



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
LABORATÓRIO DE GEOFÍSICA APLICADA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS APLICADAS E  
GEODINÂMICA

**ANÁLISE DO EFEITO IP EM GARIMPO DE OURO NO GRANITO  
NOVO MUNDO (PAAF)**

Dissertação de Mestrado n° 135

**Alexandre Santos Jeronimo da Costa**

Brasília – DF

2018



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
LABORATÓRIO DE GEOFÍSICA APLICADA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS APLICADAS E  
GEODINÂMICA

**ANÁLISE DO EFEITO IP EM GARIMPO DE OURO NO GRANITO  
NOVO MUNDO (PAAF)**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós  
Graduação em Geociências Aplicadas e  
Geodinâmica do Instituto de Geociências da  
Universidade de Brasília como requisito para a  
obtenção do título de Mestre

Área de Concentração: Geofísica

**Orientador:** Prof. Dr. Welitom Rodrigues Borges

Brasília – DF

2018



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
LABORATÓRIO DE GEOFÍSICA APLICADA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS APLICADAS E  
GEODINÂMICA

**ANÁLISE DO EFEITO IP EM GARIMPO DE OURO NO GRANITO  
NOVO MUNDO (PAAF)**

**Banca Examinadora:**

Prof. Dr. Welitom Rodrigues Borges  
(Instituto de Geociências/UnB – Orientador)

Prof. Dr. Marcelo Henrique Leão Santos  
(Universidade Federal de Goiás)

Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Adalene Moreira Silva  
(Instituto de Geociências/UnB)

Brasília – DF

Dedico essa dissertação ao  
meu filho Théo, uma “misturinha de tapioca com sushi”.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço, inicialmente a Deus, nosso senhor e salvador, pelo dom da vida, pela sua infinita misericórdia e por seu perdão.

Ao professor Welitom Rodrigues Borges pela orientação, dedicação, paciência, confiança e compreensão durante todas as etapas desse trabalho. Pelas conversas, troca de experiências e orientações nessa grande escola da vida.

Ao grande amigo Eduardo, da pós-graduação, que esteve junto desde o primeiro dia dessa jornada. Foi você, Eduardo Xavier Seimetz, que me convidou para integrar o projeto da Província Aurífera de Alta Floresta, que encaramos juntos em todas as etapas e irei te apoiar até o final desse projeto.

Ao Instituto de Geociências da Universidade de Brasília (UnB) pela oportunidade, bem como professores e professoras, servidores e colegas de pós-graduação.

À Companhia Matogrossense de Mineração, pelo apoio logístico e à Cooperativa de Garimpeiros do Vale do Rio Peixoto de Azevedo (COOGAVEPE), pela disponibilidade da área, pelo apoio financeiro, logístico e operacional. Ao professor Antônio João Paes de Barros, pelo apoio e confiança em iniciar um trabalho de Geofísica com pequenos mineradores. Aos geólogos da COOGAVEPE, William Giovanni Zan e Emílio Miguel Junior, e ao presidente dessa cooperativa senhor Gilson G. Camboim.

À Secretaria de Estado de Educação do Distrito Federal pelo suporte financeiro, com a concessão de afastamento remunerado para estudos durante todo o mestrado.

Aos meus familiares e amigos pelo suporte, incentivo e força durante este período. A minha vó materna, Rita, pelo amor, exemplo constante de vida e por todos os momentos de apoio, e à minha sogra, Marisa, pelo apoio com a logística caseira para realizar as saídas de campo e pelas suas intenções diárias no Terço Mariano. Em especial à minha mãe, Marise Jane,

pela educação, amor e presença constante em minha vida. Agradeço aos meus irmãos Arthur e Felipe pelo apoio nesta jornada e ao meu avô materno, Jacinto, (*in memoriam*), esse último um dos maiores exemplos de hombridade que tive.

A minha esposa, Thaisa Tiba, pelo incentivo à entrada no programa de pós graduação de Geofísica Aplicada da Universidade de Brasília, apoio nas horas mais difíceis e pela amor/convivência, que me faz crescer muito.

A todos os colegas de graduação em Física da Universidade de Brasília e, em especial, ao Erico Marx e ao Marcos Guassi. A todos os colegas da graduação em Geofísica da UnB, em especial, ao grande amigo Raphael Teixeira, que sempre esteve disposto a ajudar e pelas boas conversas.

Um agradecimento especial à equipe com a qual trabalhei no campo. Sem o trabalho duro de cada um de vocês esse trabalho dificilmente seria concluído! Muito obrigado!

Aos amigos da escola da vida, Egon Guilherme (Poww), Bruno Vendruscolo (Manso), Higor Filipe (Morbis Destroy) e Júlio César da Silva Marra.

*“Se eu vi mais longe, foi por estar sobre ombros de gigantes.”*

Isaac Newton



## SUMÁRIO

<b>AGRADECIMENTOS.....</b>	<b>ii</b>
<b>LISTA DE ABREVIATURAS.....</b>	<b>x</b>
<b>RESUMO .....</b>	<b>xi</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>xii</b>
<b>CAPÍTULO 1 .....</b>	<b>13</b>
1 INTRODUÇÃO .....	13
1.1 OBJETIVOS .....	14
1.1.1 Objetivos Específicos .....	14
1.2 JUSTIFICATIVAS.....	14
<b>CAPÍTULO 2 .....</b>	<b>16</b>
2 CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL.....	16
2.1 PROVÍNCIA AURÍFERA DE ALTA FLORESTA (PAAF).....	18
<b>CAPÍTULO 3 .....</b>	<b>25</b>
3 ESTADO DA ARTE.....	25
<b>CAPÍTULO 4 .....</b>	<b>28</b>
4 MÉTODOS GEOELÉTRICOS .....	28
4.1 TÉCNICAS DE AQUISIÇÃO DE DADOS .....	28
4.2 ELETORRESISTIVIDADE.....	30
4.3 POLARIZAÇÃO INDUZIDA.....	35
<b>CAPÍTULO 5 .....</b>	<b>41</b>
Resumo .....	42
ABSTRACT .....	43
5.1 Introdução .....	44
5.2 Contexto geológico regional.....	45
5.3 Contexto geológico local .....	48

5.4 Materiais e métodos.....	48
5.5 Resultados.....	54
5.6 Discussão .....	65
5.7 Conclusão .....	66
Agradecimentos .....	67
Bibliografia .....	68
<b>6. Conclusão .....</b>	<b>71</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>72</b>
<b>APÊNDICE .....</b>	<b>77</b>

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 2.1:</b> Distribuição das províncias do Cráton Amazônico (Tassinari e Macambira, 1999), e a localização da PAAF.....	17
<b>Figura 2.2:</b> Distribuição das províncias do Cráton Amazônico (Santos et al., 2006) e a localização da PAAF. ...	17
<b>Figura 2.3:</b> Mapa simplificado da Província Aurífera Alta Floresta, com os principais domínios geológicos e a localização dos depósitos de ouro (adaptado de Souza et al. 2005, e Vasquez e Rosa-Costa 2008).....	19
<b>Figura 2.4:</b> Mapa geológico e estrutural do setor leste da Província Aurífera de Alta Floresta (PAAF; modificado de ASSIS, 2015).....	21
<b>Figura 4.1:</b> Arranjo eletródicos utilizado em ensaios de campo com seus fatores geométricos (LOKE, 2010). ...	29
<b>Figura 4.2</b> Parâmetros usados na definição da resistividade elétrica. ....	30
<b>Figura 4.3:</b> Valores de resistividade elétrica para algumas rochas e materiais (Adaptado de LAGO, 2009). ....	31
<b>Figura 4.4:</b> Injeção de corrente em um ponto na superfície e a distribuição do seu fluxo em subsuperfície (LAGO, 2009).....	32
<b>Figura 4.5:</b> Representação esquemática do fluxo de corrente e o potencial no subsolo para quatro eletrodos em superfície (Adaptado de LAGO, 2009).....	34
<b>Figura 4.6:</b> Geração do efeito de polarização de membrana associado com: (a) estreitamento dentro do canal poroso e (b) partículas de argilas ao longo das paredes dos poros (REYNOLDS, 1997).....	36
<b>Figura 4.7:</b> Esquema de mecanismo de polarização de eletrodo (KEAREY, 2009). ....	37
<b>Figura 4.8:</b> A tensão de decaimento integrada usado como uma medida de cargabilidade $m$ (REYNOLDS, 1997) .....	38
<b>Figura 4.9:</b> Potes porosos não polarizáveis (eletrodos), preenchidos por solução de sulfato de cobre. ....	39
<b>Figura 5.1:</b> Mapa de localização da área de estudo, em destaque no mapa de Mato Grosso a área de estudo. ....	45
<b>Figura 5.2:</b> Mapa simplificado da Província Aurífera Alta Floresta, com os principais domínios geológicos e a localização dos depósitos de ouro (adaptado de Souza et al. 2005 e Vasquez e Rosa-Costa 2008).....	47
<b>Figura 5.3:</b> A tensão de decaimento integrada usado como uma medida de cargabilidade $m$ (REYNOLDS, 1997) .....	51
<b>Figura 5.5:</b> Equipamentos usados para a aquisição dos dados elétricos. (A) Transmissor VIP 3000, e (B) Receptor ELREC-PRO.....	51
<b>Figura 5.7:</b> Perfil da Linha 1 que contém sua localização e distribuição de resistividade elétrica e cargabilidade em subsuperfície gerados pelo processo de inversão. A) Mapa de localização das estações geofísicas sobre a topografia local. B) Seção de resistividade elétrica, obtida por meio de modelagem inversa. C) Seção de cargabilidade, obtida por meio de modelagem inversa. ....	56
<b>Figura 5.8:</b> Perfil da Linha 2 que contém sua localização e distribuição de resistividade elétrica e cargabilidade em subsuperfície gerados pelo processo de inversão. A) Mapa de localização das estações geofísicas sobre a topografia local. B) Seção de resistividade elétrica, obtida por meio de modelagem inversa. C) Seção de cargabilidade, obtida por meio de modelagem inversa. ....	57
<b>Figura 5.9:</b> Mapa de Resistividade do garimpo Raimunda. a) Nivel 1 – profundidade 4m; b) Nivel 2 – profundidade 12m; c) Nivel 3 – profundidade 19m; d) Nivel 4 – profundidade 28m; e) Nivel 5 – profundidade 38m; f) Nivel 6 – profundidade 48m; .....	60
<b>Figura 5.10:</b> Mapa de Cargabilidade do garimpo Raimunda a) Nivel 1 – profundidade 4m; b) Nivel 2 – profundidade 12m; c) Nivel 3 – profundidade 19m com possível zona de mineralização marcada; d) Nivel 4 – profundidade 28m com possível zona de mineralização marcada; e) Nivel 5 – profundidade 38m; f) Nivel 6 – profundidade 48m; .....	61
<b>Figura 5.11:</b> Perfil da Linha 1 que representam os modelos interpretados. A) Modelo litológico interpretado a partir dos dados de resistividade e da sondagem contendo o saprólito e o granito. B) Modelo litológico interpretado a partir dos dados de resistividade e cargabilidade contendo o saprólito, o granito, o solo e a zona mineralizada	63

<b>Figura 5.12:</b> Perfil da Linha 2 que representam os modelos interpretados. A) Modelo litológico interpretado a partir dos dados de resistividade e da sondagem contendo o saprólito e o granito. B) Modelo litológico interpretado a partir dos dados de resistividade e cargabilidade contendo o saprólito, o granito, o solo e a zona mineralizada. ....	64
<b>Figura 7.1:</b> Perfil da Linha 3 que contém sua localização e distribuição de resistividade elétrica e cargabilidade em subsuperfície gerados pelo processo de inversão. A) Mapa de localização das estações geofísicas sobre a topografia local. B) Seção de resistividade elétrica, obtida por meio de modelagem inversa. C) Seção de cargabilidade, obtida por meio de modelagem inversa. ....	77
<b>Figura 7.2:</b> Perfil da Linha 3 que representa a distribuição de resistividade elétrica e cargabilidade em subsuperfície gerados pelo processo de inversão e o modelo interpretado. A) Modelo litológico interpretado contendo o saprólito e o granito. B) Seção de resistividade elétrica, obtida por meio de modelagem inversa C) Seção de cargabilidade, obtida por meio de modelagem inversa.....	78
<b>Figura 7.3</b> Perfil da Linha 4 que contém sua localização e distribuição de resistividade elétrica e cargabilidade em subsuperfície gerados pelo processo de inversão. A) Mapa de localização das estações geofísicas sobre a topografia local. B) Seção de resistividade elétrica, obtida por meio de modelagem inversa. C) Seção de cargabilidade, obtida por meio de modelagem inversa. ....	79
<b>Figura 7.4</b> Perfil da Linha 4 que representa a distribuição de resistividade elétrica e cargabilidade em subsuperfície gerados pelo processo de inversão e o modelo interpretado. A) Modelo litológico interpretado contendo o saprólito e o granito. B) Seção de resistividade elétrica, obtida por meio de modelagem inversa C) Seção de cargabilidade, obtida por meio de modelagem inversa. ....	80
<b>Figura 7.5:</b> Modelo Interpretado de resistividade e cargabilidade em visualização 3D com as linhas realizadas sobre todo o conjunto. ....	81
<b>Figura 7.6:</b> Seções interpretadas sobre o GNM.....	82
<b>Figura 7.7:</b> Seções de resistividade elétrica sobre o GNM.....	82
<b>Figura 7.8:</b> Seções de cargabilidade sobre o GNM.....	83

## **LISTA DE ABREVIATURAS**

COOGAVEPE –Cooperativa de Garimpeiros do Vale do Rio Peixoto de Azevedo

DD – Dipolo dipolo

E – Leste

GNM – Granito Novo Mundo

IP – Polarização Induzida

N – Norte

NE – Nordeste

NW – Noroeste

PAAF – Província Aurífera de Alta Floresta

RES – Eletrorresistividade

S – Sul

SE – Sudeste

SIRGAS – Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas

SW – Sudoeste

UTM – Universal Transversa de Mercator

W – Oeste

MT – Mato Grosso

## RESUMO

A pesquisa foi desenvolvida sobre rochas do Granito Novo Mundo (GNM), Província Aurífera de Alta Floresta (PAAF), situada no município de Novo Mundo, no estado do Mato Grosso. Nessa área, as mineralizações auríferas ocorrem associadas à sulfetos presentes em veios de quartzo que cortam rochas graníticas do GNM.

O objetivo deste projeto é verificar a potencialidade do método de IP no domínio do tempo na identificação de zonas mineralizadas e a sua continuidade, bem como detectar possíveis discontinuidades geoeletricas. Foram utilizados os métodos da eletrorresistividade e da polarização induzida (IP). Neste trabalho será dada abordagem à técnica que se refere a uma análise da cargabilidade média calculada pelo equipamento. A área de aplicação dos métodos geofísicos foi estabelecida a partir de cavas de exploração mineral desenvolvidas no Garimpo da Raimunda. Na aquisição de dados em campo foram realizadas linhas paralelas com o arranjo dipolo-dipolo, o espaçamento entre os eletrodos de vinte metros e foram realizadas dez leituras para cada par AB de eletrodos de corrente (dez níveis). Os dados geoeletricos foram validados através da integração de dados de sondagem realizada a 30 metros da linha de eletrorresistividade, cuja profundidade máxima foi de 150 metros. Na sondagem foram descritos três diferentes litotipos, solo, saprólito e sienogranito. Foi possível identificar três diferentes camadas e uma provável zona mineralizada. A primeira camada identificada como solo seco com valor de resistividade médio de 1500 ohm.m e valores de cargabilidade entre 6 e 18 mV/V; a segunda camada identificada como saprólito com valores de resistividade entre 100 e 600 ohm.m e valor de cargabilidade médio de 24 mV/V; a terceira camada identificada como granito com valores de resistividade maior que 1500 ohm.m e valor de cargabilidade média de 12 mV/V e a zona mineralizada com valor de resistividade de até 100 ohm.m e valor de cargabilidade é superior a 40 mV/V. A partir da interpretação dos dados sugere-se 3 alvos potenciais, um destes alvos considerado de potencialidade 1. Favoravelmente um deve ser perfurado e com potencialidade de ser interceptado com 28 metros.

**Palavras chave:** Província Aurífera de Alta Floresta, eletrorresistividade, cargabilidade, Granito Novo Mundo

## ABSTRACT

The research was developed on the Novo Mundo Granite (GNM), on the Gold Province of Alta Floresta (PAAF), in the municipality of Novo Mundo - MT. In the area, the auriferous mineralizations occur associated with the sulfides present in quartz veins that cut granitic rocks of the GNM. The main purpose of this project is to verify the potential of the IP method in time domain, for the identification of mineralized zones and their continuity, as well as to detect possible geoelectric discontinuities. In the geophysical research the methods of eletroresistivity and induced polarization (IP) were used. In this work will be given the technique that refers to an analysis of the average chargeability calculated by the equipment. The area of application of the geophysical methods was established from the pit of mineral exploration developed in the *Garimpo da Raimunda*. For the field data acquisition, parallel lines were made with the dipole-dipole array, using space of 20 meter between the electrodes and ten simultaneous readings (10 levels). It was possible to identify three different layers and a probable mineralized zone, the first layer being the dry soil with a mean resistivity value of 1500 ohm.m and chargeability values ranging from 6 to 18 mV/V, the second layer being the saprolite with values of resistivity varying between 100 and 600 ohm.m and average chargeability value of 24 mV/V, the third layer as granite with values of resistivity greater than 1500 ohm.m and average chargeability value of 12 mV/V and mineralized zone with a resistivity value of up to 100 ohm.m and a chargeability value greater than 40 mV/V. For the validation of the geophysical data was used the information of a drill hole, carried out 30 m away from the eletroresistivity line, its maximum depth was of 150 m. In the survey three different lithotypes, soil, saprolite and sienogranite were described. From the results it is recommended to perform two drill holes to verify the mineralized zone described.

**Key words:** Gold Province of Alta Floresta, eletroresistivity, Granite Novo Mundo

## **CAPÍTULO 1**

### **1 INTRODUÇÃO**

A procura por ouro no Brasil remonta a história colonial com a atividade dos bandeirantes e as primeiras descobertas em Minas Gerais, Goiás e Mato Grosso. Em Mato Grosso, a exploração aurífera iniciou na região da Baixada Cuiabana em 1716, com a descoberta de minas de ouro no rio Coxipó - Mirim (CÂMARA et al., 1996).

A atividade garimpeira no centro norte do estado teve início com a abertura da rodovia BR163 que interliga Cuiabá (MT) à Santarém (PA). Nessa região, as primeiras ocorrências auríferas aconteceram no rio Peixoto de Azevedo, em 1978, onde a produção atingiu o auge em 1989, e entrou em franco declínio com a edição de medidas econômicas da primeira metade da década de 90 (Plano Collor). Entre 1980 e 1999, a produção de ouro nos limites da Província Aurífera de Alta Floresta (PAAF) foi da ordem de 160 toneladas (BARROS, 2007).

Na segunda metade da década de noventa, com a descoberta das fontes primárias, teve início na região um novo ciclo de exploração que se prolonga até a atualidade. É importante ressaltar que a descoberta de depósitos primários é um trabalho difícil, visto que o solo presente na PAAF é espesso e geralmente não existem afloramentos ou, quando existem, estão em um estágio de intemperismo muito avançado, o que dificulta as caracterizações geológicas. Decorre daí a necessidade da utilização de métodos geofísicos para a prospecção de novas jazidas e do desenvolvimento das jazidas exploradas.

A geofísica identifica assinaturas anômalas criadas num campo físico específico anômalo na distribuição de propriedade física no subsolo ao qual é sensível e o determina. Desse modo, usa-se a geofísica na exploração mineral desde que existam variações em propriedades físicas associadamente ao alvo da exploração que sejam passíveis de se enquadrarem na definição anteriormente apresentada. Com isso considera-se que a identificação da assinatura anômala dos depósitos primários auríferos da PAAF, associe-se às altas cargabilidades e baixas resistividades.

Algumas pesquisas desenvolvidas na PAAF (ASSIS, 2011; BARROS, 2007; CUNHA, 2015; RAMOS, 2011; RODRIGUES, 2012; SERRATO, 2014; TEIXEIRA et al., 2014) não tiveram como foco a solução de tal problema e sim a caracterização geológica, estrutural e metalogenética da província. Nos trabalhos de MIRANDA (2010) e AGNOLETTO (2013) em que foram apresentados resultados de métodos elétricos, não houve discussão e individualização entre a cobertura pedológica, o saprólito, a rocha e os corpos mineralizados.

Apesar de evidente potencial mineral, esta área ainda contém pequeno acervo bibliográfico e poucos trabalhos de geofísica terrestre, necessitando do entendimento em relação ao contexto geotectônico e do detalhamento das unidades aflorantes. Devido às raras exposições de afloramentos na PAAF, torna-se necessária a utilização da geofísica para investigar o subsolo em regiões de interesse mineral.

Nesse contexto, o presente trabalho visa aprofundar a caracterização do sinal geoeletrico associado aos depósitos primários da região.

## **1.1 OBJETIVOS**

O presente trabalho tem como objetivo principal verificar a aplicabilidade do método da polarização induzida no domínio do tempo, na prospecção de zonas mineralizadas em ouro que ocorrem no Granito Novo Mundo.

### **1.1.1 Objetivos Específicos**

- Verificar a cargabilidade geral em subsuperfície, e diferenciar a polarização de membrana da polarização de eletrodo,
- Analisar a cargabilidade do meio/solo/subsolo usando a cargabilidade geral calculada pelo aparelho,
- Melhorar a compreensão litológica da área com modelos geológicos/geofísicos obtidos com as respostas geofísicas,
- Verificar continuidade do corpo mineralizado à norte e à sul de uma antiga cava garimpeira.

## **1.2 JUSTIFICATIVAS**

O papel da geofísica na exploração mineral se expandiu rapidamente nas últimas décadas, seja pelo maior acesso à informação dos pequenos mineradores, seja pela maior oferta de serviços ou até mesmo pelo desenvolvimento da tecnologia. Atualmente, apesar da geofísica

ter sua importância reconhecida, na prática, ainda existem barreiras culturais à sua aceitação na área de exploração mineral.

O método de polarização induzida é capaz de detectar pequenas quantidades de minerais metálicos em uma massa de rocha, além de vasta aplicação em outras situações. Desta maneira, o levantamento de IP no domínio do tempo tornou-se um dos métodos mais populares para prospecção aurífera.

A eficiência deste trabalho contribuirá com o desenvolvimento de uma melhor gestão da atividade garimpeira na região, o que minimizará os impactos ambientais gerados pela remoção da cobertura vegetal.

A principal motivação deste trabalho é, portanto, verificar a aplicabilidade do método na PAAF e, assim, aumentar a consciência geofísica na área da mineração com uma ferramenta que pode anteceder uma campanha de sondagem e, por conseguinte, minimizar o impacto ambiental no local com um melhor gerenciamento do subsolo.

## CAPÍTULO 2

### 2 CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL

A PAAF está inserida no Cráton Amazônico e embora a evolução deste seja um tema bastante controverso, a hipótese mais aceita seria de que durante o Arqueano, Paleo e Mesoproterozóico, teriam ocorrido processos de subducção com geração de sucessivos arcos magmáticos e conseqüente formação de material juvenil, além de processos de retrabalhamento crustal (CORDANI *et al.*, 1979; TEIXEIRA *et al.*, 1989; TASSINARI e MACAMBIRA, 1999). Existem dois modelos de classificação das províncias do Cráton Amazônico, a primeira por Tassinari e Macambira (1999), e a segunda por Santos *et al.* (2000; 2001).

Segundo Tassinari e Macambira (1999), o Cráton Amazônico (CA) corresponde a um segmento crustal estabilizado por volta de 1.0 Ga e limitado pelas Faixas Móveis Neoproterozóicas de Tucavaca (Bolívia), Araguaia-Cuiabá (Brasil Central), e Tocantins, no norte do país. Ainda de acordo com esses autores, o Cráton Amazônico pode ser dividido em seis províncias geocronológicas principais (**Figura 2.1**): Amazônia Central (> 2.3 Ga), Maroni-Itacaiúnas (2.2-1.95 Ga), Ventuari-Tapajós (1.95-1.8 Ga), Rio Negro-Juruena (1.8-1.55 Ga), Rondoniana-San Ignácio (1.55-1.3 Ga) e Sunsás (1.3-1.0 Ga).

Santos *et al.* (2000; 2001) propuseram a existência de duas províncias geológicas denominadas Tapajós-Parima (2,1-1,87 Ga) e Rondônia-Juruena (1,8-1,5 Ga), que correspondem com pequenas modificações em área, respectivamente, às províncias geocronológicas Ventuari-Tapajós (PVT) e Rio Negro-Juruena (PRNJ), segundo Tassinari e Macambira (1999). Santos *et al.* (2001) admitem que a faixa paleoproterozóica Tapajós-Parima (2040-1880 Ma) foi gerada a partir de duas orogêneses distintas (Mundurucus e Tropas), envolvendo ainda, segundo esses autores, cinco arcos magmáticos (Cuiú-Cuiú, Jamaxim, Creporizão, Tropas e Parauari) e quatro domínios (Peixoto de Azevedo, Tapajós, Uaimiri e Parima). Segundo os autores supracitados, essas quatro regiões correspondem aos domínios orogênicos do orógeno Tapajós-Parima formado entre 2,05 e 1,88 Ga (**Figura 2.2**).

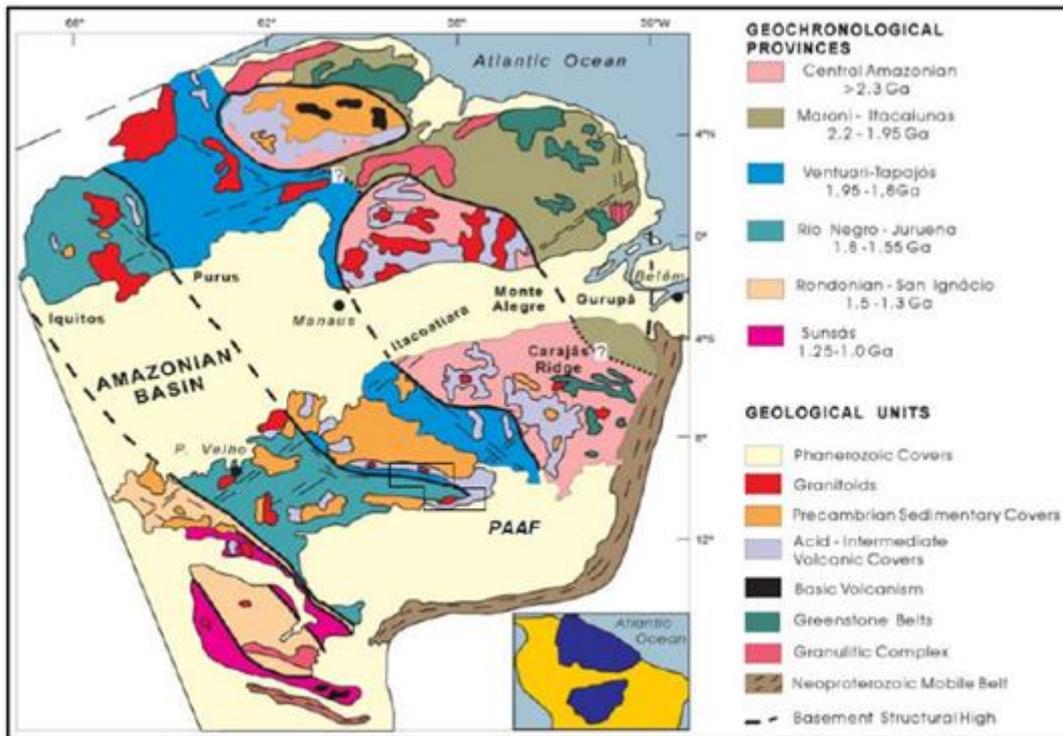


Figura 2.1: Distribuição das províncias do Cráton Amazônico (Tassinari e Macambira, 1999), e a localização da PAAF.

