

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA**

**DOUGLAS EUSTÁQUIO BERALDO**

**CORRELAÇÃO DO MÉTODO DE ELETORRESISTIVIDADE E A ANÁLISE  
ESTRUTURAL EM CAVA DE MINERAÇÃO DE MÁRMORE NO MUNICÍPIO DE  
CAÇAPAVA DO SUL, RS**

**CAÇAPAVA DO SUL  
2015**

**DOUGLAS EUSTÁQUIO BERALDO**

**CORRELAÇÃO DO MÉTODO DE ELETORRESISTIVIDADE E A ANÁLISE  
ESTRUTURAL EM CAVA DE MINERAÇÃO DE MÁRMORE NO MUNICÍPIO DE  
CAÇAPAVA DO SUL, RS**

Trabalho de conclusão de graduação do curso de Geologia pela Universidade Federal do Pampa como requisito para obtenção do Título de Bacharel em Geologia.

Orientadora: Dra. Cristiane Herédia Gomes

Co-orientadores: Dr. Marcus Vinicius Aparecido Gomes de Lima, Msc. Rafael Lima Dessart.

**CAÇAPAVA DO SUL  
2015**

**DOUGLAS EUSTÁQUIO BERALDO**

**CORRELAÇÃO DO MÉTODO DE ELETRORRESISTIVIDADE E A ANÁLISE  
ESTRUTURAL EM CAVA DE MINERAÇÃO DE MÁRMORE NO MUNICÍPIO DE  
CAÇAPAVA DO SUL, RS**

Trabalho de conclusão de graduação do curso de Geologia pela Universidade Federal do Pampa como requisito para obtenção do Título de Bacharel em Geologia.

Área de concentração: Geologia

Trabalho de conclusão de curso defendido e aprovado em 30 de novembro de 2015.

Banca Examinadora:

---

Prof. Dra. Cristiane Heredia Gomes  
Orientadora  
UNIPAMPA

---

Prof. Dr. Maximilian Fries  
UNIPAMPA

---

Prof. Dr. José Pedro Rebés Lima  
UNIPAMPA

Dedico este trabalho aos meus estimados pais Alice e Raimundo pela determinação em continuar a batalhar sempre, ao meu querido filho Cauê por compreender toda a distancia nesta etapa e a minha amada namorada Anna Gabriela por todo carinho e incentivo para conquistar meus objetivos.

## **AGRADECIMENTO**

A Profa. Dra. Cristiane Heredia Gomes e ao Prof. Rafael Lima Dessart pela orientação e pelo apoio para que eu realizasse o curso de graduação.

Aos professores, minha gratidão pela forma de conduzir o curso em todas as etapas.

A todos os colegas de curso pelo convívio e pelos momentos de amizade.

A todas as pessoas que, direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

"...em nossas investigações não logramos encontrar nenhum indício de um começo e nenhum vestígio de um fim..."

James Hutton

## RESUMO

O município de Caçapava do Sul possui uma formação litológica propícia para exploração geológica. A mineração na região tem sido explorada por décadas através de atividades de minas a céu aberto, que modificam a morfologia local, nesta área ocorreu muitos eventos tectônicos e metamórficos onde é evidenciado estruturas como falhas e fraturas. Neste contexto, este estudo foi dividido em algumas etapas: tais como campanha de campo para analisar o contexto geológico, identificando as litologias presentes em cava de mineração; levantamentos topográficos para determinar as medidas da área e do perímetro (localização, orientação e variações no relevo); coleta de medidas estruturais em campo para compreender o comportamento das estruturas na cava; método geofísico de eletrorresistividade como parâmetro indireto, para verificação e correlação de prováveis fraturas existentes, como também os contatos litológicos. A integração dos dados adquiridos em campo e aqueles processados em laboratório (informática, petrografia) possibilitam um melhor entendimento da área alvo. Com isto, foi possível gerar perfis geológicos e correlacionar com os perfis geoeletricos de subsuperfície identificando contatos litológicos e direções preferenciais estruturais devido a capacidade de verificação das propriedades físicas resistivas do meio e respectivos contrastes, seja a rocha maciça, estruturas (juntas, fraturas) e percolação de fluidos.

Palavras chaves: análise estrutural, mármore, eletrorresistividade

## **ABSTRACT**

The Caçapava do Sul city has a lithological formation favorable for geological exploration. Mining in the area has been explored for decades through opencast mining activities, modifying the local morphology in this area occurred many tectonic and metamorphic events which is evidenced structures such as faults and fractures. In this context, this study was divided into few steps: such as field campaign to analyze the geological context, identifying lithologies present in pit mining; surveys to determine the measures of area and perimeter (location, orientation and variations in relief); collection of structural measures in the field to understand the behavior of structures in the pit; method of geophysical resistivity as an indirect parameter for verification and correlation of probable existing fractures, as well as the lithological contacts. The integration of data acquired in the field and those processed in the laboratory (computer, petrography) they enable a better understanding of the target area. Therefore, it was possible to generate geological profiles and correlate with the geoelectric profiles of subsurface identifying lithological contacts and structural preferential directions due to check capacity of resistive physical properties of the medium and its contrasts, is the massive rock structures (joints, fractures) and fluid seepage.

Key words: structural analysis, marble, electrical resistivity



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Modelo dipolo-dipolo por caminamento elétrico.....	16
Figura 2 Mapa de localização da área de estudo. ....	17
Figura 3 Mapa Geológico com a distribuição das principais unidades da região no entorno de Caçapava do Sul. ....	21
Figura 4 Amostra de mármore dolomítico. ....	22
Figura 5 Variedade de mármore com intercalações brancas e cinzas. ....	23
Figura 6 Mármore com presença de hematita. ....	24
Figura 7 Granitóide.....	25
Figura 8 Granito fraturado. ....	25
Figura 9 <i>Sill</i> sub-horizontalizado.....	26
Figura 10 amostra de diabásio com textura fanerítica. ....	26
Figura 11 Levantamento topográfico da área. ....	27
Figura 12 Eletrorresistivímetro Syscal ....	28
Figura 13 Perfis geológicos A-B e C-D ....	30
Figura 14 Perfil Geológico A-B correlacionado ao mosaico de fotos.....	31
Figura 15 Perfil geológico C-D correlacionado ao mosaico de fotos. ....	32
Figura 16 Áreas estruturais levantadas.....	33
Figura 17 Comportamento das estruturas no mármore, setas pretas indicando fraturamentos vertical e as setas vermelhas indicando fraturas sub horizontais no mármore e camadas diabásio.....	34
Figura 18 Diagrama de roseta com direções das fraturas do mármore a esquerda e direção do diabásio a direita na área A.....	35
Figura 19 Diagrama de roseta com fraturas do mármore a esquerda e direção do diabásio a a direita na área B.....	35
Figura 20 Diagrama de roseta com fraturas do mármore a esquerda e direção e mergulho das camadas do diabásio a direita na área C. ....	36
Figura 21 Diagrama de roseta de fraturas no mármore a esquerda e com camadas do diabásio a direita, na área D.....	36
Figura 22 Diagrama de roseta de fraturas do mármore a esquerda e camada do diabásio a direita, na área E. ....	37
Figura 23 Diagrama de roseta das fraturas do granitóide na área F. ....	37
Figura 24 Perfis geofísicos A-B e C-D.....	38
Figura 25 Resultado da inversão 2D.....	39
Figura 26 Perfil geoeletrico A-B processado. ....	40
Figura 27 - Perfil geoeletrico A-B interpretado.....	40
Figura 28 Resultado da inversão 2D do perfil C-D.....	41
Figura 29 Perfil C-D geoeletrico processado. ....	42
Figura 30 - Perfil geoeletrico C-D interpretado.....	42
Figura 31 Mármore com fraturamento entre camadas.....	43

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 Resistividade dos materiais.....	15
---	----

## SUMÁRIO

1	Introdução.....	12
2	Objetivos.....	13
2.1	Geral .....	13
2.2	Específicos .....	13
3	Justificativa.....	13
4	Fundamentação teórica .....	14
4.1	Método de Eletrorresistividade.....	14
5	Localização e acesso.....	16
6	Contexto geológico.....	18
6.1	Geologia regional.....	18
6.2	Geologia local .....	22
7	Materiais e Métodos .....	27
7.1	Campanha de Campo .....	27
7.1.1	Levantamento Geofísico.....	27
7.2	Em Laboratório.....	29
7.2.1	Geologia Estrutural .....	29
7.2.2	Processamento Geofísico .....	29
8	Resultados.....	29
8.1	Perfil Geológico.....	30
8.2	Estrutural.....	33
8.2.1	Área A .....	35
8.2.2	Área B .....	35
8.2.3	Área C .....	36
8.2.4	Área D .....	36
8.2.5	Área E.....	37
8.2.6	Área F.....	37
8.3	Geofísica .....	38
9	Discussões .....	43
10	Conclusões.....	46
11	Referências Bibliográficas.....	47

## 1 Introdução

A área de estudo é uma cava de mineração situado no município Caçapava do sul, onde é explorado o mármore. Esta rocha possui uma grande variedade de usos, tanto na indústria quanto na agricultura. Na indústria é utilizado como matéria-prima para a fabricação da cal virgem, cal hidratada e argamassa. Já na agricultura, os mármore calcíticos e dolomíticos são empregados sob forma de rocha moída, como fertilizantes para a correção de acidez de solos ácidos.

O mármore é uma rocha metamórfica que tem como protólito o calcário. Uma rocha sedimentar que contém uma quantidade significativa de carbonato de cálcio. É composta por calcita e outros minerais de carbonato, tais como: a dolomita, e subordinadamente a aragonita. Na área de estudo as rochas são pertencentes ao Complexo Metamórfico Passo Feio, que está inserido no Terreno São Gabriel. Este complexo, por sua vez, bordeja o Granito Caçapava do Sul, e compreende uma sequência de metapelitos, filitos, quartzitos, anfibolitos, rochas metavulcanoclásticas, metaconglomerados, metavulcânicas, mármore, rochas calcissilicáticas, quartzitos xistos magnesianos e termos quartzo-feldspáticas metamorfisadas (Bitencourt, 1983).

A análise estrutural em rochas pode ser dividida em estruturas primárias que podem ser foliares, mas não são muito comuns, podem ocorrer em rochas ígneas acamadadas pelo fluxo de lava, em clivagem no plano axial de dobras em rochas sedimentares e como foliação diagenética ou em estruturas secundárias como planares, incluindo zonas de cisalhamentos.

Os métodos geofísicos são utilizados como uma ferramenta indireta de investigação em subsuperfície. Dentre os métodos empregados, o mais utilizado para determinação de água subterrânea, percolação de fluídos e faturamento de rochas são os elétricos. Baseada na propriedade elétrica e características dos materiais que compõem a crosta terrestre.

## **2 Objetivos**

### **2.1 Geral**

levantamento geológico estrutural e geofísico local para definir as estruturas secundárias como fraturas nos mármores pertencentes ao Complexo Metamórfico Passo Feio e o contato com Suíte Granítica Caçapava do Sul

### **2.2 Específicos**

- Verificar as estruturas, direções, suas inclinações e continuidades.
- Diferenciar as propriedades físicas da rocha e dos fluidos.
- Correlacionar os dados para melhor análise estrutural.
- Adquirir, processar e interpretar dados geofísicos de eletrorresistividade para identificar mudanças físicas do meio e correlacionar com a análise estrutural.

## **3 Justificativa**

Dentre os métodos geofísicos optou-se por usar nesta pesquisa o levantamento pelo método de eletrorresistividade que fornece dados da propriedade física de resistividade das rochas, o que facilita a construção de modelos geológicos com mais detalhes. Este método, que no passado já foi muito utilizado na indústria do petróleo, é hoje aplicado também em hidrogeologia e geologia ambiental e estrutural. Isto permite a obtenção de contrastes e anomalias onde permite interpretar limites de litologias, estruturas como fraturas, rochas com maior umidade e percolação de fluidos.

Como interesse científico de amplo espectro pretende-se contribuir na compreensão dos processos tectônicos e das condicionantes geológicas importantes na construção de modelos estruturais na cava.

