise petrográfica realizada por CPRM (1995) não foram encontradas evidências da ocorrência de ouro na rocha.

As zonas de baixa resistividade observadas nas seções, não correlacionáveis com valores expressivos de cargabilidade, indicam fraturas preenchidas por água que possibilitam a alteração dos minerais máficos do gabro como plagioclásios, piroxênios e anfibólios que dão origem à argilominerais, além do alto grau de saturação das fraturas.

Nos modelos de inversão de resistividade é possível destacar ainda, zonas de altos valores (> 2.500  $\Omega$ .m), em posições profundas e em algumas linhas em regiões próximas a superfície, que provavelmente descrevem rocha inalterada. Em campo foram observados afloramentos de gabro, que serviram inclusive para o levantamento estrutural. Este litotipo é caracterizado por uma matriz de minerais silicáticos (plagioclásio, piroxênio, anfibólios e micas), um conjunto de minerais que constituem isolantes elétricos.

As zonas de silicificação são relacionadas a concentração de veios de quartzo oriundos da percolação de líquidos hidrotermais proveniente da última fase de deformação do Complexo Metamórfico Vacacaí (CPRM,1995).

As grandes zonas de alta cargabilidade são relacionadas a sulfetos em vênulas, possivelmente devido a percolação de líquidos hidrotermais em zonas intensamente fraturadas do gabro, cujo resfriamento lento possibilita alterações químicas na rocha por metassomatismo. Este processo permite a cristalização de sulfetos na matriz de rochas inicialmente estéreis, em áreas muito além das fraturas. O conjunto de zonas metassomatizadas muitas vezes é tão denso que o produto geofísico não permite individualizações

# 9 Conclusão

Os resultados foram satisfatórios diante dos objetivos propostos, pois permitiram a individualização de zonas com assinatura geofísica compatível com acumulações minerais sulfetadas. Tais zonas foram caracterizadas pela associação alta resistividade (10000  $\Omega$ .m) e alta cargabilidade (20.0 mV/V), além de baixa resistividade (35  $\Omega$ .m) e alta cargabilidade. A associação baixa cargabilidade e baixa resistividade, num contexto de rocha fraturada, é indicativo de acúmulo de água subterrânea.

A prospecção geofísica em pesquisa mineral deve ser fundamentada em reconhecimentos geológicos preliminares e de indícios que sugiram a disposição ou orientação de ocorrências minerais. Baseado no fato da inexistência de ouro na matriz da rocha em estudos petrográficos prévios e na possível proveniência deste minério a partir de drenagens nascidas no gabro, foi adotada a hipótese do alojamento de ouro em fraturas numa fase posterior a cristalização da rocha. Nesse sentido, as linhas de aquisição geofísica foram orientadas numa direção que permitisse o cruzamento das principais descontinuidades estruturais reconhecidas (NW e NE), ou seja, tiveram orientação EW.

Os resultados de altos valores de cargabilidade em até 10m de profundidade, ou seja, próximo a superfície, correlacionados com zonas de baixa resistividade, foram relacionados com processos metassomáticos, que resultou em zonas sulfetadas de forma venular, suscetíveis ao intemperismo físico e químico e, portanto, provável fonte das pintas de ouro encontradas em ensaios diretos de prospecção, realizados em drenagens provenientes diretamente do gabro.

A caracterização dessa ocorrência aurífera permitiu demonstrar a relevância do uso associado de métodos geofísicos (ER e IP). As regiões sulfetadas estudadas tem origem hidrotermal e podem ser do tipo filoniana ou venular e, portanto, foram utilizados os parâmetros de resistividade e cargabilidade para demonstrar tal contraste das propriedades petrofísicas.

A área de estudo apresenta potencial econômico dado que os ensaios geoquímicos em drenagens da região apresentaram uma média de 3 à 5 pintas de ouro e os mesmos ensaios em drenagens provenientes do Gabro Santa Catarina apresentaram 48 pintas de ouro, o presente estudo caracterizou ocorrências auríferas

localizadas e de pequenas dimensões. No entanto, todo estudo geofísico necessita de validação por meio de ensaios diretos de prospecção, nas zonas que apresentam assinatura geofísica favorável à mineralização, que neste caso podem ser trincheiras para as áreas próximas a superfície e furos de sondagem em ocorrências mais profundas.

Portanto os métodos geoelétricos são ferramentas adequadas, de baixo investimento, alta velocidade de processamento e retorno satisfatório de resultados, e que podem ser amplamente aplicados para a fase de pesquisa de minerais metálicos, como demonstrado neste estudo.

# **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

ALLIS, R.G. Geophysical anomalies over epithermal systems. **Journal of Geochemical Exploration**, v. 36, p. 339-374, 1990.

ALMEIDA, R.P. Tectônica e sedimentação do Ediacarano ao Ordoviciano: Exemplos do Supergrupo Camaquã (RS) e do grupo Caacupé (Paraguai Oriental). 2005, 216 f. Tese (Doutorado em Geologia Sedimentar) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

ANDRIOTTI, J.L.S. Interpretação e modelamento de dados geoquímicos e de sensoriamento remoto por meio da análise de componentes principais: Implicações na exploração de depósitos de metais no escudo Sul-Rio Grandense 325f. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1999.