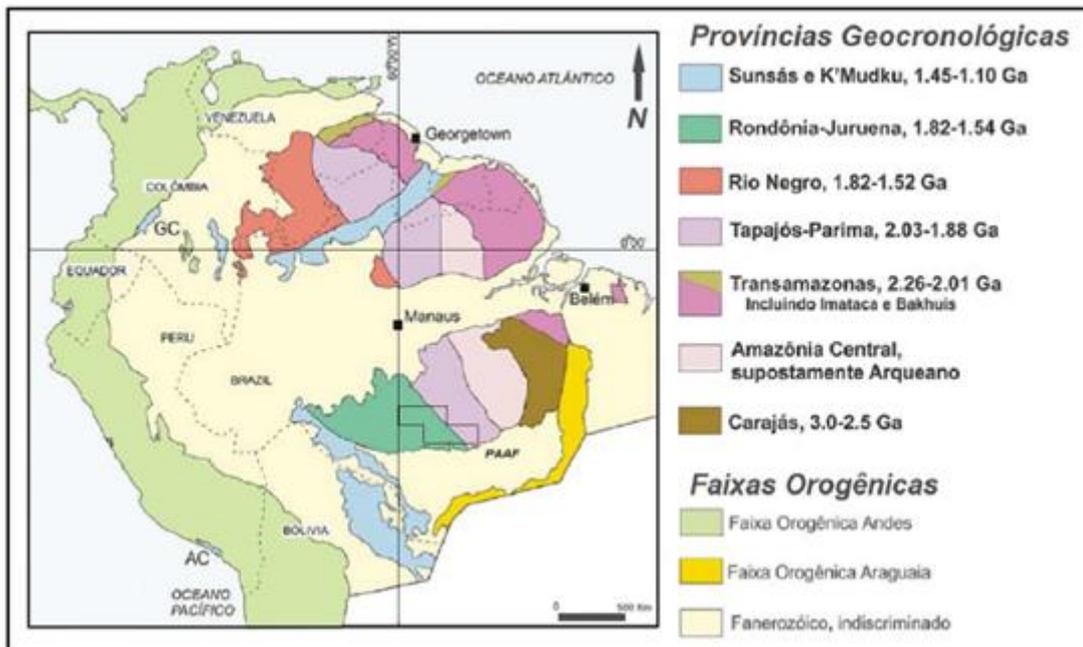


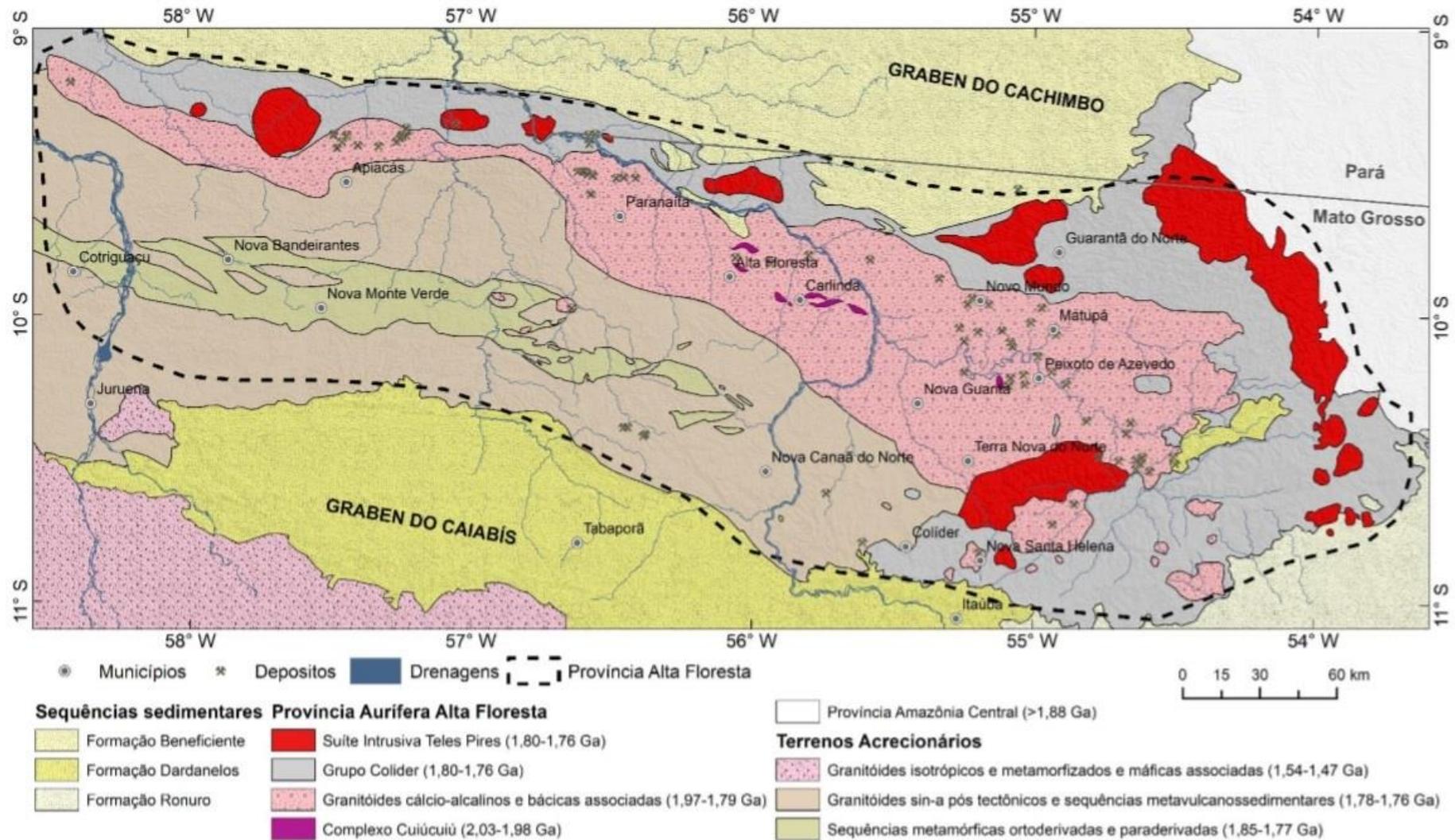
Figura 2.2: Distribuição das províncias do Cráton Amazônico (Santos et al., 2006) e a localização da PAAF.

## 2.1 PROVÍNCIA AURÍFERA DE ALTA FLORESTA (PAAF)

Os primeiros trabalhos que tiveram como objetivo o entendimento da gênese e dos controles dos depósitos auríferos primários da Província Aurífera de Alta Floresta (PAAF) foram desenvolvidos por Abreu Filho *et al.* (1992) e Barros (1994), na região de Peixoto de Azevedo. Nesses trabalhos, os autores descreveram os aspectos geológicos e estruturais dos principais depósitos auríferos primários existentes na região (CPRM, 2008).

A Província Aurífera de Alta Floresta localiza-se na porção centro-sul do Cráton Amazônico, no setor centro-norte do Estado do Mato Grosso, onde configura uma área alongada no sentido noroeste-sudeste, limitada a norte pelo Gráben do Cachimbo, que a separa da Província Aurífera do Tapajós, e ao sul pelo Gráben dos Caiabis. Sendo definida como uma faixa constituída por suítes plutono-vulcânicas, do Paleo ao Mesoproterozóico, que se estende por mais de 500 km na direção NW-SE no setor meridional do Cráton Amazônico e que abrange a porção centro-norte do Estado de Mato Grosso (**Figura 2.3**). O seu embasamento, ora denominado Complexo Xingu, ainda é pouco conhecido devido à escassez de afloramentos e os limites imprecisos da Província Amazônia Central (SOUZA *et al.* 2005; PAES DE BARROS, 2007; SILVA e ABRAM, 2008). Independentemente do modelo adotado, essas províncias são interpretadas como produtos de sucessivos processos de orogênese oceano-oceano com a criação de crosta juvenil que evoluiu pela diferenciação gerando magmas intermediários a félsicos.

As ocorrências e depósitos auríferos da Província Aurífera Alta Floresta (PAAF) encontram-se limitados por descontinuidades estruturais de amplitude regional e direção aproximada W-NW. Ocorrem dois alinhamentos principais, um acompanhando a borda sul do Gráben do Cachimbo e outro, a borda norte do Gráben dos Caiabis. Por outro lado, as mineralizações auríferas da região de Peixoto de Azevedo – Novo Mundo evidenciam outro alinhamento segundo a direção NW, estendendo-se da região garimpeira do Trairão, a norte, até a região garimpeira do Peru (PAES DE BARROS, 2007).



**Figura 2.3:** Mapa simplificado da Província Aurífera Alta Floresta, com os principais domínios geológicos e a localização dos depósitos de ouro (adaptado de Souza et al. 2005, e Vasquez e Rosa-Costa 2008)

Na região de Peixoto de Azevedo-Novo Mundo, as associações orogênicas não são similares às do arco Cuiú-Cuiú. As rochas gnáissicas nessa região são restritas e não tem registro de associações características de arcos vulcânicos de margem continental, nem de granitos que identificam uma tectônica colisional. Nessa região predominam granitos e vulcânicas de idade Proterozóica com sequências sedimentares associadas e a deformação concentra-se principalmente ao longo de zonas de cisalhamento (PAES DE BARROS, 2007). Algumas dessas constatações induziram Paes de Barros (1994) a presumir a existência de porções de crosta arqueana na região de Peixoto de Azevedo - Novo Mundo, provavelmente, correlacionável à região de Rio Maria (PA), na porção sul da Província Amazônia Central (PAC), onde são reconhecidos terrenos arqueanos (PAES DE BARROS, 2007).

No setor Leste da PAAF, principalmente, na região que abrange as cidades de Nova Santa Helena, Peixoto de Azevedo, Matupá, Guarantã do Norte e Novo Mundo, concentra-se uma quantidade significativa de depósitos auríferos ao longo de um cinturão de direção NW. Nessa região, esses depósitos ocorrem na forma de veios, sistemas de veios em *stockwork* ou disseminados em rochas de composição granítica (ASSIS, 2011).

Às ocorrências e depósitos auríferos da região de Peixoto de Azevedo - Novo Mundo associa-se uma geração mais antiga de depósitos de ouro, localmente representada por filões sinuosos, com extensões médias de 200 a 700 metros, alojados principalmente em gnaisses, xistos e anfibólitos admitidos como sendo do Complexo Xingu.

Paes de Barros (2007) com base em reconhecimentos de campo, dados geoquímicos e geocronológicos reconhece, para a região de Peixoto de Azevedo-Novo Mundo, distintas unidades geológicas não descritas em trabalhos anteriores, e estabelece a seguinte sequência:

(i) Granitóides do Embasamento, (ii) Granito Novo Mundo, (iii) Granito Juruena, (iv) Granito Matupá, (v) Granito Nhandu, (vi) Básicas e Intermediárias Indiferenciadas, (vii) Suíte Vulcano-Plutônica Teles Pires e (viii) Granito Teles Pires (**Figura 2.4**).

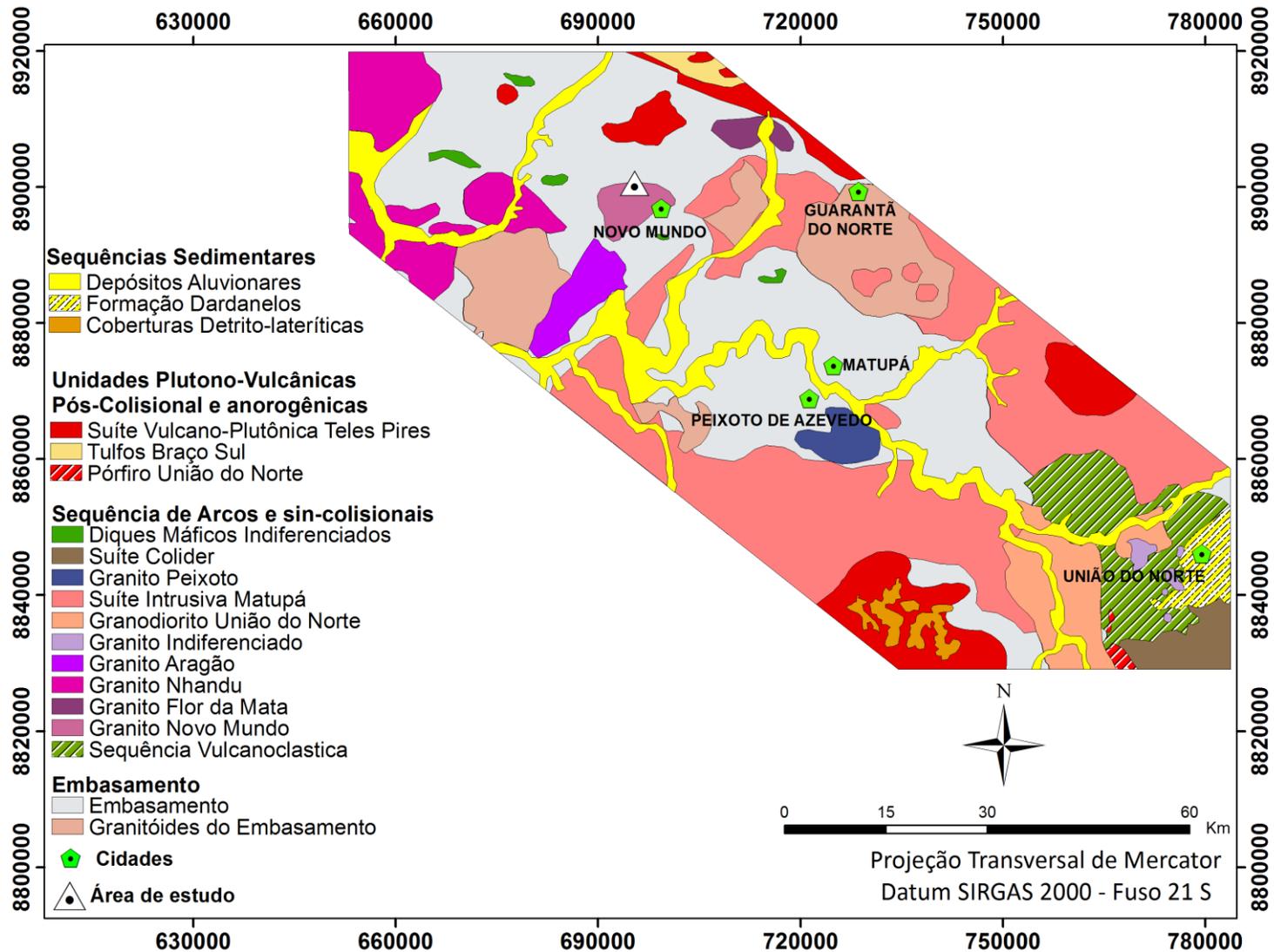


Figura 2.4: Mapa geológico e estrutural do setor leste da Província Aurífera de Alta Floresta (PAAF; modificado de ASSIS, 2015).

Segundo Paes de Barros (2007), as zonas de cisalhamento dúctil, transcorrentes e com cinemática sinistróginas afetam as rochas desse embasamento, configurando faixas alinhadas de direção NW-SE, com espessura variável, formas sinuosas e anastomosadas que contornam porções menos deformadas. Esse arranjo estrutural constitui um dos principais controles determinantes para o alojamento de grande parte dos depósitos auríferos filoneanos, de maior porte e admitidos como os mais antigos da região.

Em referência a modelos genéticos, as mineralizações primárias de ouro da PAAF, particularmente, as hospedadas em suítes graníticas do Paleoproterozóico, têm sido interpretadas como similares às do tipo Cu-Au pórfiro (COUTINHO et al., 1998; MOURA, 1998) e orogénico ou lode mesotermal (PAES DE BARROS, 1994; SANTOS *et al.*, 2001).

## 2.2 MINERALOGIA DO OURO NA PAAF

Segundo Bittencourt et. al (2015), a maioria dos depósitos de ouro e ocorrências reconhecidas na PAAF estão concentradas ao longo de uma faixa de direção NW – SE, que se estende por aproximadamente 150 km. Com base no modo de ocorrência, na associação mineralógica e na assinatura geoquímica, esses depósitos são classificados como:

- (1) Disseminado;
- (2) Veio de quartzo com associação Au+Cu.
- (3) Veio de quartzo com associação Au + metais básicos.

As principais rochas hospedeiras incluem tonalitos, sienogranitos e monzogranitos (1.97 Ga, 1.90 Ga e 1.87 Ga), granitos porfiríticos (1.78 a 1.75 Ga) e rochas do embasamento (2.0 Ga para 1.98). Em alguns depósitos, aplitos e intrusões máficas de idades desconhecidas podem conter mineralização de ouro (BITTENCOURT *et al.*, 2015).

No garimpo da Raimunda que foi o foco deste trabalho o modo de ocorrência é veio.

### 2.2.1 Depósitos de Au Disseminado

Os depósitos Luizão (PAES DE BARROS, 2007), Serrinha (MOURA, 1998), Juruena (SERRATO, 2014), X1 (RODRIGUES, 2012) e Pé Quente (ASSIS, 2011) são os principais exemplos de depósitos de ouro disseminados. Os granitos Novo Mundo e Matupá hospedam os depósitos Luizão e Serrinha, enquanto os depósitos X1 e Pé Quente são hospedados pelo Granito Guarantã. O depósito Juruena é hospedado por biotita monzogranito, biotita monzogranito porfirítico e microgranito, possivelmente pertencentes ao Granito Paranaíta. Esses granitos são do tipo I, oxidados, sub-alcalinos a cálcio-alcalinos, metaluminosos a

ligeiramente peraluminosos de médio a alto potássio com composições que variam de sienito a monzogranito (por exemplo, Novo Mundo e granitos Juruena) e granodiorito a tonalito (Granito Guarantã).

Os corpos de minério desses depósitos ocorrem dentro de zonas de alteração representadas por moscovita (fengita), sericita, quartzo e clorita, envolvidas por alteração potássica (ortoclásio + microclínio  $\pm$  hematita), e alteração propilitica mais regional. As zonas de minério desses depósitos de ouro disseminadas contém predominantemente pirita com concentrações variáveis de calcopirita e hematita, em menor quantidade estão presentes barita, galena, esfalerita, monazita, torita, molibdenita, pirrotita e cubanita. O ouro geralmente ocorre como pequenas inclusões dentro da pirita, em suas bordas ou como preenchimento de fratura.

As idades modelo obtidas pelo método de datação Re-Os dos minerais de pirita e molibdenita, obtidas para os depósitos de Au  $\pm$  Cu disseminados são  $1787 \pm 6.2$  Ma (Luizão) de  $1787 \pm 5.5$  Ma (Pé Quente) e  $1786 \pm 5$  Ma (X1; ASSIS, 2015).

### 2.3 CONSIDERAÇÕES GEOLÓGICAS/GEOCRONOLÓGICAS SOBRE OS DEPÓSITOS DA PAAF

A proximidade espacial entre plútons graníticos oxidados do tipo A e do tipo I, intrudidos em um contexto de arco vulcânico (e subordinado dentro de um estágio inicial de pós-colisão), os tipos e a distribuição das zonas de alteração hidrotermal, a associação do mineral do ouro, as assembleas de inclusões fluidas e a assinatura isotópica sugerem que depósitos de ouro de PAAF foram formados em sistemas magmáticos-hidrotermais, que se desenvolveram em diferentes níveis da crosta terrestre, incluindo porções distais do sistema a partir da origem magmática (Bittencourt et al., 2015).

Os depósitos disseminados e depósitos do tipo veio de Au  $\pm$  Cu tendem a se formar em níveis mais profundos da crosta terrestre, em pressões de 1 kbar a 3,6 kbar, enquanto que os depósitos de Au + metais base podem ter sido originados no nível epizonal ( $\sim 0,7$  kbar). Os dados também sugerem uma forte assinatura magmática para os sistemas de Au, enquanto que os fluidos externos, essencialmente de origem meteórica, podem ter interagido com fluidos magmáticos nos sistemas de minério de veios de Au + metal base. Portanto, as características geológicas dos sistemas Au  $\pm$  Cu são semelhantes aos relacionados à mineralizações do tipo pórfiro mas originadas em níveis crustais mais profundos, enquanto que os depósitos Au + metais base mostram muitas semelhanças com sistemas epitermais de baixa a média sulfetação (BITTENCOURT *et al*, 2015).

As idades para pirita e molibdenita sendo usado o método de datação radiométrica por rênio-osmio (Re-Os) para os depósitos de ouro disseminados e as idades da sericita com argônio-argônio ( $^{40}\text{Ar} - ^{39}\text{Ar}$ ) para depósitos de veio de Au + metais base são as primeiras relações geocronológicas sobre o período da metalogênese na PAAF. Estes dados, dentro de suas respectivas incertezas, sugerem as idades de cristalização do microgranito Juruena ( $1792 \pm 5.8$  Ma), quartzo-feldspato pórfiro X1 ( $1773 \pm 5.7$  Ma) e do pórfiro da União do Norte ( $1775 \pm 7.5$  Ma; depósito Francisco). Isso reforça a importância da atividade magmática-hidrotermal relacionada com pórfiros no interior da província. Esta relação também pode ser estendida para o depósito Pé Quente, onde diques subvulcânicos de sienito/quartzo e sienito com minério disseminado são frequentemente observados (BITTENCOURT *et al*, 2015).

## CAPÍTULO 3

### 3 ESTADO DA ARTE

O método de polarização induzida (IP) é comumente aplicado na exploração mineral em fases avançadas da pesquisa, sobretudo nas referentes à prospecção de ouro e de metais base. Os dados obtidos com a utilização do IP costumam orientar e anteceder as campanhas de sondagem (KEAREY, 2002).

Langore et al (1989) utilizou uma série de métodos geofísicos no programa de exploração de sulfeto de cobre na Albânia tais como o elétrico, o magnetométrico, o gravimétrico e o eletromagnético. Segundo o autor, os métodos que mais se destacaram foram Polarização Induzida (IP) e o Turan. Em muitos casos, as anomalias de IP foram observadas em minérios contendo cromita. Muitas vezes, essas anomalias eram maiores que o pacote de minério devido ao envelope, que apresenta os mesmos parâmetros IP que o minério. Em alguns casos, as anomalias de IP também foram associadas à rochas ultramáficas.

Sultan (2009) fez perfis de IP nas ocorrências de ouro e sulfetos disseminados que são parte da zona de falha de cisalhamento e se estende do norte para o sul da área de estudo por um comprimento de 25 km. O ouro e os sulfetos disseminados estão localizados na zona de cisalhamento de alteração, que é composta por rochas quartzo feldspáticas altamente ferruginosas (*gossans*) e ocupam as partes leste e central da área. As análises mineralógicas, que foram feitas em amostras rochosas das zonas oxidadas e de alteração, indicaram a existência de dois pontos anômalos de teor de ouro. O levantamento de resistividade em gradiente foi realizado simultaneamente com medições de IP e as zonas de baixa resistividade coincidiram com as meta-vulcânicas ácidas alteradas. As anomalias positivas no mapa de capacidade de IP coincidiram com os locais de alterações e zonas de contato.

Moreira (2011) aplicou o método de IP em ocorrência mineralizada de carbonatos de cobre na Bacia Sedimentar do Camaquã – RS. As anomalias de alta, média e baixa resistividade

encontradas foram correlacionadas às áreas com silicificação, zonas de carbonatação e concentrações de sulfetos disseminados, respectivamente.

Best (2015) realizou levantamentos de resistividade/IP em nove depósitos minerais no Yukon (Canadá). Os objetivos do estudo eram investigar se os levantamentos de resistividade e de IP, de alta resolução, mapeariam as mineralizações e as estruturas associadas a depósitos conhecidos, além de determinar quais eram os arranjos mais diagnósticos para cada depósito. O estudo incluiu um depósito de cobre pórfiro, um depósito de veio de chumbo-zinco-prata e vários tipos de mineralizações de ouro. Os resultados da inversão dos dados mostraram que as pesquisas são capazes de produzir seções de IP e resistividade que, geralmente, se correlacionam com a mineralização e a estrutura dos depósitos conhecidos.

No entanto, diferentes arranjos ao longo de um determinado perfil apresentaram diferenças significativas. O estudo concluiu que o método empregado pode ser efetivo para mapear uma gama de depósitos minerais. Entretanto, é necessário ter cuidado ao interpretar os resultados de inversão porque podem “haver ruídos” nos dados e nem todos os valores anômalos de resistividade e de cargabilidade devem ser associados à mineralização ou à estrutura. Segundo Best (2015), os arranjos mais eficazes para os levantamentos foram o dipolo-dipolo e Schlumberger.

Zonge e Wynn (1975) e Zonge *et. al* (2005) usaram o IP espectral (SIP) para classificar diferentes zonas de alteração e para distinguir sulfetos não econômicos, como a pirita e a calcopirita.

Balia *et. al* (1994) apresentou uma pesquisa de polarização induzida espectral realizada em um local de testes de mineração na Sardenha (Itália). Segundo o autor, as medidas foram desenvolvidas ao longo de um perfil usando uma matriz de dipolo-dipolo. Os resultados obtidos por meio do processo de transformação e inversão confirmaram que, no que diz respeito à Polarização Induzida clássica, o SIP permite uma melhor discriminação de algumas características importantes dos depósitos minerais, como o conteúdo mineral e o tamanho do grão.

Rêgo *et. al* (2001) realizou levantamentos de polarização induzida espectral aplicado na minas de ouro de Igarapé em Carajás - PA. Segundo esse autor, o método possibilitou a análise detalhada de áreas pré-selecionadas desse município por meio de levantamentos de polarização induzida. Foi útil para a modelagem e compreensão de anomalias de cargabilidade no depósito Breves. Permitiu também a identificação de diferentes tipos de anomalias, de modo a distinguir entre as que são relacionadas às concentrações de sulfetos disseminados das relacionadas ao

efeito de polarização da membrana, bem como as anomalias relacionadas à rochas compostas predominantemente por minerais de argila das que são compostas por material carbonático e manganífero.

Stuart e Dentith (2003) aplicaram o método de IP no domínio da frequência no Kapunda (sul da Austrália), onde se hospedam depósitos sedimentares de cobre (mineração iniciada em meados de 1800). Na década de 1960, as pesquisas em Kapunda foram retomadas na busca de possíveis extensões da mineralização. Devido à falta de afloramentos, a geofísica desempenhou um papel significativo neste programa, em particular, o método de polarização induzida que foi utilizado para procurar a mineralização de sulfetos primários do minério de Kapunda.

A interpretação desses dados baseou-se em grande parte no cálculo de um fator de metal, além da reinterpretação desses dados usando a inversão do PFE que revelou informações adicionais sobre a estrutura das zonas mineralizadas e levou à identificação de vários alvos para a mineralização de cobre.

## **CAPÍTULO 4**

### **4 MÉTODOS GEOELÉTRICOS**

Os métodos geométricos são amplamente utilizados em todo o mundo e em diversas áreas do conhecimento. Sua abrangência vai desde levantamentos unicamente acadêmicos a levantamentos aplicados aos campos da engenharia, hidrogeologia, geologia ambiental, prospecção mineral entre outros.

O trabalho em questão usará os métodos da eletrorresistividade para determinar os contrastes das camadas geológicas e o método da polarização induzida no domínio do tempo (cargabilidade) em uma tentativa de melhor localizar as zonas mineralizadas.

#### **4.1 TÉCNICAS DE AQUISIÇÃO DE DADOS**

As técnicas de aquisição de dados geométricos classificam-se em três tipos principais: Sondagem Elétrica Vertical (SEV), Caminhamento Elétrico (CE) e Perfilagem Elétrica de Poço (PEP). A diferença entre estas técnicas está no procedimento dos ensaios, ou seja, na disposição dos eletrodos na superfície do terreno ou interior de furos de sondagens e na maneira de desenvolvimento da investigação.

Neste trabalho utilizou-se a técnica de investigação do caminhamento elétrico 2D. A técnica do caminhamento elétrico aplica-se principalmente em situações cujos objetivos das pesquisas visam determinar discontinuidades laterais nos materiais geológicos, tais como: diques e “sills”, contatos geológicos, fraturas e falhas, plumas de contaminação e corpos mineralizados (Kearey, 2009).

##### **4.1.1 Arranjos eletródicos**

De acordo com Habberjam (1979), existem diversas configurações de eletrodos para se executar um levantamento de dados elétricos. A escolha do arranjo de eletrodos depende do tipo de estrutura a ser mapeada, da sensibilidade do equipamento de medida e do nível de ruído

na área estudada. Na prática, os fatores levados em conta para realização de uma aquisição utilizando o método de eletrorresistividade são a profundidade de investigação, a sensibilidade do arranjo para variações laterais e verticais de resistividade, a cobertura horizontal dos dados e a intensidade do sinal (LOKE, 2010).