## **4 Fundamentação teórica**

### **4.1 Método de Eletrorresistividade**

O método de eletrorresistividade tem sido utilizado com sucesso na detecção e delimitação de zonas de falhas e fraturas, baseia no estudo do campo elétrico de potenciais, criados artificialmente pela injeção de uma corrente elétrica na superfície, e relacionando-o depois com as características geológicas do local. Este estudo tem por finalidade a determinação da resistividade elétrica do substrato para interesses em corpos minerais, estruturas geológicas, sem a necessidade de perfurações e escavações no terreno (TELFORD, et al. 1990).

Os métodos geoeletricos se baseiam na determinação de propriedades físicas que caracterizam os diferentes tipos de materiais que se encontram no ambiente geológico, e nos contrastes que estas propriedades podem apresentar em seu meio. De um modo geral, os métodos geoeletricos englobam vários métodos, técnicas de investigação e uma infinidade de arranjos possíveis de serem utilizados e combinados. Dessa maneira podem ser adaptados em função da área a ser estudada. Entretanto, existem destaques dentro dessa vasta metodologia, e técnicas mais indicadas dependendo dos objetivos e, principalmente, do contexto geológico (ORELLANA, 1972).

Os materiais apresentam propriedades elétricas, pois estão ligadas a capacidade de efetuar ou não um movimento ordenado dos elétrons, ou seja, é a capacidade que o material tem de condução ou resistência de correntes elétricas por meio deles quando aplicado um campo elétrico. Os comportamentos destes materiais a uma dada resposta elétrica podem se dividir resumidamente em condutores, que compreende aos materiais que deixam os elétrons fluir livremente por eles, e resistores (não condutores) que são aqueles que oferecem uma dada resistência para os elétrons fluírem livremente dentro deles (TIPLER, e MOSCA 2006).

Schön (2004) comenta que solos com texturas mais finas tendem a conduzir melhor a corrente elétrica. A argila, por exemplo, conduz melhor a corrente do que a areia, devido às características do sistema de suas partículas que mantém a água por adesão (em situações onde o eletrólito apresenta baixa concentração de sais). E em rochas cristalinas (pouco porosas) a resistividade elétrica normalmente é alta, no entanto, se esta rocha estiver muito fraturada, a água que circula através das fraturas contendo sais minerais dissolvidos diminuirá bastante a resistividade da rocha. Portanto, conforme (Tabela 1) as rochas e principalmente os

solos, são meios passíveis de grandes variações laterais e verticais de propriedades físicas e químicas, as quais se refletem nos valores da resistividade.

Tabela 1 Resistividade dos materiais.

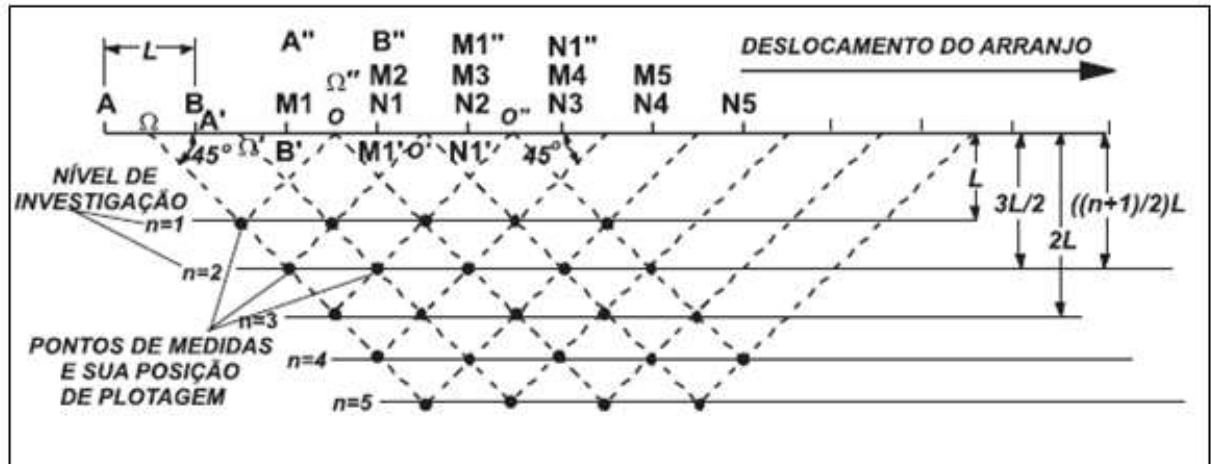
<b>Materiais</b>	<b>Resistividade (Ohm.m)</b>
<b>Rochas ígneas e metamórficas</b>	
Granito	$5,0 \times 10^2$ a $1,0 \times 10^5$
Basalto	$1,0 \times 10^3$ a $1,0 \times 10^5$
Ardósia	$6,0 \times 10^2$ a $4,0 \times 10^7$
Mármore	$1,0 \times 10^2$ a $2,5 \times 10^5$
Quartzito	$1,0 \times 10^2$ a $2,0 \times 10^5$
<b>Rochas sedimentares</b>	
Arenito	$8,0 \times 10^1$ a $1,0 \times 10^3$
Folhelho	$2,0 \times 10^1$ a $2,0 \times 10^3$
Calcário	$5,0 \times 10^1$ a $4,0 \times 10^2$
<b>Solos e águas</b>	
Argila	$1,0 \times 10^0$ a $1,0 \times 10^2$
Aluvião	$1,0 \times 10^1$ a $8,0 \times 10^2$
Água fresca	$1,0 \times 10^1$ a $1,0 \times 10^2$
Água do mar	$2,0 \times 10^{-1}$

Fonte 1 Schön,2004.

O arranjo dipolo-dipolo pode ser utilizado em caminhamentos elétricos (Figura 1), onde neste arranjo os eletrodos AB de injeção de corrente e MN de potencial são dispostos segundo uma linha e o arranjo é definido pelos espaçamentos entre eletrodos  $X=AB=MN$ . A profundidade de investigação cresce com a distância entre os eletrodos de potencial e os de corrente (R) e, teoricamente, corresponde a  $R/2$ . As medidas são efetuadas em varias profundidades (n), isto é  $n = 1, 2, 3, 4, 5...n$ , é o ponto de intersecção entre uma linha que parte do centro do arranjo de eletrodos AB e outra que parte do centro do arranjo MN, com ângulos de 45 graus. Outro fator de grande importância é a otimização das dimensões do arranjo, dipolo-dipolo, no caso, as aberturas entre eletrodos devem ser tais que no primeiro ou

no máximo no segundo nível de investigação seja ultrapassada a camada de alteração superficial, solo+rocha alterada (GALLAS, 2000).

Figura 1 Modelo dipolo-dipolo por caminhamento elétrico.



Fonte 2 Gallas, 2000.

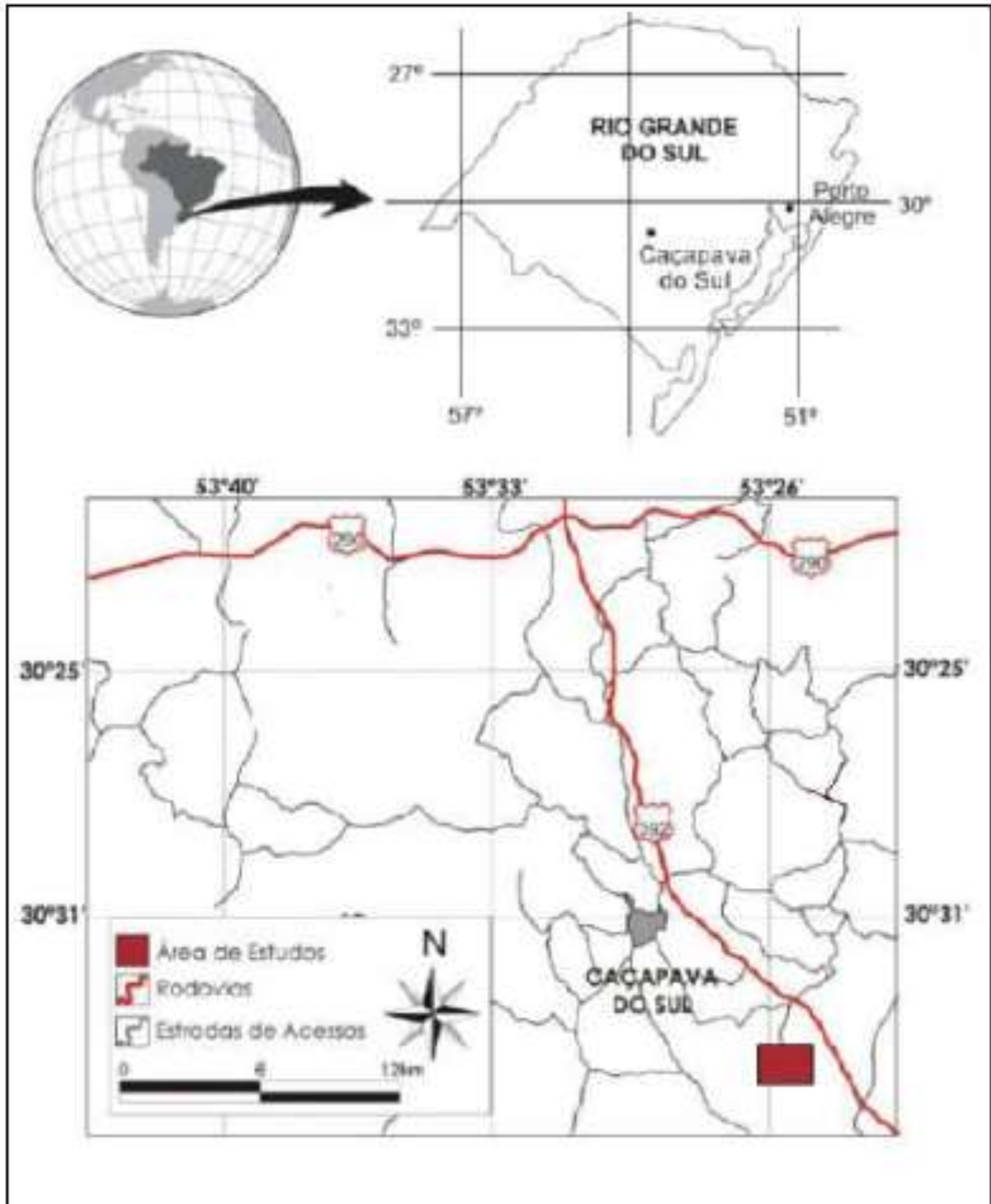
## 5 Localização e acesso

O local da pesquisa está localizado em uma área com atividade mineradora de mármore, situada a sudeste da área urbana no município de Caçapava do Sul, no estado do Rio Grande do Sul (Figura 2).

O acesso se dá pela rodovia BR-392, km 252 que liga Santa Maria a Pelotas, à aproximadamente 10 km da cidade de Caçapava do sul e 295 km da capital Porto Alegre. A área é delimitada pelas coordenadas: Latitudes -  $30^{\circ}32'56''$ , S e  $30^{\circ}35'19''$ S; Longitudes -  $53^{\circ}30'51''$ W e  $53^{\circ}22'37''$ W".



Figura 2 Mapa de localização da área de estudo.



Fonte 3 Compilado de Fries, 2015.

## 6 Contexto geológico

### 6.1 Geologia regional

A área de estudo está assentada no bloco São Gabriel localizado na zona central do embasamento cristalino do Rio Grande do Sul que é limitado a norte e oeste pelas rochas da Bacia do Paraná, a leste pelo Cinturão Porongos e a sul pelo Bloco Taquarembó. Os Blocos são lineamentos paralelos e subparalelos de direção NW-SE e com extensão de aproximadamente 70 km.

As unidades do Terreno São Gabriel foram em grande parte formadas por acreção juvenil, com associações petrotectônicas de ambientes de margem passiva e de retroarco, ofiolitos, arcos magmáticos vulcano-sedimentares e plutônicos (Hartmann et al., 2008), em termos estruturais, suas unidades foram fortemente controladas por zonas de cisalhamento dúcteis, de direção NE/SW que, quando próximas ao Lineamento Ibaré, são rotacionadas para as orientações E-W a NW/SE.

