

**UNIVERSIDADE FEDERAL DOS VALES DO JEQUITINHONHA E MUCURI**  
**Programa de Pós-graduação em Tecnologia, Ambiente e Sociedade**

**Carlos Eduardo Cardoso Nogueira**

**UTILIZAÇÃO DO LEVANTAMENTO DE ELETRORRESISTIVIDADE**  
**PARA PROSPECÇÃO DE GEMAS EM PEGMATITOS**

**Teófilo Otoni**  
**2022**

**Carlos Eduardo Cardoso Nogueira**

**UTILIZAÇÃO DO LEVANTAMENTO DE ELETORRESISTIVIDADE PARA  
PROSPECÇÃO DE GEMAS EM PEGMATITOS**

Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Tecnologia, Ambiente e Sociedade da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, como requisito para obtenção do título de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Henrique Alexandrino.  
Coorientador: Prof. Dr. Carlos Alberto Mirez Tarrillo

**Teófilo Otoni**

**2022**

### Catálogo na fonte - Sisbi/UFVJM

C268u Cardoso Nogueira, Carlos Eduardo  
2022 UTILIZAÇÃO DO LEVANTAMENTO DE ELETRORRESISTIVIDADE PARA  
PROSPECÇÃO DE GEMAS EM PEGMATITOS [manuscrito] / Carlos  
Eduardo Cardoso Nogueira. -- Teófilo Otoni, 2022.  
65 p. : il.

Orientador: Prof. Carlos Henrique Alexandrino.  
Coorientador: Prof. Carlos Alberto Mirez Tarrillo.

Dissertação (Mestrado Profissional em Tecnologia, Ambiente  
e Sociedade) -- Universidade Federal dos Vales do  
Jequitinhonha e Mucuri, Programa de Pós-Graduação em  
Tecnologia, Ambiente e Sociedade, Teófilo Otoni, 2022.

1. geofísica. 2. eletrorresistividades. 3. pegmatito. I.  
Alexandrino, Carlos Henrique . II. Tarrillo, Carlos Alberto  
Mirez . III. Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha  
e Mucuri. IV. Título.

Elaborada pelo Sistema de Geração Automática de Ficha Catalográfica da UFVJM com os  
dados fornecidos pelo(a) autor(a).  
Este produto é resultado do trabalho conjunto entre o bibliotecário Rodrigo Martins Cruz/CRB6-  
2886  
e a equipe do setor Portal/Diretoria de Comunicação Social da UFVJM

## Utilização do levantamento de eletrorresistividade para prospecção de gemas em pegmatitos


Dissertação apresentada ao  
MESTRADO EM TECNOLOGIA,  
AMBIENTE E SOCIEDADE, nível de  
MESTRADO como parte dos requisitos  
para obtenção do título de MESTRE  
EM TECNOLOGIA, AMBIENTE E  
SOCIEDADE.

Orientador (a): Prof. Dr. Carlos  
Henrique Alexandrino

Co-orientador (a): Prof. Dr. Carlos  
Alberto Mirez Tarrillo


Data da aprovação : 28/09/2022

Prof.Dr. CARLOS HENRIQUE ALEXANDRINO - UFVJM  Documento assinado digitalmente  
CARLOS HENRIQUE ALEXANDRINO  
Data: 24/11/2022 19:04:55-0300  
Verifique em <https://verificador.iti.br>

Prof.Dr. JORGE LUIZ DOS SANTOS GOMES - UFVJM  Documento assinado digitalmente  
JORGE LUIZ DOS SANTOS GOMES  
Data: 24/11/2022 13:32:06-0300  
Verifique em <https://verificador.iti.br>


Prof.Dr. LEANDRO BARONI - UFABC  Documento assinado digitalmente  
LEANDRO BARONI  
Data: 24/11/2022 14:36:20-0300  
Verifique em <https://verificador.iti.br>

Prof.Dr. CARLOS ALBERTO MIREZ TARRILLO - UFVJM

Prof.Dr.<sup>a</sup> SUZE NEI PEREIRA GUIMARÃES - ON  Documento assinado digitalmente  
SUZE NEI PEREIRA GUIMARAES  
Data: 24/11/2022 12:30:52-0300  
Verifique em <https://verificador.iti.br>

Prof.Dr. CAIO MARIO LEAL FERRAZ - UFVJM  Documento assinado digitalmente  
CAIO MARIO LEAL FERRAZ  
Data: 24/11/2022 18:50:24-0300  
Verifique em <https://verificador.iti.br>

TEÓFILO OTONI

 Documento assinado digitalmente  
CARLOS ALBERTO MIREZ TARRILLO  
Data: 25/11/2022 17:37:56-0300  
Verifique em <https://verificador.iti.br>



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Localização dos municípios de Carlos Chagas e Ataléia, estado de Minas Gerais, com destaque para a região de estudo .....	13
Figura 2 – Localização da área de estudo em relação ao município de Carlos Chagas .....	14
Figura 3 – Mapa de localização da área de estudo evidenciando o orógeno Araçuaí e a província pegmatítica .....	15
Figura 4 – Localização da área de estudo em relação ao mapa geológico CPRM. ....	16
Figura 5 – Localização geográfica da fazenda Guanabara e seus principais pontos de interesses .....	17
Figura 6 – Imageamento aéreo de drone com detalhe .....	18
Figura 7 – Detalhamento de um afloramento do granito Ataléia .....	18
Figura 8 – Blocos aflorantes e/ou rolados de quartzo rosa.....	19
Figura 9 – Cristal de quartzo rosa de grande porte.....	19
Figura 10 – Classificação simplificada dos pegmatitos.....	20
Figura 11 – Zonas características dos pegmatitos .....	21
Figura 12 – Pegmatito zona marginal e zona mural. ....	22
Figura 13 – Rocha típica de pegmatito.....	22
Figura 14 – Cristais de berilo azul (água marinha) na sua forma bruta e lapidada .....	23
Figura 15 – Cristais de topázio na sua forma bruta e lapidada.....	24
Figura 16 – Esquema de aquisição de imagem com o método GPR.....	29
Figura 17 – Resumo das atividades da geofísica.....	30
Figura 18 – Classificação dos métodos geoeletricos.....	33
Figura 19 – Os parâmetros usados na definição de resistividade .....	34
Figura 20 – Forma geral da configuração de eletrodos .....	35
Figura 21 – Arranjo dipolo: dipolo eletrodos de corrente A e B e de tensão M e N.....	38
Figura 22 – Ilustração de um esquema da primeira linha do caminhamento e as profundidades esperadas pra a medição .....	39
Figura 23 – Tabela de resistividade.....	39
Figura 24 – Esquema de um pegmatito clássico.....	40
Figura 25 – Perfil geoeletrico comparativo. ....	40
Figura 26 – Alinhamento do caminhamento .....	42
Figura 27 – Resistivímetro 5X: fabricação nacional .....	43
Figura 28 – Chicote de fios elétricos 1,5 mm.....	44

Figura 29 – Régua chaveadora ligado no resistivímetro .....	44
Figura 30 – Chicote de cabos devidamente conectado no eletrodo.....	45
Figura 31 – Perfil geoeétrico da linha 01 .....	49
Figura 32 – Perfil geoeétrico da linha 02 .....	50
Figura 33 – Perfil geoeétrico da linha 03 .....	51
Figura 34 – Perfil geoeétrico da linha 04 .....	51
Figura 35 – Perfil geoeétrico da linha 05. ....	52
Figura 36 – Perfil geoeétrico da linha 06 .....	52
Figura 37 – Perfil geoeétrico da linha 07 .....	53
Figura 38 – Perfil geoeétrico da linha 08 .....	54
Figura 39 – Perfil geoeétrico da linha 09 .....	54
Figura 40 – Perfil geoeétrico da linha 10 .....	55
Figura 41 – Foto alinhamento dos perfis geoeétricos das linhas de 06 a 09 .....	56
Figura 42 – Alinhamento dos perfis geoeétricos das linhas de 01 a 03 .....	56

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Coordenada dos vértices da poligonal ANM.....	14
Quadro 2 – Vantagens e desvantagens do regime de autorização e concessão.....	27
Quadro 3 – Vantagens e desvantagens do regime de permissão de lavra garimpeira.....	28
Quadro 4 – Método geofísicos e fenômenos relacionados .....	28
Quadro 5 – Classificação dos métodos geolétricos .....	31
Quadro 6 – Classificação dos métodos geolétricos .....	31
Quadro 7 – Pontos iniciais e finais das linhas para o caminhamento.....	41
Quadro 8 – Forma de entrada de dados no Res2Dinv usando arquivo TXT.....	45

## RESUMO

A exploração de gemas no entorno do Vale do Mucuri, nordeste de Minas Gerais, vem ocorrendo ao longo das últimas décadas de forma irregular ou clandestina. Desse modo, são escassos os trabalhos de pesquisa e estudo nessa área. Essa região está situada sobre a província pegmatítica oriental, que é uma área conhecida pela ocorrência vasta desta rocha, apresentando grande relevância econômica. O pegmatito é uma rocha de granulometria grossa, composta basicamente por quartzo, feldspato e mica. Essas rochas são reconhecidas mundialmente como fonte de elementos raros de elevado valor para os mais vastos setores da indústria e, sobretudo, são fontes de gemas (pedras preciosas). As gemas são toda a matéria mineral, rochosa ou orgânica manipulada de algum modo para o uso ornamental. Para a busca de bens minerais, há o emprego de métodos diretos ou conservadores de pesquisa, que podem ser onerosos, além de apresentar alguma burocracia para o seu uso. Uma alternativa para os estudos diretos são os levantamentos geofísicos, que são bem mais econômicos e dinâmicos. Para tanto, foi escolhida uma área dentro da fazenda Guanabara, município de Carlos Chagas. Nessa área, há uma quantidade grande de blocos aflorantes de quartzo rosa, sendo que um dos cristais de quartzo possui mais de 3 metros de largura. Nessa região, a presença de quartzo rosa está associada à ocorrência de gemas como águas marinhas, topázio e crisoberilo. O método geofísico indicado para este trabalho é o de eletrorresistividade. O arranjo utilizado foi o caminhamento elétrico dipolo-dipolo, que consiste na utilização de dois pares de eletrodos, sendo que um par injeta uma corrente e o outro mede a tensão. Foram realizadas 10 linhas de caminhamento elétrico, com espaçamento de 4 metros entre os eletrodos e 16 metros entre as linhas, que geraram 10 perfis. Assim, foi possível identificar estruturas internas de pegmatito e contatos com o granito Ataléia, que é uma rocha encaixante, devido à diferença de resistividade (ohm.m). O método da eletrorresistividade propiciou uma resposta favorável à prospecção de gemas, conforme se pode observar nos resultados apresentados neste trabalho.

**Palavras-chave:** Pedras preciosas. Quartzo. Arranjo. Rochas. Geofísico.

## ABSTRACT

The exploration of gemstones in the surrounding area of Vale do Mucuri, northeast of Minas Gerais, has been occurring over the last decades in an irregular or clandestine way. Thus, there is little research or studies in this area. This region is located on the eastern pegmatitic province, which is an area known for the vast prevalence of this rock which presents considerable economic opportunities. Pegmatite is a coarse-grained rock composed of quartz, feldspar and mica. These rocks are internationally recognized as a source of rare elements of high value for the broadest of sectors within the industry and, above all, they are sources of gems (precious stones). Gemstones are any mineral, rocky or organic matter that has been manipulated in some way for ornamental use. The collection of mineral goods currently rely on direct or conservative methods of research, which can be onerous, costly, and require bureaucratic procedures for their use. An alternative to direct studies are geophysical surveys, which are much more economical and dynamic. For example, consider an area inside the Guanabara Farm, in Carlos Chagas City. In this area there is a bountiful supply of pink quartz crystal outcropping, some measure larger than three meters of length. In this region it is known that pink quartz crystal is associated with the occurrence of gems such as aquamarine, topaz and chrysoberyl. Electrical resistivity was the geophysical method selected for this work because, due to the characteristics of this method, it is most favorable for this study. The approach that was used in this was the dipole-dipole array which consists of the use of two pairs of electrodes, one pair injects a current and one that measures the voltage. Ten lines of electrical charge were configured, with four meters of space between each electrodes and 16 meters between the lines. This would generate ten 2D images, which made it not only possible to identify the internal structures of the pegmatite, but also the contacts with the Ataléia granite; the host rock. The electrical resistivity method provided an excellent response to gemstone prospecting, as can be observed in the results presented in this study.

**Keywords:** Crystal , Quartz, Gems, Arrangements, Rocks, Geophysical.

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>9</b>
1.1 Contextualização.....	9
1.2 Problematização .....	9
1.3 Objetivos .....	10
1.4 Justificativa.....	10
1.5 Estrutura da dissertação .....	12
<b>2 LOCALIZAÇÃO E CONTEXTO GEOLÓGICO .....</b>	<b>13</b>
2.1 Localização geográfica.....	13
2.2 Contexto geológico .....	14
2.3 Pegmatitos .....	19
2.4 Gemas .....	23
2.5 Forma de pesquisas de pegmatito.....	24
<b>3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>26</b>
3.1 Aspectos legais.....	26
3.2 Métodos geofísicos .....	28
3.3 Métodos geoeletricos .....	30
3.4 Classificação de métodos geoeletricos .....	31
3.5 Métodos da eletrorresistividade .....	33
3.6 Pesquisa geoeletrica dos pegmatitos .....	37
<b>4 METODOLOGIA.....</b>	<b>41</b>
4.1 Materiais e métodos .....	42
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>48</b>
5.1 Perfis geoeletricos .....	48
<b>6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>58</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>59</b>

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Contextualização

O Vale do Mucuri, situado a nordeste de Minas Gerais, é uma região de grande importância na extração de pedras preciosas (gemas), segundo Fernandes, Fonseca e Pires (2005), principalmente águas-marinhas, topázios e turmalinas. No entanto, a sua exploração é rudimentar e as condições de trabalho dos garimpeiros, assim como dos pequenos mineradores, são precárias.

A forma de exploração na região de estudo caracteriza-se como uma mineração de pequeno porte, conforme o trabalho de Barroso (2018). Em todos os países, no entanto, ela tende a ser um setor econômico complexo que abrange tanto mineradores informais quanto pequenos mineradores que cumprem todas as suas obrigações legais, conforme aponta IGT (2017). Ressalta-se também que, embora este setor seja via de regra caracterizado pela baixa produtividade e pela deficiência no que tange à segurança e saúde, ele é responsável pelo sustento de centenas de milhões de pessoas em todo o mundo.

A grande maioria dessas minerações de pequeno porte atua em situação irregular. Dessa forma, são escassas as pesquisas de novas tecnologias para o seu trabalho, de acordo com GEA (2007).

Os estudos geológicos clássicos, como os métodos de sondagem direta, possuem alto custo, por isso, para otimizar esses trabalhos, os mineradores podem utilizar várias ferramentas alternativas, de acordo com Pereira (2012). Um exemplo dessas ferramentas alternativas é a geofísica, que visa reduzir os custos através da sondagem indireta, conforme apontam os estudos de Braga (2016). Esta, por sua vez, possui uma vasta gama de modalidades de métodos, os quais precisam ser escolhidos de acordo com o recurso que se pretende trabalhar.

O método geofísico da eletrorresistividade já vem sendo utilizado, com sucesso, há várias décadas em estudos hidrogeológicos e, devido às suas características, pode ser empregado na mineração de gemas.

## 1.2 Problematização

De acordo com Joncew (2017), na região do Vale do Mucuri, situada a nordeste do estado de Minas Gerais, as explorações de gemas ocorrem por tentativa e erro. Habitualmente, os mineradores utilizam apenas as experiências pessoais para identificar as diferenças estruturais dos minerais, direcionando assim as suas escavações. Nesse contexto, estudos mais

aprofundados são muito raros. Isso se dá tanto pela falta de conhecimento como pelos altos custos dos métodos tradicionais.

No caso dos pegmatitos zonados encontrados na maioria das minerações, grande parte da sua estrutura é formada por quartzo e feldspato (LIMA *et al.*, 2016), enquanto os minerais acessórios (as gemas, por exemplo) estão dispostos de forma não previsível. Esse material deve ser removido até que se encontre uma gema ou um “caldeirão”, que, segundo Fernandes, Fonseca e Pires (2005), são vesícula formadas durante a cristalização da rocha, onde é propício encontrar grande quantidade de gemas. Durante a retirada de material estéril ou de pouco valor, despendem-se os maiores custos desse tipo de mineração. Observa-se que o minerador trabalha retirando material de forma manual, na maioria das vezes, em estruturas semelhantes a túneis ou galerias, ou até em lavras a céu aberto, seguindo uma direção que ele tem como referência pela sua experiência prática ou intuição.

Em razão disso, os trabalhos ficam muito morosos e dispendiosos, o que torna necessário utilizar novas técnicas para que se possa conhecer e prever as estruturas internas dos corpos geológicos que estão sendo escavados.

### **1.3 Objetivos**

O objetivo geral desta dissertação é identificar as estruturas internas e os contatos de pegmatitos zonados, bem como identificar suas respectivas eletrorresistividades os seus respectivos contextos geológicos. Almeja-se, como consequência, contatar a ocorrência de áreas passíveis de serem mineradas com o intuito de exploração de pedras preciosas, possibilitando, assim, a implantação de uma empresa mineradora de pequeno porte.

Os objetivos específicos são:

- Identificar uma área que esteja apta legalmente para a pesquisa mineral;
- Localizar nessa área uma região que contenha contexto geológico e topográfico adequado para o trabalho;
- Realizar levantamento geofísico para imageamento 2D;
- Avaliar o imageamento 2D e identificar áreas-alvo.

### **1.4 Justificativa**

De acordo com Souza e Sobrinho (2013), os pegmatitos são de grande importância econômica, pois essas rochas são fontes de diversos bens minerais que, por sua vez, são matérias



primas para a construção civil, as indústrias em geral, as indústrias bélicas e as gemas. Dentre as matérias primas para uso industrial em evidência hoje, pode-se citar a columbita-tantalita (nióbio) e o espodumênio (lítio).

Os estudos de Chaves e Dias (2018) apontam para a grande importância de o pegmatito se apresentar como fonte de uma grande variedade de gemas de altíssimo valor econômico.

A geofísica e a sua eficiência já foram comprovadas por várias formas de estudos e prospecções. Tem-se como exemplo o trabalho de Braga (2016), que obteve sucesso com o caminhamento elétrico e a sondagem elétrica vertical na identificação de contaminação de águas subterrâneas. Pode-se citar também Calachibete (2016), que obteve sucesso utilizando os métodos geoeletricos para a identificação de corpos auríficos.

Contudo, há poucos trabalhos que utilizam a geofísica na investigação de pegmatitos, principalmente no setor de gemas.

Na prospecção de águas subterrâneas investigam-se as estruturas geológicas como falhas, fraturas, dobras, zonas de cisalhamentos etc. O método utilizado de forma geral é a eletrorresistividade, com espaçamento de 20 metros entre os eletrodos. Isso foi realizado por Andrade, Severino e Pinto (2019), que utilizaram esse método para a pesquisa hidrogeológica em área de rochas cristalinas, no município de Ouro Preto d'Oeste, no estado de Rondônia.

Entende-se que, reduzindo o espaçamento entre os eletrodos, podem-se identificar estruturas menores, conforme Braga (2016), principalmente as divisões internas de pegmatitos, como os “caldeirões”, também chamados de *pockets*. Conforme os estudos de Fernandes, Fonseca e Pires (2005), trata-se de bolsões que, nessa região, podem variar de 50 centímetros a 3 metros de diâmetro.

Há diversas vantagens em utilizar o levantamento geoeletrico, das quais pode-se citar o baixo custo, pois ele se apresenta muito mais econômico do que os métodos tradicionais de investigação, tais como a sondagem rotativa, a escavação de galeria e as trincheiras, de acordo com Pereira (2012). Outro aspecto muito significativo está relacionado ao passivo ambiental, que é praticamente nulo na grande maioria dos casos, além de apresentar pouquíssima restrição quanto à topografia.

Por isso, espera-se que a utilização desse método possa se apresentar como uma grande ajuda para os mineradores, independentemente do tamanho e do perfil de seus empreendimentos.

## **1.5 Estrutura da dissertação**

A pesquisa está estruturada em sete capítulos. No primeiro capítulo, denominado “Introdução”, são apresentados a contextualização, a problematização e os argumentos que justificam o presente trabalho.

No segundo capítulo há a descrição da área de estudo, assim como as informações do local onde foram realizadas as sondagens geelétricas e o contexto geológico. O terceiro capítulo contém as bases teóricas que fundamentam o presente trabalho.

A sequência metodológica utilizada para realização do trabalho é mostrada no quarto capítulo. Os resultados e as discussões obtidos ao logo do estudo estão contidos no quinto capítulo.