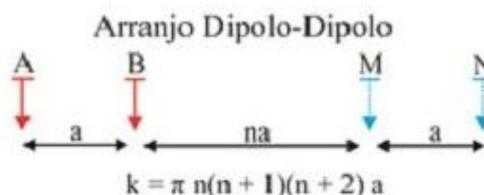
Para a escolha ideal do arranjo e o espaçamento entre os eletrodos em investigações através dos métodos das eletrorresistividade e IP vários fatores devem ser avaliados como profundidade e geometria do alvo, razão sinal/ruído, melhor resolução lateral e em profundidade bem como outros fatores não menos importantes.

O arranjo de eletrodos utilizado neste trabalho foi o dipolo dipolo (**Figura 4.1**). Nesse arranjo, os eletrodos de potencial e de corrente são dispostos aos pares (dipolos) com espaçamento “a” igual entre os eletrodos. Cada par é separado por um múltiplo do espaçamento entre os eletrodos (na), o aumento da distância entre os pares, relacionado com os níveis de investigação em profundidade, ou seja, quanto maior esta distância, maior a profundidade de investigação.

Tal arranjo é muito sensível às mudanças horizontais de resistividade mas relativamente insensível às mudanças verticais, ou seja, é considerado eficiente na identificação de estruturas verticais (diques e cavidades), embora apresente um desempenho relativamente baixo na detecção de estruturas horizontais, tais como soleiras (sills) e camadas sedimentares (LAGO, 2009).

Uma de suas vantagens é o fato de ser um arranjo simétrico e, como resultado desta simetria, o correto posicionamento de uma anomalia se torna mais fácil em relação ao arranjo pólo dipolo (GANDOLFO e GALLAS, 2007).

Uma possível desvantagem ao utilizar esse arranjo é a baixa intensidade do sinal para grandes valores do fator “n”, ou seja, com o aumento do espaçamento entre os dipolos. Segundo LOKE (2010), a voltagem é inversamente proporcional ao cubo do fator “n”, e uma forma de minimizar este efeito é aumentar o espaçamento “a” entre os eletrodos do mesmo dipolo sempre que o espaçamento entre os dipolos se tornar muito grande.



**Figura 4.1:** Arranjo eletródicos utilizado em ensaios de campo com seus fatores geométricos (LOKE, 2010).

## 4.2 ELETORRESISTIVIDADE

O método da eletorresistividade é fundamentado no estudo do potencial elétrico, tanto dos campos naturais quanto dos campos artificiais. Por meio de medições do potencial elétrico na superfície, é possível determinar no subsolo a existência de corpos minerais e reconhecer estruturas geológicas (TELFORD *et al.*, 1990).

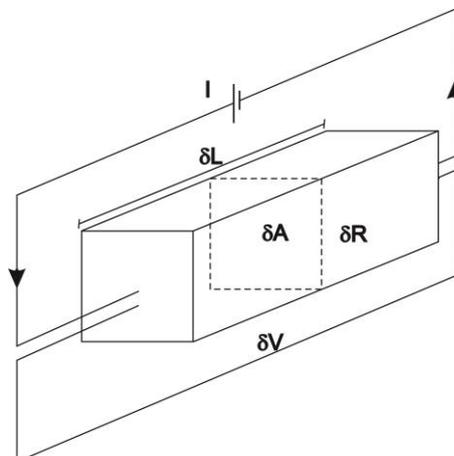
O método consiste basicamente em determinar a resistividade elétrica dos materiais que, por sua vez, apresentam como uma de suas propriedades fundamentais e que é singular a cada litologia ou condições geológicas da área.

### 4.2.1 Propriedade Elétrica dos Materiais

A eletorresistividade é um método geofísico que utiliza correntes elétricas aplicadas diretamente no solo e a diferença de potencial resultante gerada em subsuperfície, sendo possível obter medidas das propriedades elétricas do meio (KEAREY *et al.*, 2009).

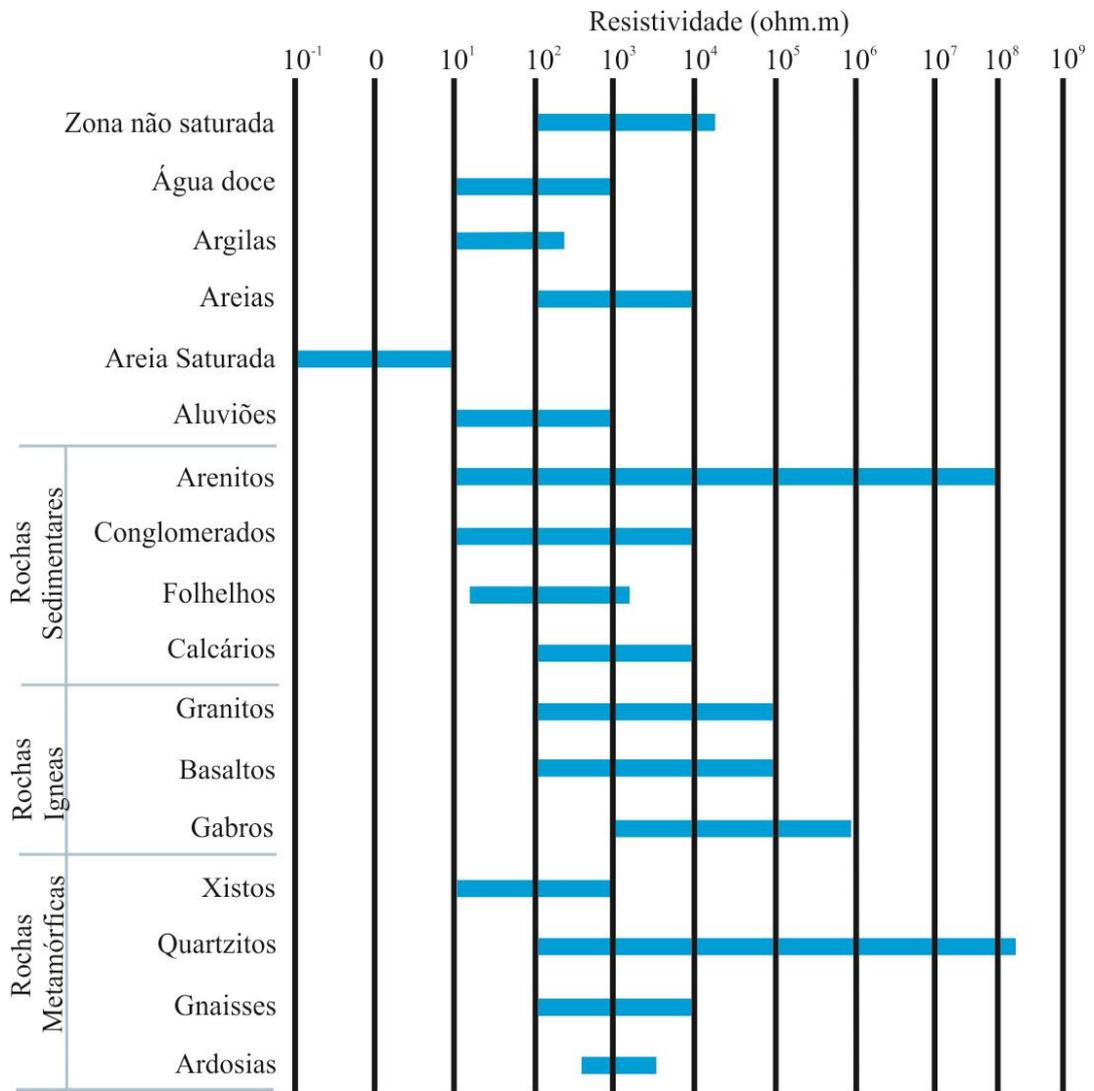
A principal propriedade elétrica medida com este método é a resistividade elétrica (ou o seu oposto, a condutividade elétrica). Segundo Milson (2003), a resistividade elétrica pode ser definida como a resistência em ohms ( $\Omega$ ) entre as faces opostas de um cubo unitário de um determinado material. A unidade no Sistema Internacional de Unidades (SI) é “ohm vezes metro” ( $\Omega.m$ ). Para um cubo de material condutor com resistência elétrica  $\delta R$ , comprimento  $\delta L$  e área de seção transversal  $\delta A$  (**Figura 4.2**), a resistividade  $\rho$  é dada pela Equação 4.1.

$$\rho = \frac{\delta R \delta A}{\delta L} \quad (\text{Eq. 4.1}).$$



**Figura 4.2** Parâmetros usados na definição da resistividade elétrica.

A resistividade e a condutividade das rochas foram descobertas por Gray e Wheeler (1720 *apud* ORELLANA 1972) e Watson (1746 *apud* ORELLANA 1972). Diversos fatores influenciam o valor da resistividade elétrica em subsuperfície, entre eles a composição mineralógica da área, a porosidade do meio, a quantidade de água presente nos poros e a quantidade de sais dissolvidos na água. Dentre estes fatores, a quantidade de água nos poros e a salinidade dessa água são considerados os mais importantes, e o aumento dos mesmos leva a uma diminuição nos valores da resistividade do meio (McNEIL, 1990; TELFORD *et al.*, 1990). A **Figura 4.3** mostra intervalos de resistividade elétrica de alguns materiais e rochas.



**Figura 4.3:** Valores de resistividade elétrica para algumas rochas e materiais (Adaptado de LAGO, 2009).

No geral, a condutividade é eletrolítica e acontece ao longo da umidade e porosidade contidas dentro da matriz isolante (McNEILL, 1990). Já a resistividade é dependente da:

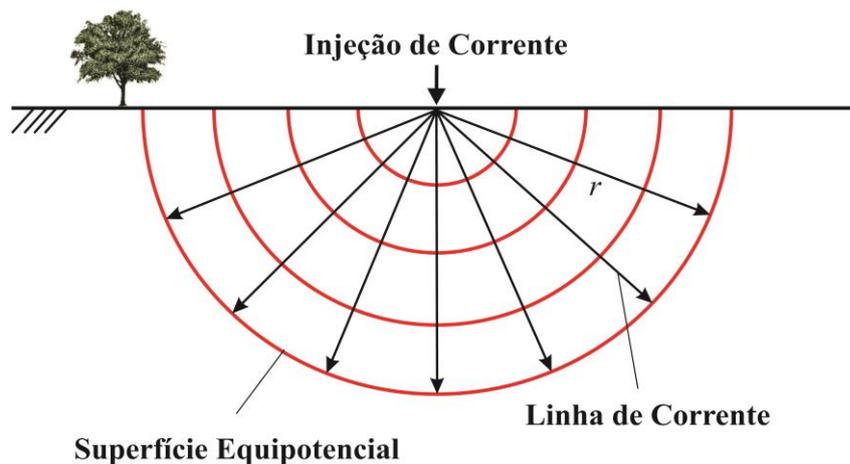
- Composição mineralógica: as características dos minerais;

- Porosidade: forma e tamanho dos poros, número, tamanho e forma das passagens de interconexão;
- Capacidade de preenchimento dos poros: quantidade de solução;
- Concentração de Sólidos Totais Dissolvidos (STD) na solução: presença de compostos que possam favorecer ou não a condutividade;
- Temperatura e estado físico da água nos poros;
- Concentração e composição das partículas (colóides);
- Textura: proporção das frações minerais (areia, silte e argila);
- Estrutura: agregação das partículas.

#### 4.2.2 Fluxo de corrente no solo

Para um meio homogêneo e isotrópico com resistividade constante  $\rho$ , a propagação da corrente se dá de forma radial. Se injetarmos corrente em um ponto na superfície, esta irá fluir de forma radial com uma geometria semi-esférica (**Figura 4.4**). A uma distância  $r$  do ponto de injeção, a corrente distribui-se de forma uniforme sobre a superfície da semi-esfera, e a área  $A$  dessa semi-esfera é dada por  $A=2\pi r^2$ . A densidade de corrente  $\vec{J}$  é a corrente  $I$  dividida pela área na qual está distribuída (Equação 4.2).

$$\vec{J} = \frac{I}{2\pi r^2} \quad (\text{Eq. 4.2}).$$



**Figura 4.4:** Injeção de corrente em um ponto na superfície e a distribuição do seu fluxo em subsuperfície (LAGO, 2009).

A Lei de Ohm relaciona a corrente  $I$ , a diferença de potencial  $\delta V$  e a resistência  $R$  de forma que  $-\delta V = \delta RI$ , e da Equação 4.3 temos que  $\delta R = \rho \delta L / \delta A$ . Na **Figura 4.4** a distância  $L$  é o raio da semi-esfera ( $r$ ), e assim teremos que o potencial será dado por:

$$\delta V = -\rho \vec{J} \delta r = -\rho \frac{I}{2\pi r^2} \delta r \quad (\text{Eq. 4.3}).$$

Finalmente, teremos que a voltagem com relação à distância ( $V_r$ ) será dada pela integração da diferença de potencial em relação ao raio da semi-esfera (Equação 4.4).

$$V_r = \int \delta V = - \int \rho \frac{I}{2\pi r^2} \delta r = \frac{\rho I}{2\pi} \frac{1}{r} \quad (\text{Eq. 4.4}).$$

Ao inserir um novo ponto de injeção de corrente ao esquema (**Figura 4.5**) uma nova distribuição de potencial ocorrerá. Nessa nova configuração, o potencial  $V_P$  em algum ponto  $P$  no solo será igual à soma das voltagens geradas nos dois pontos, indicados por  $A$  e  $B$ , com  $P$  entre  $A$  e  $B$ , de modo que  $V_P = V_A + V_B$ , sendo  $V_A$  e  $V_B$  as contribuições potenciais de cada ponto de injeção de corrente,  $A(+I)$  e  $B(-I)$ . Nessas condições, o potencial  $V_P$  em um ponto qualquer do solo também dependerá da distância deste ponto aos pontos de injeção de carga.

Na **Figura 4.5** tem-se uma configuração de quatro eletrodos, onde os eletrodos de injeção de corrente localizam-se nos pontos  $A$  e  $B$ , e os eletrodos de potencial nos pontos  $M$  e  $N$ . Os potenciais nos eletrodos  $M$  e  $N$  são obtidos com as equações 4.5 e 4.6.

$$V_M = \frac{\rho I}{2\pi} \left[ \frac{1}{AM} - \frac{1}{MB} \right] \quad (\text{Eq. 4.5}).$$

$$V_N = \frac{\rho I}{2\pi} \left[ \frac{1}{AN} - \frac{1}{NB} \right] \quad (\text{Eq. 4.6}).$$

Na Equação 4.5,  $\overline{AM}$  é a distância entre o eletrodo de corrente  $A$  e o eletrodo de potencial  $M$ , e  $\overline{MB}$  é a distância entre o eletrodo de potencial  $M$  e o eletrodo de corrente  $B$ . Na Equação 4.6,  $\overline{AN}$  é a distância entre o eletrodo de corrente  $A$  e o eletrodo de potencial  $N$ , e  $\overline{NB}$  é a distância entre o eletrodo de potencial  $N$  e o eletrodo de corrente  $B$ .

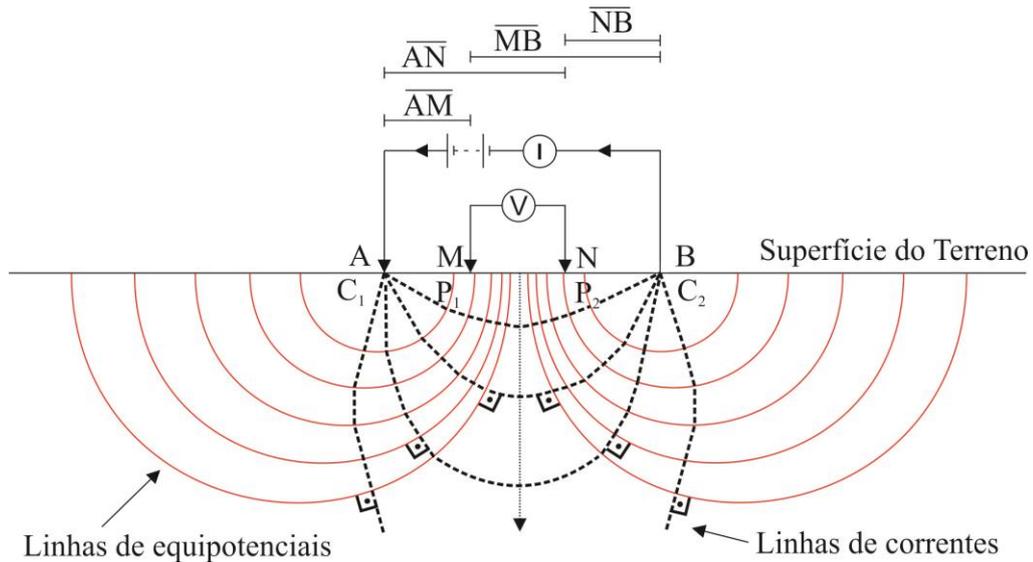
Na prática, é mais fácil medir a diferença de potencial,  $\delta V_{MN}$ , do que o potencial  $V$ . A diferença de potencial para o arranjo de quatro eletrodos (**Figura 4.5**) é obtida com a Equação 4.7.

$$\delta V_{MN} = V_M - V_N = \frac{\rho I}{2\pi} \left\{ \left[ \frac{1}{AM} - \frac{1}{MB} \right] - \left[ \frac{1}{AN} - \frac{1}{NB} \right] \right\} \quad (\text{Eq. 4.7}).$$

Reajustando a Equação 4.7 para calcular a resistividade elétrica, tem-se:

$$\rho = \frac{2\pi\delta V_{MN}}{I} \left\{ \left[ \frac{1}{\overline{AM}} - \frac{1}{\overline{MB}} \right] - \left[ \frac{1}{\overline{AN}} - \frac{1}{\overline{NB}} \right] \right\}^{-1} \quad (\text{Eq. 4.8}).$$

A resistividade real de um solo homogêneo e isotrópico pode ser calculada com Equação 4.8. No entanto, para um meio heterogêneo o campo elétrico gerado pela corrente que foi injetada no solo sofrerá variações decorrentes desta heterogeneidade em função do meio (solo) no qual os eletrodos serão fixados. Desta forma, o valor da resistividade irá variar conforme a localização e/ou disposição do arranjo de eletrodos (**Figura 4.5**), e sendo assim, a Equação 4.8 fornecerá um valor médio da resistividade, frequentemente chamado de resistividade aparente ( $\rho_a$ ). Cada medida de resistividade em subsuperfície é a resistividade aparente de um semi-espaco homogêneo equivalente. A resistividade aparente reflete as propriedades médias do meio pelo qual a corrente passa (TELFORD *et al.*, 1990).



**Figura 4.5:** Representação esquemática do fluxo de corrente e o potencial no subsolo para quatro eletrodos em superfície (Adaptado de LAGO, 2009).

A Equação 4.8 pode ser rearranjada para a Equação 4.9 e Equação 4.10 da seguinte forma:

$$\rho_a = \frac{\delta V_{MN}}{I} K \quad (\text{Eq. 4.9}).$$

Sendo  $K$  conhecido como Fator Geométrico, e dado pela Equação 4.10.

$$K = \frac{2\pi}{\left(\frac{1}{\overline{AM}}\right) - \left(\frac{1}{\overline{MB}}\right) - \left(\frac{1}{\overline{AN}}\right) + \left(\frac{1}{\overline{NB}}\right)} \quad (\text{Eq. 4.10}).$$

O valor da resistividade aparente na Equação 4.9 depende da posição dos eletrodos usado na Equação 4.10 durante o levantamento de eletrorresistividade, no entanto, outros fatores também irão influenciar, tais como, as características do meio abarcado pela corrente.

#### 4.3 POLARIZAÇÃO INDUZIDA

A principal aplicação do método de Polarização Induzida (*Induced Polarization* – IP) ocorre na busca de minérios metálicos disseminados e na exploração de águas subterrâneas e geotermiais. As medições de polarização induzida são realizadas com as mesmas configurações dos eletrodos na resistividade convencional, com dois eletrodos de correntes (AB) e dois eletrodos de potencial (MN) não polarizáveis (REYNOLDS, 1997).

Os fenômenos que causam a polarização induzida e seus mecanismos eletroquímicos nas rochas/solos incluem a difusão dos íons próximos a minerais metálicos e a mobilidade de íons em soluções presentes nos poros das rochas (SUMNER, 1976).

Quando a corrente elétrica injetada no solo é interrompida, a corrente entre dois eletrodos não decai instantaneamente para zero mV/V. Após um rápido decaimento inicial, a voltagem sofre um decaimento gradual e pode levar vários segundos até atingir o valor nulo. O mesmo ocorre quando a corrente é ligada, ou seja, após um rápido aumento inicial, a voltagem aumenta gradativamente até atingir um valor constante. Desta forma, observa-se que o material do subsolo atua como um capacitor, armazenando carga elétrica, ou seja, ele se torna eletricamente polarizado (GRIFFITHS e KING, 1965; PARASNIS, 1966; SUMNER, 1976; REYNOLDS, 1997; KEARY et al., 2002).

A resposta do método de IP é muito influenciada pela superfície total do material polarizado. A mineralização disseminada apresenta maior área de contato quando comparado a uma mineralização maciça, o que deve apresentar maior resposta de IP do que a sua contraparte maciça. No entanto, corpos de mineralização maciça podem conter uma região de alteração disseminada, o que aumentaria sua área de contato. Altos valores de porosidade e permissividade de fluidos presentes nos poros de rochas podem reduzir a resposta do IP pois ambas as situações geram um ambiente de fuga de corrente para o meio, ao invés de se concentrar na forma de polarização de eletrodo ou de membrana (GRIFFITHS e KING, 1965).

##### **4.3.1 Principais Mecanismos de Polarização Induzida nas Rochas**

Há dois mecanismos principais causadores de polarização induzida e ambos encontram-se associados aos processos eletroquímicos como o da polarização de membrana e o da

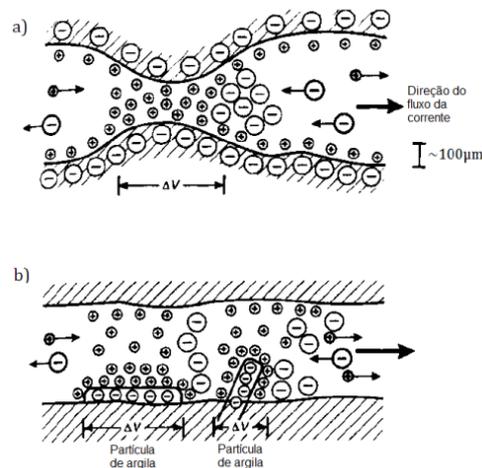
polarização de eletrodo.

#### 4.3.1.1 Polarização de Membrana

Existem duas formas de ocorrer a polarização de membrana. Uma é pelo estreitamento dentro de um poro e a outra é associada à presença de argila no poro, tal como em arenitos impuros. A maioria dos minerais presentes nas rochas tem uma carga total negativa em suas superfícies exteriores em contato com o fluido dos poros. Assim, íons positivos acumulam-se nessa interface, enquanto as cargas negativas são repelidas dela.

Caso o acúmulo de íons positivos supere o estreitamento do poro nessa região, a mobilidade dos íons será dificultada quando uma voltagem for aplicada. Assim, ocorrerá um acúmulo de íons negativos e positivos de cada lado do bloqueio produzindo uma diferença de potencial (**Figura 4.6a**). Por fim, quando a voltagem aplicada é desligada, a concentração iônica volta ao normal gerando, conseqüentemente, uma voltagem residual durante um período finito de tempo (REYNOLDS, 1997).

A segunda forma é devido à presença de partículas de argila nas rochas. Esse mineral tende a ter carga negativa em sua superfície que, por sua vez, atrai os íons positivos gerando nuvens carregadas positivamente dentro do espaço poroso. Quando uma voltagem é aplicada, as cargas negativas são bloqueadas pelas nuvens de cargas positivas, produzindo assim uma diferença de concentração (**Figura 4.6b**). Quando a voltagem é desligada, os íons voltam para as suas posições originais gerando também uma voltagem residual (REYNOLDS, 1997).



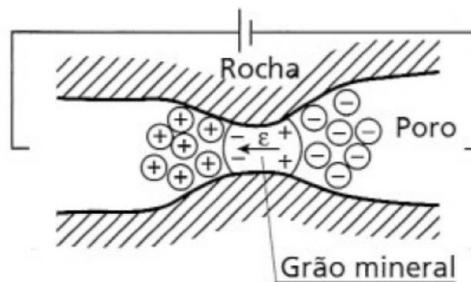
**Figura 4.6:** Geração do efeito de polarização de membrana associado com: (a) estreitamento dentro do canal poroso e (b) partículas de argilas ao longo das paredes dos poros (REYNOLDS, 1997).

#### 4.3.1.2 Polarização de Eletrodo

Quando um grão mineral metálico bloqueia o poro da rocha e uma voltagem é aplicada a cada lado do espaço do poro, cargas positivas e negativas são empurradas sobre os lados opostos do grão. Assim, íons negativos e positivos acumulam em cada lado do grão, tentando liberar elétrons para o grão ou aceitar elétrons conduzidos através dele.

Como o fluxo de elétrons é muito mais rápido que o fluxo de íons no eletrólito, os íons se acumulam de cada lado do grão e causam um aumento de carga (**Figura 4.7**). Quando a voltagem impressa é removida, os íons dispersam-se lentamente de volta à condição neutra e causam um decaimento transitório de voltagem (KEAREY, 2009).

Esse fenômeno é conhecido como polarização de eletrodo ou sobrevoltagem e depende, entre outros fatores, da fonte de corrente externa e das características do meio, como a porosidade que é um fator limitante, uma vez que oferece caminhos alternativos de condução eletrolítica. Varia também de acordo com a concentração mineral, respondendo mais fortemente às disseminações, do que na presença de mineralização maciça, já que este é um fenômeno de superfície (KEAREY, 2009).



**Figura 4.7:** Esquema de mecanismo de polarização de eletrodo (KEAREY, 2009).

### 4.3.2 Medidas de Polarização Induzida – Domínio do Tempo e Frequência

O fenômeno de polarização pode ser registrado nos domínios do tempo e da frequência. O IP assemelha-se à descarga de um capacitor (domínio do tempo) ou à variação de impedância de uma corrente alternada, o domínio da frequência (SUMNER, 1976). Neste trabalho foi utilizado o domínio do tempo.

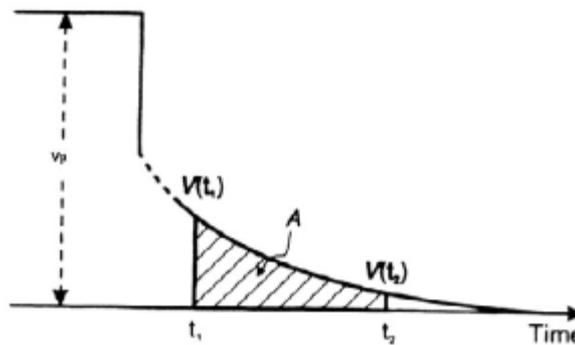
#### 4.3.2.1 Domínio do Tempo

A medida do efeito do IP no domínio do tempo é dada pela razão  $\Delta V/V$  (milivolt/volt), onde  $V$  é a voltagem medida enquanto a corrente é propagada;  $\Delta V$  é a voltagem remanescente medida em um tempo  $t$  após a interrupção da corrente elétrica (sobretensão). As medidas são feitas pela passagem de pulsos de corrente contínua com duração  $T$  (domínio do tempo), onde

normalmente são utilizados valores de 1 a 20 segundos, enquanto  $t$  é uma fração de  $T$ , como, por exemplo 0,5s. A integração dos valores da razão  $\Delta V/V$  com relação à  $t$  fornece a área  $A$  sobre a curva de decaimento do potencial (**Figura 4.8**). Quando a integral é dividida por  $V$ , o valor resultante é conhecido como cargabilidade aparente ( $M_a$ )(Equação 4.11) e sua unidade de tempo em milissegundos:

$$M_a = \frac{1}{V} \int_{t_0}^{t_1} \Delta V \cdot t \quad dt = \frac{A}{V} \quad (\text{eq. 4.11})$$

Quando é medida a cargabilidade aparente, na verdade, ela é representada por uma média de todas as cargabilidades mensuradas. A cargabilidade verdadeira é tecnicamente impossível de ser obtida no campo, pois cada camada em subsuperfície possui seu valor. Entretanto, tanto a cargabilidade quanto a resistividade real podem ser estimadas por métodos de inversão de dados geofísicos.