Segundo Hartmann et al., (2008) as unidades são distribuídas em: (i) Complexo Palma – rochas metavulcânicas máficas e metassedimentares associadas. Rochas desse complexo registraram idades modelo de aproximadamente 1.3 – 0.6 Ga; (ii) Complexo Cambaí – gnaisses com composição diorítica a granodiorítica, com intercalações de anfibolitos, meta-ultramafitos, metagabros, mármore e metapelitos, metamorfizados em fácies anfibolito, intrudidos por corpos graníticos tardios. Dados de U-Pb em zircão forneceram idades em torno de 735-680 Ma em rochas cálcio-alcálicas de alto K (Babinski et al., 1996; Hartmann et al., 2008); (iii) Complexo Bossoroca – rochas vulcânicas e vulcanoclásticas andesíticas a dacíticas). Idades de cristalização de metadacitos em torno de  $753 \pm 2$  Ma (U-Pb zircão; Hartmann et al., 2008) se assemelham as idades dos granitóides.

Chemale Jr. et al., (1995) utiliza a denominação de Cinturão Vila Nova para este domínio e o individualiza como: Terreno Metamórfico de Acreção Palma (TMAP). O Terreno Metamórfico de Acreção Palma corresponde a uma massa alóctone de material oceânico e continental gerada e acrescida a fragmentos do embasamento, entre 1.000 e 700 Ma. Duas unidades litoestratigráficas são reconhecidas neste contexto: Complexo Cambaí e Supercomplexo Vacacaí. O Complexo Cambaí incorpora gnaisses dioríticos a tonalíticos e granodioríticos, com intercalações de anfibolitos, meta-ultramafitos, metagabros, mármore e metapelitos. Foram metamorfizados em fácies anfibolito inferior a médio e reequilibrados em

fácies xisto verde. Estas rochas ainda foram intrudidas por granitos, posteriormente cisalhados.

Os trabalhos pioneiros foram realizados por Ribeiro (1966; 1970), onde foi descrita metassedimentos como de origem clásticas e incluem o Complexo Metamórfico Passo Feio na Formação Vacacaí. E, também, estabelecido um metamorfismo regional dinamotermal, com superposição do metamorfismo de contato, predominante na região devido a influência de corpos graníticos intrusivos. Esta sequência está localizada no entorno do Granito Caçapava do Sul (Figura 3), sendo constituída por uma sequência vulcanossedimentar metamorfizada que inclui xistos pelíticos, mármore, filitos, quartzitos, metaconglomerados, rochas calcissilicáticas e anfibolitos.

De forma subordinada, também ocorrem metabasaltos e xistos magnesianos (Remus, 2000). Bortolotto (1987) e Remus (2000) a partir de estudos petrográficos e testes colorimétricos, respectivamente, apontam para a composição predominantemente dolomítica dos mármore da área, com presença de calcita nos halos de alteração hidrotermal.

O mármore, objeto de estudo aqui tem granulação média, bandamento nítido, aflorante na parte leste do Granito Caçapava do Sul sob a forma de corpos lenticulares de dimensões variadas. Estes corpos, de coloração branco amarelada, se alongam na direção da foliação regional N-S. Essas lentes são interpenetradas por apófises graníticas concordantes e discordantes ao acamamento visível. Na porção sul da faixa que contorna a Suíte Granítica Caçapava do Sul se observa, ainda, mármore de coloração preta e róseo.

A cobertura sedimentar da SMV é representada por uma sequência areno-pelítica-carbonatada. Acredita-se que esta sequência tenha se depositado a partir de correntes de turbidez, pois estudos (REMUS, 2000) indicam a ocorrência de cascalhos, fragmentos de quartzo, calcário e rochas silicáticas nos leitos formados por metarritmitos.

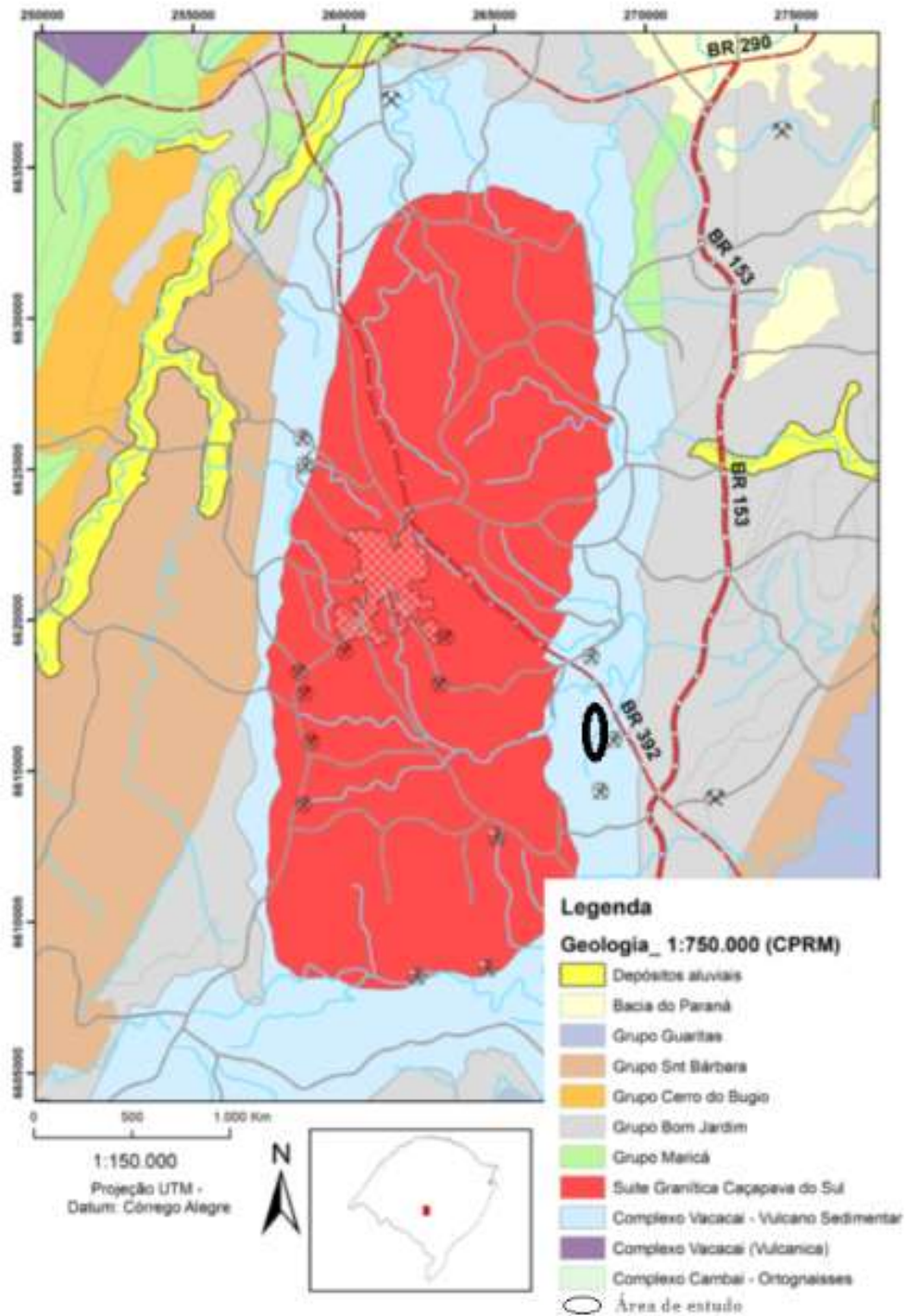
Soliani Jr. (1986) estimou uma idade de 556 Ma (K-Ar, muscovita), para o resfriamento do evento metamórfico e 666 Ma (K-Ar) para a cristalização magmática dos microdioritos. Remus (2000) ao analisar metassedimentos a noroeste da Suíte Granítica Caçapava do Sul obteve uma idade de  $774 \pm 8$  Ma (U/Pb, zircão, SHRIMP). O padrão dos zircões apresentaram idades Arqueana, Paleoproterozóica e Neoproterozóica, sugerindo que as rochas são derivadas de fontes continentais diversas e a idade a elas atribuída indica o limite superior de deposição.

Bitencourt (1983), a partir de estudos na área adjacente às bordas norte e sul do Complexo Granítico Caçapava do Sul, caracterizou dois eventos metamórficos regionais de caráter dínamo-termal. O pico termal mais elevado da região foi atingido durante o primeiro

evento metamórfico e está representado por associações mineralógicas compatíveis com a zona de estauroлита, do fácies anfibólio. A segunda fase é associada a um retro-metamorfismo compatível com o fácies xistos verdes acompanhada de um forte evento deformacional. Junto com as fases metamórficas Bittencourt (1983) descreve duas fases de deformação regional. Por fim, uma terceira fase deformacional é reconhecida como responsável pela geração da estrutura antiformal regional, cujo núcleo é caracterizado pela ocorrência do Complexo Granítico Caçapava do Sul.

As principais falhas transcorrentes que ocorrem no Complexo Passo Feio na região de estudo têm direção preferencial NE-SW e representam um sistema de falhas formado durante o Neoproterozóico, na orogenia colisional do Cinturão Dom Feliciano (REMUS, 2000; RIBEIRO, et al 1966). Coincidentemente, as direções preferenciais e secundárias (NW-SE) condizem com a direção do corpo granítico principal.

Figura 3 Mapa Geológico com a distribuição das principais unidades da região no entorno de Caçapava do Sul.



Fonte 4 Modificado CPRM, 2000.

## 6.2 Geologia local

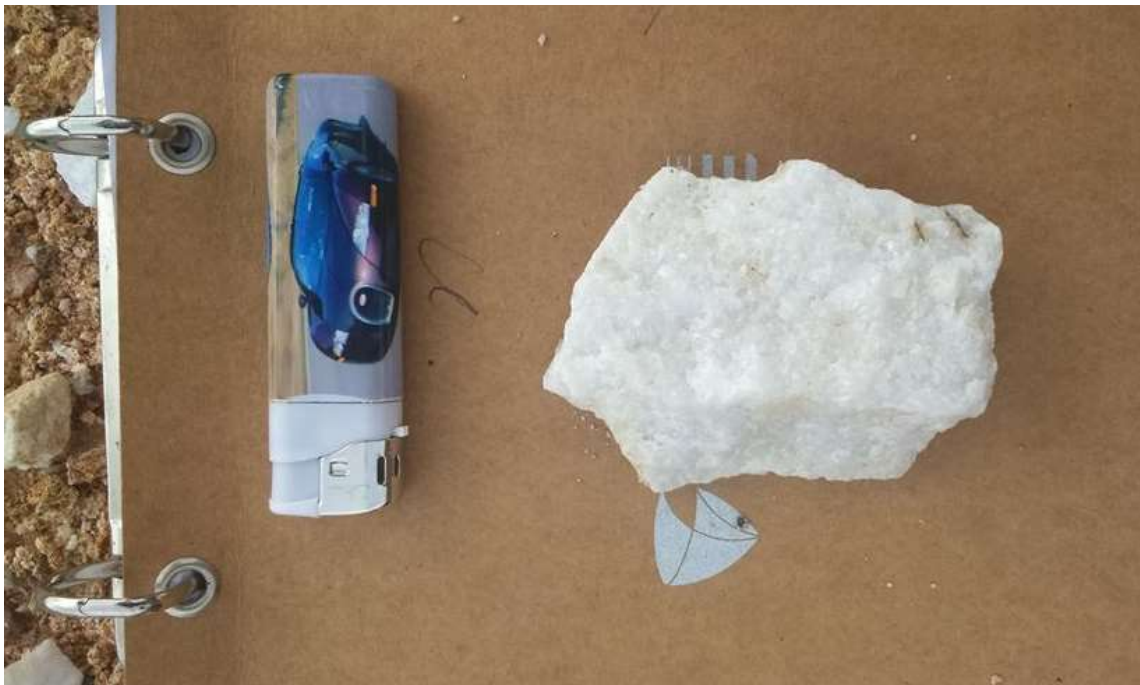
As rochas que compõem a área de estudo são mármore e xistos do Complexo Passo Feio e granitos da Suíte Granítica Caçapava do Sul, intercalados a *sills* e cortados por diques de diabásio mais jovens.