A seção de comentários finais e sugestões para trabalhos futuros é mostrada no sexto capítulo. As referências bibliográficas utilizadas para elaboração desse trabalho são informadas na parte final desta dissertação.

## 2 LOCALIZAÇÃO E CONTEXTO GEOLÓGICO

O objeto desse capítulo é delimitar a área geográfica e o contexto geológico da região de estudo, pontuando a sua localização e acesso e elementos geológicos pertinentes ao estudo.

### 2.1 Localização geográfica

A região de estudo está localizada ao sul do município de Carlos Chagas, estado de Minas Gerais, na região sudeste do Brasil, próximo ao município de Ataléia, conforme a Figura 1. Para ser mais exato, a área de estudo está situada na fazenda Guanabara, próximo ao povoado conhecido como Colônia. O município de Carlos Chagas fica a aproximadamente 107 quilômetros de distância de Teófilo Otoni e a 598 quilômetros da capital Belo Horizonte.

Os municípios de Carlos Chagas e Ataléia possuem um reconhecido histórico de mineração de gemas. Também há relatos de minerações de gemas nos municípios limítrofes, bem como no norte do estado do Espírito Santo e sul da Bahia.

**Figura 1 – Localização dos municípios de Carlos Chagas e Ataléia, estado de Minas Gerais, com destaque para a região de estudo**

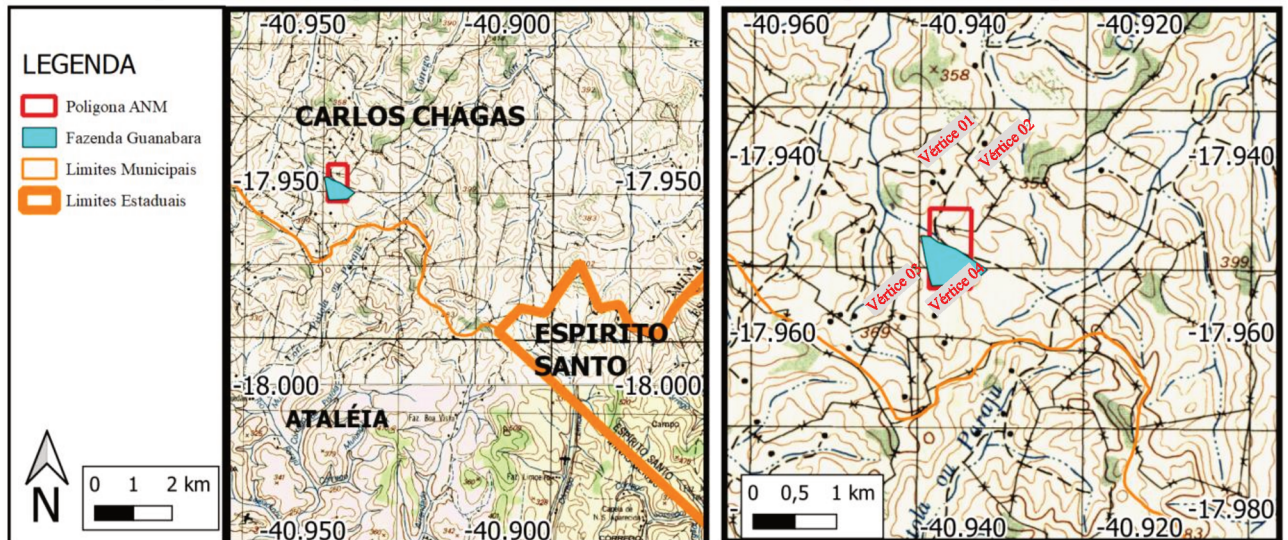


Fonte: IBGE (s.d.). Adaptado.

Antes de ser iniciada qualquer pesquisa com o intuito de exploração mineral, é necessário que a área esteja devidamente legalizada no que diz respeito à legislação mineral. Isso será melhor explicado em capítulos subsequentes. O órgão responsável por essa regularização é a Agência Nacional de Mineração - ANM, e uma das principais obrigações de alguém que quer explorar recursos minerais no Brasil é requerer junto à ANM uma área

delimitada por uma poligonal. A poligonal requerida junto à ANM é a área alvo desse estudo, a qual abrange quase a totalidade da fazenda Guanabara, aqui estudada (Figura 2). Pode-se notar também a proximidade da fazenda com o município de Ataléia. A poligonal foi requerida originalmente com a área aproximada de 1000 hectares, mas devido às normas da ANM para adequação ao projeto de exploração do bem mineral preterido, essa poligonal foi reduzida 50 hectares. As coordenadas dos vértices da poligonal da ANM estão contidas no Quadro 1.

**Figura 2 – Localização da área de estudo em relação ao município de Carlos Chagas**



Fonte: IBGE (s./d.) e Ministério do Interior (1977). Adaptado.

**Quadro 1 - Coordenada dos vértices da poligonal ANM**

Vértice	X	Y
01	294130,9	8014736,1
02	294598,9	8014743,5
03	294624,6	8013737,4
04	294135,9	8013705,4

Fonte: Elaboração própria.

## 2.2 Contexto geológico

A região de estudo está geologicamente situada sobre o orógeno Araçuaí. Segundo Cavalcanti (1999), orógeno é uma região crustal, em geral estreita e alongada, caracterizada por intensa atividade tectônica associada geralmente a magmatismo e metamorfismo regional. Para Alkimim *et al.* (2007) o orógeno Araçuaí se estende desde o sul da Bahia, passando pelo Espírito Santo e a leste de Minas Gerais (Figura 3), sendo composto basicamente por rochas graníticas e metamórficas de alto grau. Esse evento ocorreu no período Neoproterozoico, sendo os principais eventos ocorridos por volta de 580Ma, quando essa região fazia parte do orógeno Araçuaí-Congo Ocidental, conforme apontam os estudos de Alkimim *et al.* (2007).

De acordo com Kahwage e Mendes (2011), esse orógeno é resultado da colisão do Cráton do São Francisco com o oeste congolês durante a formação do supercontinente Gondwana. Sobre esse contexto, está inserida a Província Pegmatítica Oriental Brasileira, originada na granitogênese de idade Neoproterozoica em torno de 580 Ma. Nessa província, são encontrados pegmatitos de grande valor econômico.

**Figura 3 – Mapa de localização da área de estudo evidenciando o orógeno Araçuaí e a província pegmatítica**



Fonte: Pedrosa-Soares (2009, p. 4). Adaptado.

Houve uma geração de várias rochas graníticas que é notada em toda faixa móvel e também a metamorfação de rochas sedimentares em alto, dando origem ao Complexo Gnáissico-Kinzigítico e a geração dos granitos peraluminosos, tais como o leocogranito Carlos Chagas, o granito Ataléia, e uma sequência de gnaisses de composição kinzigítica, gnaisses peraluminosos, metatextos, intercalações de rochas calcissilicáticas e corpos metaultrabásicos, segundo Silva (2000).

Para Silva (2000) a área do estudo está dividida em dois domínios tectônicos, um domínio cratônico e outro domínio designado como Faixa Móvel. Este último está subdividido em dois subdomínios, um subdomínio oriental e outro domínio acidental. Esses dois domínios possuem características geológicas distintas e são separados por zonas de cisalhamentos, que estão representados de forma gráfica como falhas de empurrão (Figura 4), com movimentação de massa de sentido leste para oeste em direção ao Cráton de São Francisco, e que possuem orientação tendendo para norte e sul.

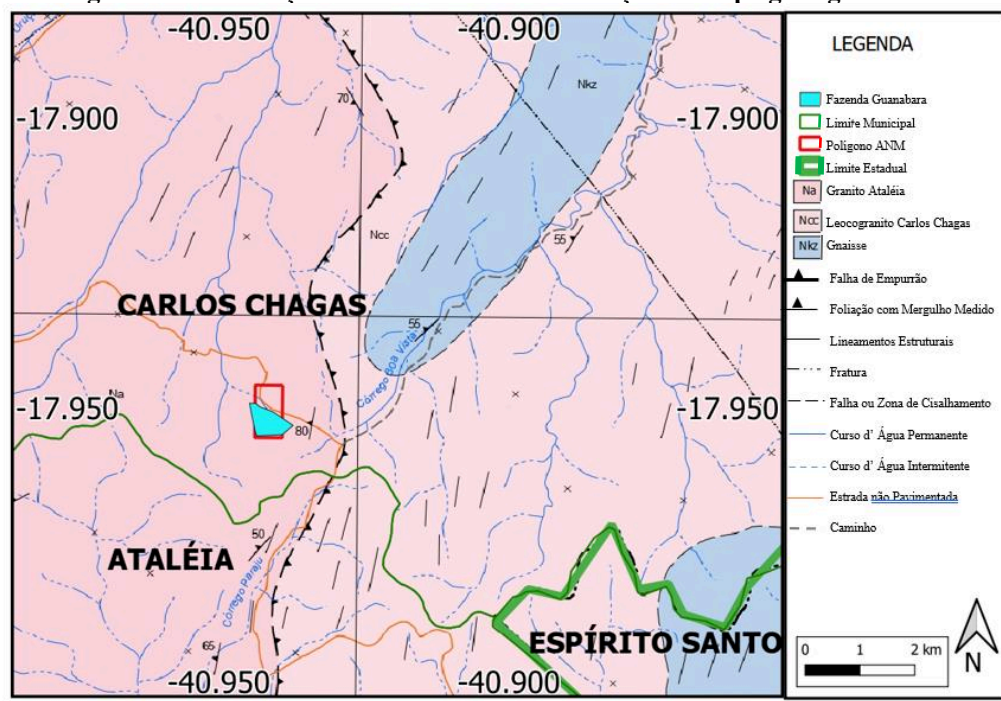
O subdomínio ocidental apresenta rochas como xistos e gnaisses peraluminosos, gnaisses meta aluminosos, intercalados com metassedimentos e anfíbolitos, e granitos metaluminosos. Já o subdomínio oriental possui rochas como gnaisses kinzigítico, granitos peraluminosos e gnaisses tonalíticos e enderbitos, conforme Silva (2000).



A fazenda Guanabara está localizada sobre o granito Ataléia (Figura 4), que é uma rocha composta predominantemente por quartzo e feldspato, sendo que o quartzo constitui de 10 a 50% dessa rocha e o feldspato de 65 a 90%, de acordo com Souza, Martins e Branco (1987). Essa rocha possui coloração cinza, é rica em silhimanita e tem a ocorrência de cristais de até 10 centímetros de plagioclásio e enclaves de gnaiss.

O granito Ataléia se estende de norte a sul. Na figura 4 também se pode notar, a leste da fazenda, o leucogranito Carlos Chagas, que tende a ser uma rocha de coloração mais clara e, por sua vez, também contém uma grande quantidade de silhimanita e enclaves (pequenos pedaços) de um gnaiss (ANDRADE; SEVERINO; PINTO, 2019). Essas duas litologias estão separadas por uma falha de empurrão de idade Brasileira (650-450Ma), que é uma estrutura geológica causada por forças convergentes que podem geraram rupturas, fazendo com que uma rocha possa se sobrepor a outra. A nordeste e a sudeste da área de estudo pode se notar a presença do gnaiss, que também é rico em silhimanita e cordierita, de acordo com Andrade, Severino e Pinto (2019).

Figura 4 – Localização da área de estudo em relação ao mapa geológico CPRM

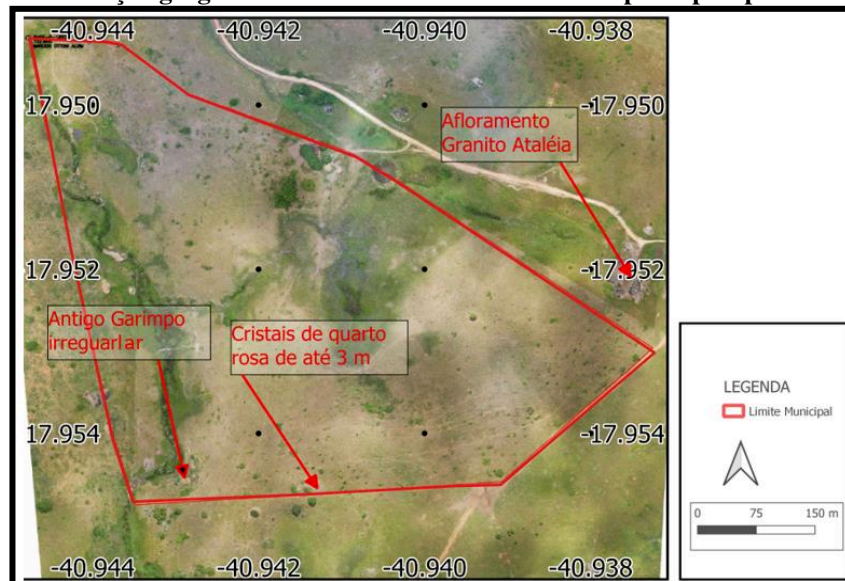


Fonte: CPRM (2014). Adaptado.

No interior da área de estudo há os afloramentos de rochas graníticas, o granito Ataléia (Figura 5). A região escolhida para aplicação do método geofísico de caminhada elétrica fica situada ao sul dessa imagem. Aproximadamente entre os dois afloramentos rochosos, há uma grande concentração de cristais de quartzo branco e quartzo rosa. Nesse local, também houve uma ocorrência de garimpo irregular, por meio do qual foram extraídos cristais

de águas marinhas de baixo valor. Na área há um grande cristal de quartzo aflorante, com aproximadamente 3 metros de comprimento. Esses fatos são os que motivaram aos proprietários da fazenda a iniciar o processo de mineração.

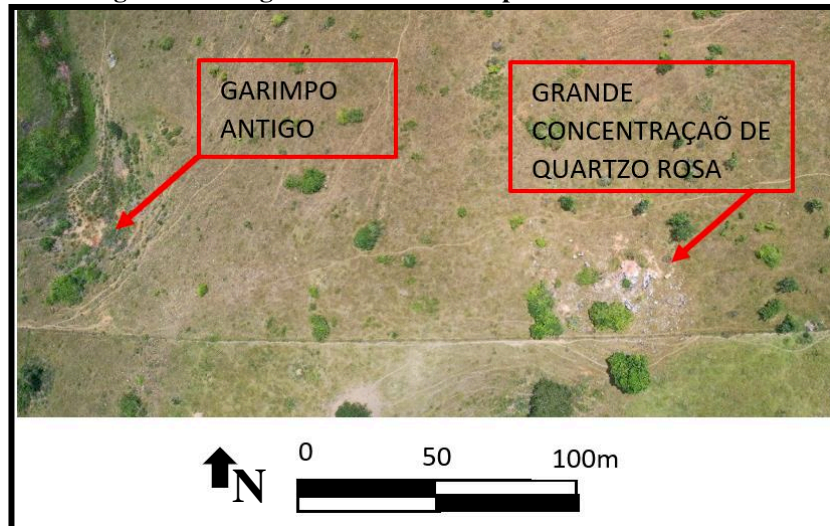
**Figura 5 – Localização geográfica da fazenda Guanabara e seus principais pontos de interesses**



Fonte: Magalhães (2022).

Na região sul da fazenda Guanabara há vários blocos de cristais de quartzo, alguns de coloração rosa (Figura 6). Na parte direita, está o bloco aflorante com mais de 3 metros de diâmetro (coordenadas 294393.61 m E, 8013769.50 m S Datum SIRGAS 2000 UTM 24S), embora a maioria desses blocos não ultrapassem 50 centímetros. Esses blocos são significativos indicadores da presença de um pegmatito. Também se pode inferir que eles sejam a parte aflorante do núcleo do pegmatito. De acordo com Joncew (2017), espera-se que logo abaixo da parte aflorante esteja a zona intermediária, que é onde se espera encontrar a ocorrência de gemas, de acordo com Joncew (2017). O tamanho dos blocos e suas formas sugerem que houve tempo suficiente para o resfriamento do fluido hidrotermal, o que faz com que essa região apresente grandes probabilidades de ter gerado gemas de grandes tamanhos.

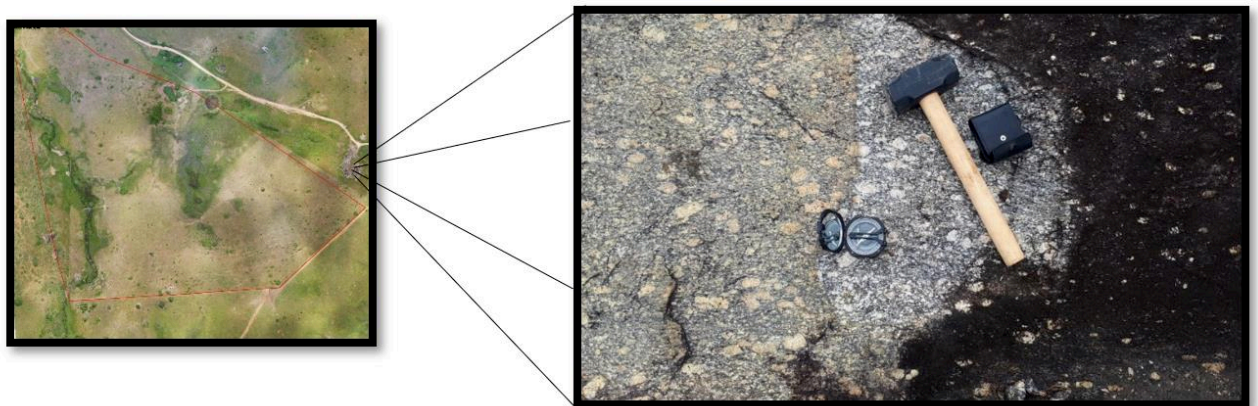
**Figura 6 – Imageamento aéreo feito por drone com detalhe**



Fonte: Magalhães (2022). Adaptado.

A presença de uma rocha granítica acinzentada com seus pórfiros de plagioclásios, que são esses cristais rosados de maior granulometria, próxima à área de estudo, corrobora a presença da rocha, condizendo com o Granito Ataléia (TULLER, 2000). É nesse granito que estão encaixados os corpos tabulares de pegmatitos ricos em gemas (NETTO *et al.*, 2000).

**Figura 7 – Detalhamento de um afloramento do granito Ataléia**



Fonte: Foto própria (2021).

A análise da rocha contida na Figura (coordenadas 294399.50 E e 8013752.22 S Datum SIRGAS 2000 UTM zona 24) permite identificar diversos blocos de quartzo rosa aflorantes ou rolados, que apresentam aproximadamente 50 centímetros de diâmetro. Trata-se do resultado do intemperismo químico e físico que atuou sobre essa região, fazendo com que os minerais mais susceptíveis tenham sido intemperizados e carreados pela ação de águas pluviais e da gravidade, restando apenas os cristais de quartzo, que, segundo Toledo e Taioli (2009), são bem mais resistentes ao intemperismo.



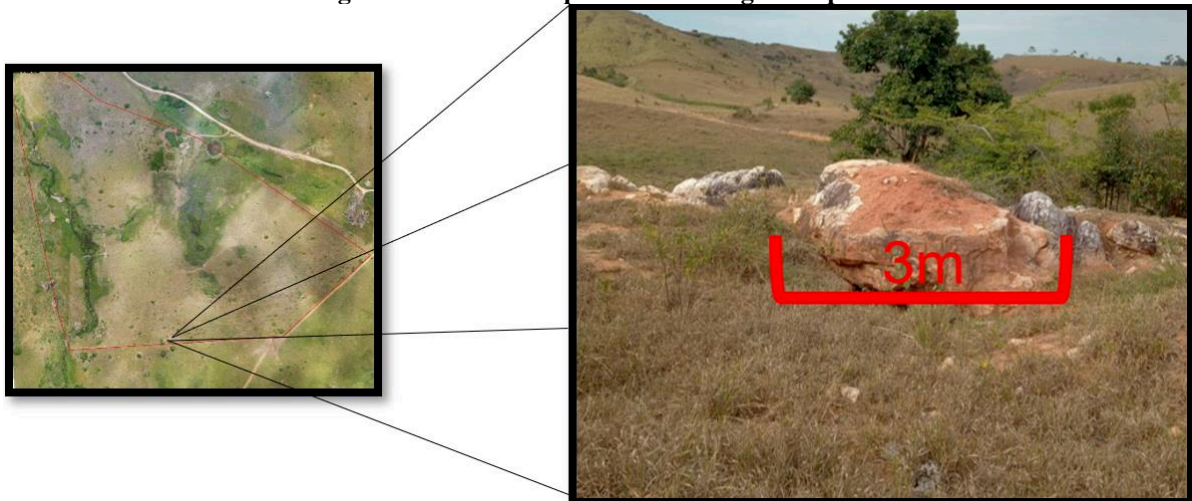
**Figura 8 – Blocos aflorantes e/ou rolados de quartzo rosa**



Fonte: Foto própria (2022).