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

CARVALHO, P.F. Reconhecimento geológico no Estado do Rio Grande do Sul. **Boletim do Serviço Geológico e Mineralógico do Brasil**, v.66. p 1-72, 1932.

CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Programa de levantamentos geológicos básicos do Brasil** – Passo do Salsinho Folha SH-22-Y-A-I-4 Estado do Rio Grande do Sul, 1995.

CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Programa nacional de prospecção de ouro.** Resultado da prospecção para ouro na área RS-01 Lavras do Sul/ Caçapava do Sul Subárea Passo do Salsinho - Rio Grande do Sul, Porto Alegre 2000.

D'AVILA, R.S.F.; STRIDER, A.J.; LOSS, E.L.; HARTMANN, L.A. Reavaliação de alguns aspectos petrológicos e geoquímicos do Complexo Básico-Ultrabásico de Pedras Pretas (RS). In: Simpósio Sul-Brasileiro de Geologia, 2. Atas. Florianópolis: SBG. P. 277-86 1985.

EDWARDS. L. S. A modified pseudosection for resistivity and induced-polarization. **Geophysics**, v. 42, p. 1020-1036, 1977.

FACHIN, S. J. da S. **Ensaios geoelétricos 2D no antigo lixão de Ribeirão Preto-SP**: avaliação de parâmetros de aquisição e monitoramento ambiental do problema. Dissertação (Mestrado em Geofísica) — Instituto de Astronomia, Geofísica e CiênciasAtmosféricas. Universidade de São Paulo, USP, São Paulo, 2007.

FRAGOSO-CÉSAR, A.R.S. O Craton do Rio de La Plata e o Cinturão Dom Feliciano no Escudo Sul- Rio Grandense. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 31, **Anais. Florianópolis: SBG V.5; P. 2879-92**. Balneário de Camboriú 1980.

FRAGOSO-CÉSAR, A.R. S.; WERNICK, E.&SOLIANI JR, E. 1982B. Evolução geotectônica do Cinturão Dom Feliciano, uma contribuição através da aplicação do

modelo de tectônica de placas. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 32, Anais: SBG. V.1; P. 13-23 Salvador, 1982.

GANDOLFO, O.C.B. **Um estudo do imageamento geoelétrico na investigação rasa**. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Recursos Minerais e Hidrogeologia, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

GEOMOTO SOFTWARE. RES2DINV, version 3.53, Rapid 2D resistivity & IP inversion using the least-square method - Geoelectrical Imaging 2-D & 3D, Geotomo Software, Penang, Malaysia, 129 f. 2003.

GOÑI, JC. Origem des roches ultrabasiques et serpentineuses du précambrien de Rio Grande do Sul (Brésil). Mode de gisement et minéralisations. Porto Alegre. Bol. **Esc. Geol. Da UFRGS, 12** 1962.

GRIFFITHS, D.; BARKER, R. Two-dimensional resistivity imaging and modelling in areas of complex geology. **Journal of Applied Geophysics**, Elsevier, v. 29, n. 3, p. 211–226, 1993.

GROVES, D.I. Geological concepts in the exploration for large to giant late-orogenic (mesothermal) gold deposits- the Archean greenstone experience. In: Mesothermal Gold Deposits - O Global overview. Geology Department (key Center) & University Extension, **University of Western Australia Publication**, 27:114-117. 1996.

GROVES, D.I.; GOLDFARB, R.J.; GEBRE-MARIAM, M.; HAGEMANN, S.G.; & Robert, F. Orogenic gold deposits: A proposed classification in the contexto of their crustal distribuition and relationship to other gold deposit types. **Ore Geology Reviews**, 13:7-27, 1998.

HARTMANN, L. A.; CHEMALE Jr., F.; PHILIPP, R. P. Evolução geotectônica do Rio Grande do Sul no Precambriano. In: **50 anos de Geologia**. 1 ed. Instituto de Geociências, Porto Alegre, RS: Editora Comunicação e Identidade, CIGO/UFRGS. v. 1, p. 97-123, 2007.

HASUI, Y., CARNEIRO, C.D.R., COIMBRA, A.M. The Ribeira Folded Belt. **Revista Brasileira de Geociencias** 5. p,/ 257-266, 1975.

IRVINE, R. J. & SMITH, M. J. Geophysical exploration for Epithermal deposits. **Journal of Geochemical Exploration**, n. 36, p. 375-412. 1990

JOST, H. **Geology and metallogeny of the Santana da Boa Vista region**; Southern Brazil. Athens: University of Georgia 208p. (Dissertação de Doutorado) 1981.

KEAREY, P.; BROOKS, M.; HILL, I. **An introduction to Geophysical Exploration**. 3. ed. London: Blackwell Science, 2002.

KELLER, G. V.; FRISHKNECHT, F. **Electrical Methods in Geophysical Prospecting**. Reprinted. [S.I.]: Pergamon Press Inc., 519 p., 1970.