O mármore possui uma geometria de lente irregular com aproximadamente 7 km de comprimento na direção SW- NE e 5 km de largura na direção SE-NW sendo afetado por um lineamento NW – SE, em meio a outras falhas e sistemas de dobramentos visíveis por acamamentos com inclinações de 10 a 20 graus que sugere basculamentos.

O mármore é composto por variedades mineralógicas distintas e tonalidades que variam de branco, branco acinzentado, branco esverdeado, branco avermelhado de acordo com suas áreas aflorantes.

A principal ocorrência é na cor branca (Figura 4), rico em dolomita ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ) composto principalmente por carbonato de cálcio e magnésio e subordinamente calcita ( $\text{CaCO}_3$ ).

Figura 4 Amostra de mármore dolomítico.



Fonte 5 Amostra de mármore dolomítico.

A variedade próxima aos diques apresenta uma intercalação de cores brancas e cinzas (Figura 5), que são formadas principalmente por serpentina, calcita, tremolita, talco e diopsídio.

Figura 5 Variedade de mármore com intercalações brancas e cinzas.



Fonte 6 Autor, 2015.

Através da intrusão de um fluido granítico e aumento da temperatura algumas transformações ocorreram na mineralogia original geradas pelo desequilíbrio da fase carbonática com a fase silicática. Isto gerou aureolas de metamorfismo, sendo observadas em campo as variedades de mármore com cores avermelhadas (Figura 6), distribuída em veios ou disseminada em domínios particulares dos mármore principalmente próximos a intrusão granítica.

Figura 6 Mármore com presença de hematita.



Fonte 7 Autor, 2015

Já os granitoides (Figura 7) foram observados na borda norte da área em contato com o mármore. A porção félsica, de coloração mais rosada e textura fanerítica fina a média, possui uma mineralogia composta por feldspato, quartzo e plagioclásio. Na porção máfica, predomina biotita, piroxênio, anfibólios, pouco feldspato e quartzo, além de cristais de plagioclásio, estes brancos, apresentando-se maclados. Nesta porção a textura varia de fanerítica fina a porfirítica. Nesta região, o granito (Figura 8) encontra-se bastante fraturado nas direções NW-SE e N-S, possui prolongamentos em forma de apófises com geometria alongada, comprimentos de 100 metros e espessura variando de 10 cm a 1m, horizontalizado e paralelo aos diques de diabásio.



Figura 7 Granitóide.



Fonte 8 Autor, 2015.

Figura 8 Granito fraturado.



Fonte 9 Autor, 2015.

Na porção nordeste observa-se uma intrusão magmática máfica (Figura 9) de dimensão expressiva e continuações alongadas. Em escala de afloramento, ainda é possível

visualizar um enxame de diques sub-horizontais e com espessuras variando de 10 cm a 1,5 m, subordinadamente nota-se diques verticalizados e as vezes inclinados.

Figura 9 *Sill* sub-horizontais.



Fonte 10 Autor, 2015.

Os diabásios (Figura 10) possuem textura fanerítica, coloração acinzentada e mineralogia composta por plagioclásio de 1 mm, sendo compostos ainda por olivina e piroxênio.

Figura 10 amostra de diabásio com textura fanerítica.



Fonte 11 Autor, 2015.

## 7 Materiais e Métodos

Para o desenvolvimento deste trabalho foi elaborado um planejamento com etapas distintas para obtenção de informações sobre a área de estudo e desenvolvimento da pesquisa em campo e posteriormente o processamento dos dados coletados em laboratório, conforme segue a seguir:

### 7.1 Campanha de Campo

Foi realizada uma campanha de campo para coleta de dados geológicos, estruturais e geofísicos.

Os dados geológicos englobam: i) descrição do afloramento; e ii) descrição macroscópica de rocha visando ao detalhamento dos litotipos e suas inter-relações na área.

Nos estudos estruturais realizados em campo foram adquiridas medidas de fraturas com suas respectivas direções, mergulhos e *plunge* com bússula utilizando a técnica *dip direction*.

#### 7.1.1 Levantamento Geofísico

Foi realizado o levantamento topográfico (Figura 11) da área com estação total para alinhamento dos perfis geofísicos, medindo a distância dos eletrodos, comprimento da linha e declividade da área.

Figura 11 Levantamento topográfico da área.



Fonte 12 Autor, 2015.

Como a área continha rocha maciça, foi utilizado uma furadeira elétrica de alta potência para implantar os eletrodos.

No estudo geofísico, a investigação da distribuição da resistividade em profundidade envolveu os seguintes materiais: resistímetro, bateria externa, eletrodos, cabo multi-condutor, conectores elétricos entre eletrodos-cabos principais, marretas, trena métrica, multímetro e furadeira. Para tanto, foi utilizado o equipamento resistímetro multi-eletrodo de marca *Syscal Pro Switch 72* de fabricação francesa da *IRIS Instruments* (Figura 12). Esse equipamento pode ler até 10 canais simultaneamente e até 16 níveis de profundidade no modo *sequência automática*. Apresenta 250 W de potência, 2,5 A de corrente máxima, resolução de até  $1\mu V$ . Leituras de resistividade elétrica, cargabilidade elétrica e voltagem são realizadas.

Figura 12 Eletroresistivímetro Syscal



Os dados foram adquiridos pelo modo sequência automática e cabos multi-condutores, desse modo o caminhamento elétrico foi automatizado, sem haver necessidade de transferência de eletrodos no decorrer do levantamento. Para a utilização de uma sequência automática foi necessário uma etapa computacional antes da aquisição, onde através do software *Electre Pro II* é criada uma sequência de medições de resistividade a ser usada em campo. Ao final de cada perfil de aquisição foram levantadas 2875 medidas de resistividade aparentes.

## 7.2 Em Laboratório

### 7.2.1 Geologia Estrutural

Após a aquisição dos dados na campanha de campo foi possível proceder com a interpretação dos mesmos. Foi realizada uma análise macroscópica com auxílio de Lupa Binocular dos diferentes litotipos encontrados na cava de mineração.

Para a confecção dos perfis geológicos (Figura 13) optou por elaborar um mosaico de fotos onde se pode verificar as principais estruturas. Foi utilizado, também, o software Corel Draw para esboçar as litologias e seus contatos.

Os dados de atitudes foram transferidos para o Software Stereonet, onde foi possível construir estereogramas para a visualização gráfica das direções preferenciais e mergulhos das estruturas na área.

### 7.2.2 Processamento Geofísico

No processamento geofísico, os dados são apresentados na forma de pseudo-seções de resistividade aparente, o que possibilita uma interpretação quantitativa. Assim, posteriormente à plotagem da pseudo-seção se tem um controle dos dados, pois, através do *display* do equipamento é possível observar os valores discrepantes e, neste caso quando destacados foram descartados.

Para realizar o processamento dos dados foram adotados dois critérios: i) foi utilizado o método de elementos finitos, com quatro nós por espaçamento de eletrodos para adensar a malha e garantir mais precisão no cálculo das resistividades aparentes do modelo e, ii) foi utilizado a matriz jacobiana recalculada para todas as 5 iterações, ao invés de utilizar a aproximação quasi-Newton para todas ou sucessivas iterações.

## 8 Resultados

A observação dos dados em campo levou à determinação de três principais litologias na área de estudo, designadas: granito (Figura 8), mármore (Figura 4) e diabásio (Figura 9).

Estão localizadas e detalhadas nos perfis geológicos (Figura 14 e Figura 15).

As medidas estruturais realizadas em campo somaram 83 atitudes distribuídas entre o mármore (46), o diabásio (27) e o granito (10). Assim, foi possível a construção de alguns diagramas de roseta onde visualiza-se as direções preferenciais na cava ( Figura 18, Figura 19, Figura 20, Figura 21 e Figura 22).

A interpretação dos lineamentos elétricos levou a determinação de dois principais domínios geofísicos, sendo eles os de baixa resistividade e os de alta resistividade (Figura 25 e Figura 28).

### 8.1 Perfil Geológico

O perfil geológico foi realizado com base nas litologias visíveis na cava, sendo um perfil na bancada oeste no sentido N-S com 256 metros de comprimento e o outro na bancada leste com sentido NW-SE e com 288 metros de comprimentos conforme (Figura 13)

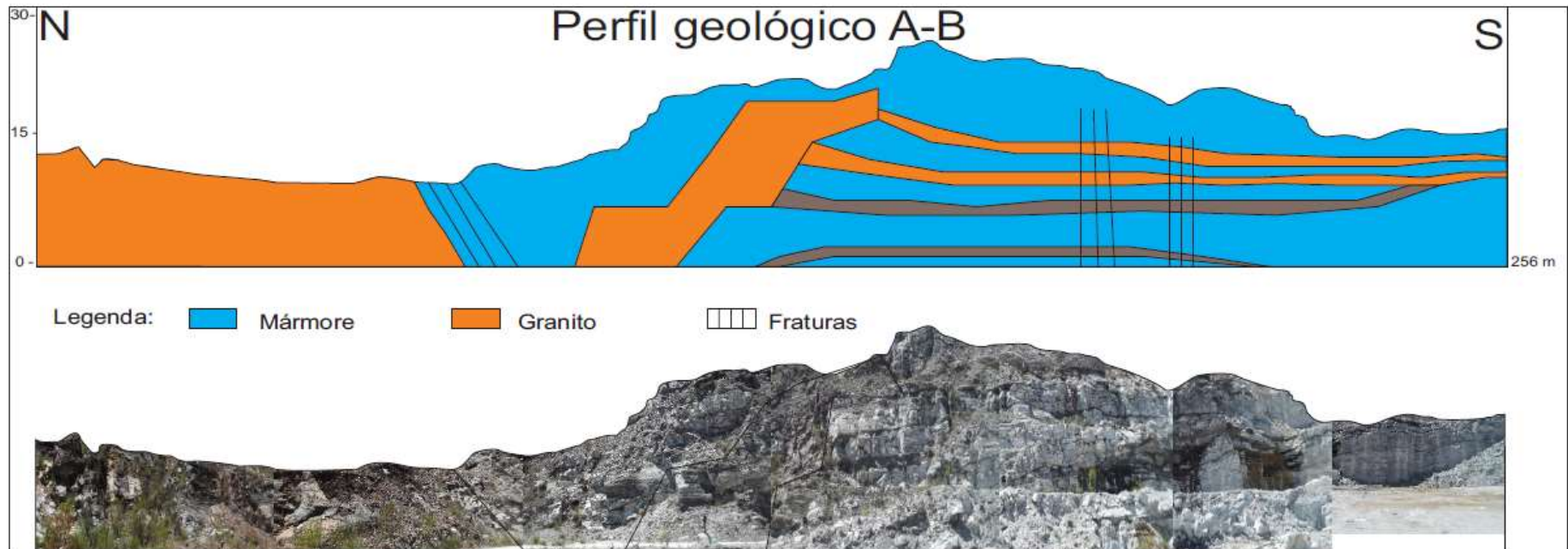
Figura 13 Perfis geológicos A-B e C-D



Fonte 13 Autor, 2015.

Na Figura 14 se observa o perfil geológico de superfície com as litologias descritas na área como: o mármore branco, diabásio e granito, bem como seus contatos e as estruturas de fraturas e diques.