A presença de cristais com comprimento de até 3 metros (Figura 9) pode ser notada na área de estudo. Essa evidência fortalece a probabilidade de ocorrer neste local o núcleo de um pegmatito, corroborando os estudos de Joncew (2017). Na região de estudo a presença de quartzo rosa está associada à ocorrência de gemas como água-marinha, topázio e crisoberilo, segundo o que aponta o trabalho de Netto *et al.* (2000).

**Figura 9 – Cristal de quartzo rosa de grande porte**



Fonte: Foto própria (2022).

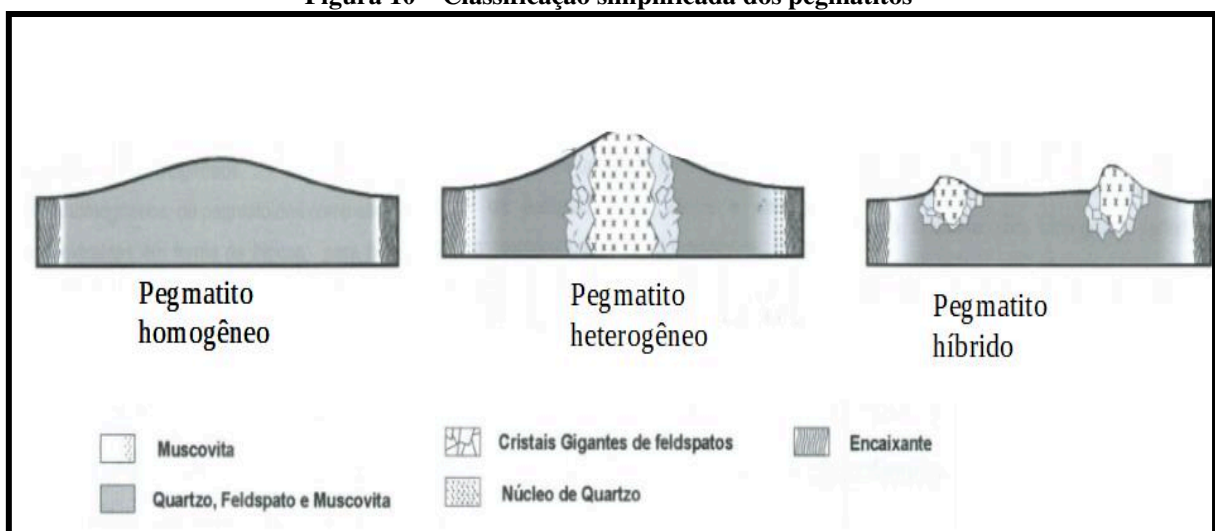
### 2.3 Pegmatitos

Conforme os apontamentos de Barroso (2018), de forma genérica, os pegmatitos são rochas graníticas de composição granítica (quartzo, feldspato e mica), com a granulometria grossa, podendo apresentar cristais com tamanhos muito grande. Em termos globais, essas

rochas são a maior fonte de alguns minerais raros, como tântalo e lítio e, em especial, algumas gemas (pedras preciosas).

As variações mineralógicas e texturais, apontadas nos estudos de Joncew (2017), indicam que os pegmatitos são classificados como simples (não zonados ou homogêneos), como aqueles que apresentam uma distribuição regular dos minerais ao longo da rocha e complexos (zonados ou heterogêneos) e como aqueles que, por sua vez, possuem as estruturas internas bem definidas. Genuíno, Santos e Vieira (2016) citam um tipo de pegmatito que possui características dos dois tipos supracitados, que são os pegmatitos mistos ou híbridos (Figura 10).

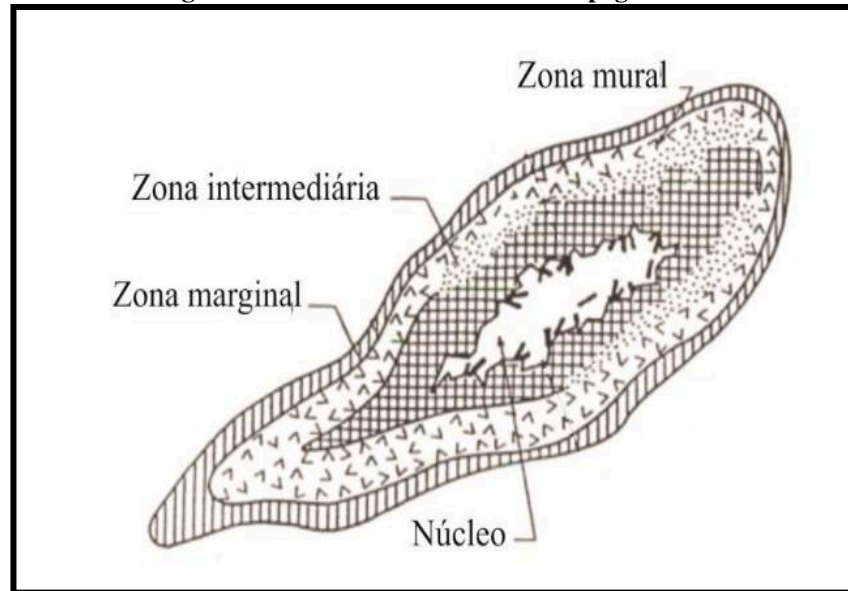
**Figura 10 – Classificação simplificada dos pegmatitos**



Fonte: Vidal *et al.* (2005, p. 70).

Joncew (2017) classifica as zonas internas dos pegmatitos heterogêneos como zona marginal, zona mural, zona Intermediária e núcleo (Figura 11).

- **zona marginal:** localizada na região dos contatos com a rocha encaixante e possui pouca espessura;
- **zona mural:** possui granulometria mais grossa que a zona anterior, porém mais fina que a seguinte, além de possuir textura gráfica;
- **zona intermediária:** com frequência é a porção com o maior volume de um pegmatito e possui os maiores cristais.
- **núcleo:** este é a parte central do pegmatito, constituído basicamente de quartzo.

**Figura 11 – Zonas características dos pegmatitos**

Fonte: Joncew (2017, p. 34).

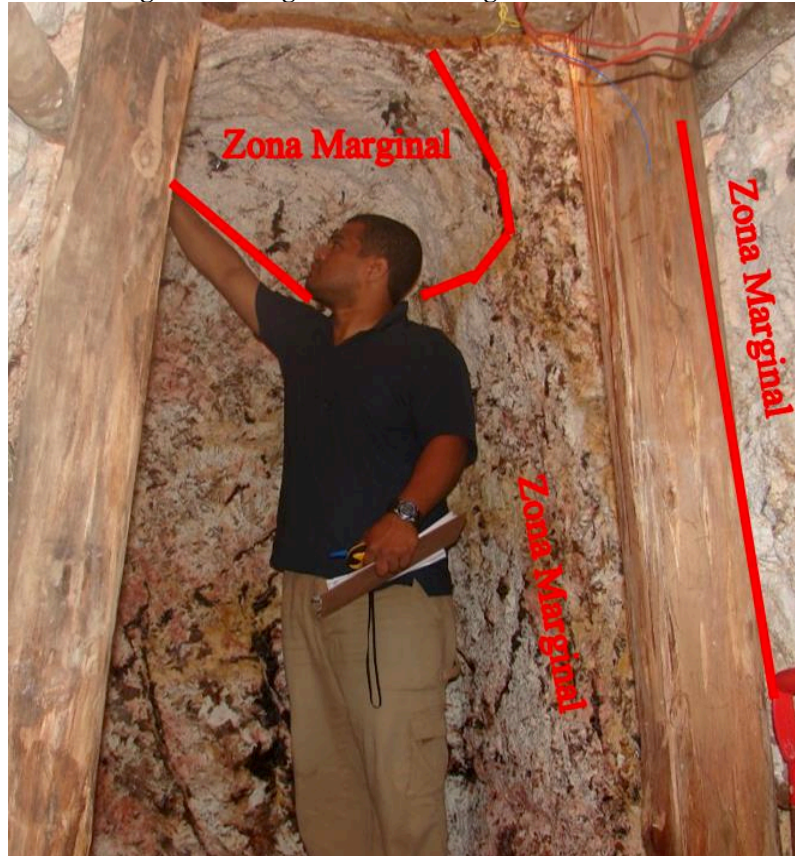
Do ponto de vista econômico, os pegmatitos heterogêneos ou zonados, são os que historicamente registram, de longe na Província, o maior volume de produção de minerais metalíferos, micas, pedras coradas e também de feldspatos nobres para fins cerâmicos e indústria de vidros. No entanto, zonas de dominância de pegmatitos homogêneos e mistos (por exemplo: Seridozinho, Tara, e Pedras, Pretas-PB), têm registros históricos de alta produção de antalita cassiterita espodumênio e berilo, a partir de mineralização disseminada (LUZ *et al.*, 1984, p. 87).

De acordo com Joncew (2017), entre a zona marginal e a zona mural há uma clara mudança de granulometria. Com intuito de ilustrar esse conceito, apresenta-se a Figura 12 realizada durante um trabalho de campo realizado pelo autor, no município de Cará - MG (que, embora não seja o local do estudo, é responsável por um expressivo número de explorações de águas marinhas na região). Esperam-se ocorrências do mesmo tipo na área de estudo desse trabalho: a formação de galerias subterrâneas.

A saber, esta galeria foi escavada no interior de um pegmatito, na parte superior, onde foi identificada uma rocha de granulometria mais fina e, na parte inferior, uma granulometria mais grossa, o que condiz respectivamente com a zona marginal e mural deste pegmatito. Conforme Joncew (2017), levando em conta as diferenças de textura e mineralogia, nesse caso, pode-se esperar que a zona intermediária e o núcleo estejam abaixo ou a frente desse local.



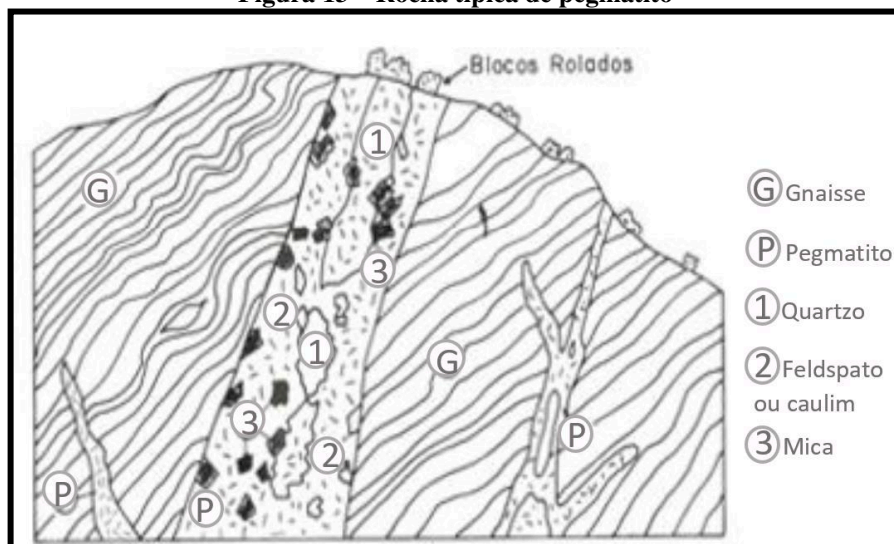
**Figura 12 – Pegmatito zona marginal e zona mural**



Fonte: Foto própria (2007).

Muitos elementos afetam a geometria externa dos pegmatitos, tais como a mecânica da rocha encaixante, a pressão, a temperatura, a profundidade de alojamento, conforme apontam os estudos de Fernandes, Fonseca e Pires (2005). Essas rochas tendem a se desenvolver no interior de rochas como granitos, gnaisses e xistos, como apresentado na Figura 13.

**Figura 13 – Rocha típica de pegmatito**



Fonte: DNPM (1997, p. 321). Adaptado.

O modelo mais amplamente aceito sobre a gênese de pegmatitos, foi o de Jahns (1955) e Jahns&Burnham (1969), que promulgaram a ideia de que os pegmatitos desenvolvem-se a partir de fusões residuais graníticas constituídas pela coexistência de vapor de água e fluido silicático. Jahns&Burnham (1969) também estabeleceram o conceito de que a água atua como uma fase incompatível e que conforme a cristalização progride, o vapor rico em água é separado do fluido silicático (PALUDO, 2018, p. 9).

## 2.4 Gemas

Conforme os estudos de Chaves e Dias (2018), define-se como gemas toda a matéria mineral, rochosa ou orgânica (sendo as duas últimas muito mais raras) que é manipulada de algum modo para o uso ornamental. Esse termo é utilizado para substituir a expressão pedra preciosa, pois, segundo o autor, ela gera um pouco de imprecisão. No contexto da gemologia, são denominadas pedras coradas todas as gemas que não são diamantes.

Assim, gema é o termo aplicado a todo material natural que, por suas propriedades (cor, brilho, dureza, raridade, pureza etc.), conforme apontam os trabalhos de Chaves e Dias (2018), ainda pelos ditames da moda, é usado para fins de adorno pessoal ou ornamental. Derivada do latim, a palavra gema pode significar broto ou pedra preciosa, através da raiz *gen*, no sentido de pureza e raridade, conforme os apontamentos de Vidal *et al.* (2005).

Minas Gerais se apresenta como o maior estado brasileiro produtor de gemas, seguido pelos estados de Rio Grande do Sul, Bahia, Goiás, Pará e Tocantins, de acordo com Chaves e Dias (2018). Na região do Vale do Mucuri, são encontradas pedras coradas como ametistas, águas marinhas (Figura 14), topázios (Figura 15), turmalinas e crisoberilo. Para Watkins *et al.* (2009), a maior parte da produção de gemas no Brasil é feita por garimpeiros e/ou pequenas empresas de mineração.

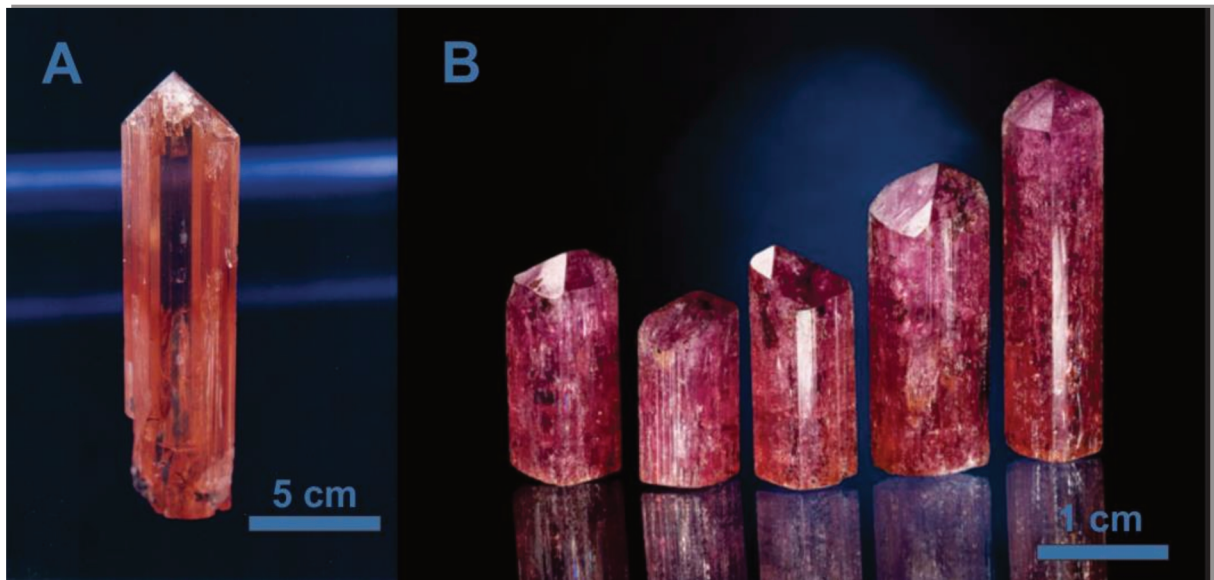
**Figura 14 – Cristais de berilo azul (água marinha) na sua forma bruta e lapidada**



Fonte: Chaves e Dias (2018, n.p./online).



**Figura 15 – Cristais de topázio na sua forma bruta e lapidada**



Fonte: Chaves e Dias (2018, n.p./online).

Apesar de importante produtor, são bastante escassos os dados econômicos a respeito da produção e comercialização de gemas e minerais de coleção em Minas Gerais, bem como no Brasil de forma geral. Entretanto, números levantados pelo IBGM (Instituto Brasileiro de Gemas e Metais Preciosos) a partir de dados do Mechanism for International Criminal Tribunals (MDIC), da Secretaria de Comércio Exterior (SECEX) e do Departamento de Operações de Comércio Exterior (DECEX) revelam valores elevados para a exportação brasileira do setor de gemas e metais preciosos, no período de janeiro a dezembro de 2013 (CHAVES; DIAS, 2018, n.p./online).

## 2.5 Forma de pesquisas de pegmatito

Conforme esclarecem os estudos de Barroso (2018), na pesquisa de corpos pegmatíticos são utilizados vários métodos. Em princípio, esses métodos visam encontrar essas rochas com a utilização de informações pré-existentes, principalmente as fornecidas de forma gratuita por órgãos do governo como a ANM, que possui o Sistema de Informação Geográfica (SIG), onde constam todos os processos minerários ativos do país, e até alguns inativos. Outro órgão é a Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM)/Serviço Geológico do Brasil (SBG) que possui vários dados de levantamentos geológicos, geoquímicos e geofísicos aéreos e terrestres.

Para Pereira (2012), o início da prospecção se dá utilizando publicações geológicas geoquímicas, geofísicas, metalogenéticas e metalogênicas previsionais em escala preferencial de 1:50 000 e 1:100 000

Após identificado o pegmatito, podem ser utilizados métodos diretos de investigação, como a perfuração de poços, as trincheiras, as galerias, entre outros. Os estudos

de Joncew (2017) apresentaram o uso do Radar de Penetração no Solo GPR (*Ground Penetrating Radar*), que se caracteriza como um método geofísico utilizado com a intenção de encontrar cavidades no interior das rochas.

### 3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo são apresentados conceitos revistos que são associados e utilizados como base para o desenvolvimento deste trabalho. Inicialmente, tratam-se os aspectos legais referentes a uma exploração mineral. Sequencialmente são conceituados os métodos geofísicos, enfatizando os métodos geoeletricos na forma do arranjo dipolo-dipolo, método objeto da pesquisa.

#### 3.1 Aspectos legais

Legalmente, mesmo que uma pessoa seja o proprietário de um determinado imóvel, ele não possui o direito de extrair e nem comercializar nenhum bem mineral que seja encontrado em sua propriedade sem antes passar por um processo de legalização. Nem mesmo a pesquisa de bens minerais é permitida antes de uma formalização junto aos órgãos competentes.

No Brasil, é atribuída à federação o controle dos bens minerais, por meio do decreto nº 9.406, de 12 de junho de 2018, que regulamenta o código de mineração no Brasil. Lê-se no artigo 3º que:

Compete à União organizar a administração dos recursos minerais, a indústria de produção mineral e a distribuição, o comércio e o consumo de produtos minerais.  
Parágrafo único. A organização a que se refere o caput inclui, entre outros aspectos, a formulação de políticas públicas para a pesquisa, a lavra o beneficiamento, a comercialização e o uso dos recursos minerais (BRASIL, 2018, art. 3º).

O gerenciamento e o fomento da mineração no Brasil, até o ano de 2017, eram funções do antigo Departamento Nacional de Pesquisa Mineral – DNPM, que de acordo com a lei nº 13.575 de 2017 foi extinto e substituído pela então recém-criada Agência Nacional de Mineração. Atualmente, esse órgão possui a responsabilidade de fomentar as atividades minerárias no Brasil.

Compete à Agência Nacional de Mineração - ANM observar e implementar as orientações, as diretrizes e as políticas estabelecidas pelo Ministério de Minas e Energia e executar o disposto no Decreto-Lei nº 227, de 1967 - Código de Mineração, e nas normas complementares.

[...]

A atividade de mineração abrange a pesquisa, a lavra, o desenvolvimento da mina, o beneficiamento, a comercialização dos minérios, o aproveitamento de rejeitos e estéréis e o fechamento da mina (BRASIL, 2018, art. 4º e 5º).



A ANM estipula atualmente cinco formas legais de regime de aproveitamento de bens minerais, cabendo ao investidor escolher a forma que lhe é permitida ou favorável para o seu empreendimento. São elas:

- 1- Regime de Autorização e Concessão: abrange praticamente todos os bens minerais, excetuando os regidos pelo Regime de Monopolização;
- 2- Regime de Licenciamento: utilizado para o aproveitamento de recursos minerais utilizados de forma direta na construção civil;
- 3- Regime de Extração: utilizado para o aproveitamento de recursos minerais utilizados de forma direta na construção civil, mas só pode ser requerido pelo Poder Público;
- 4- Regime de Permissão de Lavra Garimpeira (PLG): regime de aproveitamento de bens minerais garimpáveis;
- 5- Regime de Monopolização: regime exclusivo do Governo Federal, que é aplicado a bens minerais estratégicos, como gás natural, petróleo e minerais radioativos.