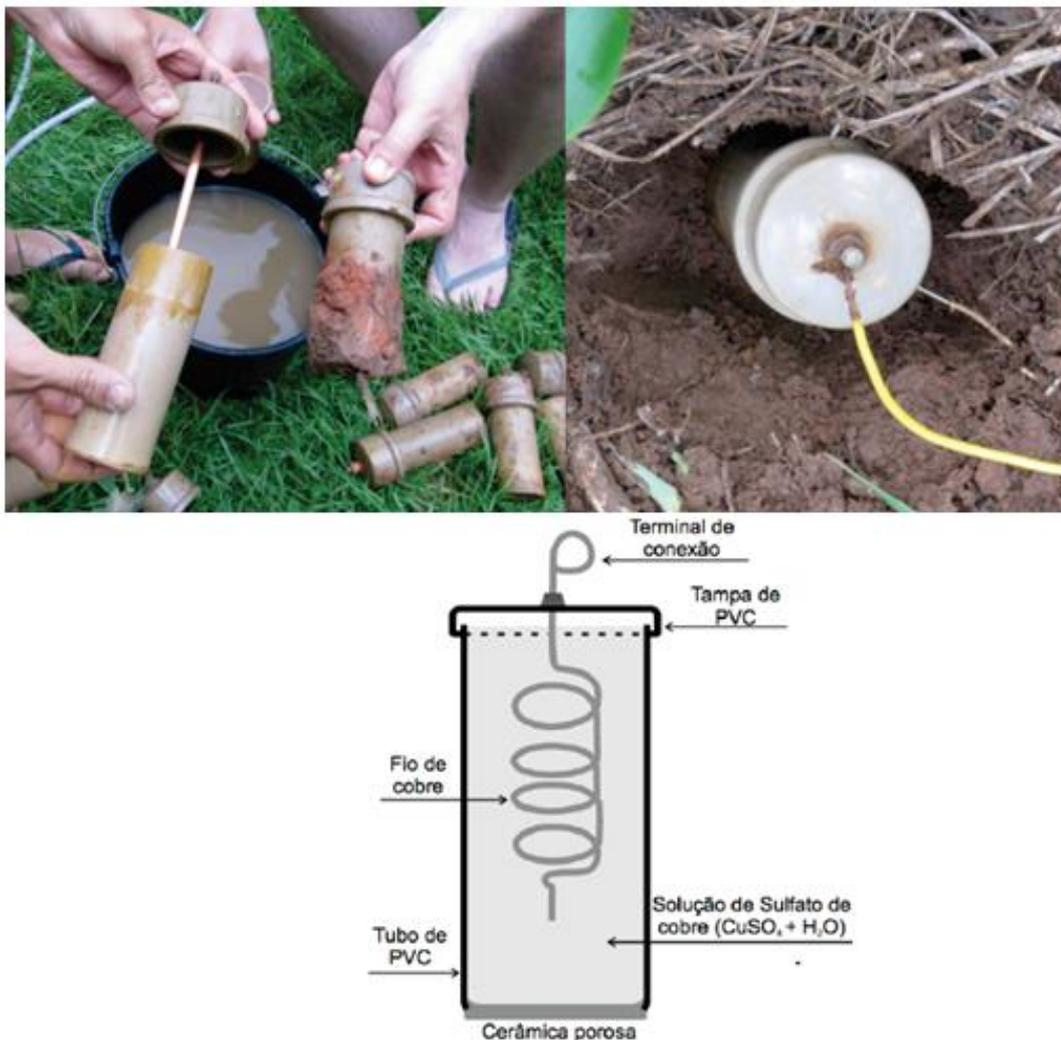
**Figura 4.8:** A tensão de decaimento integrada usado como uma medida de cargabilidade  $m$  (REYNOLDS, 1997)

### 4.3.3 Eletrodos não-polarizáveis

Os eletrodos de potenciais não polarizáveis são fundamentais para as medições de polarização induzida. Eles possuem em média 18% de porosidade e para adquirir oito níveis de investigação são necessários nove eletrodos. A polarização de um eletrodo é definida como sendo o potencial elétrico na ausência de campos elétricos externos (CORWIN, 1990). O eletrodo poroso, basicamente, é constituído por um corpo de material inerte (PVC, nylon, cerâmica esmaltada), que é internamente preenchido por solução saturada de sulfato de cobre. Um fio desse mesmo material é mergulhado nessa solução, sendo este ligado pelo fio da bobina de corrente (**Figura 4.9**).

Idealmente, eletrodos devem ter polarização variação temporal (deriva) nulas. Para se aproximar do ideal, utilizam-se eletrodos não-polarizáveis, que também são chamados de eletrodos porosos. Segundo Petiau e Perrier (1998; *apud* FACHIN, 2007), o contato entre o solo

com o eletrodo se dá por meio de material poroso (cerâmica ou madeira) que é posicionado na base do eletrodo. Efeitos galvânicos causam potenciais espúrios quando um metal está em contato com o solo. Ao medir a diferença de potencial com eletrodos constituídos pelo mesmo material, assume-se que o efeito galvânico é cancelado, tornando os eletrodos igualmente polarizados. Entretanto, é comum utilizar o termo não-polarizáveis. Os eletrodos com solução e haste de cobre são muito utilizados em levantamentos geométricos devido seu baixo custo de construção.



**Figura 4.9:** Potes porosos não polarizáveis (eletrodos), preenchidos por solução de sulfato de cobre.

#### 4.3.4 Respostas de Polarização Induzida

Embora o tipo e o grau de mineralização não possam ser generalizados com os valores da resposta Polarização Induzida, Telford *et al.* (1990) apresenta valores médios de cargabilidade e de Fator Metal para alguns materiais geológicos (**Tabela 4.1**). Obviamente, devido à sobreposição considerável de valores, não é possível distinguir, apenas

numericamente, entre rochas mineralizadas e vários tipos estéreis, como possíveis argilas (TELFORD *et al.*, 1990).

**Tabela 4.1** – Cargabilidade típica de alguns materiais geológicos (modificada de TELFORD *et al.*, 1990; Alagia, 2018).

	Material	Cargabilidade (ms)	Fator Metal (mhos/cm)	
Minerais	Pirita	13,4	100 a 10000	
	Calcocita	13,2		
	Cobre	12,3		
	Grafite	11,2		
	Calcopirita	9,4		
	Bornita	6,3		
	Galena	3,7		
	Magnetita	2,2		3 a 3000
	Malaquita	0,2		
	Hematita	0		
%Sulfetos	20% sulfetos	2000 a 3000		
	8 a 20% sulfetos	1000 a 2000		
	2 a 8% sulfetos	500 a 1000		
Rochas ígneas	Tufos vulcânicos	300 a 800	1 a 100	
	Vulcânicas básicas	100 a 500	1 a 80	
	Granito e granodiorito	10 a 50	0 a 60	
	Vulcânicas Ácidas	8 a 20	0 a 20	
Rochas sedimentares	Calcários e dolomitos	10 a 20	4 a 60	
	Arenitos	3 a 12	2 a 200	
	Argilitos	3 a 10	1 a 300	
Rochas metamórficas	Gnaisses pré-cambrianos	6 a 30	10 a 100	
	Xistos	5 a 20	10 a 60	
	Quartzitos	5 a 12		
Sedimentos	Cascalhos	3 a 9		
	Aluviões	1 a 4	0 a 200	

## CAPÍTULO 5

### **Identificação de mineralizações auríferas com polarização induzida em garimpo desativado no Granito Novo Mundo – MT, Brasil.**

Alexandre Santos Jeronimo da Costa<sup>1</sup>

Eduardo Xavier Seimetz <sup>1</sup>

Welitom Rodrigues Borges<sup>1</sup>

Rafael Espindola Canata<sup>2</sup>

Willian Giovanni Zan

<sup>1</sup> Universidade de Brasília, Instituto de Geociências, 70910-900, Brasília-DF - Brasil

<sup>2</sup> Universidade Federal do Paraná, Curitiba - PR

<sup>3</sup> Cooperativa dos Garimpeiros do Vale do Rio Peixoto, Peixoto de Azevedo-MT - Brasil

\*Correio eletrônico autor: asjdcosta@gmail.com

## Resumo

A região garimpeira de Novo Mundo situa-se na porção Leste da Província Aurífera Alta Floresta (PAAF), Norte do Mato Grosso. Nessa região, as mineralizações auríferas ocorrem ao longo de zonas de cisalhamento com percolação de quartzo enriquecido em sulfetos. Diante desse contexto, o trabalho objetiva identificar a continuidade de locais mineralizados e a detecção de novos alvos exploratórios com a análise de dados geofísicos e a descrição de testemunhos de sondagem. Na aquisição de dados de geofísica terrestre usaram-se os métodos da eletrorresistividade e da polarização induzida. As aquisições geofísicas ocorreram nas proximidades do Garimpo da Raimunda, visto a existência de uma cava desativada, mas com informação da direção do filão mineralizado. Foram realizadas quatro linhas de levantamento de comprimento médio de 700 m e com espaçamento entre os eletrodos de 20 m. Os resultados analisados possibilitaram inferir a delimitação saprólito-rocha sã (interface a profundidade média de 30 metros) e zona relacionada a uma mineralização do tipo disseminada. O saprólito da área mostrou elevados valores de cargabilidade (média de 20 mV/V), foi interpretada como uma polarização de membrana causada pela presença de magnetita concentrada na parte superficial do solo. Nos mapas de cargabilidade e de resistividade foi identificada uma região de descontinuidade elétrica que pode estar associada a alguma descontinuidade estrutural. No local previsto para a ocorrência da mineralização aurífera identificaram-se valores de cargabilidade superior a 42 mV/V e de resistividade menor que 100 ohm.m.

**PALAVRAS CHAVE:** Província Aurífera de Alta Floresta, Granito Novo Mundo, eletrorresistividade, cargabilidade, mineralização aurífera.

## **ABSTRACT**

The gold mining region of Novo Mundo is located in the eastern portion of the Alta Floresta Gold Province (PAAF), north of Mato Grosso. In the region, auriferous mineralization occurs along shear zones with quartz percolation enriched in sulphides. In this context, the objective of this work was to identify the continuity of mineralized sites and the detection of new exploratory targets with the analysis of geophysical data and the description of drill holes core samples. In the acquisition of data of geophysics applied on the ground surface, the methods used were electrical resistivity and the induced polarization. Geophysical survey occurred in the proximity Raimunda Gold Mine, due to the existence of a disused pit, but with information on the direction of the mineralized lode. Four survey lines of 700 m average length and with 20 m spacing between the electrodes were performed. The results analyzed allowed us to infer the saprolite rock delimitation (mean depth of 30 meters) and the zone related to a disseminated type of mineralization. The saprolite of the area showed high values of chargeability, being interpreted as a membrane polarization caused by the presence of concentrated magnetite in the superficial part of the soil. At the site of the occurrence of the gold mineralization were identified by values of chargeability higher than 42 mV/V and resistivity lower than 100 ohm.m. In the maps of chargeability and resistivity, a region of electrical discontinuity was identified that may be associated with some structural discontinuity.

**KEY WORDS:** Alta Floresta Gold Province, Granite Novo Mundo, electrical resistivity, chargeability, auriferous mineralization.

## 5.1 Introdução

A procura por ouro no Brasil remonta a história colonial com a atividade dos bandeirantes e as primeiras descobertas efetuadas em Minas Gerais, Goiás e Mato Grosso. Em Mato Grosso, a exploração aurífera se iniciou na região da Baixada Cuiabana em 1716 com a descoberta de minas de ouro no rio Coxipó – Mirim (Câmara et al., 1996). A atividade garimpeira no centro norte do estado teve início com a abertura da rodovia BR163 que interliga Cuiabá (MT) a Santarém (PA). Nessa região, as primeiras ocorrências auríferas aconteceram no rio Peixoto de Azevedo, em 1978, e o ápice da produção foi alcançado 11 anos depois. Segundo Barros (2007) entre 1980 e 1999 a produção de ouro nos limites da Província Aurífera de Alta Floresta (PAAF) foi da ordem de 160 toneladas.

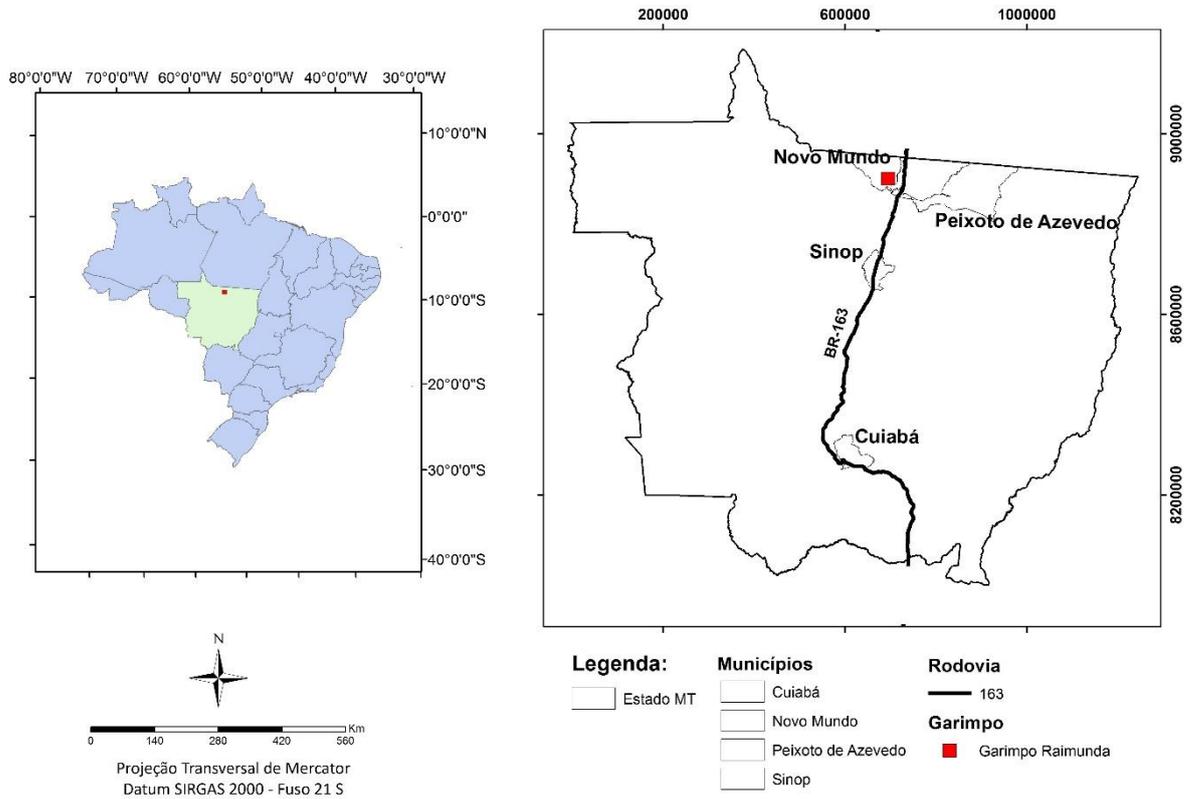
Na segunda metade da década de noventa, a descoberta das fontes primárias iniciou na região um novo ciclo de exploração que se prolonga até a atualidade. É importante ressaltar que a descoberta de depósitos primários é um trabalho difícil, em decorrência da espessura do solo da PAAF, do baixo índice de afloramentos e do estágio avançado de intemperismo dos afloramentos observados, que dificulta as caracterizações geológicas. Decorre daí a necessidade da utilização de métodos geofísicos para a descoberta de novas jazidas e do desenvolvimento das jazidas em exploração.

Usa-se a geofísica na exploração mineral desde que existam variações em propriedades físicas associadamente ao alvo da exploração que sejam passíveis de se enquadrarem na definição anteriormente apresentada. Na PAAF, costuma-se caracterizar a identificação da assinatura anômala dos depósitos primários auríferos como tendo alta cargabilidade e baixa resistividade.

O método de polarização induzida (IP) é comumente aplicado na exploração mineral em fases avançadas da pesquisa, sobretudo na prospecção de zonas auríferas associadas a sulfetos disseminados. Os dados costumam orientar e anteceder as campanhas de sondagem (LANGORE et al., 1989; KEAREY, 2002).

Algumas pesquisas desenvolvidas na PAAF (ASSIS, 2011; BARROS, 2007; CUNHA, 2015; RAMOS, 2011; RODRIGUES, 2012; SERRATO, 2014; TEIXEIRA et al., 2014) não tiveram como foco a solução de tal questão e sim a caracterização geológica, estrutural e metalogenética da província. Nos trabalhos de MIRANDA (2010) e AGNOLETTO (2013) em que foram apresentados resultados de métodos elétricos, não houve discussão e individualização entre a cobertura pedológica, o saprólito, a rocha e os corpos mineralizados.

Na região da PAAF, existem três diferentes tipos de mineralizações e todas elas associadas a processos deformacionais cisalhantes. Assim este trabalho tem o objetivo de verificar a aplicabilidade de métodos geofísicos na identificação de uma zona mineralizada em um garimpo desativado (**Figura 5.1**).



**Figura 5.1:** Mapa de localização da área de estudo, em destaque no mapa de Mato Grosso a área de estudo.

## 5.2 Contexto geológico regional

A PAAF está situada na porção sul do Cráton Amazônico e, em termos geográficos, na região norte do estado do Mato Grosso. Segundo Paes de Barros (2009), a PAAF configura uma área alongada na direção W-NW, cujo limite ao norte é o Gráben do Cachimbo, que a separa da Província Aurífera do Tapajós, e ao sul é limitada pelo Gráben dos Caiabis (**Figura 5.2**).

Paes de Barros (2007) baseado em reconhecimentos de campo, dados geoquímicos e geocronológicos reconhece, para a região de Peixoto de Azevedo-Novo Mundo, distintas unidades geológicas não descritas em trabalhos anteriores, estabelecendo a seguinte sequência:

(i) Granitóides do Embasamento, (ii) Granito Novo Mundo, (iii) Granito Juruena, (iv) Granito Matupá, (v) Granito Nhandu, (vi) Básicas e Intermediárias, (vii) Suíte Vulcano-Plutônica Teles Pires e (viii) Granito Teles Pires.

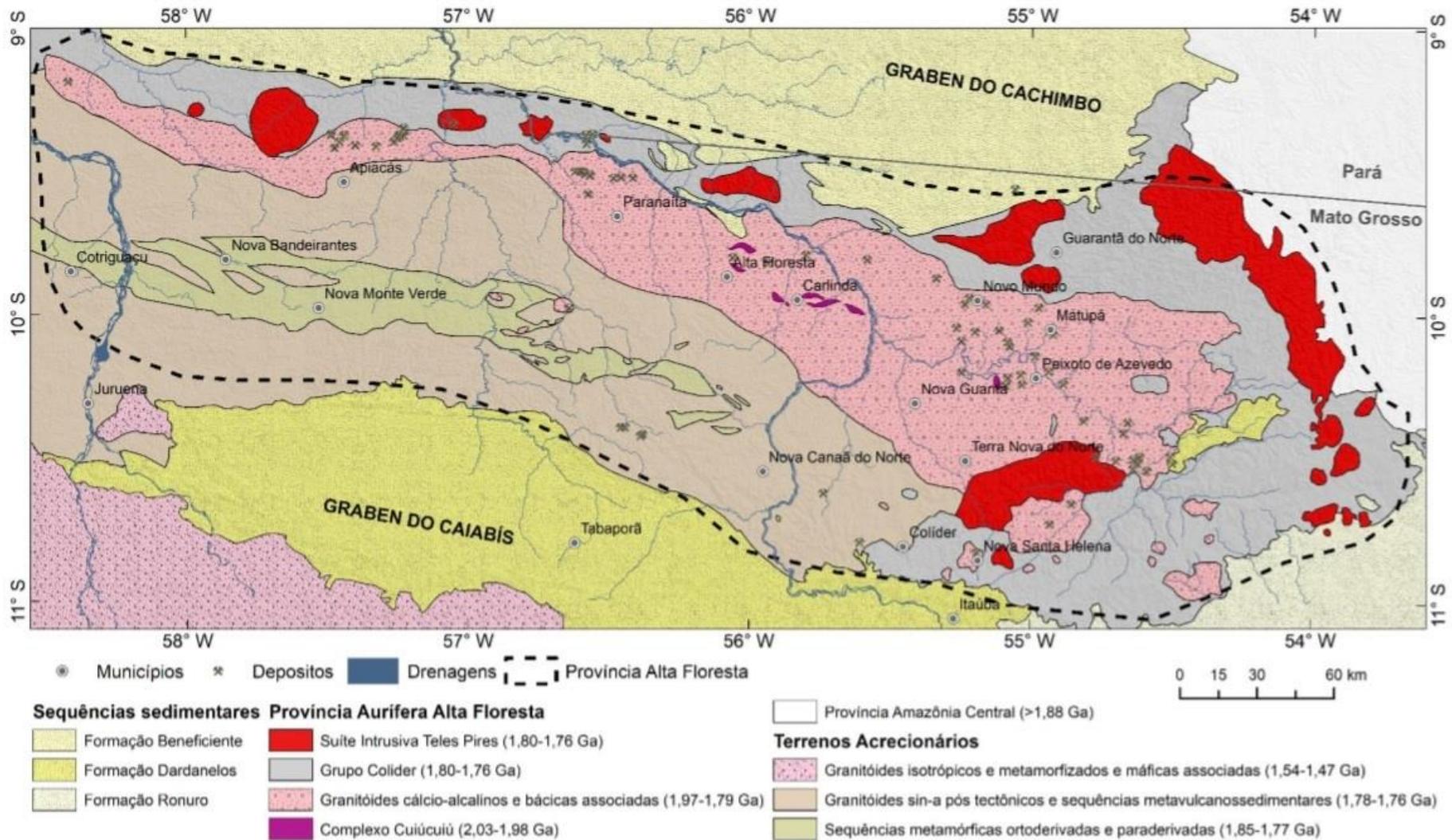
Paes de Barros (2007) apresenta as ocorrências e depósitos auríferos da região de Peixoto de Azevedo - Novo Mundo e evidencia um alinhamento na direção NW, que reflete o traçado de zonas de cisalhamento, sobretudo, onde essas estruturas interceptam terrenos granito-gnáissicos. Um exemplo dessa direção preferencial é o lineamento Perus-Trairão, que contém a maior parte dos depósitos primários da PAAF. A este contexto associa-se uma geração mais antiga de depósitos de ouro, localmente representada por filões sinuosos, com extensões médias de 200 a 700 metros, alojados principalmente em gnaisses, xistos e anfibolitos admitidos como do Complexo Xingu

Em referência a modelos genéticos, as mineralizações primárias de ouro da PAAF, particularmente as hospedadas em suítes graníticas do Paleoproterozóico, têm sido interpretadas como similares às do tipo Cu-Au pórfiro (Coutinho et al. 1998; Moura, 1998; e Santos et al., 2001)

Segundo Bittencourt et al. 2015, a maioria dos depósitos de ouro e ocorrências reconhecidas no PAAF estão concentradas ao longo de uma faixa de direção NW – SE, que se estende por aproximadamente 150 km. Baseando-se no modo de ocorrência, na associação mineralógica e na assinatura geoquímica, esses depósitos são classificados como:

- (1) Disseminado.
- (2) Veio de quartzo com associação Au+Cu.
- (3) Veio de quartzo com associação Au + metais básicos.

As principais rochas hospedeiras incluem tonalitos, sienogranitos e monzogranitos (1,97 Ga, 1,90 Ga e 1,87 Ga), granitos porfiríticos (1.78 a 1.75 Ga) e as rochas do embasamento (2,0 Ga para 1,98). Em alguns depósitos, aplitos e intrusões máficas de idades desconhecidas podem conter mineralização de ouro (Bittencourt et al. 2015).



**Figura 5.2:** Mapa simplificado da Província Aurífera Alta Floresta, com os principais domínios geológicos e a localização dos depósitos de ouro (adaptado de Souza et al. 2005 e Vasquez e Rosa-Costa 2008).

### 5.3 Contexto geológico local

O granito Novo Mundo forma um corpo intrusivo em rochas do Complexo Xingu com dimensões de aproximadamente 12 x 5 km, alongado preferencial segundo W-NW, orientação essa coincidente com a direção das principais zonas de cisalhamento dúcteis e lineamentos regionais que afetam os terrenos mais antigos da região.

Paes de Barros (2007) individualizou duas porções no corpo granítico Novo Mundo: (i) a porção norte onde predominam monzogranitos, com granodioritos e sienogranitos subordinados, com múltiplos e espessos diques de gabros e dioritos; e (ii) a porção sul, que hospedam mineralizações de ouro do tipo disseminado, onde predominam sienogranitos, com monzogranitos, quartzo monzonitos e monzonitos, subordinados.

Na porção centro sul foram reconhecidos enxames de diques de composição basáltica e andesítica, sobretudo, balizando corpos de minério do depósito de Novo Mundo. Esses diques incorporam fatias de sienogranito e mostram expressiva sulfetação na zona de contato. Nota-se ainda no granito Novo Mundo um intervalo expressivo com brechas balizando corpos de minério, também com sulfetação nas zonas de contato, no entanto, sem a presença de mineralização aurífera.

### 5.4 Materiais e métodos

#### 5.4.1 Eletroressistividade

O propósito de um levantamento elétrico é determinar a distribuição de resistividade, através de medidas realizadas na superfície do solo (Loke et al. 2013).

A resistividade elétrica dos materiais é um bom indicador e parâmetro de sua natureza e do seu intemperismo. Por isso, os métodos de prospecção elétricas tem sido usados há muito tempo na engenharia geológica e geotécnica (Keary e Brooks, 1991; Parasnis, 1997). Este método, de natureza tanto qualitativa quanto quantitativa, baseia-se na lei de Ohm e consiste na injeção de uma corrente elétrica no solo e medição do potencial elétrico, que permite obter a verdadeira resistividade da formação encontrada. Na área de estudo em questão, considerando a configuração geológica, foi utilizado o método dipolo-dipolo com o uso da técnica de caminhamento elétrico para obter uma boa amostragem horizontal e vertical e, conseqüentemente, gerar um bom modelo geofísico (Keary e Brooks, 1991; Parasnis, 1997).

O campo dos métodos elétricos (DC) consiste em injetar uma corrente elétrica no solo através de dois eletrodos A e B, e, em seguida, medindo a queda do potencial induzido entre os

dois eletrodos de potencial M e N. Para uma corrente conhecida e a queda de potencial mensurada é possível determinar a resistividade aparente do solo (Parasnis, 1997). Essa resistividade aparente depende da configuração dos eletrodos no solo. A resistividade aparente  $\rho_a$  (Rho) pode ser expressa em função da queda de potencial e da intensidade da corrente (Equação 5.1).

$$\rho_a = K * \left(\frac{V_{MN}}{I_{AB}}\right) \quad (\text{Eq. 5.1})$$

Onde  $\rho_a$  está em ohm.m, e K (m) é definido como fator geométrico e depende da configuração dos eletrodos (Equação 5.2).

$$K = 2 * \pi * \left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{AN} - \frac{1}{BM} + \frac{1}{BN}\right)^{-1} \quad (\text{Eq. 5.2})$$

- K: fator geométrico depende do arranjo dos eletrodos
- $V_{MN}$ : diferença de potencial medido nos eletrodos M e N, em mV
- $I_{AB}$ : corrente elétrica injetada medida nos eletrodos A e B, em mA

A relação entre a resistividade aparente e a resistividade verdadeira é muito complexa. Utilizam-se métodos de inversão dos dados para determinar a resistividade verdadeira a partir dos valores de resistividade aparente calculados. E na realização desse processo foi utilizado o programa computacional Res2DInv (Loke, 2010).