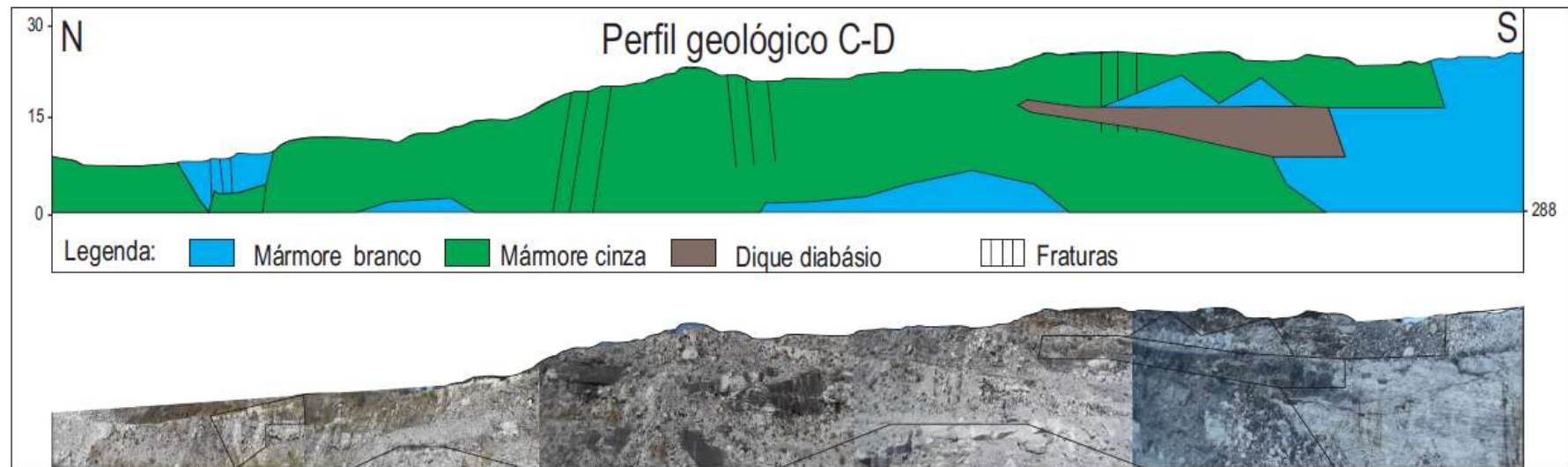
Figura 14 Perfil Geológico A-B correlacionado ao mosaico de fotos.



Fonte 14 Autor, 2015.

Na figura 14 se observa o perfil geológico com as litologias descritas em campo e os contatos entre o mármore branco, mármore cinza, granito e os *sills* de diabásio, correlacionado ao mosaico de fotos do perfil.

Figura 15 Perfil geológico C-D correlacionado ao mosaico de fotos.



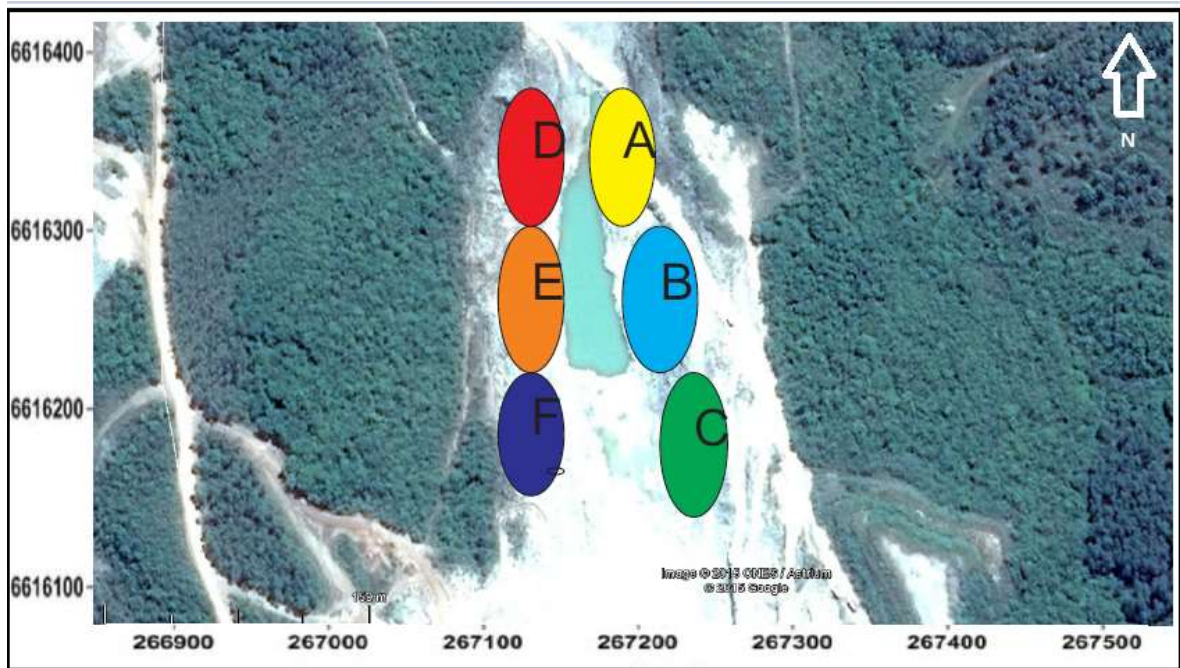
Fonte 15 Autor, 2015.



## 8.2 Estrutural

A análise estrutural foi realizada nas bancadas onde foram realizados os perfis geológicos, sendo dividido cada perfil em três áreas distintas denominadas de A, B e C no perfil C-D e áreas D, E e F no Perfil A-B conforme Figura 15.

Figura 16 Áreas estruturais levantadas.



Fonte 16 Autor, 2015.

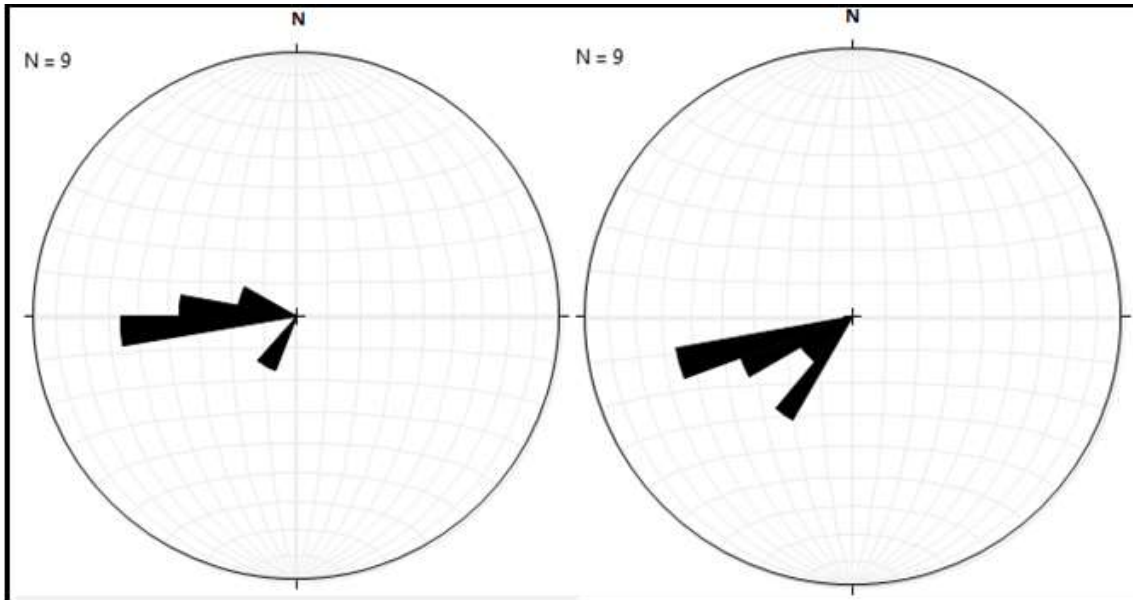
Após efetuado as medidas de direções e mergulho (Figura 16) das fraturas do mármore, granitóide e *sills* de diabásio foram gerados os seguintes esterogramas das áreas conforme as figuras a seguir.

Figura 17 Comportamento das estruturas no mármore, setas pretas indicando fraturamentos vertical e as setas vermelhas indicando fraturas sub horizontais no mármore e camadas diabásio.



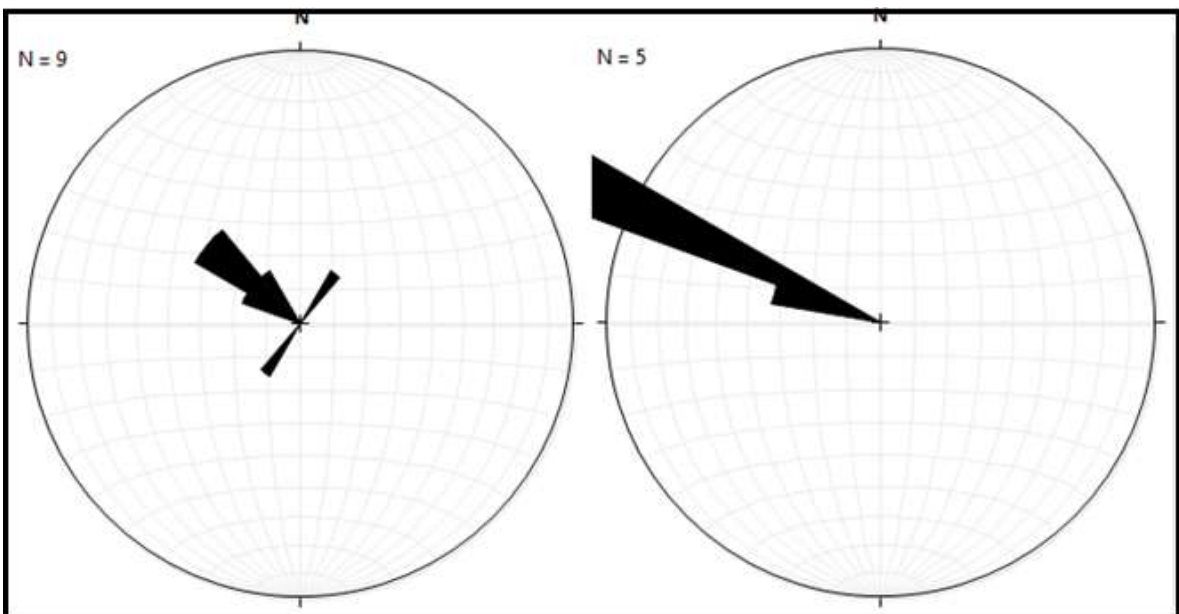
### 8.2.1 Área A

Figura 18 Diagrama de roseta com direções das fraturas do mármore a esquerda e direção do diabásio a direita na área A.



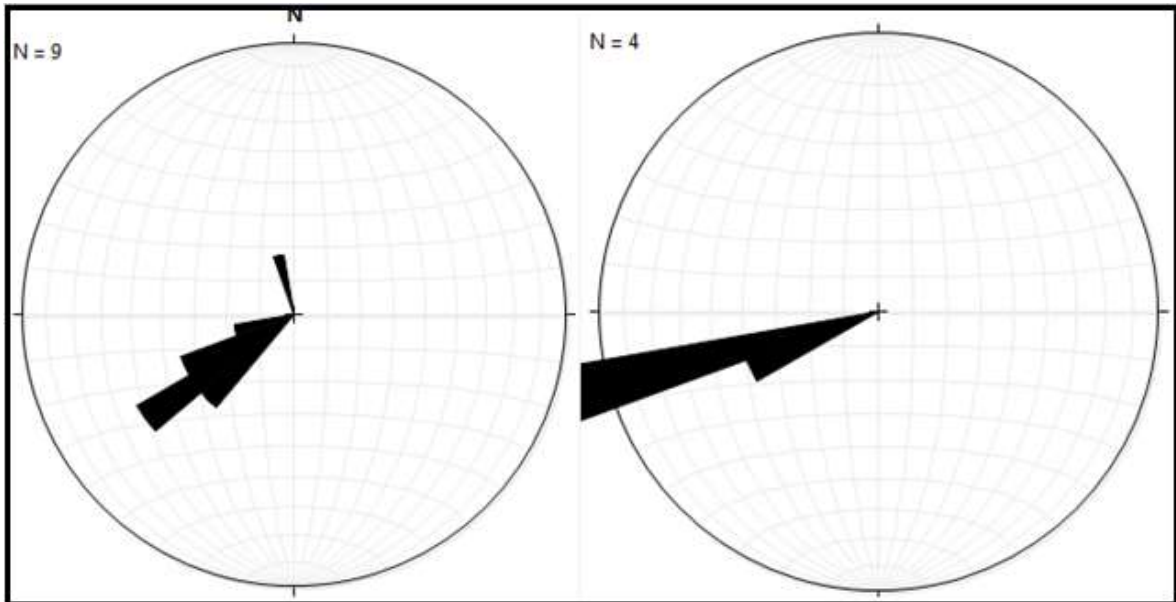
### 8.2.2 Área B

Figura 19 Diagrama de roseta com fraturas do mármore a esquerda e direção do diabásio a a direita na área B.