Para o aproveitamento de gemas como água marinha, topázio, turmalina, entre outras, usualmente, os regimes de aproveitamento utilizados são o Regime de Autorização e Concessão e o Regime de Permissão de Lavra Garimpeira.

Esses dois regimes de aproveitamento são bem particulares e apresentam vantagens e desvantagens (Quadros 2 e 3).

**Quadro 2 – Vantagens e desvantagens do regime de autorização e concessão**

<b>AUTORIZAÇÃO E CONCESSÃO</b>	
<b>VANTAGENS</b>	<b>DESVANTAGENS</b>
Aplica-se a uma maior variedade de substâncias	Maior custo de investimento
Podem ser utilizados em áreas de até 2000 ha	Maior tempo até a permissão de lavrar
Não apresenta limites nos números de áreas a ser requerida	Mais etapas a serem realizadas
Maior possibilidade de formas de aproveitamento	Mais obrigações legais

Fonte: BRASIL (1967).

**Quadro 3 – Vantagens e desvantagens do regime de permissão de lavra garimpeira**

<b>PERMISSÃO DE LAVRA GARIMPEIRA</b>	
<b>VANTAGENS</b>	<b>DESVANTAGENS</b>
Menor custo para implantação	Menor variedade de substâncias
Menor tempo para lavar o minério	Formas de aproveitamento restritas
Menos burocracia	Área máxima 50ha

Fonte: Elaboração própria (2022).

A escolha dos regimes de aproveitamento compete aos interessados, ressaltando que cada uma delas possui particularidades e especificidades, conforme preveem as legislações atualmente em vigência.

### 3.2 Métodos geofísicos

Para Kearey, Brooks e Hill (2009), a geofísica é a ciência que aplica os princípios físicos aos estudos da Terra, o que engloba conhecimentos geológicos em subsuperfície. Já Braga (2016) define a geofísica como sendo basicamente uma ciência aplicada à geologia, que tem como objeto de estudo o contraste entre suas propriedades físicas. Nesses estudos, estão envolvidas medidas do interior da Terra tomadas na sua superfície. Os estudos geofísicos são alternativas para as investigações geológicas. Embora sejam passíveis de uma certa ambiguidade ou incerteza, apresentam-se como um meio rápido e econômico que colabora com investigações geológicas. Todavia, a geofísica não dispensa totalmente os métodos tradicionais e diretos de pesquisa. Pode-se utilizá-la para a calibração e correlação dos dados.

Existem vários métodos de levantamentos geofísicos; cada método é aplicado conforme o alvo, ou seja, de acordo com a propriedade física ou anomalia operativa ao qual o método é sensível (Quadro 4 – Método geofísico e fenômenos relacionados).

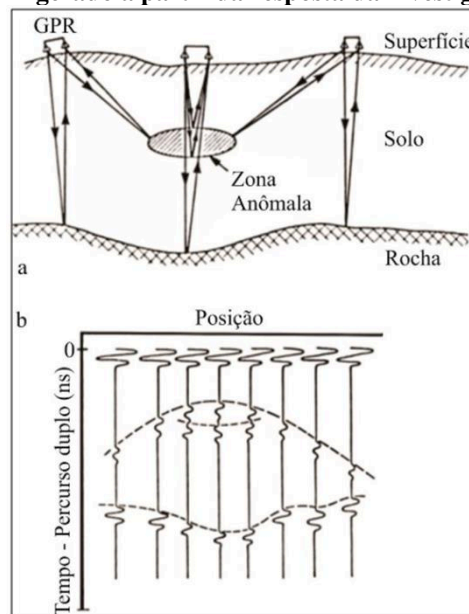
**Quadro 4 – Método geofísico e fenômenos relacionados**

<b>FENÔMENO FÍSICO DA TERRA</b>	<b>MÉTODOS GEOFÍSICOS</b>
<b>CAMPO MAGNÉTICO TERRESTRE =&gt;</b>	<b>MAGNETOMETRIA</b>
FLUXO GEOTÉRMICO =>	GEOTERMIA
PROPAGAÇÃO DE ONDAS SÍSMICAS=>	SÍSMICOS
FORÇA DA GRAVIDADE =>	GRAVIMETRIA
CAMPOS ELÉTRICOS E ELETROMAGNÉTICOS =>	GEOELÉTRICOS
RADIOATIVIDADE	ESPECTOMETRIA

Fonte: Braga (2016, p. 7). Adaptado.

Nos seus respectivos trabalhos, Barroso (2018) e Joncew (2017) utilizaram o método eletromagnético de Geo-radar (GPR) para encontrar cavidades no interior das rochas, já que essa é a área mais provável para encontrar gemas. De acordo com Joncew (2017), o GPR é um método que utiliza ondas eletromagnéticas que podem alcançar de 50 centímetros até 50 metros. Esse método consiste em uma fonte eletromagnética que emite uma onda que penetra no solo; essa onda, por sua vez, é refletida pelo solo e captada por uma antena. Os dados são amplificados e ajustados em uma unidade de processamento (figura 16).

**Figura 16 – Esquema de aquisição de imagem com o método GPR. Sendo a- o local de investigação; b – perfil gerado a partir da resposta da investigação.**



Fonte: Joncew (2017, p. 38).

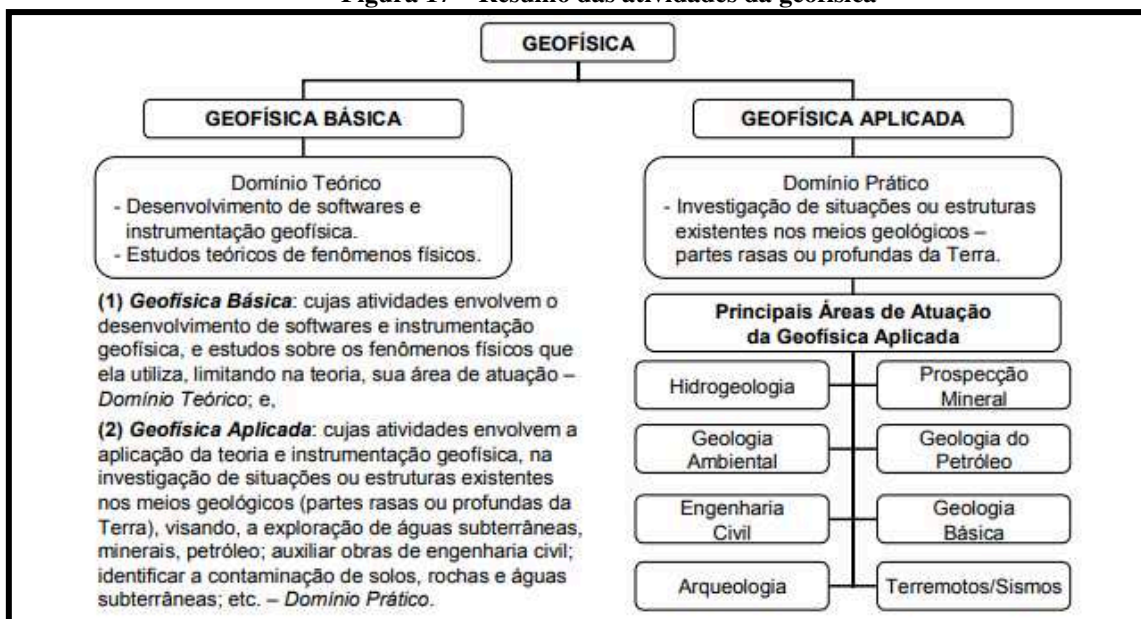
Com a intenção de identificar os contatos externos dos pegmatitos e as rochas em que eles se encaixam, Silva (2017) utilizou métodos geofísicos diferentes do GPR. Foram usados os métodos de radiometria e magnetometria, utilizando dados tomados de aquisição aérea, fornecidos pela Companhia de Desenvolvimento Econômico de Minas Gerais - CODEMIG (SILVA, 2017). A utilização desses métodos pode identificar corpos com até 1500 metros de profundidade.

Outros métodos geofísicos podem ser utilizados no estudo de pegmatitos como, por exemplo, o sísmico, os eletromagnéticos e o geoeletrico. Este último é o proposto na presente pesquisa.

### 3.3 Métodos geoeletricos

Estudos da Geofísica aplicada possuem diversas áreas de atuação, conforme se observa na Figura 17 – . Nos levantamentos geofísicos de campo, não devem ser descartadas as possibilidades de perfurações por sondagens mecânicas, no entanto, é sabido que essas sondagens apresentam um custo mais elevado do que os métodos geofísicos (Figura 17). Por esse motivo é sugerido que se utilizem os métodos geofísicos, antes que se efetivem as sondagens, para direcionar a atividade (BRAGA, 2006).

Figura 17 – Resumo das atividades da geofísica



Fonte: Braga (2006, p. 6).

Conforme os estudos de Braga (2006), os métodos e equipamentos geofísicos devem ser escolhidos considerando as condições geológicas e geotécnicas da área de estudo. Essas condições diferem entre os países, podendo apresentar espessas camadas de solo e material alterado.

Entre os principais métodos geofísicos, os métodos geoeletricos, com sua diversidade de modalidades, são muito utilizados no mundo inteiro, atuando nas mais variadas áreas de conhecimento. Esta atuação abrange desde levantamentos puramente acadêmicos, até levantamentos procurando atender solicitações mais práticas e de interesse imediato da população, tais como: na Geologia de Engenharia, Prospecção Mineral, Hidrogeologia, Geologia Ambiental, etc. Nesse grupo, destacam-se os métodos da eletrorresistividade, polarização induzida e radar de penetração no solo, como sendo os mais utilizados (BRAGA, 2006, p. 7-8).

### 3.4 Classificação de métodos geoeletricos

Para Braga (2006), é visível a utilização inadequada de termos técnicos por parte de alguns pesquisadores para a escolha de algum tipo de método a ser realizado em determinado trabalho. Por isso é necessário definir corretamente o emprego do método, para que a sua aplicação não apresente resultados ineficientes para o que se deseja pesquisar. Como exemplo, pode-se citar o método da eletroresistividade, desenvolvido pela técnica do caminhamento elétrico – arranjo dipolo-dipolo, que permite estudar uma faixa vertical e lateral em subsuperfície, de maneira relativamente mais rápida, se comparado ao levantamento eletromagnéticos.

A literatura na área geológica apresenta diversidades em relação a essa classificação. Conforme os estudos de Braga (2006), os pesquisadores Iakubovskii e Liajov apresentaram uma classificação baseada em características para os métodos geoeletricos, tais como: sistema de excitação e medição de campo elétrico (Quadro 5).

**Quadro 5 – Classificação dos métodos geoeletricos**

<b>A. Métodos de Campo Constante (frequência 0)</b>	A-1. Método do campo natural A-2. Método da resistividade – caminhamento e sondagem elétrica A-3. Método de carga A-4. Método de linhas equipotenciais A-5. Método de relação de potenciais
<b>B. Métodos de Campo Variáveis de Baixa Frequência e não estacionários (frequência <math>10^{-2}</math> a <math>10^4</math> Hz)</b>	B-1. Métodos do potencial induzido B-2. Método do campo magnetotelúrico (sondagem e caminhamento magnetotelúrico) B-3. Sondagem eletromagnética de frequência B-4. Sondagem do campo em processo de formação (tempo do processo de formação $10^0$ a $10^2$ s) B-5. Métodos indutivos de baixa frequência (variantes terrestre, aérea e de poço) B-6. Método dos processos transitórios (tempo do processo de formação $10^{-3}$ a $10^{-2}$ s)
<b>C. Métodos de Campo Variáveis - Frequências Radiofônicas (<math>10^5</math> a <math>10^7</math> Hz)</b>	C-1. Métodos de radiografia C-2. Caminhamento com ondas radiofônicas C-3. Método rádio comparativo

Fonte: Iakubovskii e Liajoc (1980 *apud* BRAGA, 2006, p. 15).

Orellana (1972 *apud* BRAGA, 2006) apresenta uma nova classificação desses métodos geoeletricos e considera que o campo eletromagnético é constante ou pode apresentar variações com o tempo (Quadro 6). Essa classificação é baseada no campo natural ou artificial, acrescido do critério relacionado à subsuperfície, obtida a partir de um ponto, variando com a profundidade, como podemos observar a seguir, conforme é apresentado nos estudos de Braga (2006):

**Quadro 6 – Classificação dos métodos geoeletricos**

<b>A. Métodos de Campo Natural</b>	A-1. Método do potencial espontâneo	A-3. Método magneto-telúrico (sondagens e caminhamentos)
	A-2. Método de correntes telúricas	A-4. Método AFMAG
<b>B. Métodos de Campo Artificial</b>	B-1. Métodos de Campo Constante	B-1-1. Método das linhas equipotenciais e do corpo carregado (mise-a-la-masse) B-1-2. Sondagens Elétricas (simétricas, dipolares, etc.) B-1-3. Caminhamentos elétricos (várias modalidades)
	B-2. Métodos de Campo Variável	B-2-1. Sondagens de frequência B-2-2. Sondagens por estabelecimento de campo (transitórios) B-2-3. Caminhamentos eletromagnéticos (métodos de inclinação de campo, Turam, Slingram, etc.) B-2-4. Método "Radio-Kip" B-2-5. Método de radiografia hertziana
	B-3. Método da Polarização Induzida	

Fonte: Orellana (1972 *apud* BRAGA, 2006, p. 16).

Braga (2006) acredita que a proposição dessas classificações pode apresentar desencontros para os usuários leigos, emaranhando parâmetros físicos e dados de campo. Observa-se que a classificação proposta para os métodos geoeletricos é baseada em três parâmetros: 1) métodos geoeletricos; 2) técnicas de investigações; e 3) arranjos de desenvolvimento de campo. O objetivo dessa classificação é elucidar o processo e, assim, facilitar o entendimento para o usuário.

Método nos leva a identificar as características dos diferentes materiais, pelas quais alcançamos determinado fim ou objetivos, pode-se considerar uma forma de se chegar à natureza de um determinado problema, quer seja área estudá-lo, quer seja para explicá-lo. Os diferentes materiais geológicos apresentam, determinadas propriedades físicas características, as quais definem os métodos geofísicos. Portanto, considera-se como método geoeletrico aquele decorrente do parâmetro físicos obtido, através de equipamentos apropriados. Métodos visa levar a uma caracterização dos diferentes materiais geológicos, procurando atingir os objetivos da pesquisa (BRAGA, 2006, p. 16).

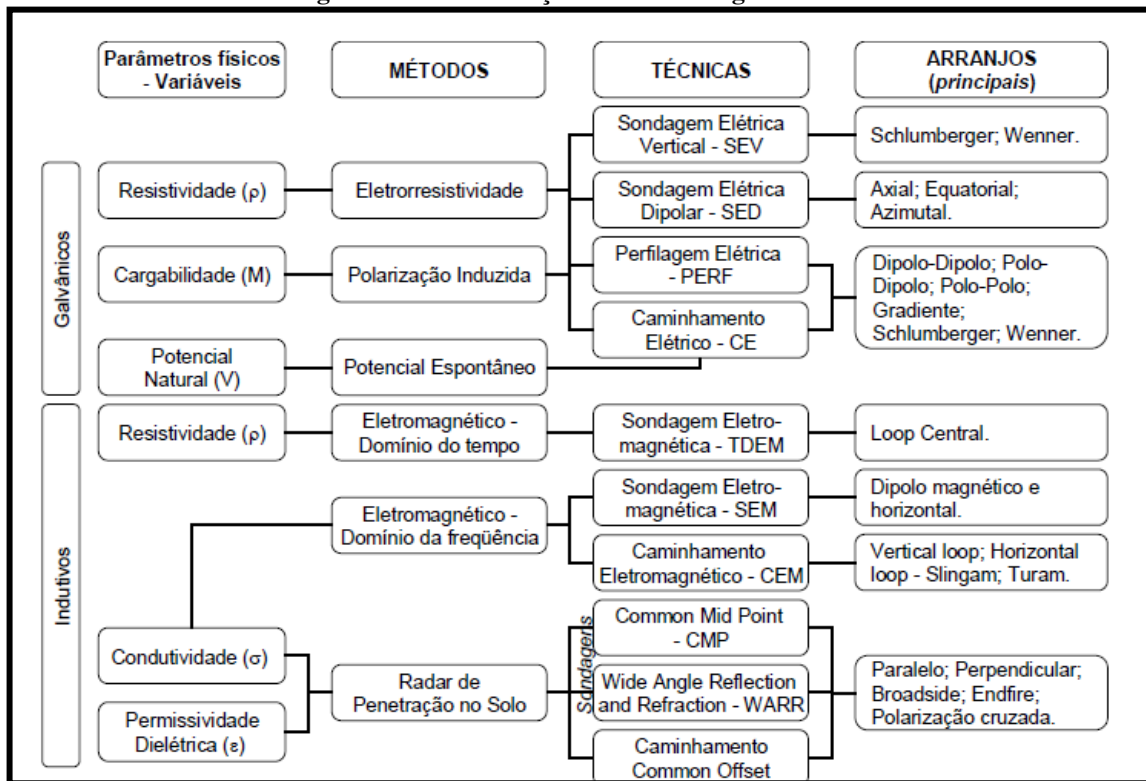
As técnicas de campo são os instrumentos que auxiliam o pesquisador, oferecendo o suporte prático para o desenvolvimento da pesquisa. Para Braga (2006), atualmente são identificadas três formas práticas de investigação:

- 1- Sondagens: investigação da variação do parâmetro físico em profundidade a partir de um ponto fixo na superfície do terreno;
- 2- Caminhamentos: investigação lateral a partir de pontos não fixos na superfície do terreno, com uma ou mais profundidades constantes;
- 3- Perfilagens: investigações no interior de furos de sondagens mecânicas.

Continuamente ao processo de desenvolvimento das técnicas de levantamentos, diferentes procedimentos de campo podem ser adotados, ou seja, a disposição dos eletrodos

necessários para a execução das atividades é denominada de arranjos de campo, conforme Braga (2006) (Figura 18).

Figura 18 – Classificação dos métodos geoeletricos



Fonte: Braga (2006, p. 20).

### 3.5 Métodos da eletrorresistividade

De acordo com Braga (2006), a eletrorresistividade é um método geofísico embasado na determinação da resistividade elétrica dos materiais que, associado à constante dielétrica e a permeabilidade magnética, identifica as propriedades eletromagnéticas nos solos e rochas.

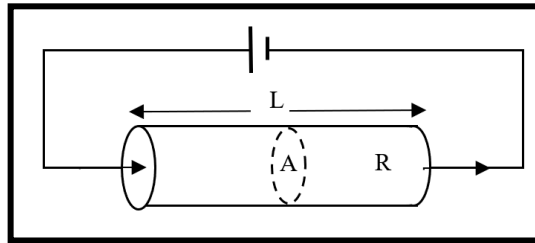
A resistividade pode ser definida como sendo uma medida da dificuldade que a corrente elétrica encontra na sua passagem em um determinado material, estando ligada aos mecanismos pelos quais a corrente elétrica se expande (BRAGA, 2006).

Em Kearey, Brooks e Hill (2009), é exemplificado que, para um suposto corpo (cilíndrico) de resistência R, comprimento L e área da sessão transversal (equação 1), a resistividade é dada por:

$$\rho = \frac{R \cdot A}{L}$$

Equação 1

**Figura 19 – Os parâmetros usados na definição de resistividade**



Fonte: Kearey, Brooks e Hill (2013, p. 316).