A resistividade elétrica de uma substância é definida como a resistência à passagem de corrente e é expressa em unidade de resistência multiplicada por unidade de comprimento (Ohm.m) (Koefoed, 1979). As rochas e os solos, em geral, são bastante resistivos mas a presença de substâncias metálicas, e, principalmente, a presença de líquidos em poros e fraturas, normalmente, determinam uma redução da resistividade (Orellana, 1972)

### 5.4.2 Polarização induzida (IP)

A principal aplicação do método de Polarização Induzida (*Induced Polarization* – IP) ocorre na prospecção de minérios metálicos disseminados e na exploração de águas subterrâneas e geotermiais. As medições de polarização induzida são feitas utilizando a mesma configuração dos eletrodos na resistividade convencional, ou seja, com dois eletrodos de correntes (AB) e dois eletrodos de potencial (MN) não polarizáveis (REYNOLDS, 1997).

Os fenômenos que causam a polarização induzida e seus mecanismos eletroquímicos nas rochas e solos incluem a difusão dos íons próximos a minerais metálicos e a mobilidade de íons em soluções presentes nos poros das rochas (SUMNER, 1976).

Quando a corrente elétrica injetada no solo é interrompida, a corrente entre dois eletrodos não decai instantaneamente para zero milivolt/V. Após um rápido decaimento inicial,

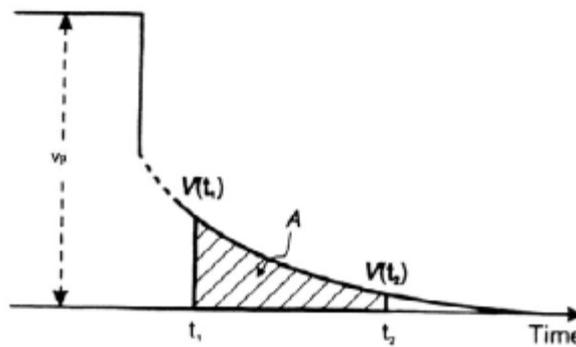
a voltagem sofre um decaimento gradual e pode levar vários segundos até atingir o valor nulo. O mesmo ocorre quando a corrente é ligada, ou seja, após um rápido aumento inicial, a voltagem aumenta gradativamente até atingir um valor constante. Desta forma, observa-se que o material do subsolo atua como um capacitor, armazenando carga elétrica e tornando-se eletricamente polarizado (GRIFFITHS e KING, 1965; PARASNIS, 1966; SUMNER, 1976; REYNOLDS, 1997; KEARY et al., 2002).

A resposta do método de IP é muito influenciada pela superfície total do material polarizado. A mineralização disseminada apresenta maior área de contato quando comparado a uma mineralização maciça. Dessa maneira, a primeira deve apresentar maior resposta de IP do que a sua contraparte maciça. No entanto, corpos de mineralização maciça podem conter uma região de alteração disseminada, o que aumentaria sua área de contato. Altos valores de porosidade e permissividade de fluidos presentes nos poros de rochas podem reduzir a resposta do IP, pois ambas as situações geram um ambiente de fuga de corrente para o meio ao invés de se concentrar na forma de polarização de eletrodo ou de membrana (GRIFFITHS e KING, 1965).

A medida do efeito do IP no domínio do tempo é dada pela razão  $\Delta V/V$  (milivolt/volt),  $V$  é a voltagem medida enquanto a corrente é propagada;  $\Delta V$  é a voltagem remanescente medida em um tempo  $t$  após o a interrupção da corrente elétrica (sobretensão). As medidas são feitas pela passagem de pulsos de corrente contínua com duração  $T$  (domínio do tempo), onde normalmente são utilizados valores de 1 a 20 segundos, enquanto  $t$  é uma fração de  $T$ , como, por exemplo 0,5s. A integração dos valores da razão  $\Delta V/V$  com relação à  $t$  fornece a área  $A$  sobre a curva de decaimento do potencial (**Figura 5.3**). Qual a integral é dividida por  $V$ , o valor resultante é conhecido como cargabilidade aparente ( $M_a$ ) (Equação 5.3) e sua unidade de tempo em milissegundos:

$$M_a = \frac{1}{V} \int_{t_0}^{t_1} \Delta V \cdot t \quad dt = \frac{A}{V} \quad (\text{Eq. 5.3})$$

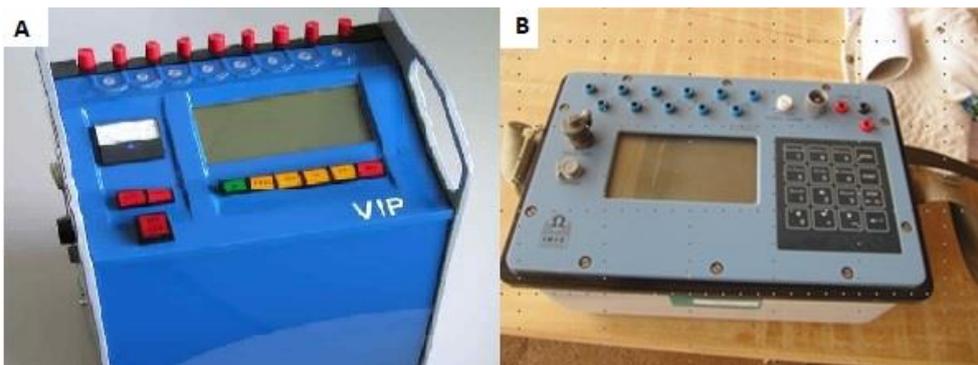
Quando é medida a cargabilidade aparente, em verdade, ela é representada por uma média de todas as cargabilidades mensuradas. A cargabilidade verdadeira é tecnicamente impossível de ser obtida no campo, pois cada camada em subsuperfície possui seu valor. Entretanto, tanto a cargabilidade quanto a resistividade real podem ser estimadas por métodos de inversão de dados geofísicos.



**Figura 5.3:** A tensão de decaimento integrada usado como uma medida de cargabilidade  $m$  (REYNOLDS, 1997)

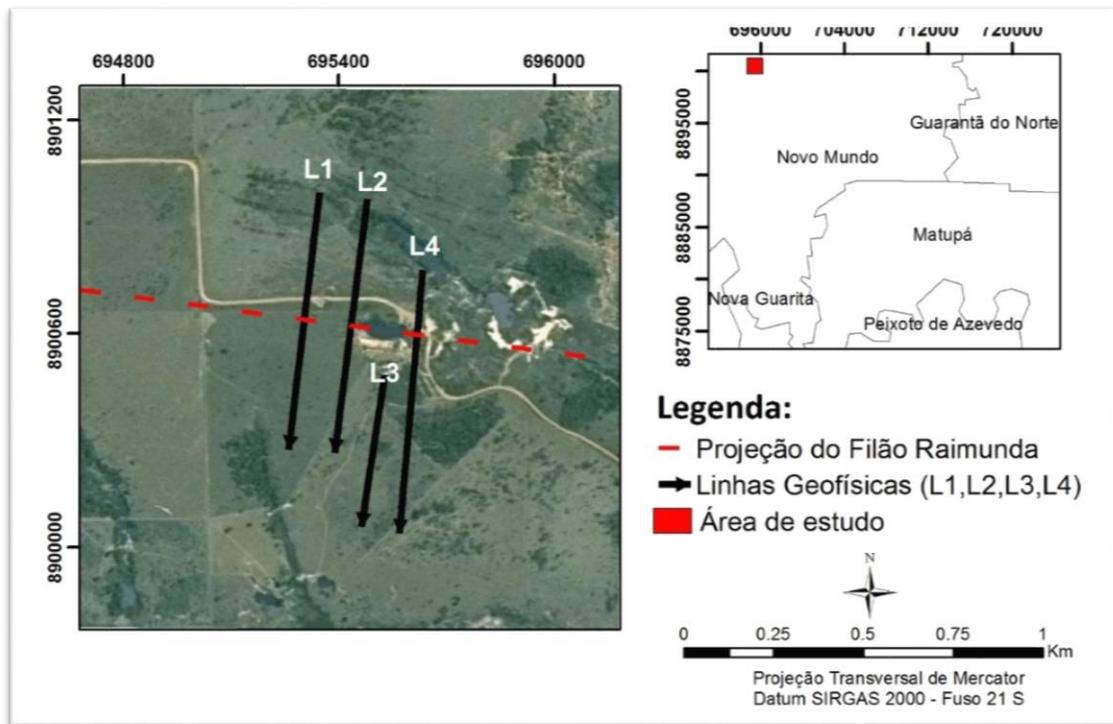
### 5.4.3 Aquisição e modelagem dos dados

No registro dos dados elétricos em campo usaram-se o transmissor VIP 3000 e o receptor ELREC-PRO (IRIS *instruments*) acompanhado dos seus acessórios (**Figura 5.5**).



**Figura 5.5:** Equipamentos usados para a aquisição dos dados elétricos. (A) Transmissor VIP 3000, e (B) Receptor ELREC-PRO.

No campo foram adquiridos quatro seções geométricas paralelas equidistantes em aproximadamente 110 metros. As seções tiveram o comprimento planejado de 700 metros, a linha 3 teve de ser redimensionada em decorrência da inundação da cava. A disposição das seções no terreno ocorreu de forma a cruzar perpendicularmente a projeção do filão mineralizado do Garimpo da Raimunda (**Figura 5.6**). Todos os posicionamentos dos eletrodos foram georeferenciados e as coordenadas foram expressas na projeção UTM, zona 21S e Datum SIRGAS 2000.



**Figura 5.6:** Mapa de localização da área com o posicionamento das linhas geoeletricas e a possível projeção do Filão da Raimunda. Na imagem nota-se a posição da cava garimpeira inundada com água, o que interferiu no dimensionamento da L3.

Para as aquisições dos dados foi utilizado o arranjo dipolo-dipolo. Em decorrência da melhor resolução horizontal e vertical, o espaçamento usado entre os eletrodos foi de 20 metros. A escolha do espaçamento citado acima ocorreu em função dos registros dos garimpeiros, que evidenciaram a zona mineralizada na profundidade entre 20 e 30 metros. Nesse sentido, para alcançar tal profundidade e conseguir uma boa margem de confiança para a obtenção dos dados foi escolhido um espaçamento maior havendo a consciência por parte dos pesquisadores de que a resolução poderia ser prejudicada.

O receptor foi configurado para realizar leituras de resistividade e cargabilidade simultaneamente em um tempo de injeção de corrente elétrica de 02 segundos para as janelas temporais de *Cole-Cole* e para que o receptor fizesse uma média de, no mínimo 03 e de no máximo 5 leituras a fim de obter eventuais leituras anômalas, que poderiam conduzir a erros interpretativos.

**Tabela 5.1:** Tabela que contém os tempos das janelas de aquisição em milissegundos para um tempo de injeção de corrente de 2 segundos.

Tempo de 2000 ms			Janelas de aquisição																			
Modo	Vdly	Mdly	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20

Cole- Cole	1260	20	20	30	30	30	40	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	180	200
---------------	------	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

### Modelagem dos dados

Os dados de resistividade aparente e cargabilidade dos perfis elétricos foram pré-processados no programa *Prosys II (IRIS instruments)*. Duas etapas realizadas nesse programa foram a inserção da topografia e a preparação para processamento e modelagem no programa *Geotomo Res2Dinv* (Loke, 2000). Na primeira etapa citada acima, ocorreu a inserção da informação topográfica das estações onde os eletrodos foram instalados. Tal informação é de extrema importância, uma vez que a mesma é utilizada para gerar um modelo mais consistente. A segunda etapa de processamento realizada no *Prosys II* consistiu na filtragem dos dados após a inserção da topografia e o ajuste de seus valores. Para essa etapa foram filtrados os valores com cargabilidade menor ou igual a zero e valores superiores a 80 mV/V e os dados com resistividade superior a 3000 ohm.m.

**Tabela 5.2:** Tabela que contém a quantidade de pontos adquiridos em campo, dados originais e dados filtrados.

Linha	Resistividade			Cargabilidade		
	Quantidade de pontos					
	Original	Filtrado	%	Original	Filtrado	%
<b>L1</b>	255	255	0	255	249	2,3
<b>L2</b>	248	244	1,6	248	248	0
<b>L3</b>	135	135	0	135	135	0
<b>L4</b>	223	223	0	223	208	6,7

O programa da *Geotomo* processa e modela os dados filtrados pelo *Prosys II* conforme configuração predefinida pelo operador, por exemplo, com o método de inversão e o mergulho das camadas (Loke, 2000). Nas seções, a profundidade de pesquisa alcançada foi de aproximadamente 60 m para cada perfil.

A modelagem realizada produziu seções que refletem a resistividade elétrica e a cargabilidade real presentes nas estruturas subterrâneas estudadas, conforme tabela (Tabela 5.2), que contém os erros resultantes do processamento.

**Tabela 5.3:** Tabela que contém os erros obtidos após a modelagem realizada pelo Res2Dinv.

	<b>Modelo contendo (niveis - blocos)</b>	<b>Número de iterações</b>	<b>Resistividade (erro absoluto)</b>	<b>Cargabilidade (erro absoluto)</b>
<b>L1</b>	7 – 378	9	2,9	1,1
<b>L2</b>	7 – 353	10	5,5	0,99
<b>L3</b>	7 – 210	6	3,2	2,0
<b>L4</b>	7 – 353	8	14,4	3,8

Os dados modelados foram exportados e georeferenciados no Geosoft. Nesse mesmo programa, foram gerados os perfis e mapas de resistividade elétrica, cargabilidade, o modelo litológico proposto a partir da sondagem e o modelo geofísico interpretado proposto. Os perfis e mapas foram gerados para uma mesma escala de cor que foi gerada a partir da análise de todos os dados. O método de interpolação usado, para os perfis, foi o bi-direcional pois a amostragem dos dados não era regular nas duas direções XY e a célula de interpolação usada foi de 3 m.

## 5.5 Resultados

Os resultados serão apresentados na forma de seções 2D, os mapas por nível de profundidade, e volumes 3D. Serão apresentados os perfis e modelos das linhas 1 e 2, pois tais linhas mostraram os melhores resultados e nos mapas serão apresentados com todos os dados invertidos, para se ter uma melhor noção espacial dos resultados.

### 5.5.1 SEÇÕES GEOELÉTRICAS

As seções geoeletricas são apresentadas em duas figuras (Perfil L1 e Perfil L2), que estão divididas em três partes: localização do perfil sobre o grid da topografia local, perfil dos dados modelados de resistividade e o perfil dos dados modelados de cargabilidade.

Observando o perfil L1 de resistividade (**Figura 5.7b**) verifica-se que a linha está segmentada em três diferentes camadas geoeletricas. A primeira camada se inicia na superfície e tem espessura de até 20m com valores de resistividade que variam muito partindo de um valor mínimo de 200 ohm.m até valores de 5000 ohm.m. Nessa camada, os valores de resistividade não tem continuidade lateral. A segunda camada tem espessura entre 15 e 30m e valores de resistividade baixo que variam de 10 a 500 ohm.m. Nessa segunda camada existe continuidade lateral e, a primeira metade da seção, alcança o máximo de profundidade e permanece neste nível por 150 metros. A terceira camada tem espessura de 10 a 25m e valores de resistividade

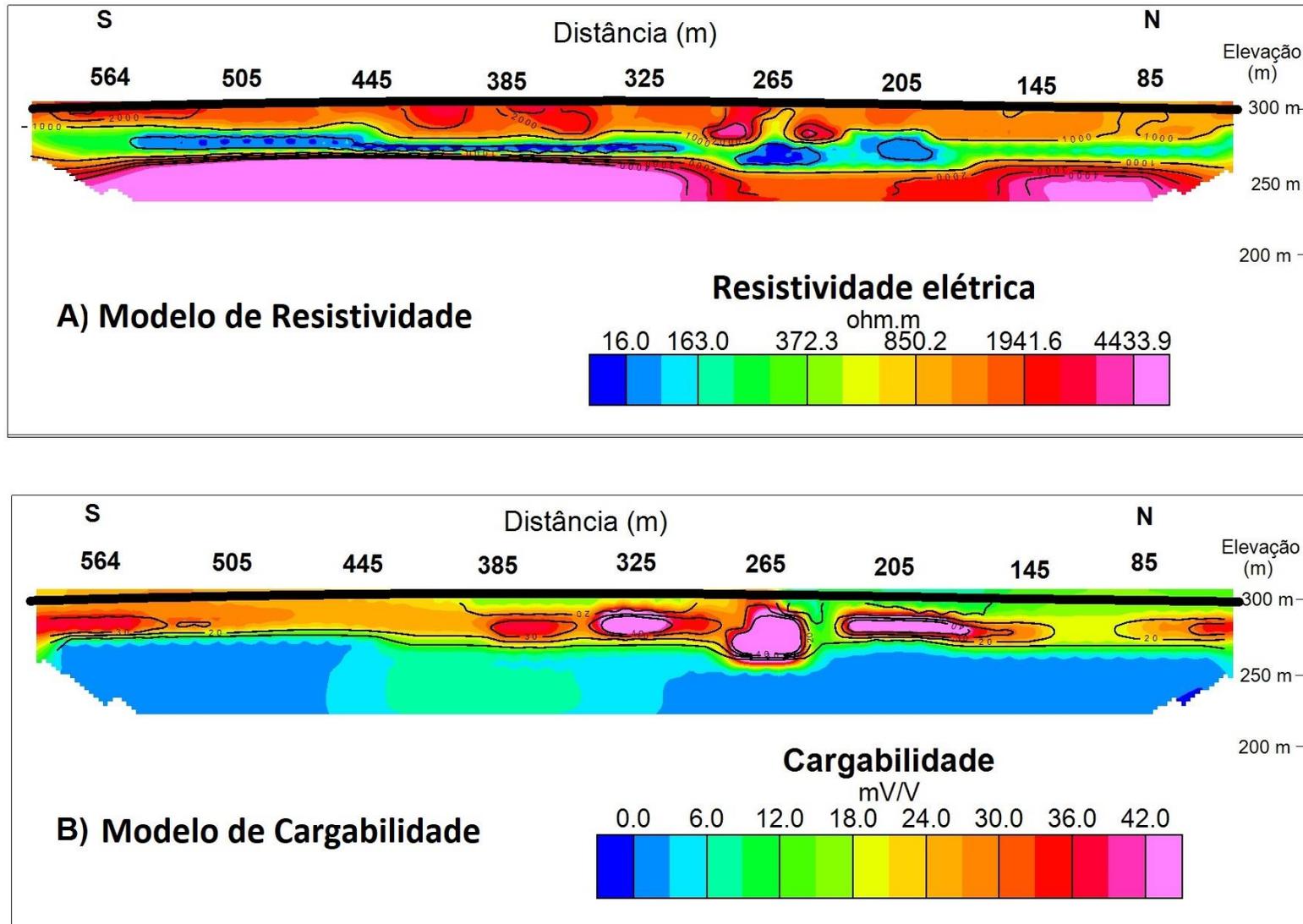
que variam entre 500 e 5000 ohm.m. Essa última camada aparenta possuir continuidade lateral e contém os maiores valores de resistividade.

Observando o perfil L2 de resistividade (**Figura 5.8b**), verificamos que essa linha está segmentada em três diferentes camadas. A primeira camada se inicia na superfície e alcança profundidades que variam de 15 a 20 metros, apresentando valores de resistividade com grande amplitude de variação com valores de 650 a 5000 ohm.m e um sinal que não é homogêneo ou contínuo. A segunda camada tem espessura entre 15 e 30 m e valores de resistividade que variam de 10 a 500 ohm.m e é observada a existência da continuidade lateral. A terceira e última camada tem espessura de 10 a 50m e valores de resistividade que variam entre 500 e 5000 ohm.m, nessa camada é possível constatar duas zonas com alta resistividade.

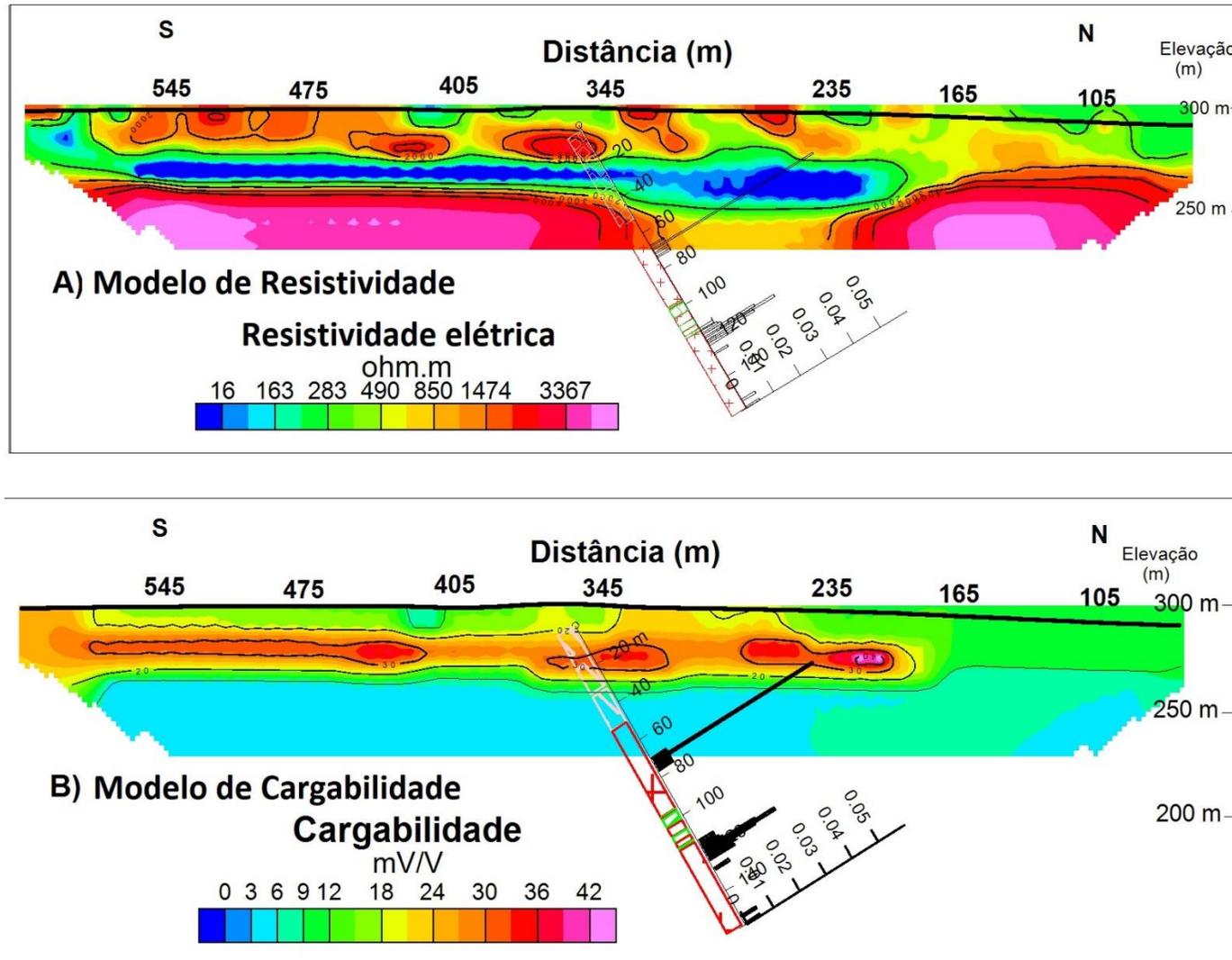
Os resultados de cargabilidade apresentados nas **Figuras 5.7c** e **5.8c** correspondem aos perfis L1 e L2 respectivamente.

A seção de cargabilidade da linha 1 (**Figura 5.7c**) apresenta duas camadas. A primeira com espessura variando de 15 a 25 m ao longo do perfil e valores de cargabilidade variando entre 16 e 60 mV/V. Os valores de cargabilidade dessa camada aparentam estar agrupados em três partes e dentro de cada uma delas não existe continuidade dos valores. A segunda camada com espessura variando de 35 a 45 m ao longo do perfil e valores de cargabilidade variando entre 4 e 12 mV/V. Essa segunda camada apresenta uma descontinuidade dos valores na primeira metade da seção.

A seção de cargabilidade da linha 2 (**Figura 5.8c**) apresenta duas camadas. A primeira com espessura variando de 15 a 25 m e valores de cargabilidade variando entre 16 e 40 mV/V. A primeira camada se inicia na estação 190 e está presente até o final do perfil. A segunda camada com espessura variando de 45 a 60 m ao longo do perfil e valores de cargabilidade variando entre 4 e 12 mV/V.



**Figura 5.7:** Perfil da Linha 1 que contém sua localização e distribuição de resistividade elétrica e cargabilidade em subsuperfície gerados pelo processo de inversão. A) Modelo de resistividade elétrica, obtida por meio de modelagem inversa. B) Modelo de cargabilidade, obtida por meio de modelagem inversa.



**Figura 5.8:** Perfil da Linha 2 que contém sua localização e distribuição de resistividade elétrica e cargabilidade em subsuperfície gerados pelo processo de inversão. A) Modelo de resistividade elétrica, obtida por meio de modelagem inversa. B) Modelo de cargabilidade, obtida por meio de modelagem inversa.

### 5.5.2 MAPAS GEOELÉTRICOS

A Figura 5.9 representa as distribuições espaciais da resistividade calculada pelo software Res2Dinv para seis níveis do modelo de inversão obtidos que estão a uma profundidade média de superfície de 4, 12, 19, 28, 38 e 48 metros respectivamente, conforme Loke, 2000.

Podemos constatar, nas Figuras 5.9a e b, que o valor de resistividade médio é superior à 1500 ohm.m e a ocorrência de um grande número de *alising* nos dois primeiros níveis, isso se deve a uma mistura de solo com rejeito de mineração realizada e a presença da vegetação amazônica. A distribuição espacial dessa vegetação e por consequência as suas raízes e os processos físicos decorrentes dela são heterogêneos que por conseguinte geram zonas com características físicas diferentes entre si.

No terceiro e quarto nível (Figuras 5.9c e d) é observado uma amplitude de resistividade de 163 a 2500 ohm.m onde na região sul apresentam os valores de baixa resistividade e na região norte de alta. Neste nível pode-se afirmar que se encontra o saprólito com a presença do lençol freático (com valor variando de 160 a 600 ohm.m) e na região norte com valores de resistividade alto (maiores que 2000 ohm.m) pode estar associado a presença do GNM.

No quinto nível (Figura 5.9e) é observado, ainda, uma grande amplitude de valores de resistividade (variando de 160 a 3000 ohm.m). É observado altos valores de resistividade nas extremidades das linhas (resistividade maior que 1500 ohm.m) que podem estar associados a presença do granito Novo Mundo. A região central apresenta baixos valores de resistividade semelhante ao nível 4 (com valor variando de 160 a 600 ohm.m) que podem estar associados ao saprólito e ao fim do lençol freático. No nível 5 é observado que as linhas de resistividade com mesmo valor possuem em sua maioria a direção preferencial NW-SE.

No sexto nível (Figura 5.9f) os valores de resistividade são em sua maioria superior a 1500 ohm.m que pode ser interpretado como sendo o granito Novo Mundo.

Nos níveis 5 e 6 (Figuras 5.9e e f) podemos verificar uma tendência NW-SE que concorda com a direção de mineralização pré-existente obtido no shaft e descrita por Miguel Junior (2009) como sendo o lineamento Perus-Traião. Pode-se constatar uma grande gradiente ao longo da tendência NE-SW nos níveis 5 e 6 que pode sugerir uma diferença litológica e/ou estrutural nesta direção.

São destacados em cada um dos mapas os alinhamentos estruturais propostos pela geofísica e que possuem direção NW-SE.

A figura 5.10 representa a distribuição espacial de cargabilidade invertida obtida pelo software Res2Dinv e interpolado no software Geosoft para os mesmos níveis considerados para a eletrorresistividade.