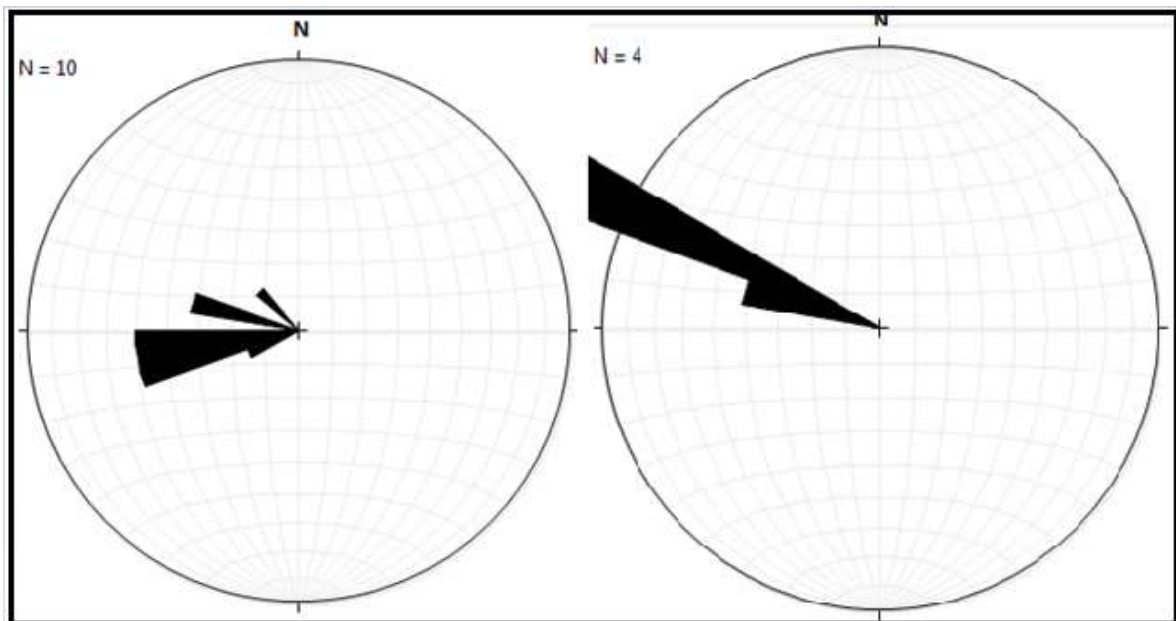
### 8.2.3 Área C

Figura 20 Diagrama de roseta com fraturas do mármore a esquerda e direção e mergulho das camadas do diabásio a direita na área C.



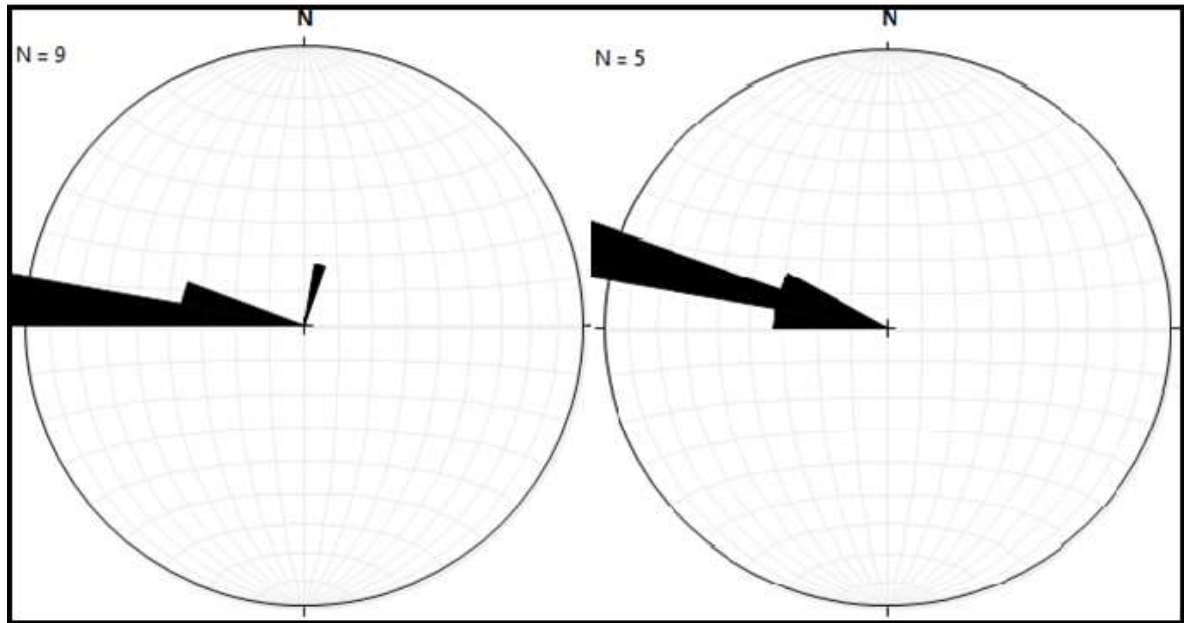
### 8.2.4 Área D

Figura 21 Diagrama de roseta de fraturas no mármore a esquerda e com camadas do diabásio a direita, na área D



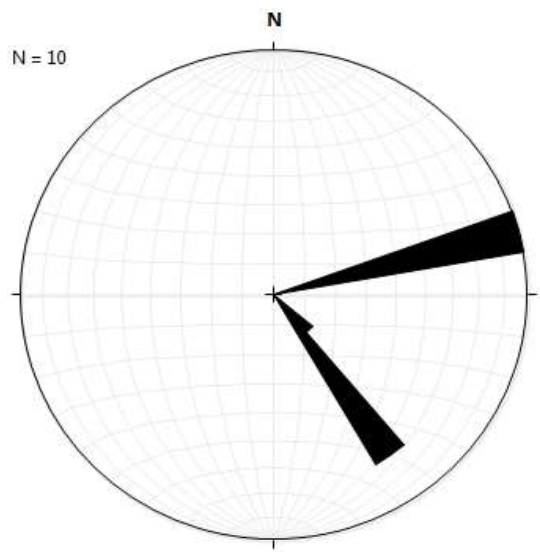
### 8.2.5 Área E

Figura 22 Diagrama de roseta de fraturas do mármore a esquerda e camada do diabásio a direita, na área E.



### 8.2.6 Área F

Figura 23 Diagrama de roseta das fraturas do granitóide na área F.



### 8.3 Geofísica

Após uma análise das estruturas na área foi definido a utilização de duas linhas geofísicas com sentido N-S, para captar as fraturas ortogonalmente ao perfil geofísico A-B que possui 260 metros e foi realizado na encosta do paredão leste da cava, sendo uma área quase externa. O perfil geofísico C-D, com 260 metros no sentido NW-SE, foi realizado dentro da cava seguindo a direção do paredão oeste, onde, também, as fraturas estavam ortogonais a linha geofísica. Nesta área foi observado um lago artificial resultante da escavação e exploração do mármore.

A Figura 28 ilustra onde foram efetuados os levantamentos geofísicos.

Figura 24 Perfis geofísicos A-B e C-D.



Fonte 18 Autor, 2015.

Após o processamento dos dados geofísicos no software Res2dinv e realizado os procedimentos de filtragem foi possível gerar os duas secções geofísicas conforme Figura 25 e Figura 28.

O programa utiliza a técnica de inversão dos dados para determinar automaticamente um modelo de resistividade bidimensional (2D) do subsolo, através dos dados de resistividade aparente obtidos a partir de pesquisas de imagem elétrica.

A pesquisa é normalmente realizada com um sistema em que os eletrodos são dispostos ao longo de uma linha com um espaçamento constante entre os eletrodos adjacentes, no entanto, o programa também pode lidar com conjuntos de dados com um espaçamento entre os eletrodos não-uniforme.

A resistividade elétrica do Perfil A-B. Sendo a superior pseudo-seção observada, a intermediária é calculada a partir do modelo (seção “real”) de resistividade elétrica da base do quadro e a inferior secção de resistividade

Figura 25 Resultado da inversão 2D

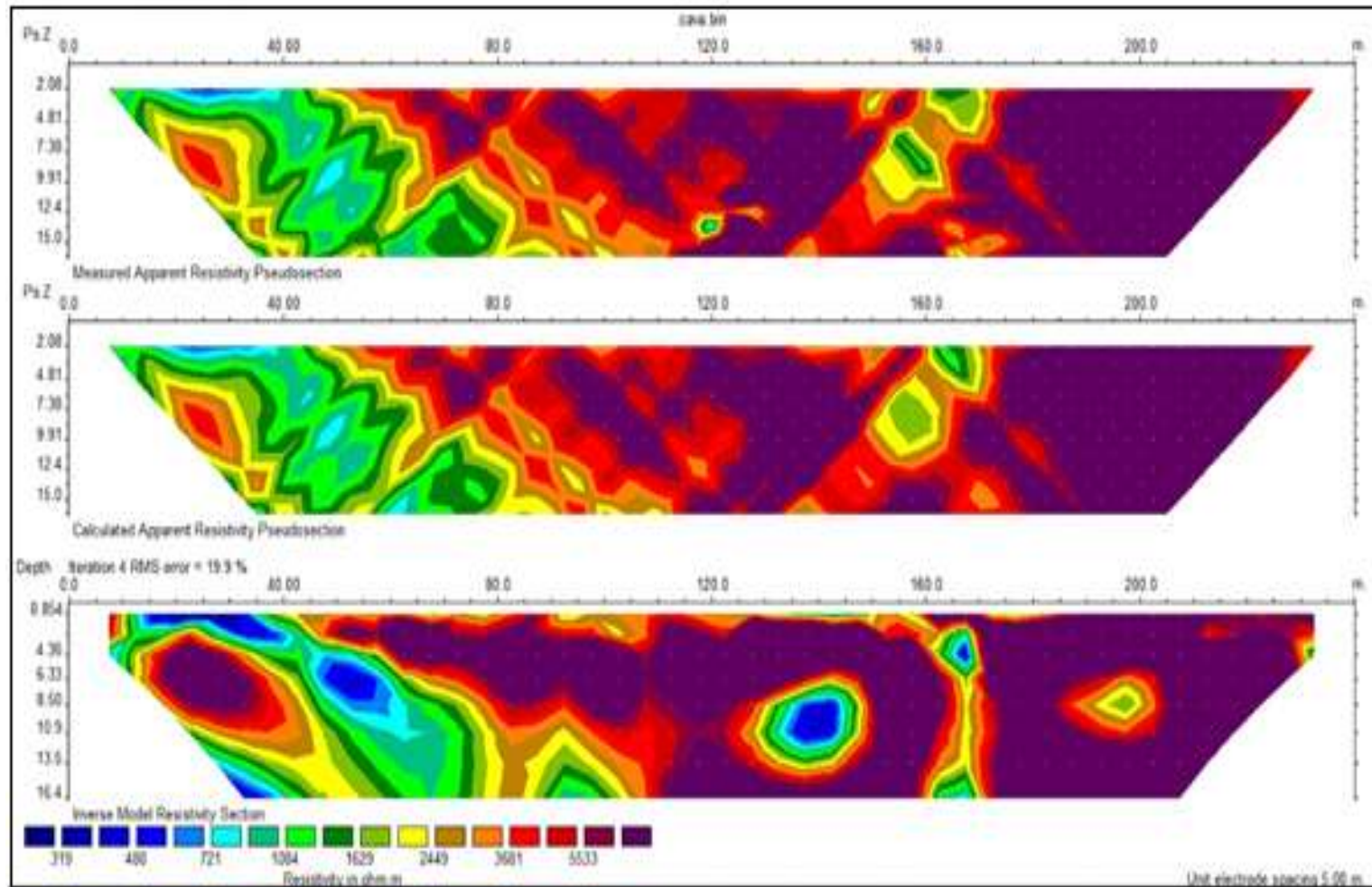
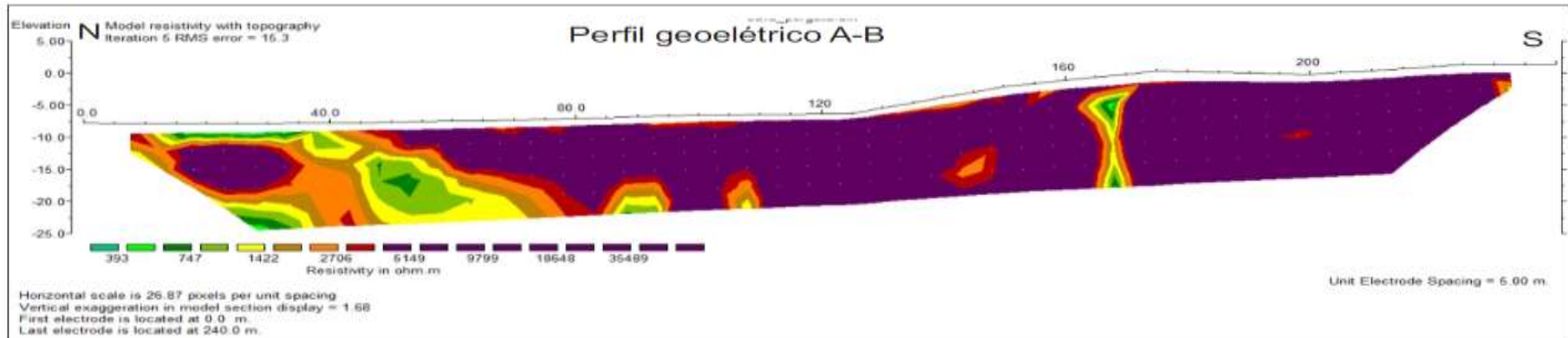
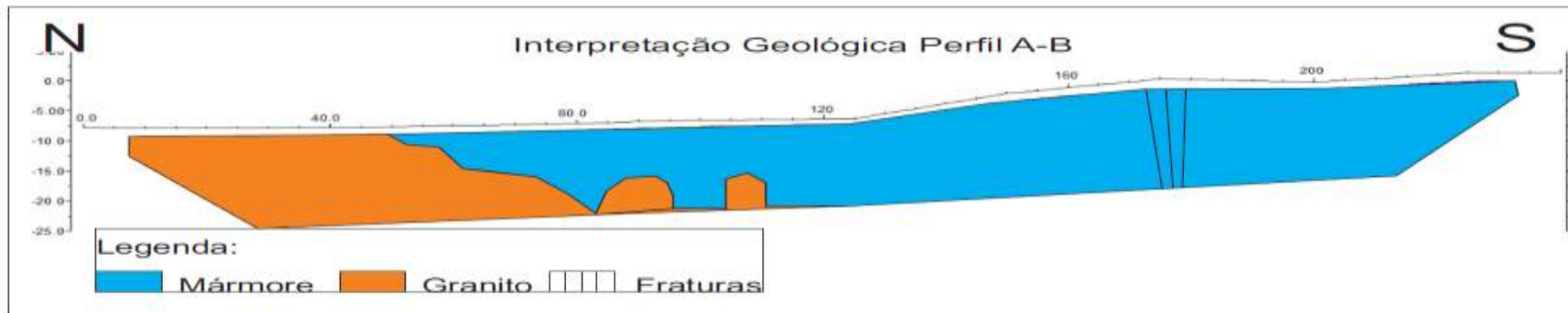