A unidade que expressa a resistividade é o ohm-metro (ahm.m) e o inverso da resistividade é a condutividade, que para Lima *et al.* (2016) é definida pela Lei de Ohm. Trata-se de uma lei que relaciona o valor de um campo elétrico  $E$  à densidade de corrente elétrica  $J$  em um ponto de um meio condutor. A equação 2 deve ser aplicada em meios isotrópicos e homogêneos nos quais  $J$  e  $E$  são vetores paralelos. Caso  $J$  e  $E$  não sejam vetores paralelos, utiliza-se a equação 3 (LIMA *et al.*, 2016).

$$J = \sigma E$$

Equação 2

$$J = \sigma_{ij} E$$

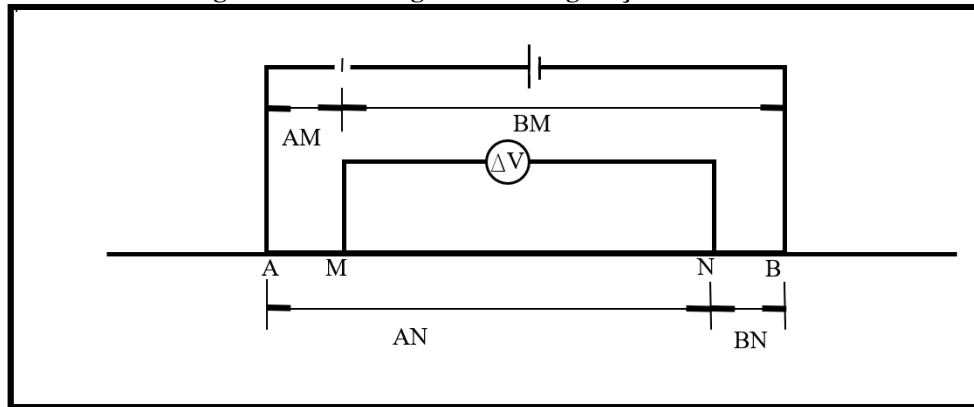
Equação 3

Para Telford, Geldart e Sheriff (1990), de todos os parâmetros físicos a resistividade elétrica é a que mostra a maior variação. Um material é usualmente definido como resistivo quando possui um valor de resistividade superior a  $10^7 \Omega\text{m}$  e como condutor quando possui o valor de resistividade inferior a  $10^{-5} \Omega\text{m}$ . Os elementos que possuem um valor de resistividade entre  $10^{-5} \Omega\text{m}$  e  $10^7 \Omega\text{m}$  são chamados de semicondutores. As rochas ígneas possuem uma maior resistividade elétrica, enquanto as rochas que possuem a menor resistividade elétrica são as rochas sedimentares. Já as rochas metamórficas possuem uma resistividade intermediária.

Ademais, para Braga (2006), os arranjos de campo dos métodos geoeletricos principais apresentam quatro eletrodos cravados na superfície do terreno, sendo dois deles um par de eletrodos que serve para induzir a corrente elétrica no subsolo (A/B); em contrapartida, o outro afere a medida de diferença de potencial que se estabelece entre eles (M/N) (Figura 20). O campo gerado nos eletrodos M e N é dado nas equações 4 e 5.



Figura 20 – Forma geral da configuração de eletrodos



Fonte: Kearey, Brooks e Hill (2009, p. 318). Adaptado.

$$V_M = \frac{1\rho}{2\pi} \left( \frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} \right)$$

Equação 4

$$V_N = \frac{1\rho}{2\pi} \left( \frac{1}{AN} - \frac{1}{BN} \right)$$

Equação 5

A posição dos eletrodos M e N é medida utilizando as equações 6 e 7.

$$DV_{NM} = V_M - V_N$$

Equação 6

$$MN = \frac{1\rho}{2\pi} \left( \frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} - \frac{1}{AN} + \frac{1}{BN} \right)$$

Equação 7

O coeficiente geométrico entre os quatro eletrodos é chamado k, e é utilizando esse coeficiente que se calcula o valor da resistividade do ponto investigado, como mostrado nas equações 8 e 9, nas quais I é a intensidade de corrente.

$$\rho = k \frac{\Delta V}{I}$$

Equação 8

$$K = 2\pi \left( \frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} - \frac{1}{AN} + \frac{1}{BN} \right)^{-1}$$

Equação 9

De acordo com Braga (2006), o subsolo não pode ser considerado um meio homogêneo. Portanto, observa-se que a medida representa uma média ponderada de todas as

resistividades num volume material em subsuperfície relativamente grande. Por isso, ao realizar as medidas, obtém-se uma resistividade aparente (expressa em *ohm.m*), que é uma variável que expressa os resultados das medições de alguns métodos geoeletricos, culminando na interpretação final.

A propagação das correntes pode ser classificada da seguinte forma:

- 1) Condutividade eletrônica: deve-se ao transporte de elétrons na matriz da rocha, sendo a sua resistividade governada pelo modo de agregação dos minerais e o grau de impurezas;
- 2) Condutividade iônica: deve-se ao deslocamento dos íons existentes nas águas contidas nos poros de uma massa de solo, sedimentos inconsolidados ou fissuras das rochas (BRAGA, 2006).

A condutividade iônica está presente nas rochas, em função da quantidade de água, dos sais dissolvidos e da porosidade total comunicante. Em sua grande maioria, as rochas possuem poros de menor ou maior proporção, que podem ou não estar preenchidos por eletrólitos, que, por sua vez, se comportam como condutores iônicos, inferindo, assim, a variáveis resistividades (BRAGA, 2006).

Para Iakubovskii e Liajov (1980), a resistividade de uma rocha condutora de corrente elétrica pode ser influenciada por diversos fatores: 1) resistividade dos minerais que formam a solidez dessa rocha; 2) resistividade dos líquidos e gases que preenchem os seus poros; 3) umidade de porosidade da rocha; 4) textura da rocha, forma e distribuição de seus poros; e 5) processos que decorrem do contato dos líquidos contidos nos poros com a estrutura mineral.

Como se pode observar, há diversos fatores que influenciam na resistividade das rochas. Um mesmo tipo litológico pode apresentar uma gama de variações nos valores de resistividade. Conforme aponta Summer (1976), os minerais são consistentes em suas características elétricas, mas num agregado, conforme ocorre na natureza, podem apresentar resistividades muito maiores.

A maioria das rochas existentes na natureza é constituída por minerais, tais como o quartzo, os silicatos e a calcita, que são considerados isolantes em termos de propagação da corrente elétrica. No entanto, algumas rochas com quantidades consideráveis de alguns semicondutores, como a pirita e a magnetita, podem ser consideradas condutoras. Os poros presentes nas rochas, que podem estar preenchidos com eletrólitos, apresentam-se como condutores iônicos conforme Braga (2006). Para Telford, Geldart e Sheriff (1990), a maioria

das rochas possui baixa condutividade elétrica, ou seja, suas resistividades são altas e esse acontecimento se justifica porque essas rochas são porosas e seus poros estão preenchidos por fluidos, e esses fluidos são principalmente a água.

Nas rochas porosas a condutividade varia de acordo como o arranjo e o volume desses poros e também com a condutividade dos fluidos que preenchem essas rochas. E, por sua vez, a condutividade dos fluidos aquosos via de regra estão associadas aos cloretos, sulfatos e outros minerais dissolvidos (TELFORD; GELDART; SHERIFF, 1990).

Diante do exposto, conforme os estudos de Braga (2006), é fundamental que para efetivação dos estudos geológicos seja feita a identificação geográfica do local, bem como pesquisas da geologia local em termos estratigráficos. Ademais, na interpretação dos dados, deve-se considerar a experiência do intérprete para que as conclusões não sejam apenas mecânicas e de fato retratem uma análise geológica efetiva do local.

### **3.6 Pesquisa geoeletrica dos pegmatitos**

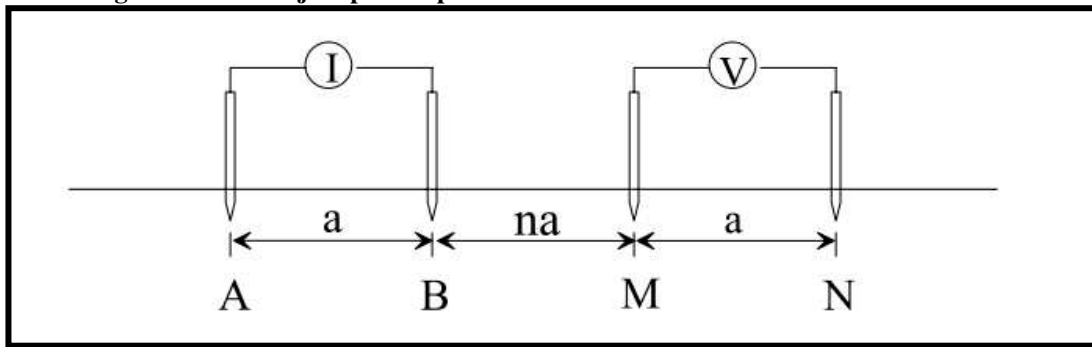
Contato entre rochas, mudanças abruptas de estruturas e/ou composição química podem caracterizar uma descontinuidade. Acredita-se que, entre os métodos geoeletricos, o mais indicado para a prospecção de pegmatitos seja o de eletrorresistividade. Soma-se a isso uma possível presença de cavidade no interior dessas rochas, o que tanto Barroso (2018) quanto Joncew (2017) buscavam identificar utilizando o GPR. Essas cavidades podem apresentar uma grande anomalia resistiva.

No método de resistividade, correntes elétricas artificialmente geradas são introduzidas no solo, e as diferenças de potencial resultantes são medidas na superfície. Os desvios do padrão de diferença de potência esperado do solo homogêneo fornecem informações sobre a forma e as propriedades elétricas das inhomogeneidade de subsuperfície (KEAREY; BROOKS; HILL, 2009, p. 315).

Conforme Braga (2016), todos os elementos geológicos apresentam a propriedade da resistividade elétrica, que é um parâmetro da sua caracterização de integridade física, alteração, fraturamento, saturação etc. A resistividade de uma rocha sofre influência de muitos fatores, tais como a própria resistividade dos seus minerais constituintes, porosidade, preenchimento ou não nos poros, compactação, textura, entre outros.

Conforme os estudos de Carvalho (2014), o levantamento de eletrorresistividade é realizado medindo a diferença de potencial em superfície através de dois eletrodos, os quais se convencionam chamar de eletrodos de potência M e N. Mas, para isso, faz-se necessário injetar uma corrente elétrica em dois eletrodos denominados A e B (Figura 21).

**Figura 21 – Arranjo dipolo: dipolo eletrodos de corrente A e B e de tensão M e N**



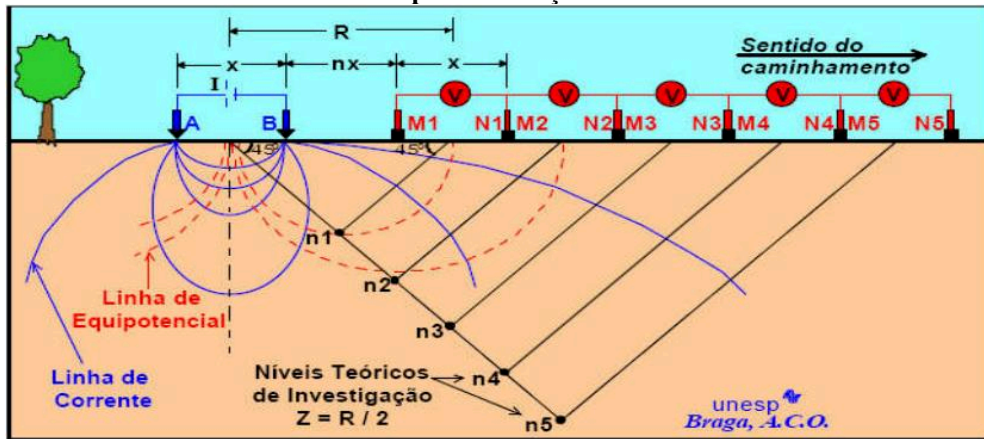
Fonte: Gandolfo (2007, p. 25).

Sempre que se deslocam os eletrodos, se desloca o pondo de medida, e, quando se afastam os eletrodos, a profundidade da investigação aumenta. A forma como os eletrodos são dispostos no solo e como eles são movimentados é denominada de “arranjo”.

Existem vários tipos de arranjos. Segundo Braga (2016), um dos mais indicados para estudos detalhados de corpos verticais ou verticalizados é o chamado arranjo dipolo-dipolo.

A saber, no arranjo dipolo-dipolo, é estimada uma linha reta com um número determinado de pontos equidistantes (Figura 22). Supondo que será realizado um caminhamento em uma linha que contenha 15 pontos, o eletrodo A é localizado no ponto 01, o eletrodo B fica na posição 02, o eletrodo M na posição 03, e o eletrodo N na posição 04. Após anotadas as medidas de tensões e corrente, o eletrodo M passa para a posição 04 e o N vai a posição 05 (os eletrodos A e B, ficam fixos em 01 e 02, até o fim da sequência) e são anotadas outras medidas. Essa sequência pode finalizar quando o eletrodo N chegar ao ponto 15 ou antes, a depender do projeto. O eletrodo A passa para o ponto 02, o eletrodo B para o ponto 03, e neles ficam até o fim dessa nova sequência; o M para o ponto 04, e o N para o ponto 05, a medida é tomada, e segue-se outra sequência. Da mesma forma, quando for iniciar a nova sequência, o eletrodo A ficará no ponto 03 e o B passará para o ponto 04, e assim segue o serviço. A linha do caminhamento será finalizada quando o eletrodo A estiver no ponto 13, o B no ponto 14, o M no ponto 15 e o N no 16. De acordo com os estudos de Gandolfo (2007), a profundidade de investigação é igual à distância entre os eletrodos A e N multiplicado por 0,35, e a localização em superfície é o centro destes.

Figura 22 - Ilustração de um esquema da primeira linha do caminhamento e as profundidades esperadas para a medição



Fonte: Braga (2006).

O arranjo dipolo-dipolo apresenta muitas vantagens, justificando a sua extensa utilização. A principal delas é o fato de ser um arranjo simétrico. Como resultado desta simetria, em uma interpretação qualitativa da pseudoseção, o correto posicionamento de uma anomalia torna-se mais fácil, comparativamente ao arranjo pólo-dipolo. Outra vantagem, em termos práticos, é a facilidade operacional em campo (GANDOLFO; GALLAS, 2007, p. 227-235).

Para Kearey, Brooks e Hill (2009), a resistividade é um parâmetro físico que possui um alto grau de variação, tendo as rochas sãs, ou seja, rochas que não sofreram com intemperismo, uma tendência a serem mais resistivas. Entretanto à medida que os seus poros são percolados, elas tendem a se apresentar com maior condutividade, de acordo com o seu grau de saturação e com os sais dissolvidos. Para cada tipo de rocha há uma variação de resistividade esperada (Figura 23).

Figura 23 – Tabela de resistividade

	Resistividade em $\Omega m$				
	1	10	$10^4$	$10^6$	$10^8$
Granito					
Gabro					
Xisto					
Quartzito					
Arenito					
Folhelho					
Argila					
Aluvião					

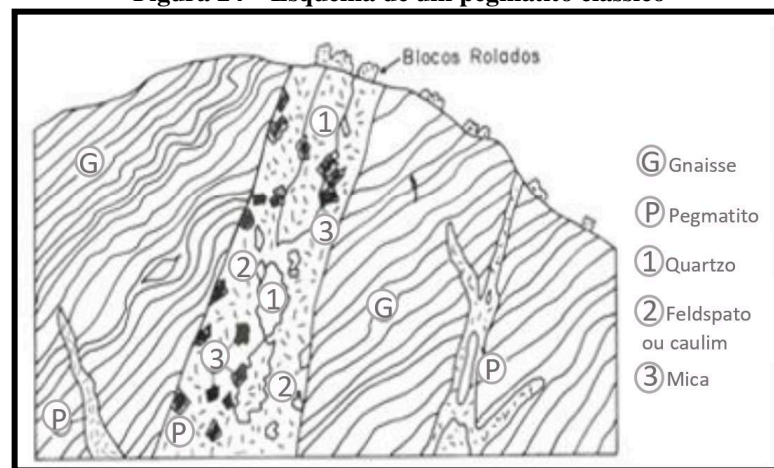
Fonte: Kearey, Brooks e Hill (2009, p. 316). Adaptado.

Quando a medição é feita ao longo de uma superfície homogênea, a resistividade aparente é igual à verdadeira resistividade do solo. No entanto, quando a resistência é feita ao longo de uma maciço de estrutura complexa, a resistividade aparente é uma

média ponderada das resistividades das várias rochas abaixo da superfície (DIAS, 2015, p. 22).

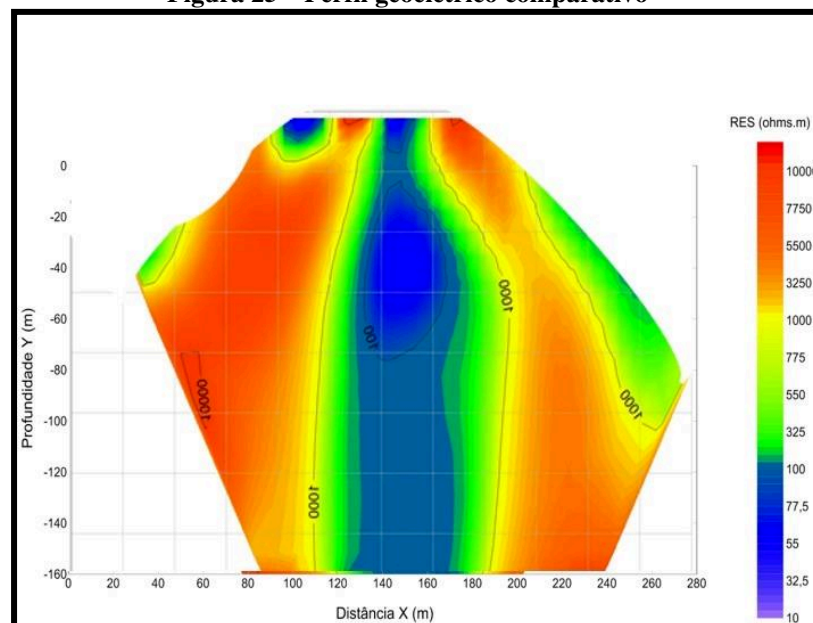
Na comparação das figuras 24 e 25, pode-se observar uma noção do que se espera de um perfil geoeletrico de uma rocha pegmatítica encaixada dentro de uma rocha granítica. Deve-se levar em conta que isso é só um exemplo, pois o perfil mostrado é oriundo de um levantamento para investigação hidrogeológica que ocorreu no município de Ouro Verde de Minas - MG, em que o espaçamento utilizado no trabalho foi de 20 metros entre os eletrodos. No entanto, no presente trabalho, o levantamento será feito com um espaçamento de 4 metros entre os eletrodos.

**Figura 24 – Esquema de um pegmatito clássico**



Fonte: DNPM (1997, p. 321).

**Figura 25 – Perfil geoeletrico comparativo**



Fonte: Elaboração própria (2020).

## 4 METODOLOGIA

Neste capítulo, está detalhada a metodologia utilizada para a realização do estudo. Considerando que este trabalho envolve uma estimativa de parâmetros físicos, pode-se classificar essa pesquisa como um estudo de caso qualitativo, conforme Gerhardt e Silveira (2009).

Foram realizados levantamentos bibliográficos sobre geologia da região dos Vales do Mucuri Jequitinhonha, sobre a ocorrências de gemas e pegmatitos e sobre métodos geofísicos de eletrorresistividade. Posteriormente, foi escolhida uma área-alvo, devidamente licenciada junto à ANM, seguida de fotointerpretação e sensoriamento remoto da área de interesse. Por fim, desenvolveu-se o levantamento geológico de campo para identificar litologia e estruturas, seguido do levantamento de eletrorresistividade com malha adensada para mapeamento do pegmatito.

A localização escolhida para fazer o levantamento geofísico decorreu das favoráveis características geológicas da região, como os blocos de quartzo rosa aflorantes. Somou-se o fato de que, há alguns anos, um garimpo clandestino fora iniciado nessa mesma área (sendo depois impedido pelos proprietários). A saber, as linhas do caminhamento geoeletrico ficaram todas com alinhamento S-N, sendo o ponto inicial no Sul e final no Norte. As coordenadas iniciais e finais de cada linha estão descritas no Quadro 7.

**Quadro 7 – Pontos iniciais e finais das linhas para o caminhamento**

	INÍCIO		FINAL	
	LONGITUDE	LATITUDE	LONGITUDE	LATITUDE
<b>LINHA 01</b>	294269.27	8013723.53	294264.74	8013792.33
<b>LINHA 02</b>	294281.89	8013722.92	294278.78	8013793.17
<b>LINHA 03</b>	294298.88	8013722.76	294296.57	8013791.81
<b>LINHA 04</b>	294316.46	8013720.55	294312.25	8013789.41
<b>LINHA 05</b>	294328.51	8013725.50	294327.36	8013794.34
<b>LINHA 06</b>	294351.18	8013724.18	294342.51	8013793.10
<b>LINHA 07</b>	294363.31	8013724.25	294360.65	8013798.28
<b>LINHA 08</b>	294374.03	8013724.29	294376.46	8013791.45
<b>LINHA 09</b>	294392.61	8013732.60	294390.48	8013804.59
<b>LINHA 10</b>	294409.27	8013730.41	294421.20	8013802.22

Datum SIRGAS 2000, UTM 24S

Fonte: Elaboração própria (2022).

Com o intuito de localizar a melhor área para a exploração de gemas, foram realizadas linhas de caminhamento paralelas entre o local do antigo garimpo e os grandes blocos



de quartzo, conforme mostrado na Figura 26, com o objetivo de identificar estruturas internas do corpo pegmatítico.