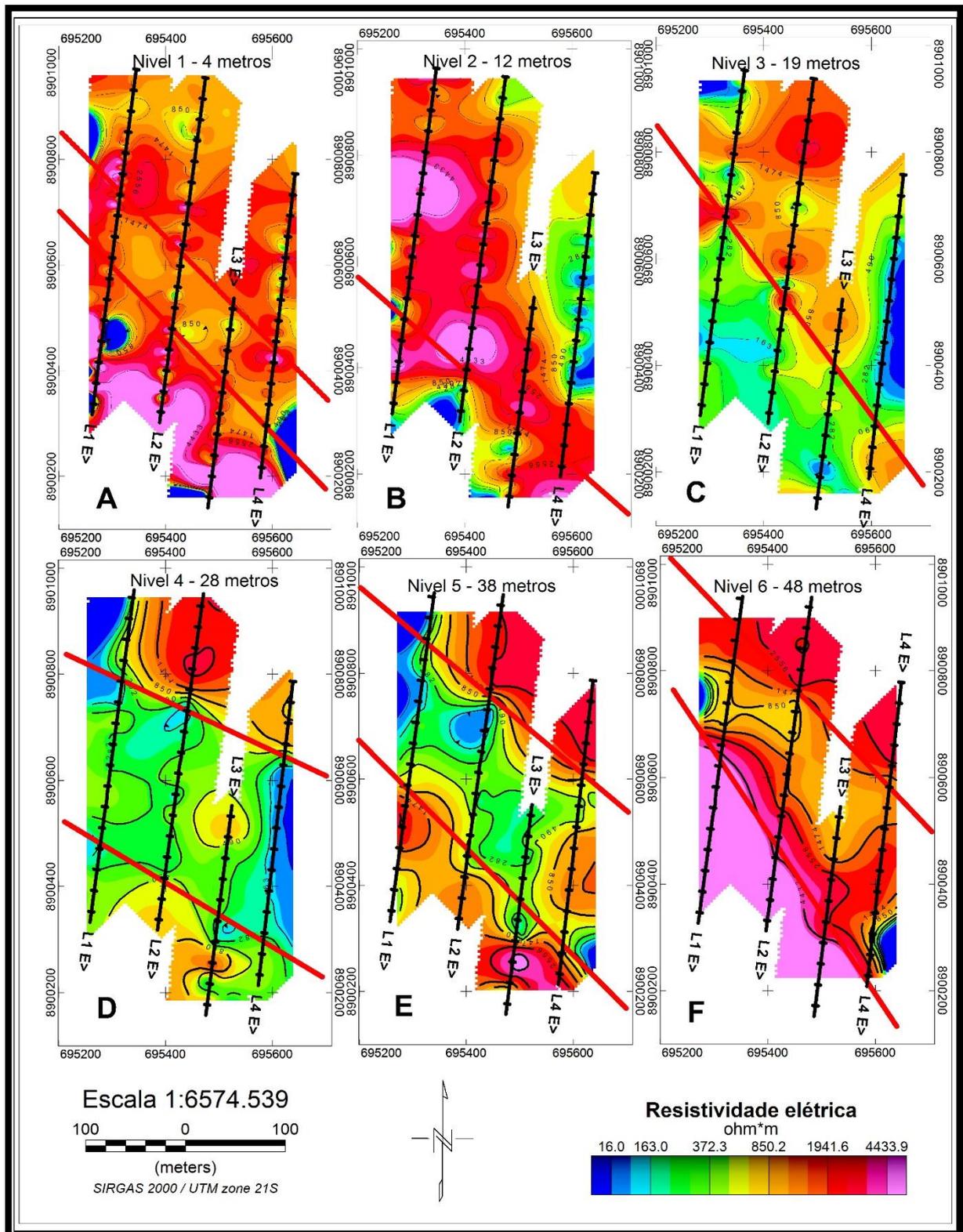
No nível 1 (Figura 5.10a) o valor médio da cargabilidade é de 12 mV/V, não apresenta grande amplitude e possui duas regiões anômalas com altos valores de cargabilidade. As duas regiões são decorrente de uma mistura de solo com rejeito de mineração.

O nível 2 (Figuras 5.10b) apresentam valores com grandes amplitudes de cargabilidade (variando de 5 a 30 mV/V). A região com altos valores podem estar relacionados a presença de argilominerais que contribuiriam para uma maior ocorrência de polarização de membrana.

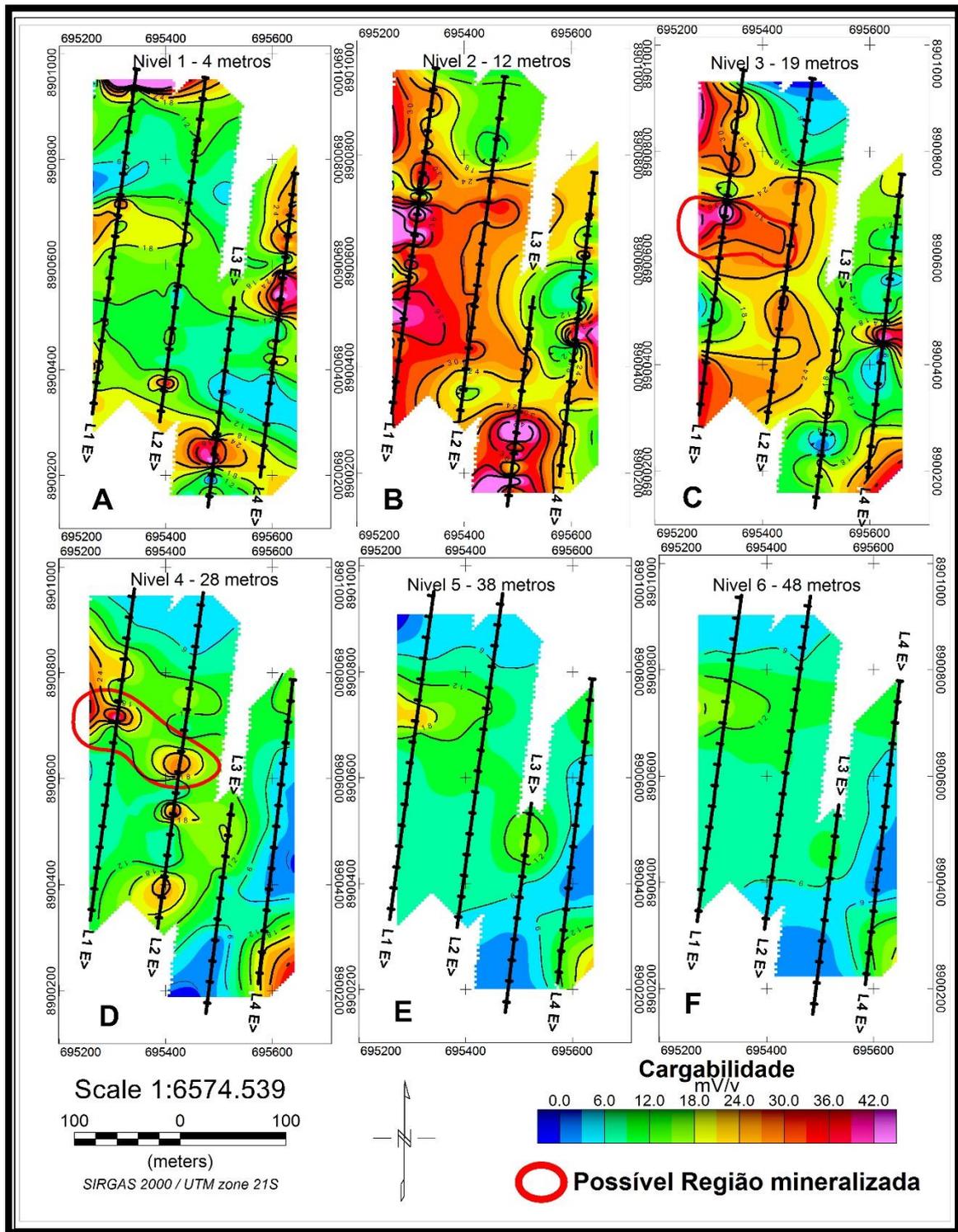
O nível 3 (Figura 5.10c) continua apresentando grande amplitude de cargabilidade semelhante ao nível 2, contudo existe uma região que apresenta uma média de cargabilidade superior à 30 mV/V com continuidade lateral entre as linha 1 e 2 na região centro-oeste (área circulada) que pode estar associado a uma possível mineralização.

O nível 4 (Figura 5.10d) apresenta alguns valores de alta cargabilidade semelhante ao nível 3 que podem estar associados a continuidade vertical da possível mineralização presente no nível 3. Esse nível não apresenta dados com características de polarização de membrana.

Os níveis 5 e 6 (Figura 5.10e e f) apresentam valores de cargabilidade média de 12 mV/V e não apresenta sinais de anomalias de cargabilidade.



**Figura 5.9:** Mapa de Resistividade do garimpo Raimunda com lineamentos estruturais propostos pela geofísica. a) Nivel 1 – profundidade 4m; b) Nivel 2 – profundidade 12m; c) Nivel 3 – profundidade 19m; d) Nivel 4 – profundidade 28m; e) Nivel 5 – profundidade 38m; f) Nivel 6 – profundidade 48m;



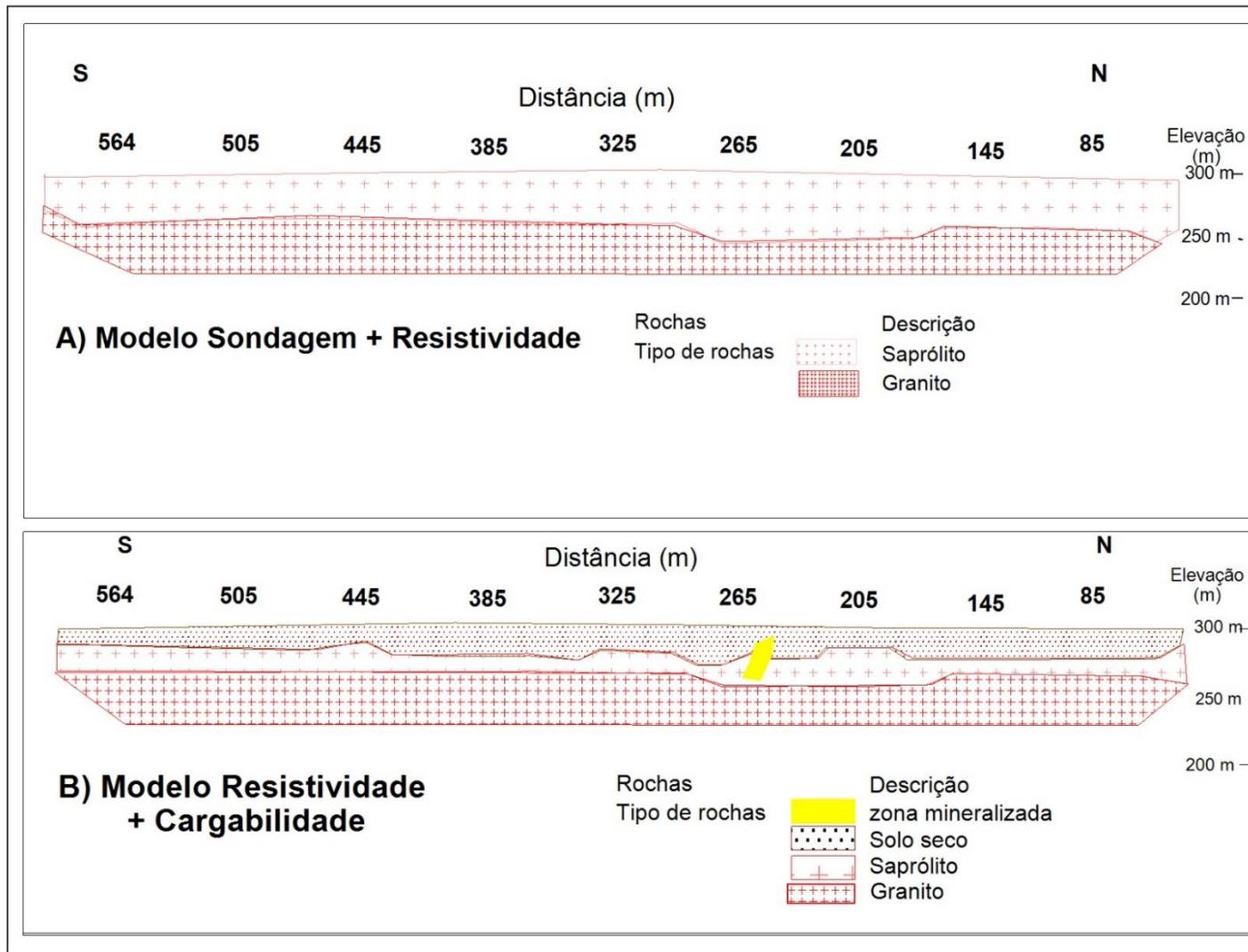
**Figura 5.10:** Mapa de Cargabilidade do garimpo Raimunda a) Nível 1 – profundidade 4m; b) Nível 2 – profundidade 12m; c) Nível 3 – profundidade 19m com possível zona de mineralização marcada; d) Nível 4 – profundidade 28m com possível zona de mineralização marcada; e) Nível 5 – profundidade 38m; f) Nível 6 – profundidade 48m;

### 5.5.3 MODELOS INTERPRETADOS

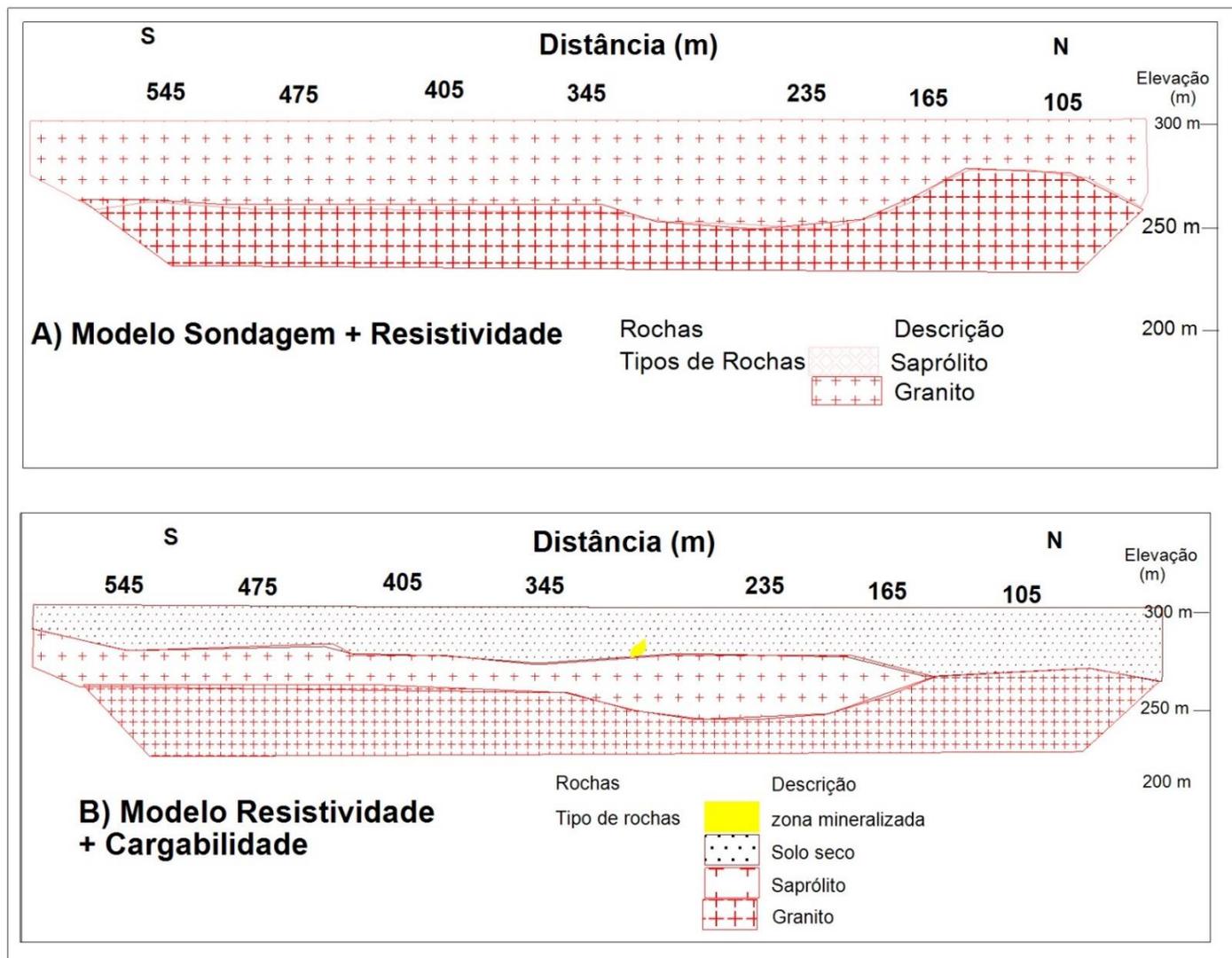
As figuras 5.11 e 5.12 apresentam as seções interpretadas ao longo dos perfis 1 e 2. As seções foram interpretadas usando a sondagem mecânica (realizada a 30 metros de distância da linha 2) e as seções geolétricas. Foram realizadas descrições das rochas junto com o furo de sondagem, nas profundidades, que aparentavam presença de sulfetos, foram feitas análises para determinar a presença de ouro (relatório DN-FD-08.pdf presente no processo DNPM 866.035/2009).

O modelo de sondagem e de resistividade (**Figura 5.11a**) apresenta duas camadas. A primeira camada com espessura variando de 25 a 40 m ao longo do perfil é interpretada como saprólito. A segunda camada com espessura variando de 20 a 30 m ao longo do perfil é interpretada como o granito. O modelo resistividade e cargabilidade (Figura 5.11b) apresenta três camadas e a presença de uma possível zona mineralizada. A primeira camada com espessura variando de 10 a 20 m ao longo do perfil é interpretada como solo. A segunda camada com espessura variando de 15 a 25 m ao longo do perfil é interpretada como saprólito. A terceira camada com espessura variando de 25 a 35 m ao longo do perfil é interpretada como granito. Próximo a posição 265 m, na profundidade de aproximadamente 20 m, foi constatada uma cargabilidade anômala que foi interpretada como sendo uma zona mineralizada.

O modelo de sondagem e de resistividade (**Figura 5.12a**) apresenta duas camadas. A primeira camada com espessura variando de 20 a 45 m ao longo do perfil é interpretada como saprólito. A segunda camada com espessura variando de 15 a 45 m ao longo do perfil, é interpretada como o granito. O modelo de resistividade e cargabilidade (**Figura 5.12b**) apresenta três camadas e a presença de uma possível zona mineralizada. A primeira camada com espessura variando de 5 a 20 m ao longo do perfil é interpretada como solo. A segunda camada com espessura variando de 8 a 25 m, que não está presente em todo o perfil, é interpretada como saprólito. A terceira camada com espessura variando de 20 a 40 m ao longo do perfil é interpretada como granito. Próximo à posição 235 m, na profundidade de aproximadamente 15 m, foi constatada uma cargabilidade anômala que foi interpretada como sendo uma zona mineralizada.



**Figura 5.11:** Perfil da Linha 1 que representam os modelos interpretados. A) Modelo litológico interpretado a partir dos dados de resistividade e da sondagem contendo o saprólito e o granito. B) Modelo litológico interpretado a partir dos dados de resistividade e cargabilidade contendo o saprólito, o granito, o solo e a zona mineralizada



**Figura 5.12:** Perfil da Linha 2 que representam os modelos interpretados. A) Modelo litológico interpretado a partir dos dados de resistividade e da sondagem contendo o saprólito e o granito. B) Modelo litológico interpretado a partir dos dados de resistividade e cargabilidade contendo o saprólito, o granito, o solo e a zona mineralizada.

## 5.6 Discussão

Paes de Barros (2007) individualizou duas porções no corpo granítico Novo Mundo: (i) a porção norte onde predomina monzogranito com granodiorito e sienogranito subordinados, com múltiplos e espessos diques de gabros e dioritos; e (ii) a porção sul, que hospeda mineralizações de ouro do tipo disseminado, onde predomina sienogranito, com monzogranito, quartzo monzonito e monzonito, subordinados.

Segundo Dahlin, (2000), os contrastes de resistividade destacam horizontes condutores que caracterizam as áreas de infiltração ou movimentos de fluidos mineralógicos dentro das estruturas graníticas. Com isso, podemos inferir que o local de estudo está em uma zona de infiltração de fluido que pela geologia local pode ser uma zona de contato ou fratura do granito Novo Mundo pois os perfis 1 e 2 identificaram uma descontinuidade geométrica entre dois corpos muito resistivos que seriam dois corpos graníticos.

O saprólito nos perfis e nos mapas apresentou espessura variável tanto no topo quanto na base. Ele se caracterizou geofisicamente em termos de resistividade elétrica como um material de resistividade elétrica baixa com valores médios de 200 ohm.m e em termos de cargabilidade como tendo valores de aproximadamente 24 mV/V. Foi identificado no saprólito uma região no perfil 1 com uma cargabilidade elevada, maior que 40 mV/V, e resistividade baixa, que sugere a existência de um corpo mineralizado nesta estação geofísica. A presença deste possível corpo mineralizado foi uma surpresa pois ele se encontra em uma região que está sobre a ação do intemperismo e permaneceu com valor de cargabilidade elevado.

A interpretação resultante sugere, de acordo com a distribuição espacial de polarização, que a anomalia detectada é a mineralização que estava sendo explorada antes da desativação do garimpo Raimunda. E que tal anomalia representa a existência de sulfetos na área de estudo, Sumner (1976)

O granito nos perfis e mapas geométricos apresentou-se como tendo altos valores de resistividade e baixos valores de cargabilidade. Esse granito pode ser considerado o granito Novo Mundo. Um ponto a se discutir, nos perfis 1 e 2, é a possível presença de uma descontinuidade geométrica na primeira metade das seções de resistividade. Essas descontinuidades podem ser um lineamento estrutural, segundo os trabalhos de Barros (2007) e Junior (2009).

Nos dados de cargabilidade (Figuras 5.7 e 5.8) presentes na segunda camada os valores obtidos de cargabilidade em torno de 20 mV/V podem ser considerados valores não anômalos.

Considerando o contexto da área de estudo, podemos sugerir que esses valores são decorrentes dos argilominerais presentes na composição do saprólito. Essa cargabilidade no saprólito não afetou e não interferiu na interpretação de uma anomalia geofísica no perfil 1 que foi interpretada como um corpo mineralizado, isso resultou da sua elevada cargabilidade

O perfil L2 (**Figura 5.8b**) apresenta entre as estações 235 e 345 a uma profundidade de 40 m uma região com baixa resistividade e continuidade geométrica que pode ser interpretada como sendo uma zona de descontinuidade geométrica que pode estar associada a um lineamento estrutural.

O relatório da sondagem mecânica descreve o solo como tendo 2.65 m de espessura e que é um solo orgânico, argiloso, marrom escuro a preto e o saprólito como tendo espessura de 30.51m e que é um saprólito argiloso, com interseções silto argilosas residual de sienogranito. E a interpretação da geofísica descreve essa mesma região como sendo solo seco e saprólito. Tal diferença pode ser explicada de algumas formas: a primeira é não estar presente no relatório da sondagem o nível freático que poderia caracterizar o saprólito da interpretação geofísica pois este teve valor de resistividade muito baixo e a presença do nível freático seria uma das causas desta queda no valor de resistividade; o solo descrito na sondagem, com espessura de 2.65 m, não foi possível a sua caracterização geofísica pois o espaçamento utilizado nas linhas foi de 20 m e o primeiro nível do dado invertido foi obtido a 3.9 m de profundidade.

Um ponto a se discutir é se a alta cargabilidade presente nas linhas 1 e 2 e interpretadas no modelo geofísico como sendo o filão da Raimunda é mesmo o corpo que estava sendo explorado. Neste ponto, um dado a ser citado é que o filão da Raimunda, que estava sendo explorado, estava a uma profundidade de aproximadamente 20 m e considerando que a anomalia presente no dado geofísico foi proposta nos mapas a profundidades de 19 e 28 m, podemos sim considerar que essa anomalia é o filão da Raimunda.

A sondagem descreve, ainda, uma região mineralizada a uma profundidade de 100m.

## 5.7 Conclusão

A aquisição de dados geométricos (usando caminhamento elétrico) com o arranjo Dipolo-dipolo no garimpo da Raimunda, que está inserido na Província Aurífera de Alta Floresta (PAAF), adquirindo dados de cargabilidade e resistividade, utilizando o ELREC PRO (IRIS Instrumento), permitiu diferenciar as estruturas litológicas presentes na área e inferir uma área mineralizada.

Essa aquisição possibilitou a geração de modelos e mapas (de resistividade e cargabilidade). A análise e interpretação feita através destes diferentes resultados da inversão dos dados e usando uma sondagem mecânica para validar as conclusões possibilitou a geração de um modelo litológico sólido. Com isso, nessa área os modelos revelaram conter uma camada de solo (até 15 metros de profundidade), uma camada contendo o saprólito que se revelou um local que contém alta cargabilidade e foi a grande surpresa da pesquisa por conter uma região de alta cargabilidade e baixa resistividade sugerindo a existência de mineralização sulfetada que não foi oxidada. E uma terceira camada que contém o granito no qual não foi observado nenhum valor anômalo de cargabilidade que por consequência não estava mineralizado ou que a amostragem realizada não possibilitou a sua descoberta.

A interpretação dos mapas de cargabilidade e resistividade sugerem a existência de algum controle estrutural na área pois as suas isolinhas, principalmente nos níveis 4 à 6, têm um alinhamento preferencial NW-SE que é o mesmo alinhamento regional das estrutural sugerido por Barros (2007).

A anomalia detectada na linha 1 está no mesmo alinhamento da mineralização que estava sendo explorada pelos garimpeiros e com uma profundidade mais rasa, o que sugere que a mineralização está indo para a superfície ou a existência de um novo corpo mineralizado.

Para a área do garimpo da Raimunda os resultados obtidos com o método elétrico tiveram ótima correlação com as possíveis estruturas geológicas, o que torna o método uma excelente ferramenta para prospecção mineral para a região.

### **Agradecimentos**

Agradecimentos à Companhia Matogrossense de Mineração pelo apoio logístico e a Cooperativa de Garimpeiros do Vale do Rio Peixoto de Azevedo pelo apoio financeiro e operacional nas etapas de campo. A Secretaria de Estado de Educação do Distrito Federal - SEEDF pelo suporte financeiro ao autor durante a realização do trabalho. Ao Programa de Pós-Graduação em Geologia e aos Laboratórios de Geofísica Aplicada da Universidade de Brasília (UnB) e ao Laboratório de Geofísica Aplicada da Universidade Federal do Paraná.(UFPR).

## Bibliografia

- Assis, R.R., 2015. Depósitos auríferos associados ao magmatismo felsico da Província de Alta Floresta (MT), Craton Amazônico: litogeoquímica, idade das mineralizações e fonte dos fluidos (Doctorate thesis). Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 363 p.
- BARROS, A. J. P. DE (UNICAMP). Granitos Da Região De Peixoto De Azevedo - Novo Mundo E Mineralizações Auríferas Relacionadas - Província Aurífera Alta Floresta (Mt). [s.l.] Universidade Estadual de Campinas, 2007.
- CÂMARA, V. et al. [Study of exposure to and health effects of atmospheric metallic mercury pollution in an urban population of Poconé, Mato Grosso, Brazil]. *Cadernos de saude publica / Ministerio da Saude, Fundacao Oswaldo Cruz, Escola Nacional de Saude Publica*, v. 12, n. 1, p. 69–77, 1996.
- Chapellier, D. (2000) *Prospection électrique en surface. Cours de géophysique*. Université de Lausanne, Institut Français de Pétrole, Lausanne, 98 p.
- Cordani, U.G., Assinari, C.C.G., Teixeira, W., Basei, M.A.S., Kawashita, K., 1979. Evolução Tectônica da Amazônia com base nos dados geocronológicos: Actas, II Congresso Geológico Chileno, pp. 137e148.
- Cordani, U.G., Teixeira, W., 2007. Proterozoic accretionary belts in the Amazonian Craton. In: Hatcher Jr., R.D., Carlson, M.P., McBride, J.H., Martinez Catalan, J.R. (Eds.), *4-D Framework of Continental Crust*, Geological Society of America Memoir, vol. 200, pp. 297e320. [http://dx.doi.org/10.1130/2007.1200\(14\)](http://dx.doi.org/10.1130/2007.1200(14)).
- Dahlin, T., Rosquist, H. and Leroux, V. (2010) Resistivity-IP Mapping for Landfill Applications. *First Break*, 28, 101- 105.
- Dardenne, M.A., Schobbenhaus, C., 2001. O escudo do Brasil Central. In: *Metalo gênese do Brasil*. Univ. Brasília/CPRM, Brasília, pp. 46e105.
- Loke, M. H., Chambers, J. E., Rucker, D. F., Kuras, O., Wilkinson, P. B.. Recent developments in the direct-current geoelectrical imaging method. *Journal of Applied Geophysics*, 2013 v95, 135-156p
- M. H. Loke, “Electrical Imaging Surveys for Environmental and Engineering Studies. A Practical Guide to 2-D and 3-D surveys,” 2000.
- M. H. Loke, “Res2Dinv ver. 3.59 for Windows XP/Vista/7, 2010. Rapid 2-D Resistivity e IP Inversion Using the Least-Squares Method. Geoelectrical Imaging 2D e 3D Geotomo Software,” 2010.
- Miguel-Jr, E., 2011. Controle Estrutural das mineralizações auríferas e idades U-Pb das rochas encaixantes ao longo do Lineamento Peru-Trairão: Província Aurífera de Alta Floresta, Mato Grosso (Master thesis). Geoscience Institute, University of Campinas e UNICAMP.