Figura 26 Perfil geoeletrico A-B processado.



Fonte 19 Autor, 2015.

Figura 27 - Perfil geoeletrico A-B interpretado.



Fonte 20 Perfil Autor, 2015.



A resistividade elétrica do Perfil C-D. A superior é a pseudo-seção observada, a intermediária é calculada a partir do modelo (seção “real”) de resistividade elétrica da base do quadro e a inferior é a secção de resistividade

Figura 28 Resultado da inversão 2D do perfil C-D.

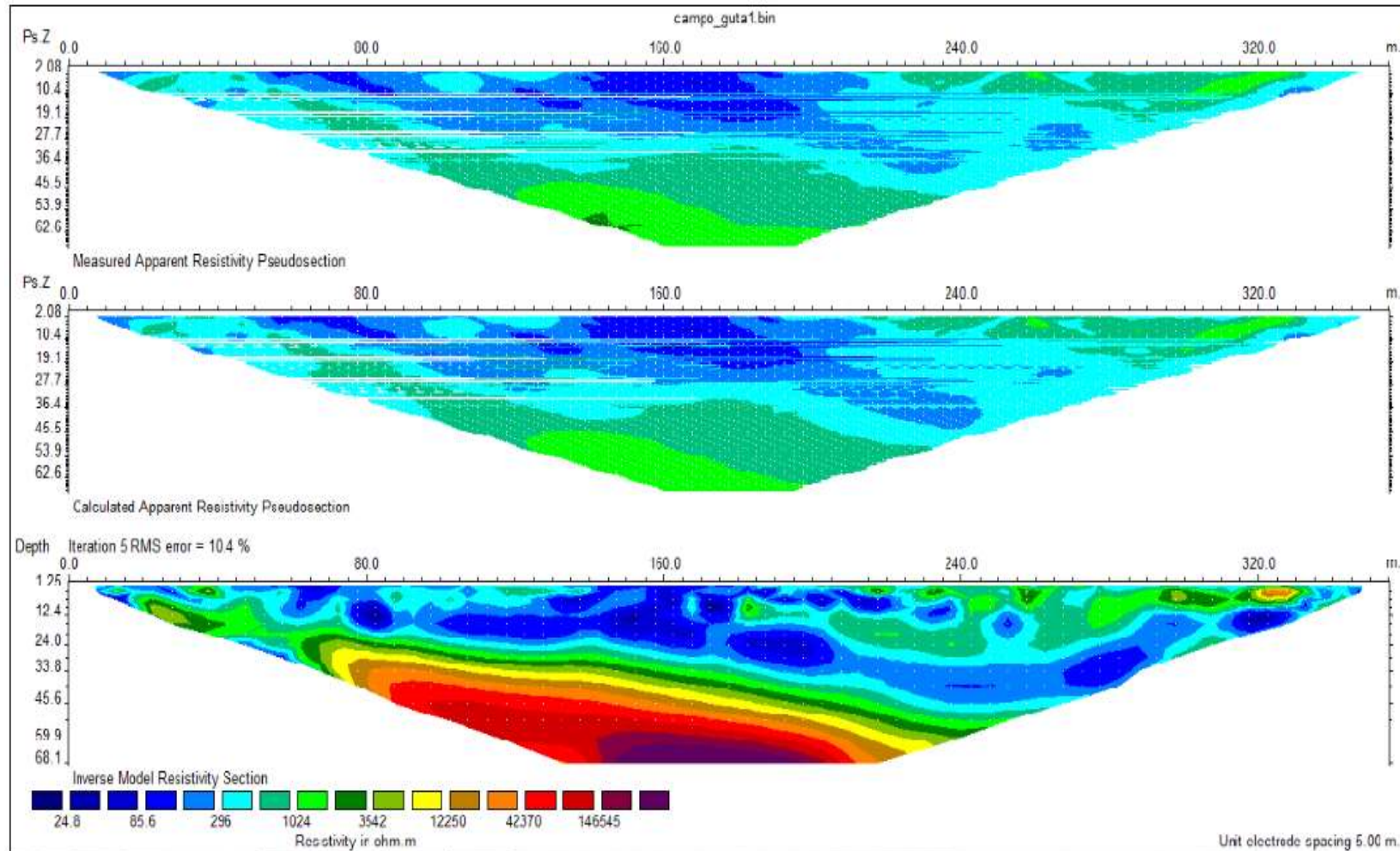
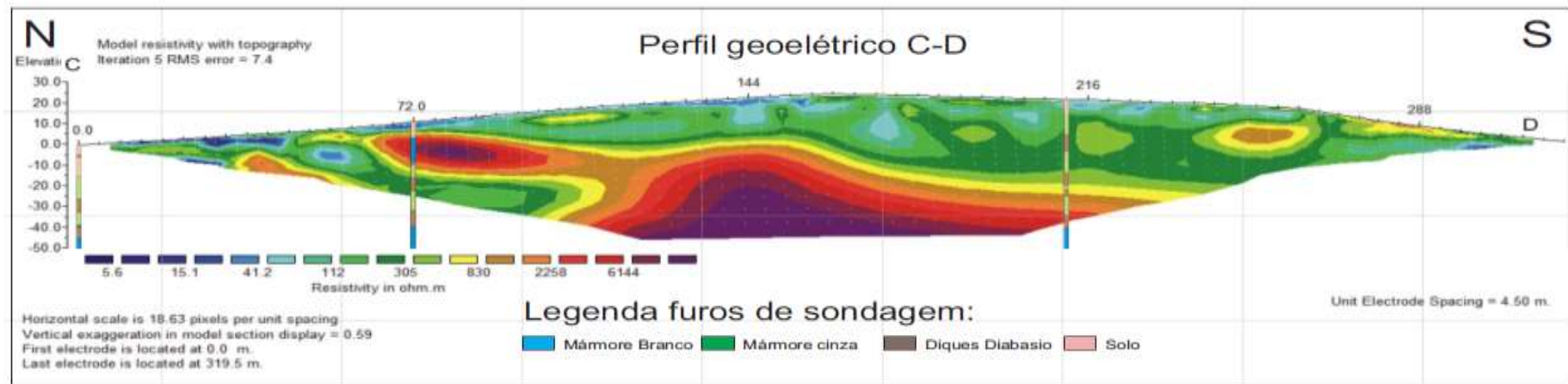
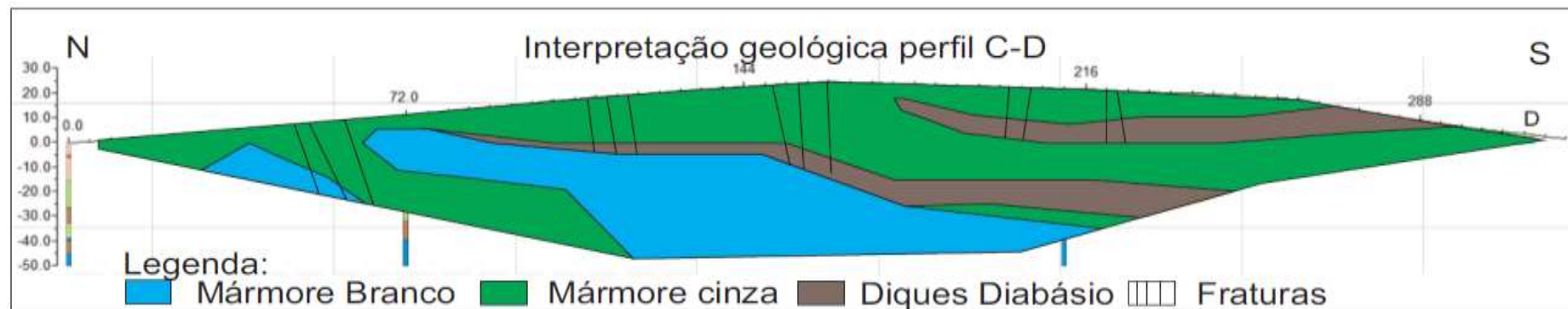


Figura 29 Perfil C-D geolétrico processado.



Fonte 21 Autor, 2015.

Figura 30 - Perfil geolétrico C-D interpretado.



Fonte 22 Autor, 2015.

## 9 Discussões

O padrão de fraturamento observado e medido pode estar relacionado à orientação dos esforços que se instauraram no maciço. A partir da determinação do elipsóide de deformação, que caracteriza um dado maciço rochoso, podem ser posicionadas as estruturas deformacionais produzidas pelo campo de tensões diferenciais.