**Figura 26 – Alinhamento do caminhamento**



Fonte: Magalhães (2022). Adaptado.

As estratégias utilizadas para aplicação do método da eletrorresistividade foram aplicadas com o intuito de realizar o imageamento 2D do subsolo de uma determinada região, visando a prospecção de gemas.

Cada configuração de eletrodo utilizada resulta numa medição em uma respectiva profundidade, considerada teoricamente como  $AB/4$ , porém, na prática, camadas de alta e baixa resistividade podem mudar tal profundidade (BRAGA, 2016).

Finalizada a fase de coleta de dados, obtidos pela técnica do caminhamento elétrico, realizou-se o processamento usando os *softwares* Res2DInv e o Surfer. Ressaltamos que esse mesmo processamento foi adotado por Gandolfo e Gallas (2007).

#### 4.1 Materiais e métodos

Para a aquisição dos dados foi utilizado o aparelho resistímetro X5 de fabricação nacional, comercializado pela empresa Auto Energia. Esse equipamento emite uma corrente de até 300mA e consegue trabalhar com uma tensão de 500V (Figura 27). Os eletrodos estão conectados a eles através de cabos flexíveis de 1,5 milímetros. As medidas foram adquiridas através de dois aparelhos multímetros ligados ao resistímetro, sendo que um multímetro é usado para ler a corrente injetada (I) e o outro lê o potencial espontâneo (SP), o que, segundo



Gallas (2005), é resultado de atividades eletroquímicas ou mecânicas. E a tensão após a injeção da corrente (V). Essas medidas foram anotadas para preenchimento uma planilha digital, que foi inserida no *software* Res2Dinv, com a finalidade de processar os dados para a geração dos perfis geoeletricos. Posteriormente, para a melhor apresentação do trabalho, foi utilizado o programa Golden Surfer 9.

**Figura 27 – Resistivímetro X5: fabricação nacional**



Fonte: Auto Energia (2019).

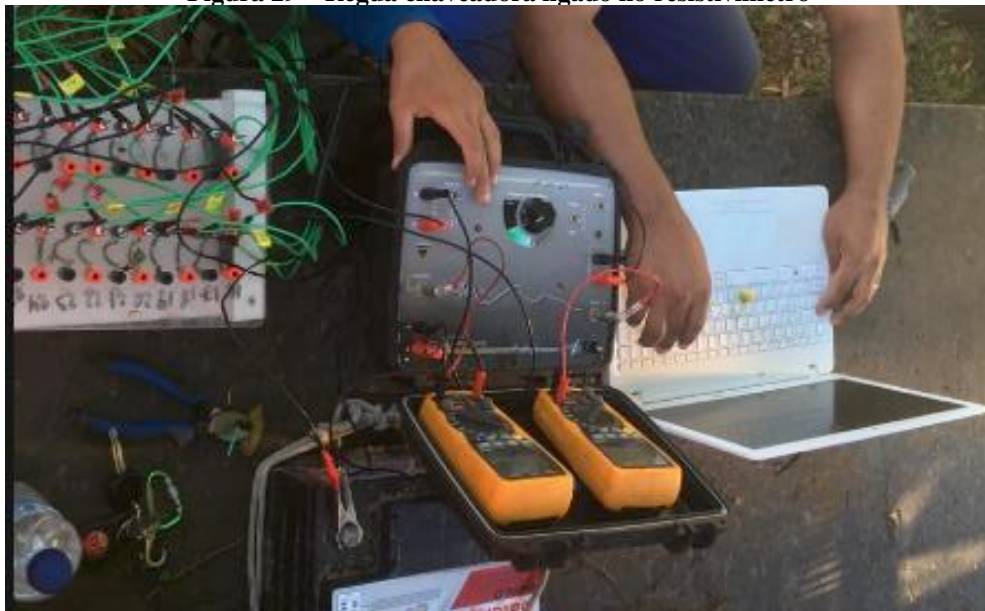
O resistivímetro possui quatro canais e é fornecido com quatro eletrodos de alumínio e quatro rolos de fios elétricos de 1,5 milímetros. Essa configuração básica torna o serviço mais demorado, pois, a cada medida, as conexões ou os eletrodos devem ser trocados; isso inviabilizaria o trabalho. Portanto, para agilizar esse processo foi montado um chicote de fios elétricos de 1,5 milímetros (Figura 28) com um fio para cada eletrodo, totalizando dezesseis fios e dezesseis eletrodos. Também foi estruturada uma régua chaveadora, que permitiu instalar todos os fios de forma ordenada, e ligada ao resistivímetro (Figura 29). Esse esquema possibilitou uma movimentação mais fluida, pois a cada medida era só proceder a troca dos conectores para o lado e passar para a próxima medida.

**Figura 28 – Chicote de fios elétricos 1,5 mm**



Fonte: Foto própria (2022).

**Figura 29 – Régua chaveadora ligado no resistivímetro**



Fonte: Foto própria (2022).

Tanto para a injeção da corrente quanto para a leitura da tensão é preciso que o eletrodo esteja devidamente enterrado no solo, para que haja uma pressão entre o solo e o eletrodo de alumínio (Figura 30).



**Figura 30 – Chicote de cabos devidamente conectado no eletrodo**



Fonte: Foto própria (2022).

No campo é preenchida uma tabela com valores da corrente injetada, do potencial espontâneo e da tensão após a injeção de corrente, para cada ponto, bem como o posicionamento dos quatro eletrodos para cada um desses pontos e para suas respectivas cotas. Isso viabiliza a obtenção da diferença de nível topográfico em cada perfil (RES2DINVx64, 2015). Nessa tabela já pode ser calculado o valor do  $\Delta V$ , que é o valor de  $V$  subtraído pelo valor de  $SP$ , o valor da resistividade aparente,  $\rho = k \cdot \Delta V / I$ , e o valores de  $X$  e  $Z$ , sendo que  $X$  é a distância entre os centros dos eletrodos  $AB$  e  $MN$ , e  $Z$  é igual a um quarto de  $X$  (BRAGA, 2016).

Para a inversão no Res2Dinv os dados de campo precisam ser trabalhados e uma tabela deve estruturada na extensão .dat, conforme o quadro abaixo:

**Quadro 8 – Forma de entrada de dados no Res2Dinv usando arquivo TXT**

DADOS DA TABELA				COMENTÁRIO
CABEÇALHO				Nome da seção ou Linha
1				Espaçamento entre os eletrodos
3				Tipo de Arranjo, para dipolo-dipolo se escolhe o 3
173				Número de pontos
1				Localização do primeiro eletrodo
0				0 para seção sem IP
1,5	1	1	641,1633	Localização de X
2,5	1	1	408,0756	Espaçamento entre os eletrodos

3,5	1	1	770,0323	Profundidade Z
...	...	...	...	Valor da resistividade aparente
...	...	...	...	
...	...	...	...	Segue dessa forma até o último ponto
				Após o último ponto, deixa-se uma linha em branco
2				O número 2 é para utilizar os dados topográfico.
16				Número de eletrodos.
				Linha em branco
1	355.33			posição de cada eletrodo
2	355.26			cota de cada eletrodo
3	355.01			
...	...			
...	....			
....	...			
				Linha em branco
0				Sequência de 5 Zeros para indicar que não há mais dado (um em cada linha).

Fonte: adaptado de RES2DINVx64 (2015).

O programa Res2Dinv é utilizado para fazer a inversão dos dados, gerando um imageamento 2D. Para isso o programa faz uso do método dos mínimos quadrados com restrições de suavidade, de acordo com Loke, Acworth e Dahlin (2003), e esse método é baseado na equação 10.

$$(\mathbf{J}^T \mathbf{J} + \lambda \mathbf{F}) \Delta \mathbf{q} = \mathbf{J}^T \mathbf{g} - \lambda \mathbf{F} \mathbf{q}_K,$$

Equação 10

Sendo:

$$\mathbf{F} = \alpha_x \mathbf{C}_x^T \mathbf{C}_x + \alpha_z \mathbf{C}_z^T \mathbf{C}_z,$$

$\mathbf{C}_x$  = Filtro de rugosidade horizontal,

$\mathbf{C}_z$  = Filtro de rugosidade Vertical

$\mathbf{J}$  = Matriz Jacobiana de derivada parcial,

$\mathbf{J}^T$  = Transposição de  $\mathbf{J}$

$\lambda$  = Fator de amortecimento,

$\mathbf{q}$  = Vetor de mudança do modelo,

$\mathbf{g}$  = Vetor de desgaste de dados.

Para Loke (2014), os filtros de rugosidade e o fator de amortecimento podem ser ajustados de acordo com os dados de cada trabalho. Segundo o autor, isso é uma vantagem deste método.

Após a inversão do Res2Dinv é gerada uma tabela com os valores de X e Y e o valor da resistividade, sendo que agora o número de pontos está de acordo com o que foi gerado no Res2Dinv. E essa tabela é plotada no programa Golden Surfer, para que sejam gerados perfis mais didáticos.

No levantamento geoeletrico, as 10 linhas de caminamento elétrico dipolo-dipolo foram executadas com o espaçamento de 4 metros entre os eletrodos, sendo utilizados dezesseis eletrodos por linha. Cada linha gerou um total de 99 pontos de resistividade aparente, fazendo um total de 990 pontos de resistividade aparente. Todo o levantamento foi realizado em quatro dias de trabalho de campo. Durante o levantamento, todos os dias estavam ensolarados e não choveu em nenhuma noite.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesse capítulo serão apresentados os resultados do levantamento geofísico pelo método da eletrorresistividade, aplicado ao longo da realização deste trabalho.

Com o resultado obtido foi possível identificar os contatos de estruturas geológicas evidenciadas por sua diferença de condutividade elétrica. Nas áreas de maior resistividade espera-se encontrar vesículas (caldeirões ou *pockets*) ocas não preenchidas por fluidos, blocos e maciços rochosos encaixantes do granito Ataléia. Já nas áreas de menor resistividade, podem ser encontradas estruturas saturadas de fluido aquoso ou, até mesmo, um *pocket*.

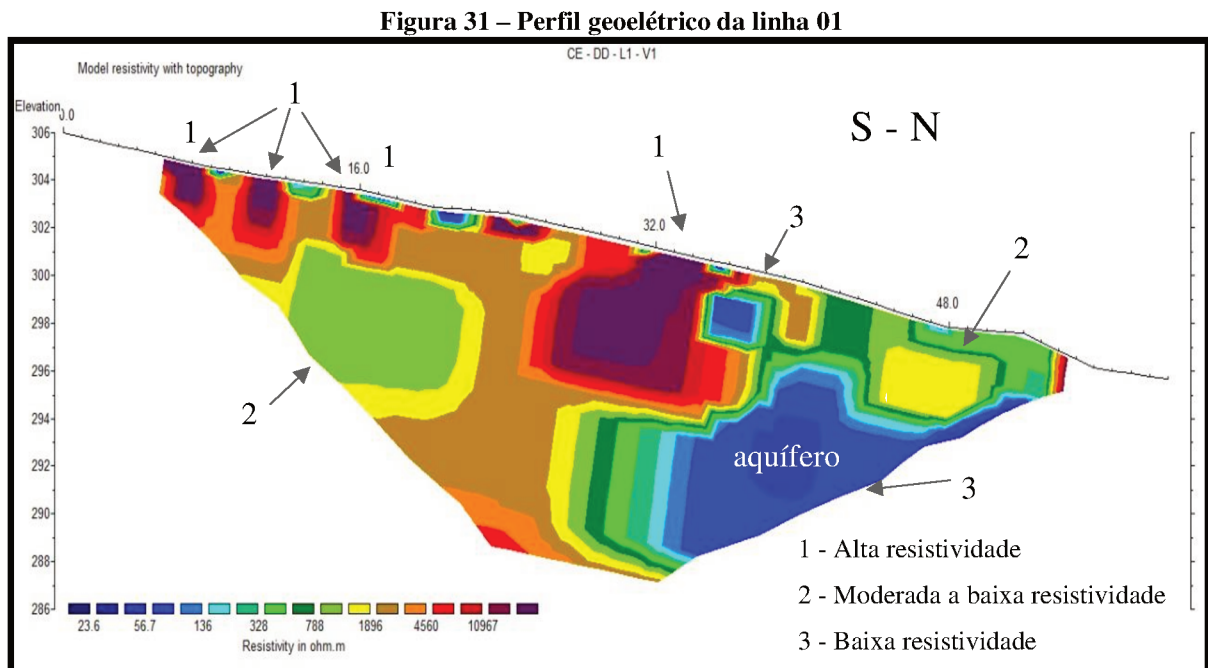
### 5.1 Perfis geoeletricos

Nos perfis geoeletricos as áreas de maior interesse são as anomalias com menor resistividade, que podem estar associadas a áreas de maior permeabilidade hídrica ou vesículas (ou *pockets*) preenchidas por fluidos. Para Oliveira (2009) o valor de resistividade referente a um aquífero varia de 0,5 a 300 ohm.m, então essas áreas foram marcadas nos perfis como áreas de baixa resistividade. Contudo, não se pode deixar de levar em conta que algumas dessas vesículas ou *pockets* podem não estar preenchidas de fluidos, e sim ocas, o que lhes confere um caráter resistivo a essa estrutura, de acordo com o que diz Viana (2016), que afirma que o valor de resistividade do ar tende a ser infinita.

Todavia, o programa Res2Dinv (RES2DINVx64, 2015) pode fazer algumas correções e, assim, suavizar alguns valores. De acordo com o que foi exposto por Oliveira (2009), os granitos possuem valor de resistividade variando de  $4,5 \times 10^3$  a  $1,3 \times 10^6$  ohm.m e, para Feitosa *et al.* (2008), os valores de resistividade do quartzo vão de  $3,8 \times 10^{10}$  a  $1,2 \times 10^{12}$ . Já Braga (2006) afirma que a percolação de fluidos, nas fendas e fraturas das rochas, pode reduzir a sua resistividade elétrica. As áreas com resistividade superior a 4500 ohm.m foram marcadas como sendo de alta resistividade, podendo tanto ser grandes cristais de quartzo como vesículas sem preenchimentos ou rochas ígneas, mais precisamente o granito Ataléia. E as áreas de valores intermediário foram marcadas quando necessário como áreas de resistividade baixa a moderada, podendo caracterizar as áreas intermediárias. Portanto, como feito nos estudos de Joncew (2017), elas podem ser uma das áreas-alvo.

Também foram utilizados os trabalhos disponibilizados no Sistema em Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS, 2022), cujos relatórios mostram que na região a cobertura de sedimentos e solo alterado não passam de 6 metros de profundidade. Porém, no trabalho de campo, foram encontrados vários blocos aflorantes.

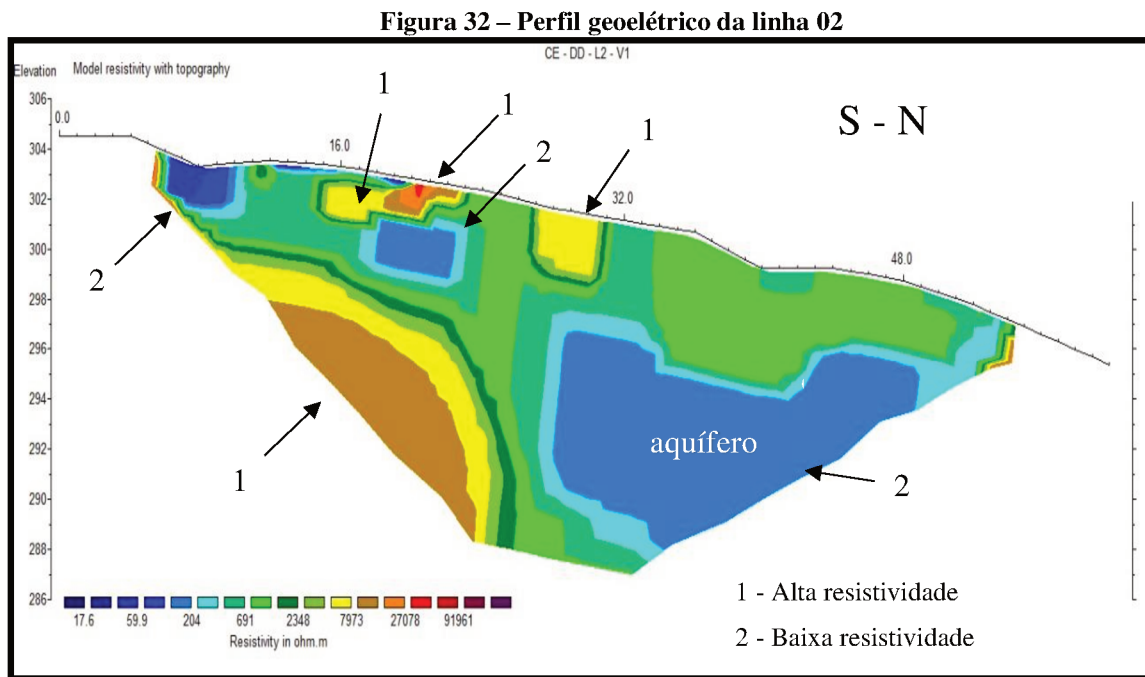
A resposta obtida na linha 01 encontra-se na Figura 31. É marcante a baixa resistividade na base da parte norte, o que indica a presença de um corpo hídrico próximo à linha. Observa-se uma grande área de cor verde abacate ao sul, a qual está entre áreas de resistividade mais alta, de coloração castanha, o que pode indicar uma litologia pouco consolidada entre duas rochas cristalinas. Pode-se ver também uma estrutura com tendência de atitude ao norte. E uma estrutura com alta resistividade ao centro. As áreas de alta resistividade possuem resistividade maior que  $10^4$  ohm.m, o que indica a possível presença de rochas cristalinas, podendo ser blocos desagregados do granito Ataléia ou grandes cristais de quartzo, como os vistos aflorantes nessa localidade. Acima do aquífero há uma pequena região que apresenta uma baixa resistividade; isso sugere a presença de um corpo geológico saturado, que pode ser um “caldeirão” ou, até mesmo, uma antiga galeria relacionada a uma mineração clandestina repleta de fluidos.



O geolétrico da linha 02 apresenta as áreas de baixa resistividade a sul, as quais indicam, provavelmente, a presença de um aquífero próximo, corroborando a presença e um pequeno córrego próximo a parte norte do perfil (Figura 32). Essa área saturada sugere que há uma estrutura geológica relevante, principalmente na região de baixa resistividade que está abaixo da região de alta resistividade. Esse contraste de resistividade está de acordo com a presença de estruturas geológicas, o que pode indicar falhas, fraturas ou contatos entre rochas. Caso a área de alta resistividade seja um cristal de quartzo, essas áreas sob este cristal, que



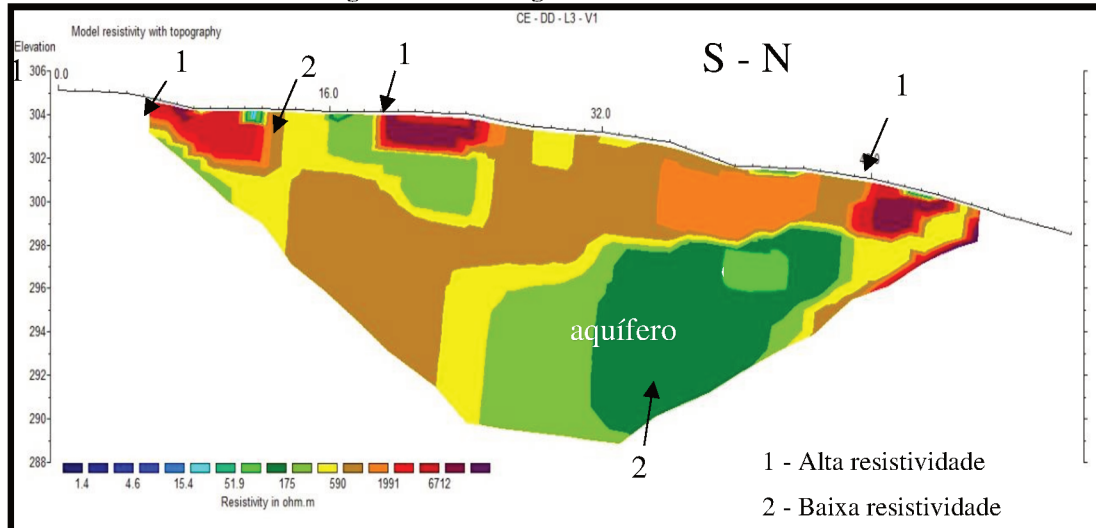
possuem baixa resistividade, podem compor uma zona intermediária, indicativo da presença de cristais de com valor econômico.



Fonte: Elaboração própria (2022).