Moura, M.A., 1998. O Maciço Granítico Matup\_a e o Dep\_osito de Ouro Serrinha (MT): Petrologia, Alteraç~ao Hidrotermal e Metalogenia (Doctorate thesis). Instituto de Geoci^encias, Universidade de Brasília, Brasília, 238 p.

Silva, M.G., Abram, M.B., 2008. Projeto metalogenia da Província Aurífera Juruena- Teles Pires, Mato Grosso. Serviço Geol\_ogico Brasileiro, CPRM, Goi^ania, 212 p.

Souza, J.P., Frasca, A.A.S., Oliveira, C.C., 2005. Geologia e Recursos Minerais da Província Mineral de Alta Floresta. Relat\_orio Integrado. Serviço Geol\_ogico Brasileiro, CPRM, Brasília, 164 p.

Tassinari, C.C.G., Macambira, M.J.B., 1999. Geochronological provinces of the Amazonian Craton. Episodes 22, 174e182.

Teixeira, W., Tassinari, C.C.G., Cordani, U.G., Kawashita, K., 1989. A review of the geochronology of the Amazonian Craton: tectonic implication. Precambian Res. 42, 213e227.

Bettencourt, Jorge S.; JulianI, Caetano; Xavier, Roberto Perez; Monteiro, L. V. S.; Bastos Neto, Artur C; Klein, Evandro Luiz; Assis, R. R.; Leite Junior, Washington Barbosa; Moreto, C. P. N.; Fernandes, Carlos Marcelo Dias; Pereira, V P; Metallogenic systems associated with granitoid magmatism in the Amazonian Craton: an overview of the present level of understanding and exploration significance, 2015, Journal of South American Earth Sciences. pp.1-28.

Santos J. O. S., Groves D. I., Hartmann L. A., Moura M. A., Mcnaughton N. J. 2001. Reply to the discussion on "Gold deposits of the Tapajos and Alta Floresta domains, Tapajós-Parima orogenic belt, Amazon Craton, Brazil". Mineralium deposita, 36: 278-299.

Loke M. H., Chambers J. E., Rucker D. F., Kuras O., Wilkinson P. B. 2013. Recent developments in the direct-current geoelectrical imaging method. Journal of Applied Geophysics 95. pp. 135-156.

Loke, M.H. and Barker, R.D. (1996) Rapid Least-Squares Inversion of Apparent Resistivity Pseudosections by a Quasi-Newton Method. Geophysical Prospecting, 44, 131-152. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2478.1996.tb00142.x>

Loke, M.H. (2000) Electrical Imaging Surveys for Environmental and Engineering Studies. A Practical Guide to 2-D and 3-D Surveys, 61.

P. Keary and M. Brooks, "An Introduction to Geophysical Exploration," 2nd Edition, Blackwell Scientific Publications, London, 1991, 254 p.

D. S. Parasnis, "Principles of Applied Geophysics," 5th Edition, Chapman and Hall, London, England, 1997, pp. 104-176.

S. H. Ward, "Resistivity and Induced Polarization Methods," In: S. H. Ward, Ed., Geotechnical and Environmental Geophysics, Society of Exploration Geophysicists, Tulsa, 1990, pp. 147-190.

M. H. Loke, "Res2Dinv ver. 3.59 for Windows XP/Vis- ta/7, 2010. Rapid 2-D Resistivity

e IP Inversion Using the Least-Squares Method. Geoelectrical Imaging 2D e 3D Geotomo Software,” 2010.

Koefoed O. 1979. Resistivity Sounding Measurements. Elsevier, Amsterdam, 276 pp.

Telford W.M., Geldart L.P., Sheriff R.E., Keys D.A. 1985. Applied Geophysics. Cambridge University Press, Cambridge, 860 pp.

## 6. Conclusão

### 6.1 CONCLUSÃO E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

O uso dos métodos elétricos, usando a técnica de caminhamento elétrico com o arranjo Dipolo-dípolo com espaçamento entre os eletrodos de 20 metros se revelou um sucesso. O uso do equipamento de transmissão de sinal VIP 3000 e do receptor ELREC PRO foram essenciais para esse sucesso uma vez que possibilitaram a injeção de correntes no solo muito elevadas (a média dos valores de corrente foi de 1000 mA).

A cargabilidade presente no saprólito foi elevada, isso se deve a presença de argilo-minerais decorrentes do processo de intemperismo do sienogranito e sabendo que esses argilo-minerais são a causa principal da polarização de membrana a conclusão que cheguei foi que a cargabilidade alta presente nesta camada se deveu a polarização de membrana. Essa cargabilidade decorrente da polarização de membrana nessa litologia não foi suficiente para mascarar o sinal de uma possível zona mineralizada pois a cargabilidade desta última foi muito maior que a cargabilidade do meio. A cargabilidade de uma zona mineralizada é decorrente em grande parte da polarização de eletrodo.

Foi possível concluir que as zonas mineralizadas deste local não são constantes ou não permanecem por uma grande distância, pois o furo de sondagem usado neste trabalho detectou zona mineralizada e o perfil geofísico feito a 40 metros não detectou e a anomalia detectada na linha 1 não teve continuidade na linha 2 mesmo sugerindo a continuidade do filão para o norte da área.

Não foi possível alcançar a profundidade da zona mineralizada presente no sienogranito mostrada na sondagem mecânica (aproximadamente 100 metros) uma vez que a profundidade limite na geofísica foi de 60 metros. Para alcançar tal profundidade sugiro a realização de uma nova campanha geofísica com mesmo espaçamento e aquisição de 20 níveis de profundidade ou a abertura do dipolo para 40 metros, lembrando que essa última opção vai diminuir a amostragem dos dados e pode não possibilitar a detecção de anomalias menores.

Posto isso, sugiro ainda, a realização de mais duas linhas ao norte da área para constatar a continuidade do filão no saprólito e a realização de uma sondagem mecânica para verificar a condição que esse mineral se encontra.

Para a área do Granito Novo Mundo os resultados obtidos com o método elétrico tiveram ótima correlação com as possíveis estruturas geológicas e com a zona hidrotermal mineralizada, o que torna o método uma excelente ferramenta para prospecção mineral para a região.

## REFERÊNCIAS

- Abreu Filho, W.; Barros, A. J. P. De; Barreto Filho, J. A., 1992. Projeto Ouro; Gemas. Relatório Anual da Área Piloto da Reserva Garimpeira de Peixoto de Azevedo. Cuiabá: DNPM/CPRM. 31p. (Relatório Anual - Inédito).
- Assis, R.R., 2008. Contexto geológico e associação paragenética das mineralizações auríferas de União do Norte, região de Peixoto de Azevedo, Província de Alta Floresta (MT). Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, Trabalho de Conclusão de Curso, 81 p.
- Assis, R.R., Xavier, R.P., Paes de Barros, A.J., Barbuena, D., Trevisan, V.G., Ramos, G.S., Teixeira, R.V., Miguel-Jr, E., Rodrigues, R.M., Stabile-JR, A., Santos, T.J.S., Miranda, G.M.T., Barros, M.A.S.A., Pinho, F., 2014. Depósitos de Au e Au + metais de base associados a sistemas graníticos paleoproterozóicos do setor leste da Província de Alta Floresta (MT), Cráton Amazônico. In: Silva, M.G., Neto, M.B.R., Jost, H., Kuyumjian, R.M. (Eds.), Metalogenia das Províncias Tectônicas Brasileiras. CPRM, Belo Horizonte, pp. 305-340.
- Assis, R.R., 2015. Depósitos auríferos associados ao magmatismo félsico da Província de Alta Floresta (MT), Cráton Amazônico: litogeoquímica, idade das mineralizações e fonte dos fluidos (Tese de Doutorado). Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 363 p.
- Assis, R. R. 2011. Depósitos auríferos associados ao magmatismo granítico do setor leste da Província de Alta Floresta (MT), Craton Amazônico: tipologia das mineralizações, modelos genéticos e implicações prospectivas. Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas; Dissertação de Mestrado; 456p.
- Ayres Neto, A. 2000. Uso da sísmica de reflexão de alta resolução e da sonografia na exploração mineral submarina. Revista Brasileira de Geofísica, V. 18, 241- 256p.
- Barker R. D. 1989. Depth of investigation of collinear symmetrical four-electrode arrays. *Geophysics*. Vol. 54: 1031 – 1037.
- Bettencourt, J, S.; Juliani, C; Xavier, R, P; Monteiro, L. V. S.; Bastos Neto, A, C; Klein, E, L; Assis, R. R.; Leite Junior, W, B; Moreto, C. P. N.; Fernandes, C, M, D.; Pereira, V P; 2015. Metallogenic systems associated with granitoid magmatism in the Amazonian Craton: an overview of the present level of understanding and exploration significance, *Journal of South American Earth Sciences*. pp.1-28.
- Cordani U.G. e Teixeira W. 1979. Determinações Geocronológicas no Estado do Rio de Janeiro: uma síntese. In: Seminário de Geologia 5, Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), p.: 29-44.
- Coutinho, M.G., Robert, F., SANTOS, R.A. 1998. Província Mineral do Tapajós, Amazônia, Brasil: Novo enfoque geológico das mineralizações de ouro. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 40. *Anais...*, SBG, Belo Horizonte, p. 160.

CPRM (Serviços Geológico do Brasil), 2008. Projeto Metalogenia da Província Aurífera Juruena-Teles Pires, Mato Grosso. Informe de Recursos Minerais. Programa Geológico do Brasil. Série Ouro, n° 16, 212p.

Corwin, R.F. 1990. The self-potential method for environmental and engineering applications. In: S.H. Ward (ed). Geotechnical and environmental geophysics. Vol. I: Review and tutorial. Soc. of Exploration Geophysics. Tulsa, OH.

DNPM (Departamento Nacional de Produção Mineral), 2014. Sumario Mineral. Volume 34, Brasília.

Eilu, P., Mathison, C. L., Groves, D.I., Allardyce, W.; 1999. Atlas of alterations assemblages styles and zoning in orogenic lode gold deposits in a variety of the host rock and metamorphic settings. University Extension e Department of Geology and Geophysics. The University of Western Australia. Pub. 30, 64 p.

Fachin, S. J. S. 2007. Ensaio geoeletricos 2D no antigo lixão de Ribeirão Preto - SP: avaliação de parâmetros de aquisição e monitoramento ambiental do problema. Dissertação de mestrado, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto - SP, Brasil.

Gandolfo, O. C. B.; Gallas, J.D.F., 2007. O arranjo polo-dipolo como alternativa ao dipolo-dipolo em levantamento 2D de eletroresistividade. *Revista Brasileira de Geofísica*, Vol. 25(3), 227-235.

Griffiths, DoH. and King, R.F., 1981. Applied Geophysics for Geologists and Engineers. Oxford: Pergamon. Griffiths, D. H.; Turnbull, J., 1985. A multi-electrode array for resistivity surveying. *First Break* 3 (No. 7), 16-20.

Griffiths, D. H.; Turnbull, J.; Olayinka, A.I., 1990. Two-dimensional resistivity mapping with a computer controlled array. *First Break* 8, 121-129.

Groves D.I., Goldfarb, R.J., Genre-Mariam, M., Hagemann, S.G., and Robert, F., 1998, Orogenic gold deposits: A proposed classification in the context of their crustal distribution and relationships to other gold deposit types: *Ore Geology Reviews*, 13, 7-17p.

Haberjam, G. M., 1979. Apparent resistivity observations and the use of square array techniques. Gebrüder Borntraeger, Berlin. 152p.

Hagemann, S.G., Cassidy, K.F.; 2000. Archean orogenic lode gold deposits. In: S.G.

Hagemann, P.E. Brown (Eds.), Gold in 2000. Reviews in Economic Geology 13, 9-68p.

Hagemann S.G. e Cassidy K.F.; 2001. World-class gold camps and deposits in the

Eastern Goldfields Province. Yilgarn Craton: diversity in host rocks, structural controls and mineralization styles. Aust. Geol. Survey, 17 p.

KEAREY, P.; BROOKS, M.; HILL, I., 2009. Geofísica de exploração. Tradução Maria Cristina Moreira Coelho. São Paulo: Oficina do Texto, 438p

Lago, A.P., 2009. Investigação geofísica 2D e 3D com aplicação em meio ambiente: estudo sobre uma área de disposição de resíduos de óleo lubrificante no município de Ribeirão Preto

– SP. Dissertação de Doutorado. Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 194p.

Loke M. H.; Barker R. D., 1996. Practical techniques for 3D resistivity surveys and data inversion. *Geophysical Prospecting*, Vol. 44: p.499-523

Loke, M.H., 2010. Tutorial: 2-D and 3-D electrical imaging surveys. 145p. Disponível em: <http://www.goelectrical.com/downloads.php> (acessado em 02/05/2016).

McNeill, J.D. 1990. Use of Electromagnetic Methods for Groundwater Studies. In: WARD, S.H. Investigations in Geophysics No. 5, Geotechnical and Environmental Geophysics, Vol. I: Review and Tutorial. Tulsa, Society of Exploration Geophysicists. p.147-189.

Miguel Jr. E. 2011. Controle estrutural das mineralizações auríferas e idade U-Pb das encaixantes ao longo do lineamento Peru-Trairão: Província Aurífera de Alta Floresta, Mato Grosso. Dissertação de Mestrado – Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

MILSON, J., 2003. Field Geophysics: The Geological Field Guide Series. Third Edition. Wiley, University College London, England, 232p.

Misra K.C.1999, Understanding Mineral Deposits. Kluwer Academic Publishers. Springer Science e Business Media, 2000 - 845 p.

Moura, M.A. 1998. O maço granítico Matupá no depósito de ouro Serrinha (MT): petrologia, alteração hidrometal e metalogenia. Instituto de Geociências, UNB. Brasília. Tese de Doutorado. 238 p.

Orellana, E., 1972. Prospección geoelectrica em corriente continua. Madrid, Ed. Paraninfo, Biblioteca Técnica Philips, 523p.

Paes de Barros, A.J. 1994. Contribuição a geologia e controle das mineralizações auríferas de Peixoto de Azevedo - MT. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. São Paulo. Dissertação (Mestrado em Geologia Econômica e Hidrogeologia), 145 p.

Paes de Barros A.J. 2007. Granitos da região de Peixoto de Azevedo – Novo Mundo e mineralizações auríferas relacionadas – Província Aurífera Alta Floresta (MT). Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 154p.

Parasnis, D.S.,1966 Mining Geophysics. Amsterdam: Elsevier.

Pazdirek, O.; Blaha, V., 1996. Examples of resistivity imaging using ME-100 resistivity field acquisition system. EAGE 58<sup>th</sup> Conference and Technical Exhibition Extended Abstracts, Amsterdam.

Pereima, J. B., 2011. Desafios atuais para o Sistema Monetário Internacional. Economia e Tecnologia - Ano 07, Vol. 27 - Outubro/Dezembro de 2011 Disponível em: <http://www.economiaetecnologia.ufpr.br/>

Petiau, G., Perrier, F. Physics and chemistry of electrodes for geophysical applications. In: The Garchy 1995-1996 electrode experiment technical report. Chapter 2. p. 17 – 28. 1998.

- Reynolds, J.M., 1997. An Introduction to Applied and Environmental Geophysics. John Wiley e Sons Ltd, Baffins Lane, Chichester, England, 796p.
- Rodrigues, R.M., 2012. Caracterização geológica e metalogenética do Depósito X1 e Província Aurífera de Alta Floresta, Região de Matupá (MT) (Dissertação de Mestrado). Universidade Estadual de Campinas, Campinas, Brasil, 70 p.
- Santos J.O.S., Hartmann L.A., Gaudette H.E., Groves D.I., McNaughton N.J., Fletcher I.R. 2000. A new understanding of the Provinces of the Amazon Craton based on integration of field mapping and U-Pb and Sm-Nd geochronology. *Gondwana Research*, 3(4): 453-488.
- Santos J. O. S., Groves D. I., Hartmann L. A., Moura M. A., Mcnaughton N. J. 2001. Reply to the discussion on "Gold deposits of the Tapajós and Alta Floresta domains, Tapajós-Parima orogenic belt, Amazon Craton, Brazil". *Mineralium deposita*, 36: 278-299.
- Serrato, A.A.A., 2014. Geocronologia e evolução do sistema hidrotermal do depósito aurífero de Juruena, Província Aurífera de Alta Floresta (MT), Brasil (Tese de Doutorado). Universidade Estadual de Campinas, Campinas, Brasil, 83 p.
- Santos J.O.S., Hartmann L.A., Faria M.S.G., Riker S.R., Souza M.M., Almeida M.E., McNaughton N.J. 2006. A compartimentação do Craton Amazonas em províncias: avanços ocorridos no período 2000-2006. In: SBGNO, Simposio de Geologia da Amazonia, 9, Belem, CD-Rom.
- Singerland, R.L., Smith N.D., 1986. Occurrence and formation of water-laid placers. *Ann. Rev. Earth and Planet, Sci. Lett.*, Windley (ed), New York. 525-534p
- Silva M.G. e Abram M.B. 2008. Projeto metalogenia da Província Aurífera Juruena-Teles Pires, Mato Grosso. Goiania, Serviço Geológico Brasileiro, CPRM, 212p.
- Souza J.O., Frasca A.A.S., Oliveira C.C. 2005. Geologia e Recursos Minerais da Província Mineral de Alta Floresta. Brasília: CPRM-Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil (PLGB), 159 p.
- Souza, L. A. P. de. 2006. Revisão crítica da aplicabilidade dos métodos geofísicos na investigação de áreas submersas rasas. Tese de Doutorado. Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo. 311p.
- Sumner, J.S., 1976. Principle of Induced Polarization for Geophysical Exploration. Amsterdam: Elsevier. 277p.
- Tassinari C.C.G. e Macambira M.J.B. 1999. Geochronological Provinces of the Amazonian Craton. *Episodes*, 22(3):174-182.
- Teixeira W., Tassinari C.C.G., Cordani U.G., Kawashita K. 1989. A review of the geochronology of the Amazonian Craton: Tectonic Implications. *Precambrian Research*, 42: 213-227.
- Teixeira, N.A., Ganade, C.E., Matos, F.M.V., Campos, L.D., Carvalho, M.T.N., 2015. Alkaline porphyry copper deposits and Iocg e what is the link. In: Simpósio de Geologia da Amazônia, 14, SBG/NO (CD-ROM).

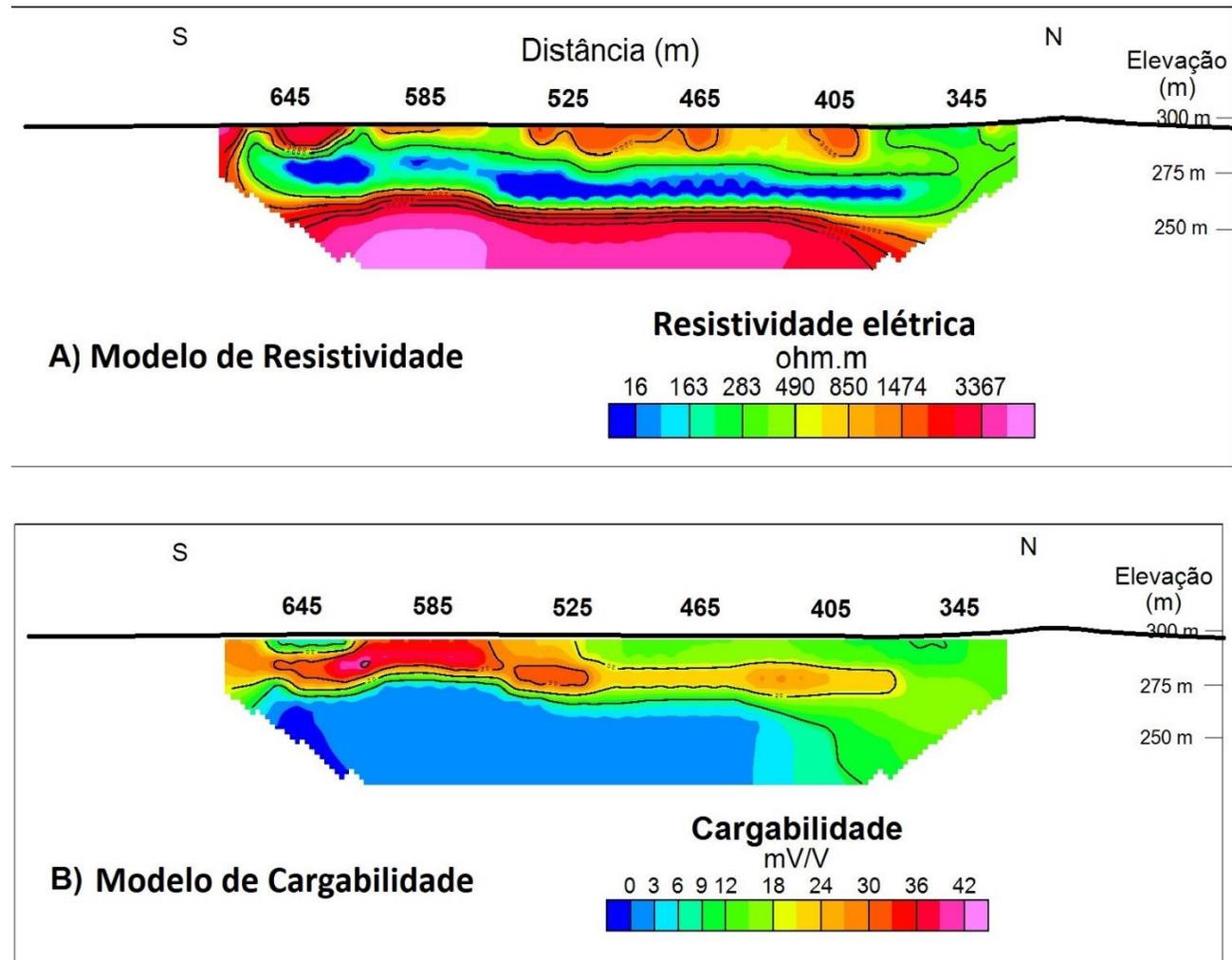
Telford, W. M.; Geldart, L. P., Sheriff R, E., 1990. Applied Geophysics. Cambridge University Press, 770p.

Trevisan, V.G., 2015. Estudo comparativo entre mineralizações filonares de Au ± Cu e Au + metais de base do setor leste da Província de Alta Floresta (MT), Craton Amazônico (Dissertação de Mestrado). Universidade Estadual de Campinas, 129 p.

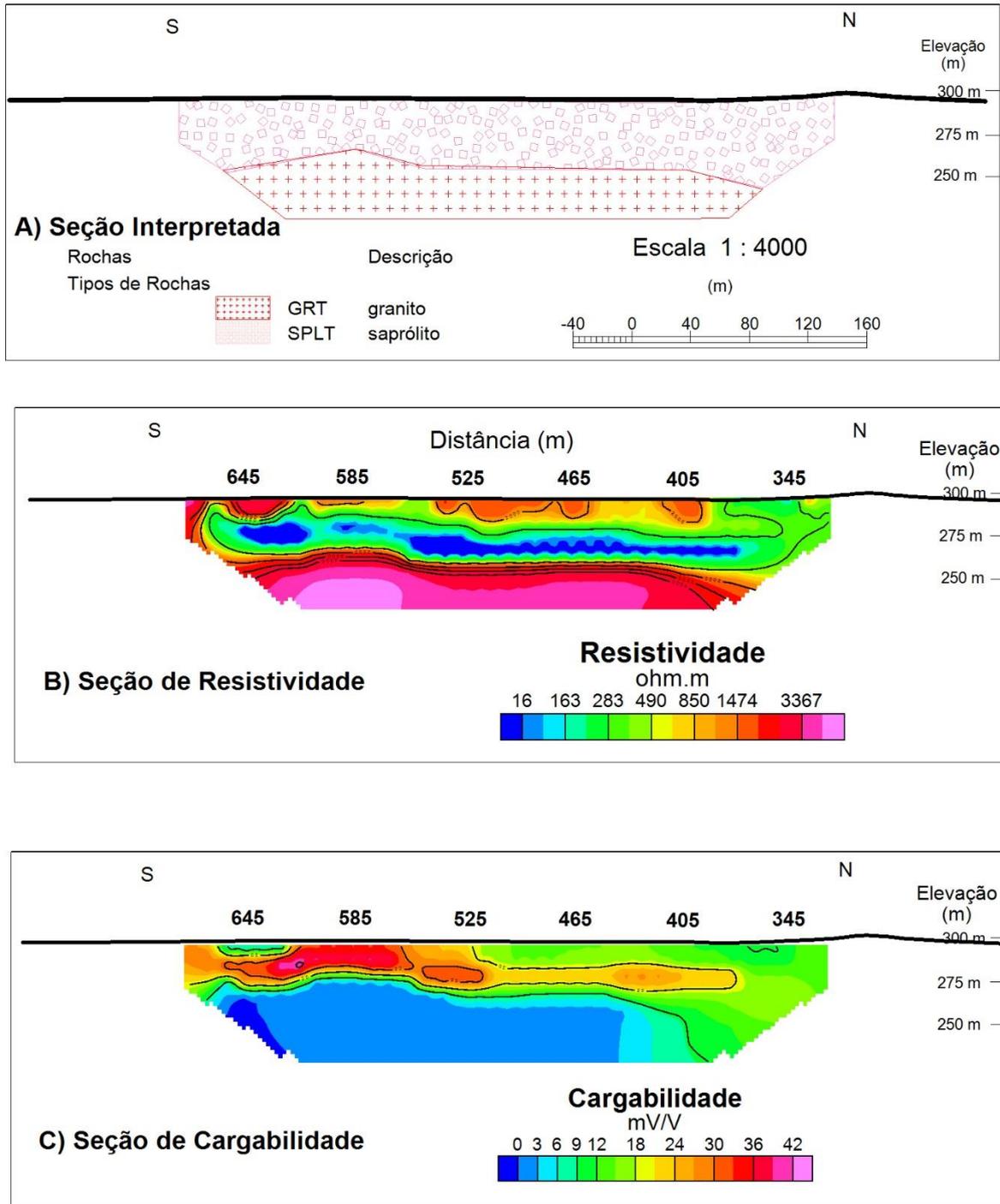
Urick, R.J. 1983. Principles of underwater sound. New York, McGraw-Hill Book Company, 423p

Ward, O. S. H., 1990. Resistivity and Induced Polarization Methods. Geotechnical and Environmental Geophysics, Volume 1: Review and Tutorial. Society of Exploration Geophysics, Tulsa, OK, p. 147-189.