No caso em estudo, as deformações produzidas no mármore pelas tensões podem ser analisadas por meio de dois mecanismos específicos de deformação. O mecanismo gerador das juntas extensionais paralelas ao acamamento e ortogonais com máxima deformação. Como exemplos, temos juntas de extensão e juntas de alívio conforme.

Figura 31 Mármore com faturamento entre camadas.



Fonte 23 Autor, 2015.

As juntas extensionais paralelas ao acamamento se devem, possivelmente, a pressão da intrusão granítica e do posicionamento do diabásio. Já o mecanismo de deformação máxima gerou as juntas de cisalhamento ortogonais, as quais formaram fraturas com direções de  $290^\circ$  que formam ângulos de mergulho que variam entre  $10^\circ$  e  $30^\circ$ , com o eixo de menor tensão  $a_2$  conforme Figura 18 e corroborando com Costa et al. (1995). Este autor descreve que as feições estruturais sobrepostas ao corpo granítico são sub-horizontais, com foliações de

baixo ângulo e lineação mineral que tendem a nordeste. O baixo ângulo de foliação existente é provavelmente relacionado a zona de cisalhamento transcorrente que afetou o granito Caçapava do Sul.

O estudo da orientação e da movimentação ao longo das estruturas planares demonstra a complexidade estrutural da região. Esse fato pode ser constatado a partir da ocorrência de direções onde houve nítida reativação e preenchimento por material silicático, na segunda fase deformacional, e zonas de fraqueza estabelecidas na fase de deformação anterior. Esse parece ser o caso das fraturas de direção entre  $300^{\circ}$  e  $320^{\circ}$  e  $210^{\circ}$  e  $240^{\circ}$  (Figura 19 e Figura 20). Essas fraturas se apresentam com um sentido de movimento em uma fase deformacional e com sentido de deslocamento inverso quando da reativação. Conforme Ribeiro et al. (1966), as atividade de falhas transcorrentes do sistema de falhas de Irapuá é principalmete na direção NE, afetando a Formação Passo Feio. Este sistema é controlado espacialmente e associado a fraturas extensionais transversais na direção NW.

Pode-se aventar a hipótese de que muitas das fraturas com direções azimutais entre  $270^{\circ}$  a  $280^{\circ}$  na Figura 18 e Figura 21 tendem a se apresentar abertas, visto que são fraturas sintéticas, independentemente da fase deformacional que as ativou ou reativou, sendo aquelas ao longo das quais pode ocorrer, com mais facilidade, a separação dos blocos.

Devido aos cortes preexistentes e a algumas facilidades de acesso, a lavra na área de estudo se desenvolve sem utilização dos dados estruturais. Considerando-se que a qualidade de um bloco de rocha, extraído no processo de lavra, não depende das superfícies de fraqueza da rocha, sendo utilizado, neste caso, explosivos onde possivelmente colaboraram para a formação de outras fraturas abertas.

A análise geoestrutural efetuada sugere uma orientação de faturamento do mármore em uma direção W-E (Figura 18). Esta ocorrência na fase rúptil pode estar relacionada ao processo de faturamento hidráulico, ao menos em parte estas estruturas se relacionam ao mecanismo de *crack-seal* (Ramsey e Hber,1983). O produto deste processo, as brechas, são o resultado de acumulação de tensões elásticas que formam inicialmente pequenas fendas na rocha e que são percoladas posteriormente por fluidos.

A Figura 25 e a Figura 28 mostram os modelos de inversões com realce dos condutores nas cores roxo/avermelhadas, e dos mais resistivos nas cores branco/azuladas e seus intermediários. Pode-se observar que a qualidade e resolução dos dados, permitiram a identificação dos níveis condutores associados ao manto de alteração e rocha com alto grau de fraturamento e alteração, dos níveis intermediários. Estes caracterizando a rocha com menor grau de alteração, fraturamento e dos níveis de alta resistividade condizentes à rocha sã.

O modelo de resistividade elétrica do perfil A-B (Figura 26) nos mostra um comportamento mais irregular em relação ao perfil C-D, onde a norte, o primeiro horizonte mais condutivo se mantém e está relacionado ao manto de alteração e zonas de fraturas. Contudo, o mais interessante deste perfil é a identificação de uma zona de faturamento, pois há uma zona menos resistiva entre duas grandes áreas com alta resistividade correlacionado a rocha maciça (relacionado ao mármore) e uma região também resistiva na base da seção. Esta última relacionada com a intrusão do granito. Visto que Remus et al. (1996) sugerem que exposições de gnaisses e anfibolitos do embasamento paleoproterozóico na borda sudeste do granito sofreram um evento de deformação de baixo ângulo que afetou todas as unidades.

O modelo obtido no perfil C-D (Figura 29) mostra um aumento da resistividade com a profundidade, o que é de se esperar em todos os perfis investigados, pois a rocha está menos alterada em níveis mais profundos. Pode-se identificar zonas mais condutivas (aproximadamente entre 15 e 250 ohm.m), sugerindo como sendo o manto de alteração e possíveis zonas de fraturas. A cor amarela está relacionada à uma zona de transição da cobertura saturada ou manto de alteração com a rocha sã, com valores de resistividade em torno de 1000 ohm.m. Identificado como baixo grau de fraturamento/alteração. No centro da seção é possível identificar altos valores de resistividade condizentes com a rocha sã, podendo ser um corpo de mármore dolomítico.

## 10 Conclusões

O levantamento topográfico e geológico detalhado da área possibilitou obter informações de litologias e estruturas de fraturas nas rochas do depósito de mármore dolomítico, os contatos de litologias e as rochas graníticas e básicas que intrudiram a região, bem como seu processo de alteração metamórfica

O método geofísico de eletrorresistividade se mostrou bastante eficiente na identificação do comportamento do mármore em subsuperfície e localização das zonas de fraturas para a posterior caracterização da área de estudo. Isto possibilitou associar litologias a resistividade do meio.

O resultado dos perfis geoeletricos, condicionado ao conhecimento e análise da geologia estrutural, permitiu sugerir uma correlação dos dados com os perfis geológicos. Assim, possibilitando a definição dos contatos litológicos, suas estruturas e sua continuidade em subsuperfície.

O modelo geológico e a análise estrutural corroborou aos levantamentos realizados por outros autores que evidenciaram faturamentos em direções preferencias a NW, NE e a W e baixos ângulos. Estes relacionados aos processos tectônicos de orogenia paleoproterozóica com reativação pela intrusão granítica.

Por fim, o método geofísico utilizado apresentou resultados satisfatórios, visto que foi possível correlacionar dados de campo com os obtidos pelo método indireto. Contudo, deve também ser considerado o levantamento topográfico, geológico e petrográfico.

## 11 Referências Bibliográficas

- BABINSKI, M.; CHEMALE Jr., F.; HARTMAN, L.A.; VAN S., W.R. & Silva, L.C. 1996. Juvenile accretion at 750-700 Ma in southern Brazil. *Geology*, 24: 439-442.
- BITENCOURT, M.F. Geologia, petrologia, e estrutura dos metamorfitos da região de Caçapava do Sul, RS. Porto Alegre. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação em Geociências, Instituto de Geociências. Uni-versidade Federal do Rio Grande do Sul, 1983.
- BITENCOURT, M. F.; HARTMANN, L. A.. Reconhecimento geoquímico dos xistos magnesianos da região do Passo Feio, Cçapava do Sul, RS. Anais do XIII Congresso Brasileiro de Geologia, Rio de Janeiro, 1984.
- CHEMALE, Jr. F.; BABINSKI, M. U-Pb Zircon Datin of Deformational Events from Neoproterozoic Rocks in Eastern Brazil. Simpósio Nacional De Estudos Tectônicos. Gramado, RS. SBG, 1995.
- CHEMALE, Jr. F.; HARTMANN, L.A.; SILVA, L.C. Stratigraphy and tectonismo of the Brasiliano Cycle in Southern Brazil. In. McNiall M. Ed. Proceedings Volume on Proterozoic Crust and Metallogenic Evolution, p. 151-166. Communications Geological Society of Namibia, 1995.
- COSTA, A.F.U,Fernandes, L.A.D, Shukowsky,W., Nardi,L.V.S, Bitencourt,M.F., 1995. Teste dos modelos tectônicos e de posicionamento do Complexo Granulítico de Caçapava do Sul, através de estudos de modelagem gravimétrica 3-D. *Revista Brasileira de Geofísica* 13 (2), P 845-867.
- COSTA, R. T. Análise de Dados de Cargabilidade, Resistividade Elétrica e Susceptibilidade Magnética na Mina do Brucutu, MG. Dissertação de Mestrado em Geociências, UFRGS, Porto Alegre, 2007. 132p.
- CPRM – SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. CARTA GEOLÓGICA FOLHA SH.22-Y-A CACHOEIRA DO SUL - ESCALA 1:250.000 , 2000.
- GALLAS, J. D. F.; TAIOLI, F.; MALGUTTI, W. F.; PRADO, R. L. & DOURADO, J. C., 2001. Métodos e Técnicas Geoelétricas Rasas na delimitação de área afetada por ruptura em teto de túnel urbano, *Revista Brasileira de Geofísica SBGf*, Vol 19, N0 1, p. 33 46.
- GALLAS JDF. 2000. Principais Métodos Geoelétricos e suas Aplicações em Prospecção Mineral, Hidrogeologia, Geologia de Engenharia e Geologia Ambiental. 174p. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro.
- GOOGLE EARTH. Versão 4.3 (beta). Europa Technologies – US Dept. of State Geographer, 2015.
- HARTMANN L.A., D Liu, Y Wang, HJ Massonne. Protolith age of Santa Maria Chico granulites dated on zircons from an associated amphibolite-facies granodiorite in southernmost Brazil Anais da Academia Brasileira de Ciências, 2008.

JOST & HARTMANN, (1984). Província Mantiqueira– Setor Meridional. In: F. F. M. Almeida, Y. Hasui (coord.), *O Pré-Cambriano do Brasil*. São Paulo.

MENEGAT, R. & Fernandes, L. A. D. 2001. A reappraisal of the nature and age of the late-orogenic basins of the Neoproterozoic Dom Feliciano Belt in southern Brazil. In: TECTONIC STUDIES GROUP ANNUAL MEETING 2001.

ORELLANA, E. Prospección geoelectrica por campos variables. Madrid, Ed. Paraninfo, Biblioteca Técnica Philips, 1972.

RAMSEY, J.G & Huber, M.I., 1983. The Techniques of Modern Structural Geology. Cap. 13, Academic Express Inc.

REMUS, M.V.D., McHaughton, N.J., Hartman, L.A., Groves, D.I., 1996. SHRIMP U/Pb zircon dating at 2448 Ma of the oldest igneous rock in Southern Brazil: Identification of the border of the Dom Feliciano Belt. In: Symposium on Archean Terranes of the Southern Platform (Brasília-DF): Extended Abstracts, pp. 67-70.

REMUS, M. V. D. The link between hydrothermal epigenetic copper mineralization and the Caçapava Granite of the Brasiliano Cycle in Southern Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, v. 13: 191-216. 2000.

RIBEIRO, M.; BOCCHI, P. R.; FIGUEIREDO FILHO, P. M.; TESSARI, R. I. Geologia da quadrícula de Caçapava do Sul, RS, Brasil. *Boletim da Divisão de Geologia e Mineralogia, DPM-DNPM*, 1966.

RIBEIRO, M.; CARRARO, C. C. Geotectonic Map of the Caçapava do Sul region-RS. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 1970.

SOLIANI Jr. E., Os dados geocronológicos do Escudo Sul Riograndense e suas implicações de ordem geotectônicas, São Paulo: Curso de Pós Graduação em Geociências, IG/USP, 1986.

SCHÖN, J. H. Physical Properties of Rocks, Fundamental and Principles of Petrophysics, Handbook of Geophysical Exploration, Seismic Exploration. Volume 18. Ed. Elsevier, 2004.

TELFORD, W.M; GELDART, L.P. & SHERIFF, R.E. 1990. Applied Geophysics. 2nd ed. Cambridge University Press, New York. 859p.

TIPLER, P. A.; MOSCA, G. Física para cientistas e engenheiros - Mecânica, Oscilações e Ondas, Termodinâmica. 5.ed. LTC, 2006.