No perfil da linha 03 (Figura 33), repete-se em parte o padrão dos perfis anteriores. Contudo, há uma redução considerável no valor geral das resistividades na imagem. Mas fica nítido o contraste entre a resistividade nas áreas análogas aos perfis anteriores, o que condiz com a presença de um corpo que se estende e atravessa as linhas do caminhamento. Observa-se uma região que deve ser investigada através de métodos diretos, como as perfurações, as escavações de galerias e/ou as trincheiras.

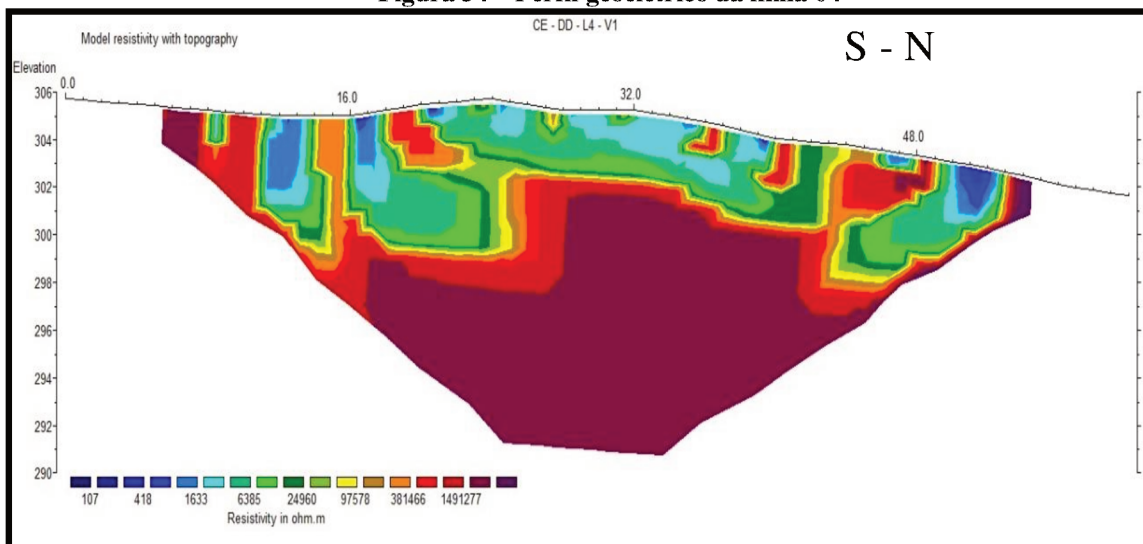
**Figura 33 – Perfil geolétrico da linha 03**



Fonte: Elaboração própria (2022).

Podem-se observar na Figura 34, referente à linha 04, algumas similaridades com as linhas anteriores, principalmente na parte centro-sul, em que há uma área de alta resistividade circundada por uma área de menor resistividade relativa. Contudo, no perfil da linha 04 (Figura 34), há uma intercalação entre áreas de resistividade alta e resistividade extremamente alta. Devido a esses valores muito altos de resistividade alta essa linha foi suprimida da interpretação da área.

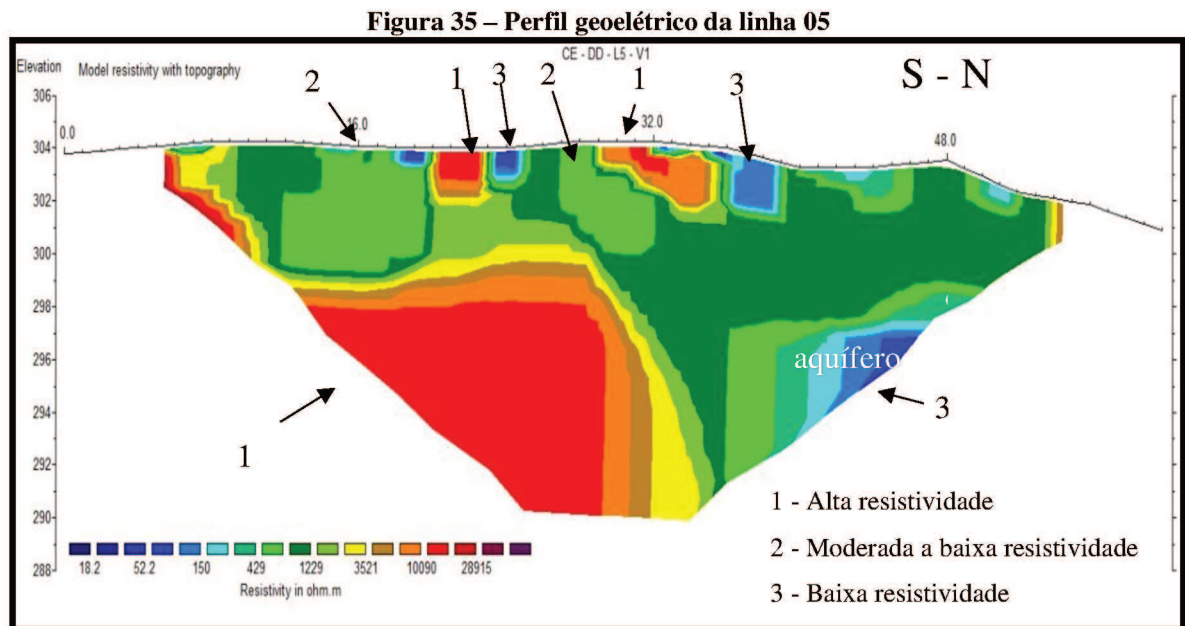
**Figura 34 – Perfil geolétrico da linha 04**



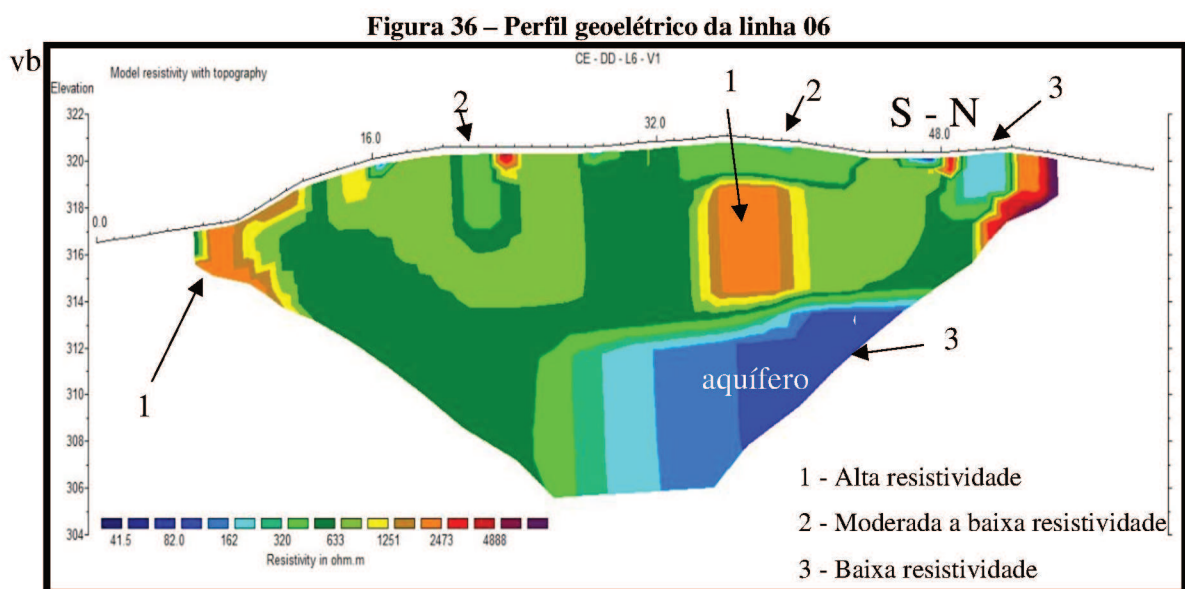
Fonte: Elaboração própria (2022).

Em relação ao perfil correspondente à linha 05 (Figura 35), a análise indica que há uma grande quantidade de áreas de baixa e média resistividade. Na região centro-sul, o padrão da intercalação de anomalias de alta e baixa resistividade persiste, isto é, há blocos que podem ser grandes matações ou uns grandes cristais de quartzo, podendo caracterizar o núcleo de

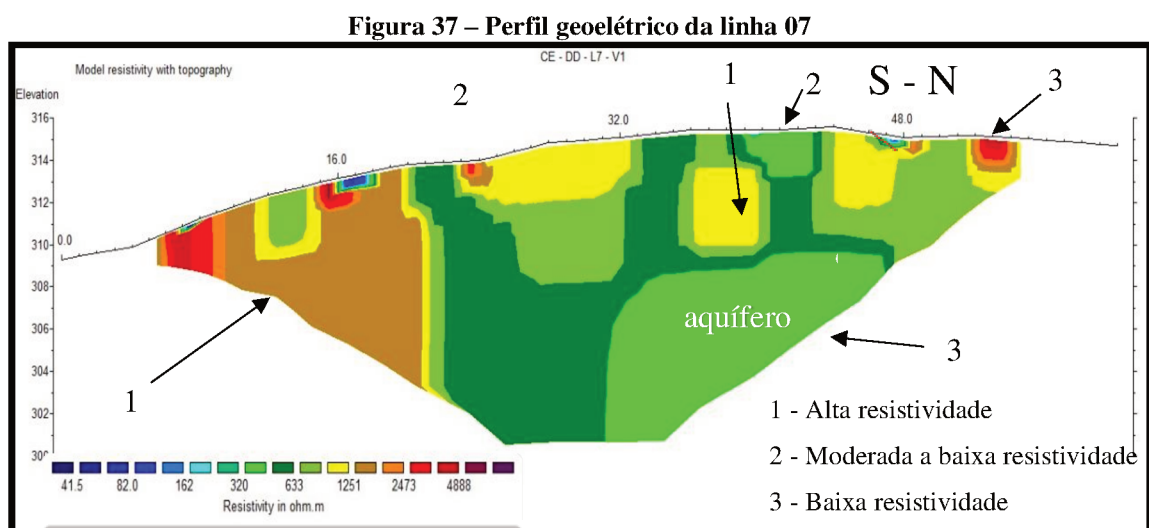
pegmatitos. No entanto, as baixas resistividades podem ser justificadas pela grande quantidade de argila ou pela grande quantidade de minerais desagregados.



A redução ou a sutilidade das intercalações e contrastes entre áreas de baixa e alta resistividade (Figura 36), presentes na linha 06, só destoia de uma grande área de alta resistividade que está logo acima de onde se espera que haja um aquífero. Essa região pode ser interpretada como sendo um bloco rochoso ou uma área de solo residual muito densa. Devido ao seu tamanho, seria muito incomum de se esperar que se tratasse de um cristal de quartzo.



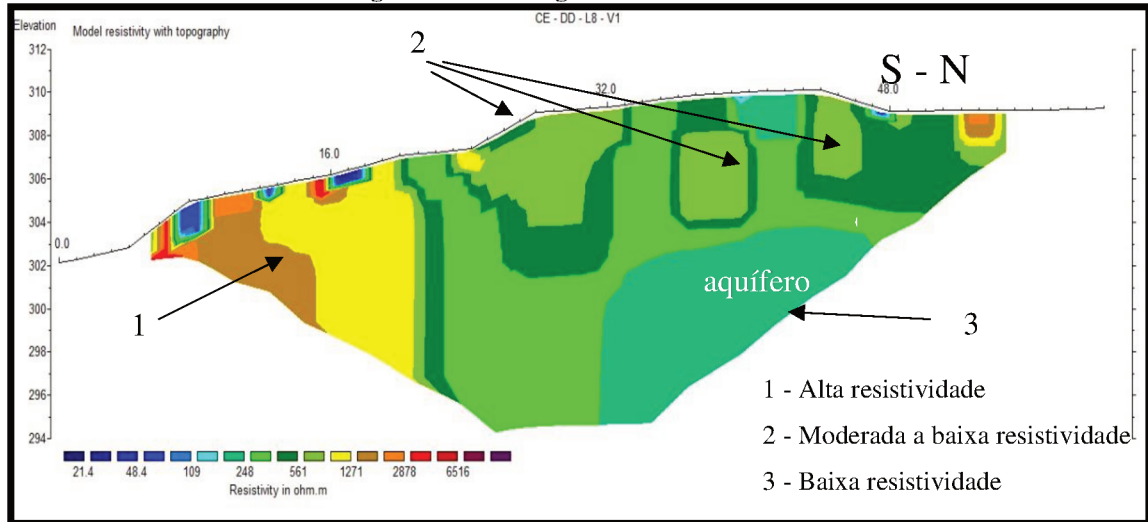
Na Figura 37 está demonstrado o resultado da linha 07. Embora a resistividade esteja muito baixa, os contatos entre as estruturas estão coerentes com o levantamento e bem semelhantes com as estruturas vistas na linha anterior, correspondendo ao que já foi apresentado nos gráficos anteriores. Observam-se semelhanças principalmente com a alta resistividade na parte sul e a baixa resistividade na parte norte. Foi identificada a presença de um corpo de maior resistividade na parte centro-norte do perfil, o que pode ser identificado como um bloco de rocha. Contudo, esse corpo está presente na linha anterior, o que permite inferir que há uma estrutura de comprimento considerável, tendo em vista que a linha anterior está a 16 metros de distância desta.



Fonte: Elaboração própria (2022).

Esse perfil (Figura 38), referente à linha 08, se assemelha muito com o perfil anterior (Figura 37), que apresenta área de maior resistividade a sul e alguns corpos de menor resistividade a norte. As suas regiões de contrastes de resistividade são muito simétricas, principalmente com o que se assemelha com um contato de rocha cristalina na parte sul do perfil.

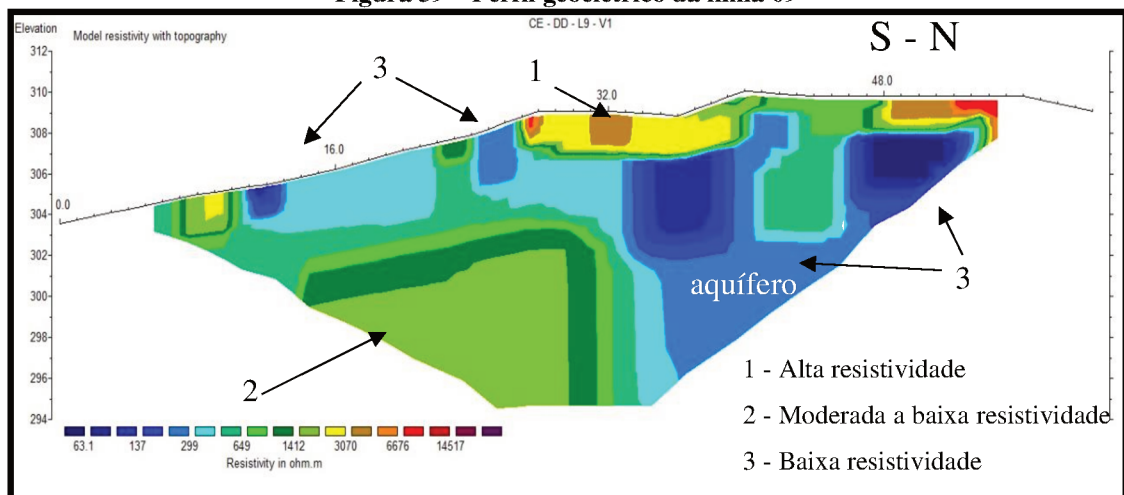
**Figura 38 – Perfil geolétrico da linha 08**



Fonte: Elaboração própria (2022).

A Figura 39, correspondente à linha 09, mantém a tendência de áreas de menor resistividade na área norte, contudo no topo da região sul há uma área de baixa resistividade, o que pode indicar um aquífero prestes a aflorar. Há um corpo rochoso no centro da linha e uma discordância sub vertical bem característica dos outros perfis. Entretanto, na parte centro-norte desse perfil, ao contrário dos demais perfis da mesma região que apresentam uma área de alta resistividade, observa-se uma área de baixíssima resistividade. Sabe-se que próximo a essa linha está localizado um grande cristal de quartzo rosa.

**Figura 39 – Perfil geolétrico da linha 09**

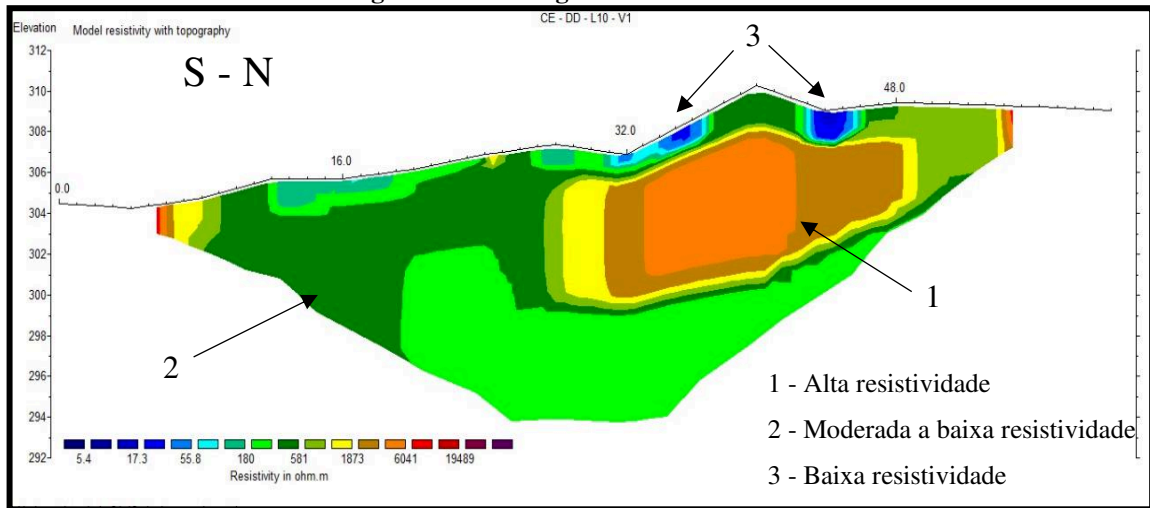


Fonte: Elaboração própria (2022).

A última linha do trabalho, que é a linha de número 10 (Figura 40), apresenta-se de forma destoada das demais, embora se verifique a persistência de uma área de maior resistividade no centro-norte, que pode ser uma estrutura análoga à estrutura que se apresenta nos perfis desde a linha 06. Contudo, nessa linha a área é bem maior.



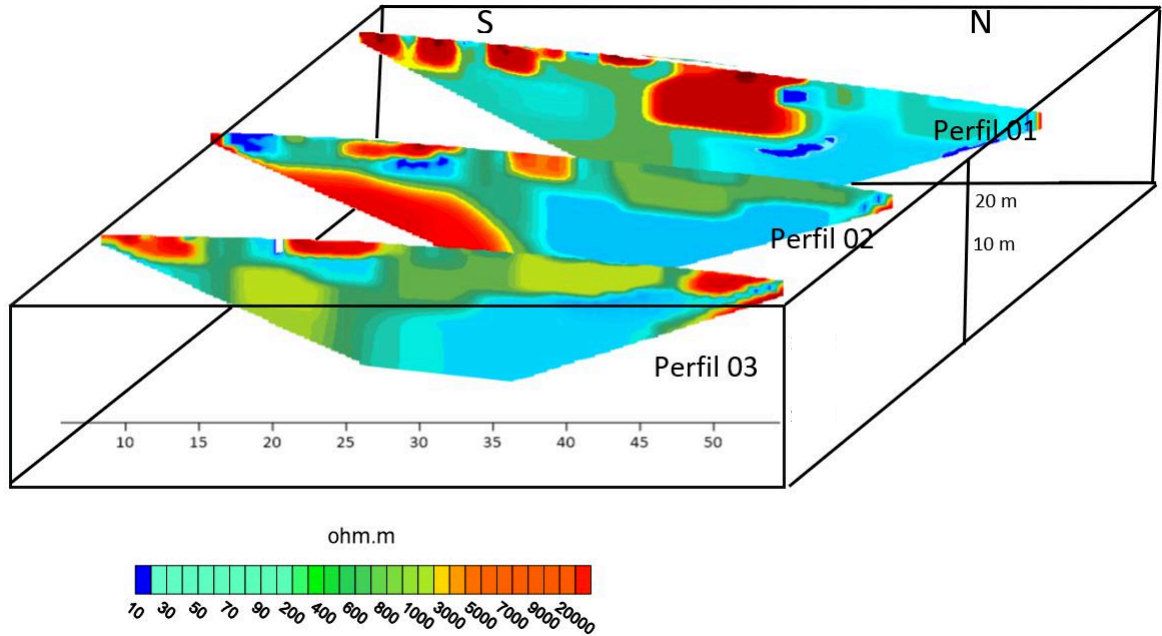
**Figura 40 – Perfil geolétrico da linha 10**



Fonte: Elaboração própria (2022).