KOPPE, J.C. **Metalogênese do ouro da Mina da Bossoroca, São Sepé, RS**. 1990. 289 f. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1990.

LEINZ, V.; ALMEIDA, S. C. Gênese da jazida de cobre "Camaquã", município de Caçapava – Rio Grande do Sul. Secretaria dos Negócios de Agricultura Indústria e Comércio do Estado do Rio Grande do Sul, **Boletim DNPM**, n. 88, p.56, 1941.

LOKE, M. H.; BAKER, R. D., Rapid least-squares inversion of apparent resistivity pseudosections by quasi-Newton method. **Geophysical Prospecting**, v. 44, p. 131-152, 1996.

LOWRIE, W. **Fundamentals of Geophysics.** 2. ed. New York: Cambridge University Press, 2007.

MARANHÃO, R. J. L. Introdução a Pesquisa Mineral. 2. ed. Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil, 1985.

MOON, C. J.; WHATELEY, M. E. G.; EVANS, A. M. Introduction to Mineral **Exploration**.2. ed. Oxford: Backwell Publishing, 2006.

MOREIRA, C.A.; LOPES, S.M.; SCHWEIG, C.; SEIXAS, A.R. Geoelectrical prospection of disseminated sulfide mineral occurrences in Camaquã Sedimentary Basin, Rio Grande do Sul State, Brazil. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 30, n. 2, p. 169-179, 2012.

MOREIRA, C. A., PEREIRA, A. M., CAVALHEIRO, M. L. D.Caracterização geoelétrica do gabro Santa Catarina, São Sepé (RS). *Pesquisas em Geociências*, 41 (1): 15-23, jan./abr. 2014. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil, 2014.

MUSSETT, A. E.; KHAN, M. A. Looking into the earth: an introduction to geological geophysics. [S.I.]: Cambridge University Press, 2000.

PAIM, P. S. G. The Guaritas Desert System (Cambro-Ordovician of Southern Brazil): Na Example of A Wet Desert Depositional System. 14th International Sedimentological Congress. Recife, **Abstracts p. 15**, 1994.

PAIM, P.; CHEMALE Jr. F.; LOPES, R. C. A Bacia do Camaquã. In: HOLZ, Michael; DE ROS, Luiz Fernando (Org.). **Geologia do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, p. 231-274, 2000.

PARASNIS, D. S. **Principles of Applied Geophysics**. Segunda edição. [S.I.]: Chapman and Hall, 214 p, 1972.

PEREIRA, R. M. Fundamentos de Prospecção Mineral. Editora Interciência, 167p., 2003.

Peters, O.A.B. *Exploration and Mining Geology*. New York, John Wiley & Sons, 372 p, 1978.

REMUS, M. D. V. et al. Shrimp U-Pb zircon ages of volcanism from the São Gabriel Block, southern Brazil. In: Simpósio sobre vulcanismo e ambientes associados, 1. **Boletim de Resumos, p. 83**. 1999.

RIBEIRO, M.; BOCCHI, P.R.: TESSARI, R.I.; FIGUEIREDO FILHO. Geologia da Quadrícula de Caçapava do Sul, Brasil. Dnpm. **Boletim da divisão de Fomento da Produção Mineral** (127): 1-232, 1966.

RIBEIRO, M. & FANTINEL, L.M.A. Associações petrotectônicas do Escudo Sul-Riograndense. Lheringia. **Série Geológica**. Porto Alegre (5):19-54, 1978.

ROBERTSON, J.F. Revision of the Stratigraphy and Nomenclature of Rock Units in the Caçapava-Lavras Region, State of Rio Grande do Sul, Brazil. Esc. Geol. UFRGS, Porto Alegre, **Pesquisas**. 1 (2):p. 41-54, 1966.

RODRIGUES, C.R.O., Bennedetti, O.J. & Strohschoen, J.R.O. *Geologia da Faixa II da Folha Passo do Salsinho, RS.* Porto Alegre. UFRGS, 370p, 1982.

SANTO, E.L. dos; BECKEL, J.; MACEDO, P.M.; GONZALES FILHO, F.; CHABAN, M. Divisão Litoestratigráfica do EO-CAMBRIANO – Pré Cambriano Superior do Escudo Sul- Riograndense. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 30, Recife, 1978. Anais. Recife: SBG. V.2; P.670-84, 1978.

SOLIANI JR. **Os dados geocronológicos do Escudo Sul- Riograndense e suas implicações de ordem geotectônica**. São Paulo: USP. 425p. (TESE DE DOUTORADO) 1986.

SUMNER, J.S. **Principles of Induced Polarization for Geophysical Exploration**. Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam. 277p. 1976.

TELFORD, W.M., Geldart, L.P. & Sheriff, RE. *Applied Geophysics*. Cambridge University Press. New York, 774p, 1990.

YANG, J., LIU, Z. & WANG, L. Effectiveness of Natural Field Induced Polarization for Detecting Polymetallic Deposits. *Earth Science Frontiers*, 15: 217-221, 2008.