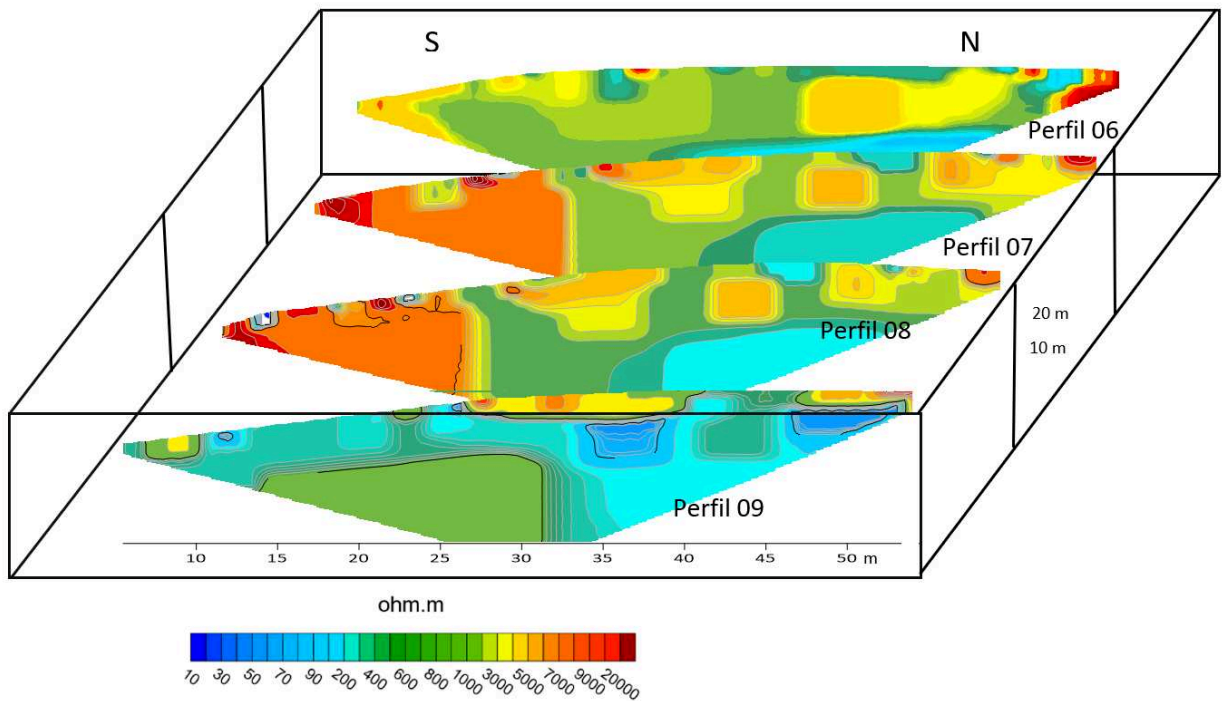
Alinhando os perfis geolétricos ficam nítidos muitos dos alinhamentos das estruturas geológicas e hidrogeológicas (Figura 41 e 42). Na parte norte, como era de se esperar, há uma resposta condizente com o corpo hídrico presente, o que corrobora com a presença do pegmatito. Observam-se também estruturas ao sul, principalmente nas quatro primeiras linhas. Devido à baixa resistividade relativa nessa área, pode-se inferir a existência de estruturas pegmatíticas, onde deve ser a melhor área para ser sondada. Em relação às linhas de 06 a 09, seria interessante providenciar as sondagens com malhas mais refinadas a partir do centro da linha, em sentido norte. Os perfis das linhas 07 e 10 foram suprimidos dos alinhamentos por apresentarem respostas distintas dos outros perfis.

Figura 41 – Foto alinhamento dos perfis geoeletricos das linhas de 01 a 04



Fonte: Elaboração própria (2022).

Figura 42 - Alinhamento dos perfis geoeletricos das linhas de 06 a 9



Fonte: Elaboração própria (2022).

De acordo com o que foi visto no campo e com os perfis realizados, há uma importante repetição de padrões entre as linhas, que ora são corpos de alta resistividade, ora de baixa em regiões análogas. Esses corpos devem ser sondados ou escavados para confronto do perfil geoeletrico com a geologia.



Observa-se nas figuras 31, 32 e 33 (linhas 01, 02 e 03, respectivamente) que, no primeiro quarto do seu comprimento, há um importante corpo de alta resistividade que se destaca nos entornos pela sua resistividade. Isso pode indicar a presença da zona intermediária de um pegmatito que pode se encontrar próximo a um grande cristal de quartzo. Confirmada a presença desse corpo, é considerável a possibilidade da ocorrência de uma vesícula (caldeirão ou *pocket*) nessa área.

Na Figura 3, encontra-se um grande bloco de quartzo rosa aflorante. Está evidente um corpo de alta resistividade, cercado por áreas de resistividade baixa, destacando o zoneamento desse pegmatito de acordo como o esperado nesta pesquisa (KEAREY; BROOKS; HILL, 2009).

Nas figuras 35 e 39, há demonstração de vários pontos de alta resistividade, apresentando profundidade que pode variar entre 1,5 e 6 metros. Isso pode indicar a presença de grandes blocos de quartzo.

Mesmo não sendo objeto do estudo, durante a realização do trabalho de campo, foi identificado um aquífero granular que converge para uma drenagem próxima à linha 01.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O método de eletrorresistividade, utilizando o arranjo dipolo-dipolo, se mostrou muito promissor, pois evidencia os contatos internos dos pegmatitos, bem como os contatos com a rocha encaixante. Identificaram-se regiões de possível ocorrência de gemas, sejam elas com alta resistida ou de baixa resistividade.

Regiões em que se espera haver uma zona marginal estão bem marcadas nos perfis e contornam ou são adjacentes às áreas de alta resistividade, onde se espera que haja um grande cristal de quartzo. Esse pode ser o centro do pegmatito ou de uma vesícula (caldeirão ou *pocket*), visto que estes últimos são regiões onde há grande chance de encontrar gemas.

Contudo, para confirmar os resultados, é necessário que ocorra uma investigação de forma direta nessas localidades, e as mais indicadas seriam a escavação de trincheiras ou galeria.

Outrossim, analisando as linhas de lado a lado, pode-se concluir que o local do posicionamento das linhas foi bem escolhido, podendo identificar um grande corpo pegmatito, sentido leste-oeste, com estruturas que persistem nessa direção.

Portanto, a presente pesquisa permitiu concluir que a utilização dos métodos de eletrorresistividade pode se apresentar como uma promissora ferramenta tecnológica para investigação de áreas para garimpo. Considerando que são raros os estudos na utilização dessa técnica para garimpo, este estudo contribui com a temática, sobretudo quando mais estudos se fazem necessários para implementação e aperfeiçoamento de técnicas e estratégias para a utilização deste modo de investigação.

## REFERÊNCIAS

- ALEXANDRINO, C. H.; SANTANA JUNIOR, I. C.; GOMES, J. B.; SILVA, P. H. G.; GOTTARDI, R. M. Contaminação e detecção de material orgânico por método da eletrorresistividade. **2 Feicintec**, Belo Horizonte, 2015.
- ALEXANDRINO, C. H.; SANTANA JUNIOR, I. C.; GOMES, J. B.; SILVA, P. H. G.; GOTTARDI, R. M. Contamination and Organic Material Detection by Electro Resistivity Method. **Asian Journal of Applied Sciences**, v. 2, p. 684, 2014(a).
- ALEXANDRINO, C., H.; SANTANA JUNIOR, I. C.; GOMES, J. B.; SILVA, P. H. G.; GOTTARDI, R. M. Estimativa de contaminação por eletrorresistividade em área controlada. **XII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste**, Natal, v. 1, p. 1-10, 2014(b).
- ALKMIM, F. F.; PEDROSA-SOARES, A. C.; NOCE, C. M.; CRUZ, S. C. P. Sobre a evolução tectônica do Orógeno Araçuaí-Congo Ocidental. **Geonomos**, Belo Horizonte, v. 15, n. 1, p. 25-43, 2007.
- ANDRADE, J. J. C.; SEVERINO, R. R.; PINTO, L. G. R. **Cartas de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundações – Lajeado Grande – SC**. São Paulo: CPRM, 2019.
- AUTO ENERGIA. **Eletro-resistivímetro modelo X5xtal Control 350mA**: manual do usuário. Alvinópolis, 2019.
- BARROSO, L. S. **Pesquisa mineral de pegmatitos na Região Leste de Minas Gerais em contexto de mineração de pequena escala**. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Escola de Ciências, Universidade do Minho, Braga, 2018.
- BDGEx – BANCO DE DADOS GEOGRÁFICOS DO EXÉRCITO. [s./d.]. **Carlos Chagas; Ataléia** - MG. Disponível em: <https://bdgex.eb.mil.br>. Acesso em: 16 set. 2022.
- BRAGA, A. C. **Geofísica aplicada: métodos geoeletricos em hidrogeologia**. São Paulo: Oficina de Textos, 2016.
- BRAGA, A. C. O. **Métodos da eletrorresistividade e polarização induzida aplicados nos estudos da captação e contaminação de águas subterrâneas: uma abordagem metodológica e prática**. Tese (Livre docência) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2006.
- BRASIL. **Decreto nº 9.406, de 12 de junho de 2018**. Regulamenta o Decreto-Lei nº 227, de 28 de fevereiro de 1967, a Lei nº 6.567, de 24 de setembro de 1978, a Lei nº 7.805, de 18 de julho de 1989, e a Lei nº 13.575, de 26 de dezembro de 2017. Brasília, 2018. Disponível em: <https://www2.camara.leg.br/legin/fed/decret/2018/decreto-9406-12-junho-2018-786851-publicacaooriginal-155831-pe.html>. Acesso em: 16 set. 2022.
- BRASIL. **Decreto-lei nº 227, de 28 de fevereiro de 1967**. Dá nova redação ao Decreto-lei nº 1.985, de 29 de janeiro de 1940 (Código de Minas). Brasília, 1967.
- CALACHIBETE, C. **Caracterização lito-geofísica por métodos geoeletricos na região da Baixada Cuiabana – Trend Pirizal – Bento Gomes**. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília, 2016.

CAMPOS, A. F. *et al.* Utilização da eletrorresistividade na caracterização de arenitos fraturados do grupo Itararé – Bacia do Paraná. **Boletim Paranense de Geociências**, Curitiba, n. 56, p. 89-103, 2005.

CARVALHO, R. M. L. de. **Modelagem direta de dados de eletrorresistividade 3-D**. Dissertação (Mestrado em Geofísica) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2014.

CAVALCANTI, K. V. **Glossário geológico**. Rio de Janeiro: IBGE, 1999.

CHAVES, M. L. de S. C.; DIAS, C. H. **Gemas e minerais de coleção**. [s.l.], 2018. Disponível em: <http://recursomineralmg.codemge.com.br/substancias-minerais/gemas-e-minerais-raros/>. Acessado em: 23 fev. 2022.

CPRM – SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Carta geológica Folha SE 24-V-C-VI – Carlos Chagas**, 2014.

DIAS, C. H. **Mineralogia, tipologia e causas de cor de espodumênios da Província Pegmatítica Oriental do Brasil e química mineral de Nb-tantalatos da mina da Cachoeira (Minas Gerais)**. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2015.

FEITOSA, F. A. C.; MANOEL FILHO, J.; FEITOSA, E. C.; DEMETRIO, J. G. A. **Hidrogeologia: conceitos e aplicações**. 3. ed. Rio de Janeiro: CPRM, 2008.

FERNANDES, M. dos F; FONSECA, M. A.; PIRES, F. R. M. **Geologia de pegmatitos portadores de águas marinhas do ponto do Marambaia, Distrito Pegmatítico de Padre Paraíso-MG**. Ouro Preto: UFOP, 2005.

FERREIRA, A. M. A modelação geológica 3D como ferramenta de apoio na prospecção de pegmatitos litiníferos. **Valorização de Pegmatitos Litiníferos**, p. 15–18, 2010.

GALLAS, J. D. F. O método do potencial espontâneo (SP): uma revisão sobre suas causas, seu uso histórico e suas aplicações atuais. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 23, n. 2, p. 133-144, 2005.

GANDOLFO, O. C. B. **Um estudo do imageamento geolétrico**. Tese (Doutorado em Recursos Minerais e Hidrogeologia) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

GANDOLFO, O. C. B.; GALLAS, J. D. F. The Pole-Dipole Array as Alternative to Dipole-Dipole Array in 2D Electro-Resistivity Surveys. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 25, n. 3, p. 227–235, 2007.

GEA - GEMS EXPORTERS ASSOCIATION. **Formalização da Extração de Gemas e Minerais Industriais no Vale do Mucuri**. Teófilo Otoni, 2007.

GENUÍNO, V. A.; SANTOS, L. C. M. DE L.; VIEIRA, F. F. Mapeamento geológico de detalhe do pegmatito Alto do Feio, região de Pedra Lavrada - Seridó Paraibano. **IV Simpósio de Minerais Industriais do Nordeste**, 2016.

GERHARDT, T. E.; SILVEIRA, D. T. **Métodos de pesquisa**. Porto Alegre: UFRGS, 2009.

GOLDEN SURFER. Version 9. Golden: Golden Software, 2022.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Carta do Brasil – Ataléia, Folha SE-24-Y-A-II**, [s.d.]. Disponível em: <https://bdgex.eb.mil.br/mediador/index.php?modulo=logon>. Acesso em: 23 out. 2022.

IGF – INTERGOVERNMENTAL FORUM. **IGF guidance for governments: managing artisanal and small-scale mining**. London, 2017.

JONCEW, H. C. **Modelamento 3D de pegmatito com uso de GPR, geoquímica e estatística multivariada**: exemplo de um pegmatito do Distrito de Antônio Ferreira – Franciscópolis/MG. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2017.

KAHWAGE, M.; MENDES, J. O berilo gemológico da Província Pegmatítica Oriental do Brasil. **Geochimica Brasiliensis**, v. 17, n. 1, p. 13–25, 2011.

KEAREY, P.; BROOKS, M.; HILL, I. **Geofísica de Exploração**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

IAKUBOVSKII, I. U. V.; LIAJOV, L. L. **Exploración Eléctrica**. Malaga. Editorial Reverté, S.A., p. 421, 1980.

LIBREOFFICE. Versão 3. [s.l.]: Free Software Foundation, 2007.

LIMA, M. P.; SOUZA, J. C.; VIDAL, F. W. H.; VIEIRA, E. V. Aspectos econômicos da lavra integral do pegmatito Alto da Serra Branca. **IV Simpósio de Minerais Industriais do Nordeste**. João Pessoa, 10-13 abr. 2016.

LOKE, M. H.; ACWORTH, I.; DAHLIN, T. A comparison of smooth and blocky inversion methods in 2D electrical imaging surveys. **Exploration Geophysics**, v. 34, p. 182-187, 2003.

LOKE, M. H.; DAHLIN, T.; RUCKER, D. F. Smoothness-constrained time-lapse inversion of data from 3D resistivity surveys. **Near Surface Geophysics**, v. 12, n. 1, p. 5-24, 2014.

LUIZ, J. G. **Geofísica na prospecção mineral**: guia para aplicação. Rio de Janeiro: SGBF, 2013.

LUZ, A. B.; LINS, F. F.; PIQUEF, B., COELHO, J. M; COSTA, M. J.; NESI, J. R. **Aproveitamento integral dos pegmatitos do Nordeste**: um tema recorrente. Recife: CETEM, 1984.

MACHADO, R. **Aplicação do método eletroresistivo em ambiente aquático para o mapeamento do subfundo do Rio São Francisco**. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

MAGALHÃES, C. M. **Utilização de filmagem e imagens do levantamento aerofotogramétrico realizado em 16/03/2022 com drone Mavic 2 Pro**. [Mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <carloosedunogueira@hotmail.com> em 28 jul. 2022.

MINISTÉRIO DO INTERIOR. Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste. **Região Sudeste do Brasil – Carlos Chagas, Folha SE.24-V-C-VI**, 1977. Disponível em: <https://bdgex.eb.mil.br/mediador/index.php?modulo=login>. Acesso em: 23 out. 2022.

NETTO, C.; ARAÚJO, M. C.; PINTO, C. P.; DRUMOND, J. B. V. **Cadastramento de recursos minerais: pegmatitos**. Vol. I. Belo Horizonte: CPRM, 2000.

NEVES, B. B. de B. Cratons e faixas moveis. **Boletim IG-USP. Série Didática**, v. 0, n. 7, p. 1, 1995.

NEVES, J. M. C.; PEDROSA-SOARES, A. C.; MARCIANO, V. R. P. R. O. Província Pegmatítica Oriental do Brasil à luz dos conhecimentos atuais. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 16, n. 1, p. 106–118, 1986.

OLIVEIRA, J. P. L. **Caracterização da pluma de contaminação numa antiga lixeira com o método de resistividade eléctrica**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Geológica) - Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2009.

PALUDO, C. M. **Mineralogia e geoquímica dos Nyf-pegmatitos da mina de Pitinga (Amazonas-Brasil)**. v. I, 2018.

PEDROSA-SOARES, A. C. A. **The Brazilian Counter Part of the Araçuaí-West Congo Orogen**. Set. 2011.

PEDROSA-SOARES, A. C. *et al.* Metasomatic Evolution of granites, Northeast Minas Gerais, Brazil. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 17, 1987.

PEDROSA-SOARES, A. C.; CHAVES, M. L. S. C.; Scholz, R. **Field Trip Guide to Eastern Brazilian Pegmatite Province**. In: International Symposium on Granitic Pegmatites, 4, 2009, Recife. Special Paper Recife, 2009, p. 1-28.

PEREIRA, R. M. **Fundamentos de prospecção mineral**. 2. ed. revista e ampliada. Rio de Janeiro: Interciencias, 2012.

QGIS. Versão 3.16. [s.l.]: User group, 2022.

RES2DINVx64. Version 4.05 with multi-core and 64-bit support. [s.l.]: Geotomosoft, 2015.

SIAGAS - SISTEMA DE INFORMAÇÕES DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS. Perfil construtivo: Carlos Chagas, Fazenda Esperança. **SIAGAS Web**, 2022. Disponível em: [http://siagasweb.cprm.gov.br/layout/detalhe\\_poco.php?ponto=3100018817](http://siagasweb.cprm.gov.br/layout/detalhe_poco.php?ponto=3100018817). Acesso em: 25 out. 2022.

SILVA, A. F. **Análise geofísica do potencial pegmatítico na região de Ataléia**. Monografia (Graduação em Engenharia Geológica) - Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2017.

SILVA, J. N. **Carlos Chagas Folha SE.24-V-C-VI Estado de Minas Gerais**. Belo Horizonte: CPRM, 2000.

SOUZA, E. C. de; MARTINS, A. O.; BRANCO, P. C. M. de A. **Glossário de Rochas Graníticas**. DNPM/CPRM. Rio de Janeiro, 1987.

SOUZA, F.; SOBRINHO, A. Cooperativismo mineral como propulsor da atividade garimpeira nos pegmatitos de Picuí-Pb. **XXV Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa**, p. 575–581, 2013.

SOUZA, L. A. P.; SILVA, R. F.; YIOMASA, W. S. Métodos de Investigação. *In*: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA. **Geologia de Engenharia**. São Paulo: ABGE, 1998. Cap. 11, p. 163-196.

SUMMER, J. S. **Principles of induced polarization for geophysical exploration**. Amsterdam/Oxford/New York: Elsevier, 1976.

TELFORD, W. M.; GELDART, L. P.; SHERIFF, R. E. **Applied geophysics**. 2. ed. Cambridge: Cambridge University Press, 1990.

TOLEDO, M.C.M.; TAIOLI, F. **Decifrando a Terra**. 2. ed. São Paulo: IBEP Editora Nacional-Conrad, 2009.

TULLER, M. P. **Estado de Minas Gerais Escala 1:100.000 - Ataléia, Folha SE.24-Y-A-II**. Belo Horizonte: CPRM, 2000.

UNIVERSIDADE FEDERAL DOS VALES DO MUCURI E JEQUITINHONHA. **Manual de Normalização: Monografias, Dissertações e Teses**. 3. ed. Diamantina: UFVJM, 2019.

VENTURA, B. G. **Estudo e desenvolvimento de sensor de encharcamento de solo**. Dissertação (Mestrado em Mecatrônica) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, Florianópolis, 2017.

VIANA, F. M. **Interpretação da resistividade aparente do solo e estratificação com arranjo de Schlumberger**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica e de Computação) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2016.

VIDAL, F. W. H.; SALES, F. A. C. B.; ROBERTO, F. A. da C.; SOUSA, J. F.; MATTOS, I, C. **Rochas e minerais industriais do estado do Ceará**. Fortaleza, 2005.

WATKINS, J. M.; MENDES, A. F. da S. F. J. C.; PEREIRA, R. S. **Relatório técnico 56 - Perfil de gemas (diamante e gemas de cor)**. 2009.