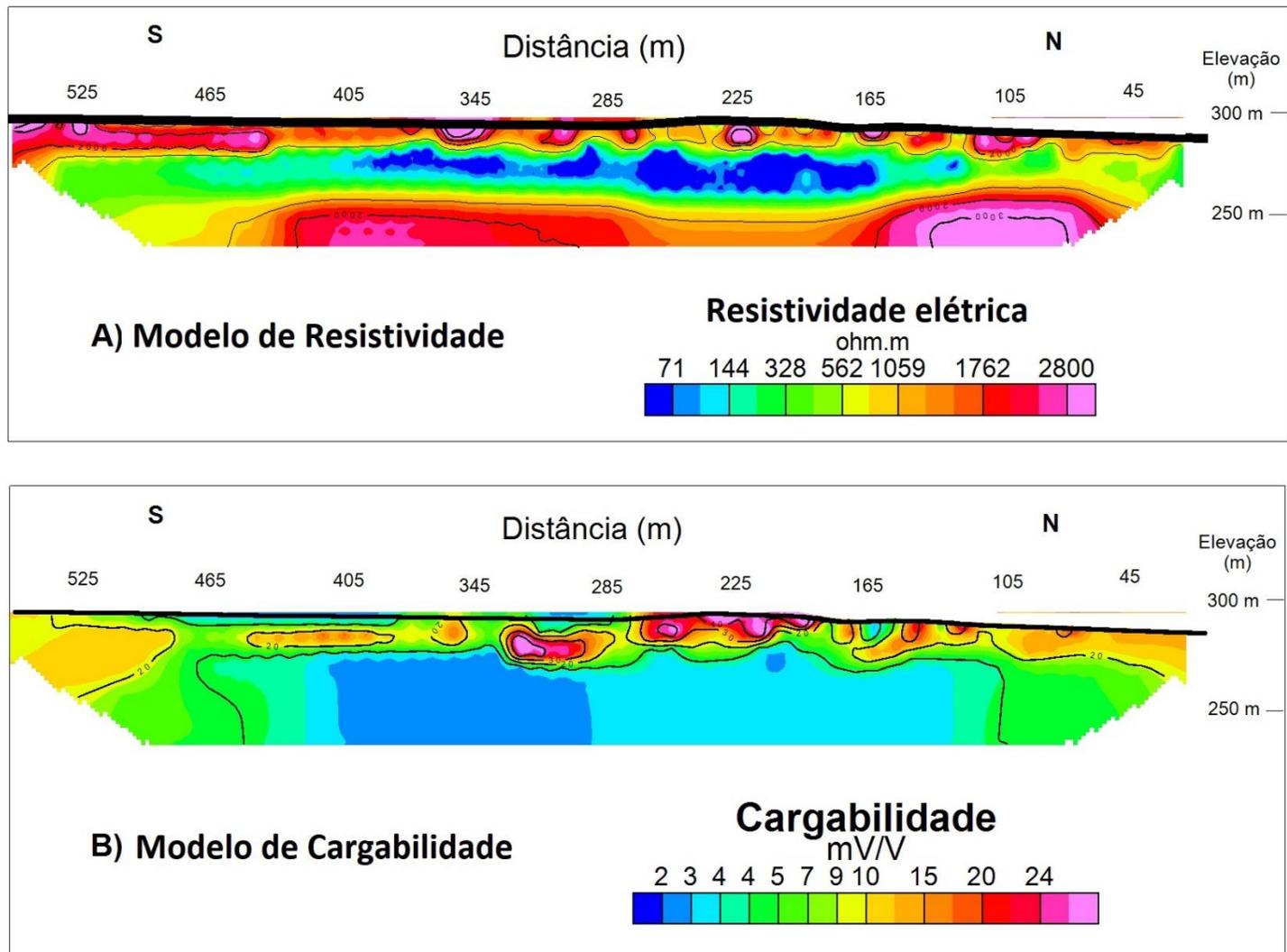
APÊNDICE



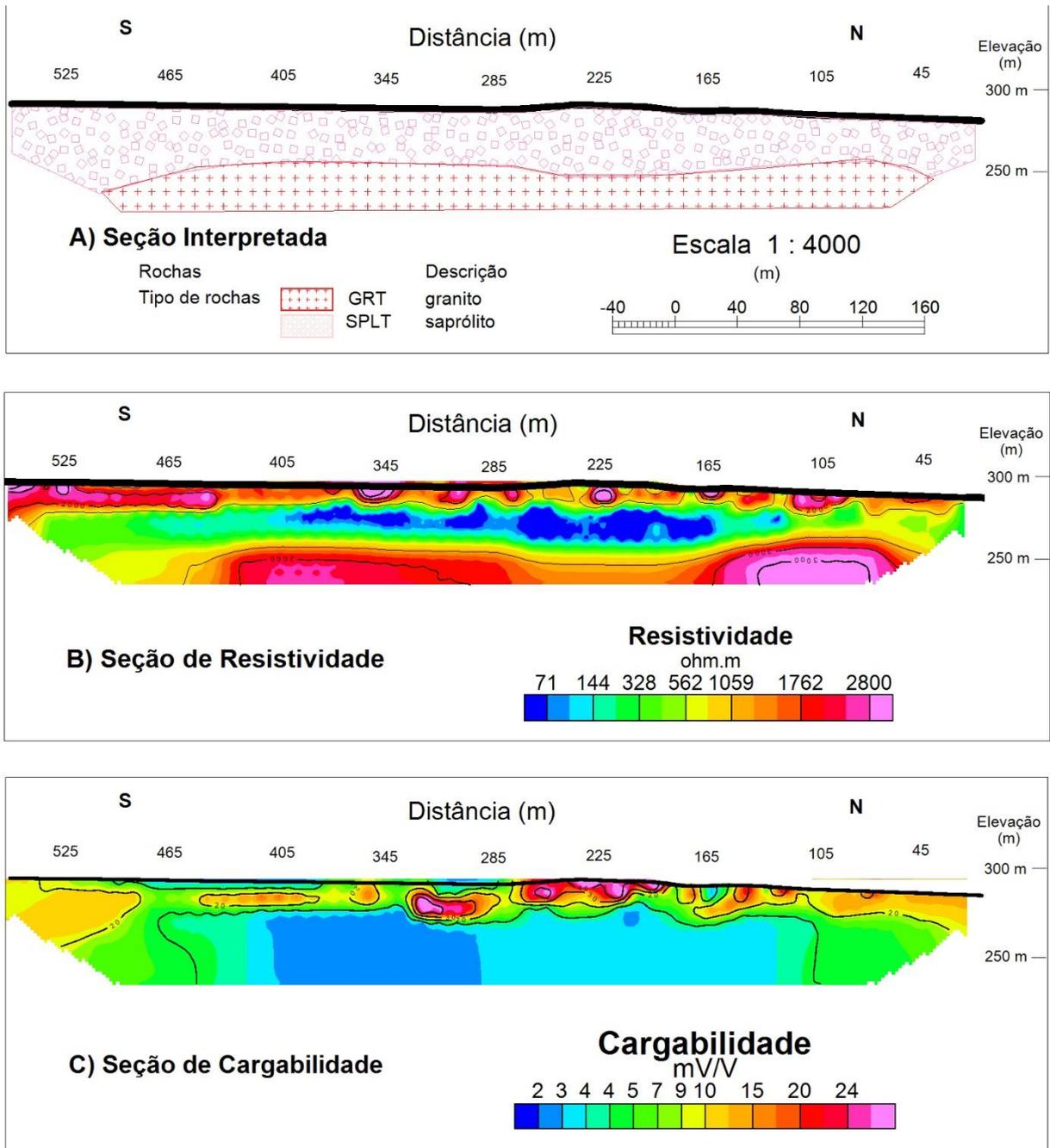
**Figura 7.1:** Perfil da Linha 3 que contém sua localização e distribuição de resistividade elétrica e cargabilidade em subsuperfície gerados pelo processo de inversão. A) Modelo de resistividade elétrica, obtida por meio de modelagem inversa. B) Modelo de cargabilidade, obtida por meio de modelagem inversa.



**Figura 7.2:** Perfil da Linha 3 que representa a distribuição de resistividade elétrica e cargabilidade em subsuperfície gerados pelo processo de inversão e o modelo interpretado. A) Modelo litológico interpretado contendo o saprólito e o granito. B) Modelo de resistividade elétrica, obtida por meio de modelagem inversa C) Modelo de cargabilidade, obtida por meio de modelagem inversa.



**Figura 7.3** Perfil da Linha 4 que contém sua localização e distribuição de resistividade elétrica e cargabilidade em subsuperfície gerados pelo processo de inversão. A) Modelo de resistividade elétrica, obtida por meio de modelagem inversa. B) Modelo de cargabilidade, obtida por meio de modelagem inversa.



**Figura 7.4** Perfil da Linha 4 que representa a distribuição de resistividade elétrica e cargabilidade em subsuperfície gerados pelo processo de inversão e o modelo interpretado. A) Modelo litológico interpretado contendo o saprólito e o granito. B) Modelo de resistividade elétrica, obtida por meio de modelagem inversa C) Modelo de cargabilidade, obtida por meio de modelagem inversa.

**Linha 1 - Dados adquiridos**

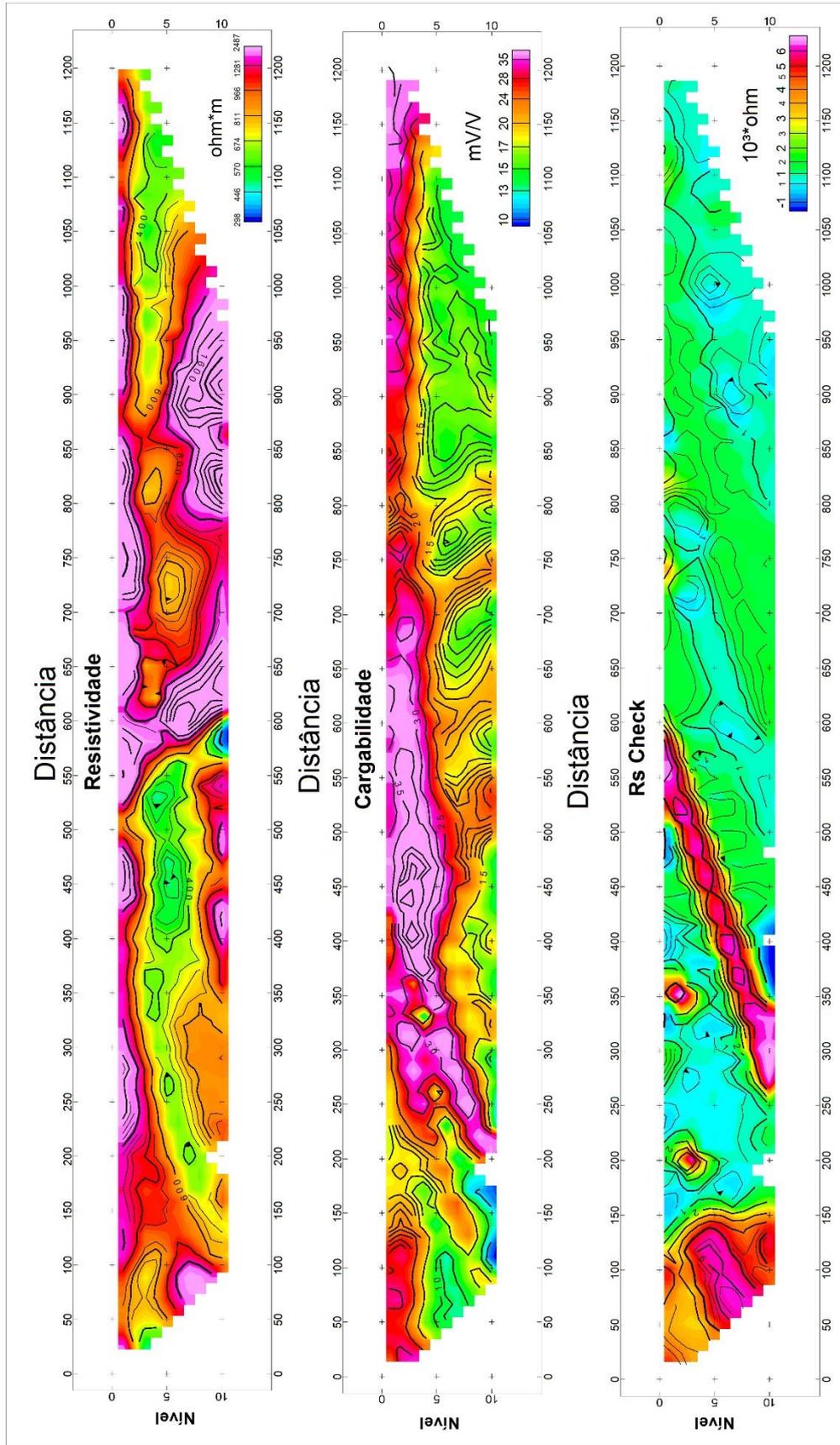


Figura 7.5: Perfil contendo os dados adquiridos.

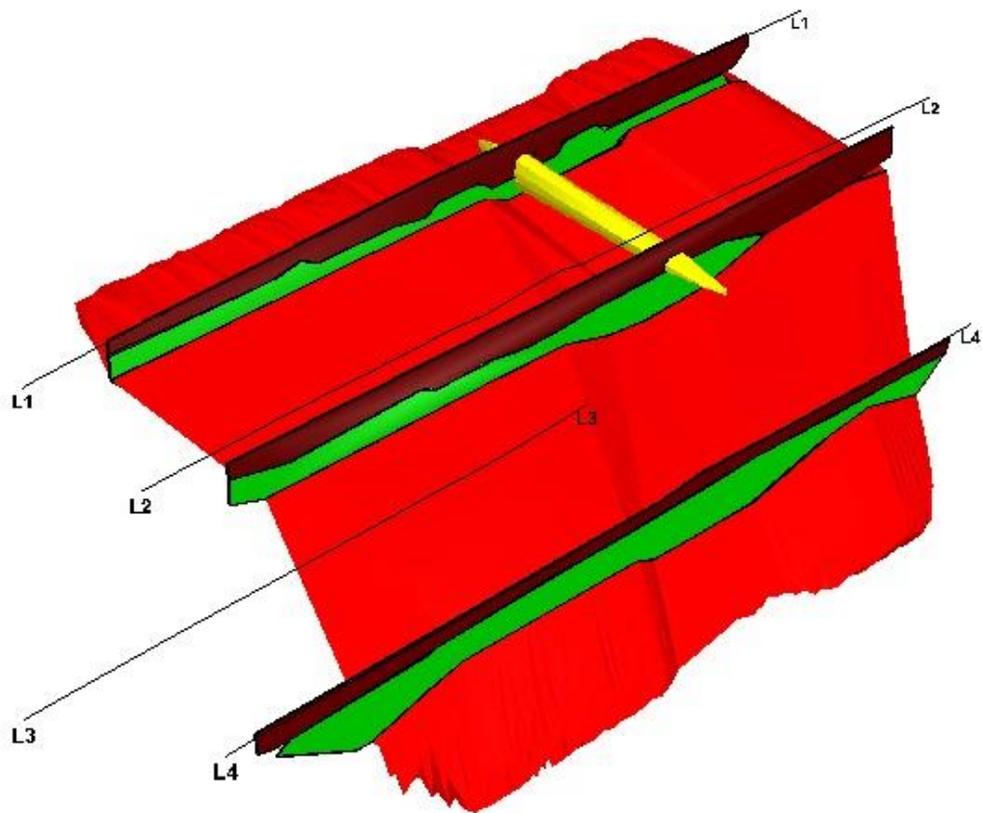


Figura 7.6: Seções interpretadas sobre o GNM

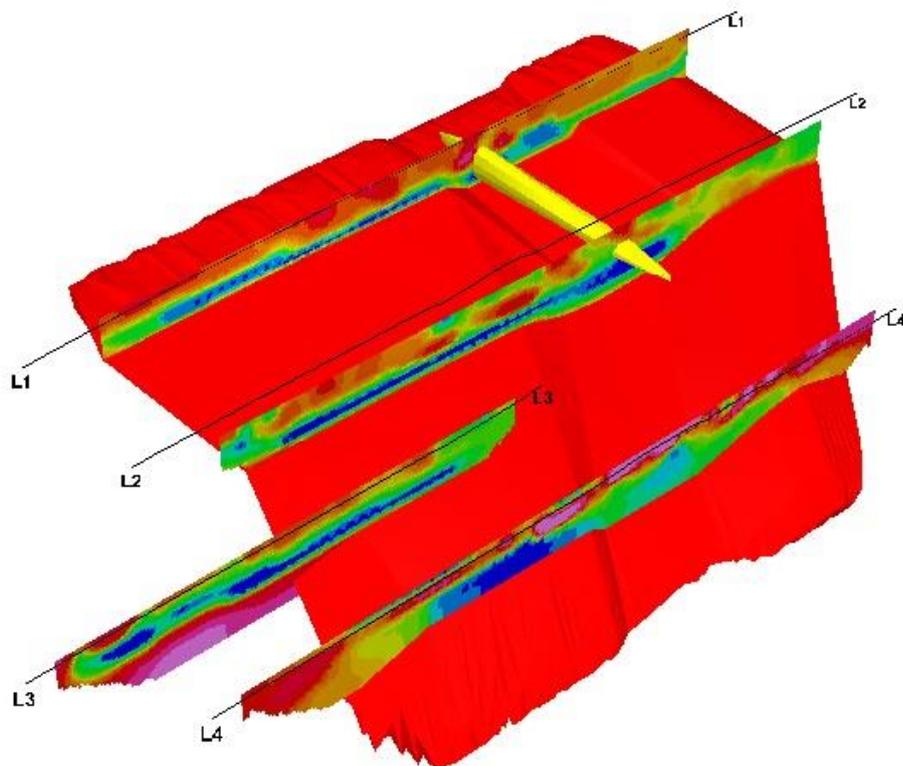


Figura 7.7: Seções de resistividade elétrica sobre o GNM

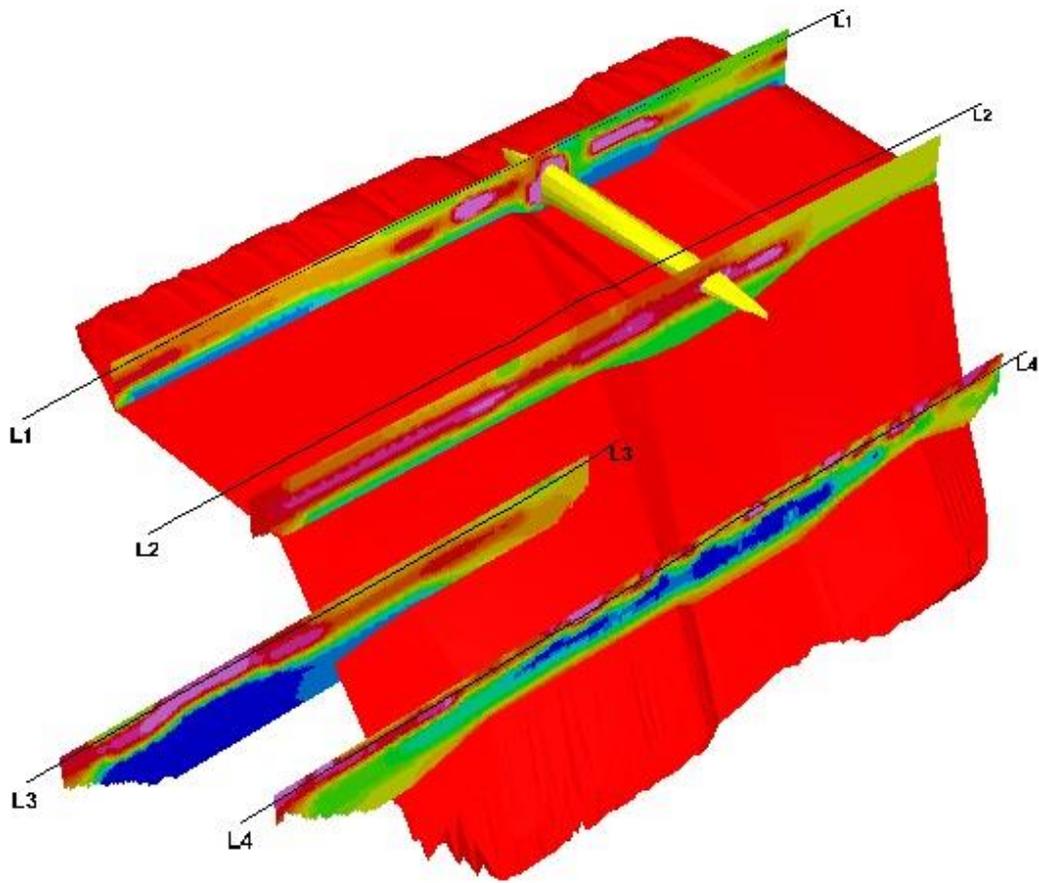


Figura 7.8: Seções de cargabilidade sobre o GNM

Linha 1 - Dados adquiridos

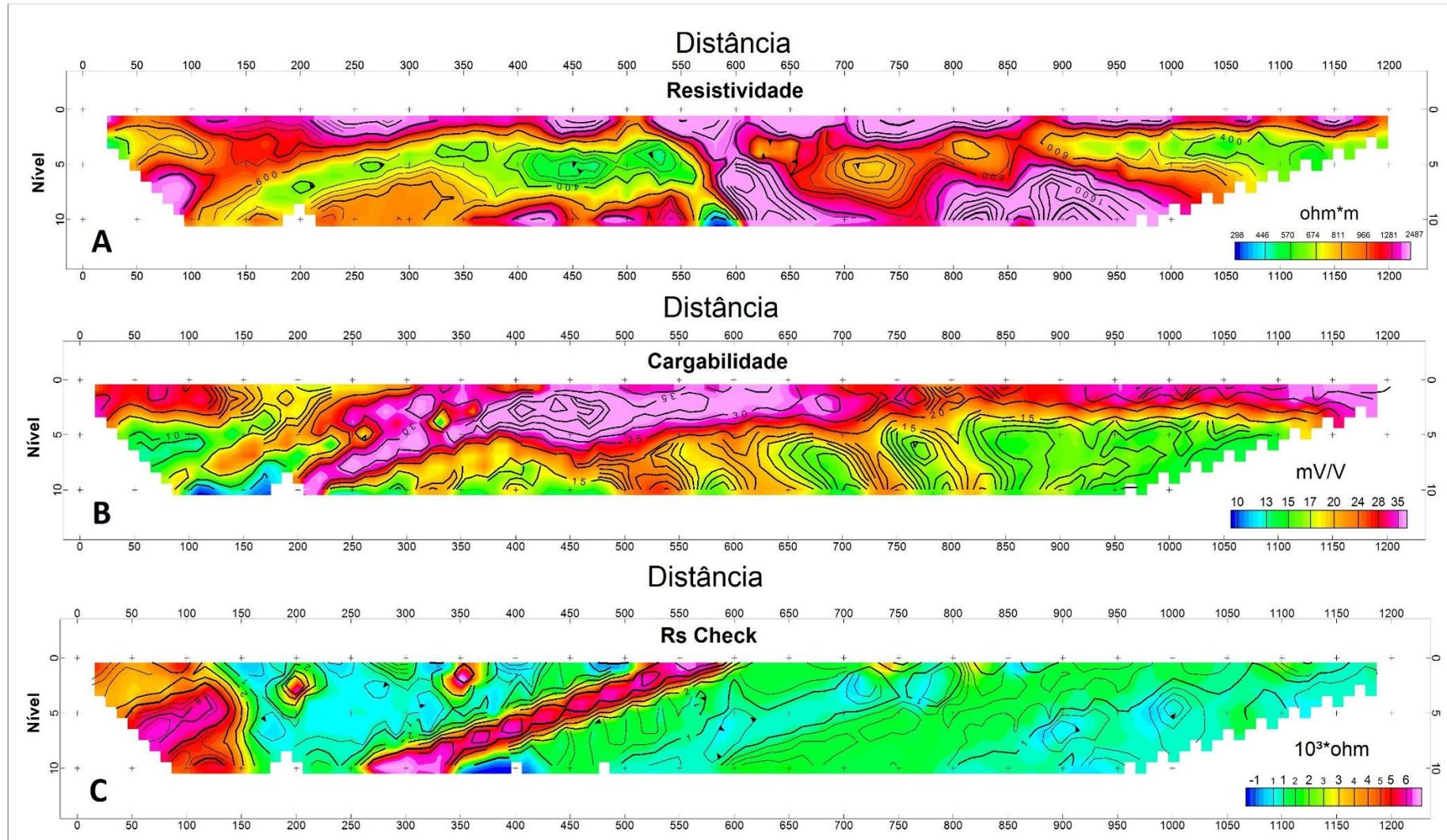


Figura 7.9: Seções de dados adquiridos da linha 1 de resistividade (A), cargabilidade (B) e resistividade de contato (C).

Linha 2 - Dados adquiridos

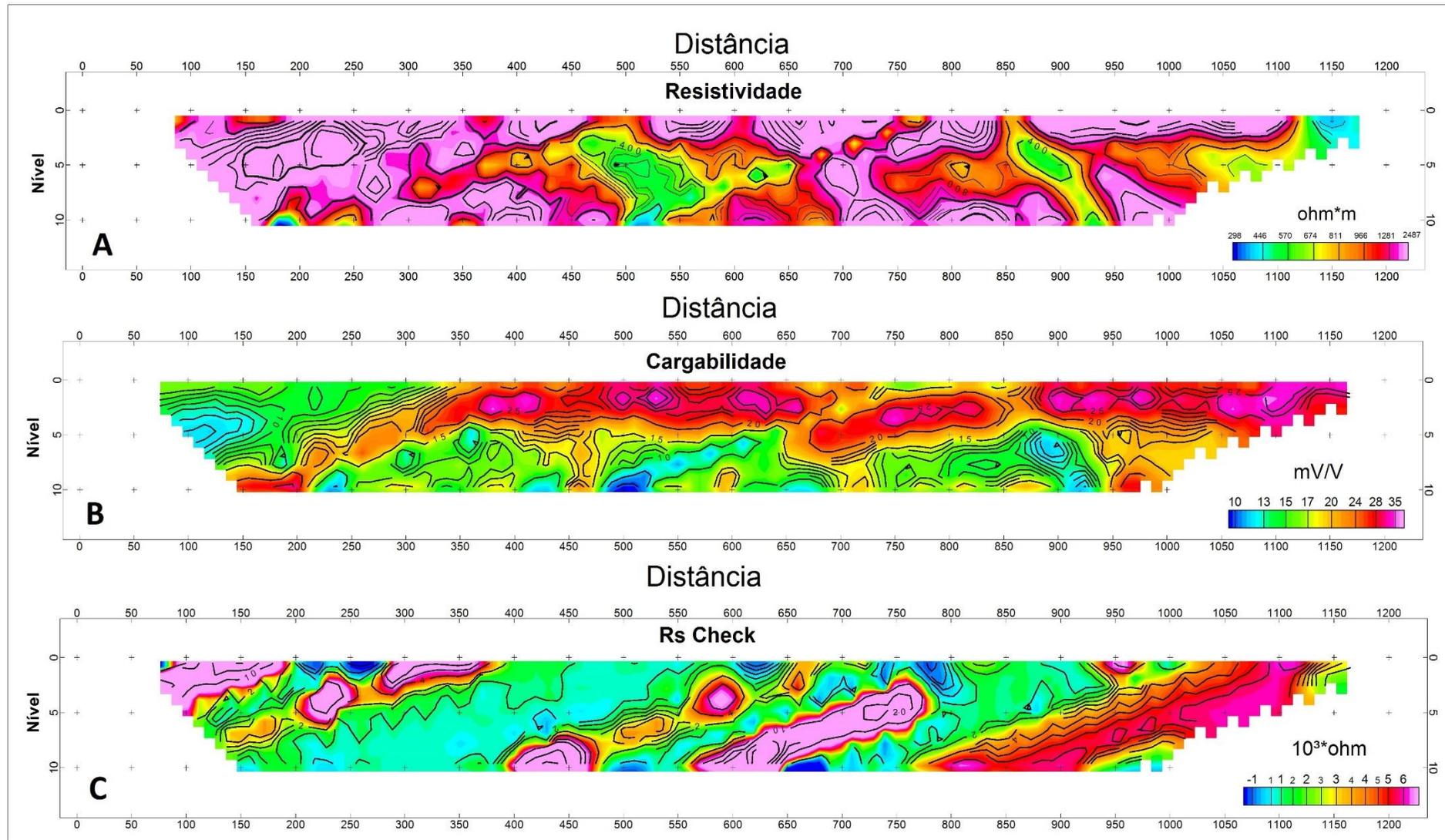


Figura 7.10: Seções de dados adquiridos da linha 2 de resistividade (A), cargabilidade (B) e resistividade de contato (C).

Linha 3 - Dados adquiridos

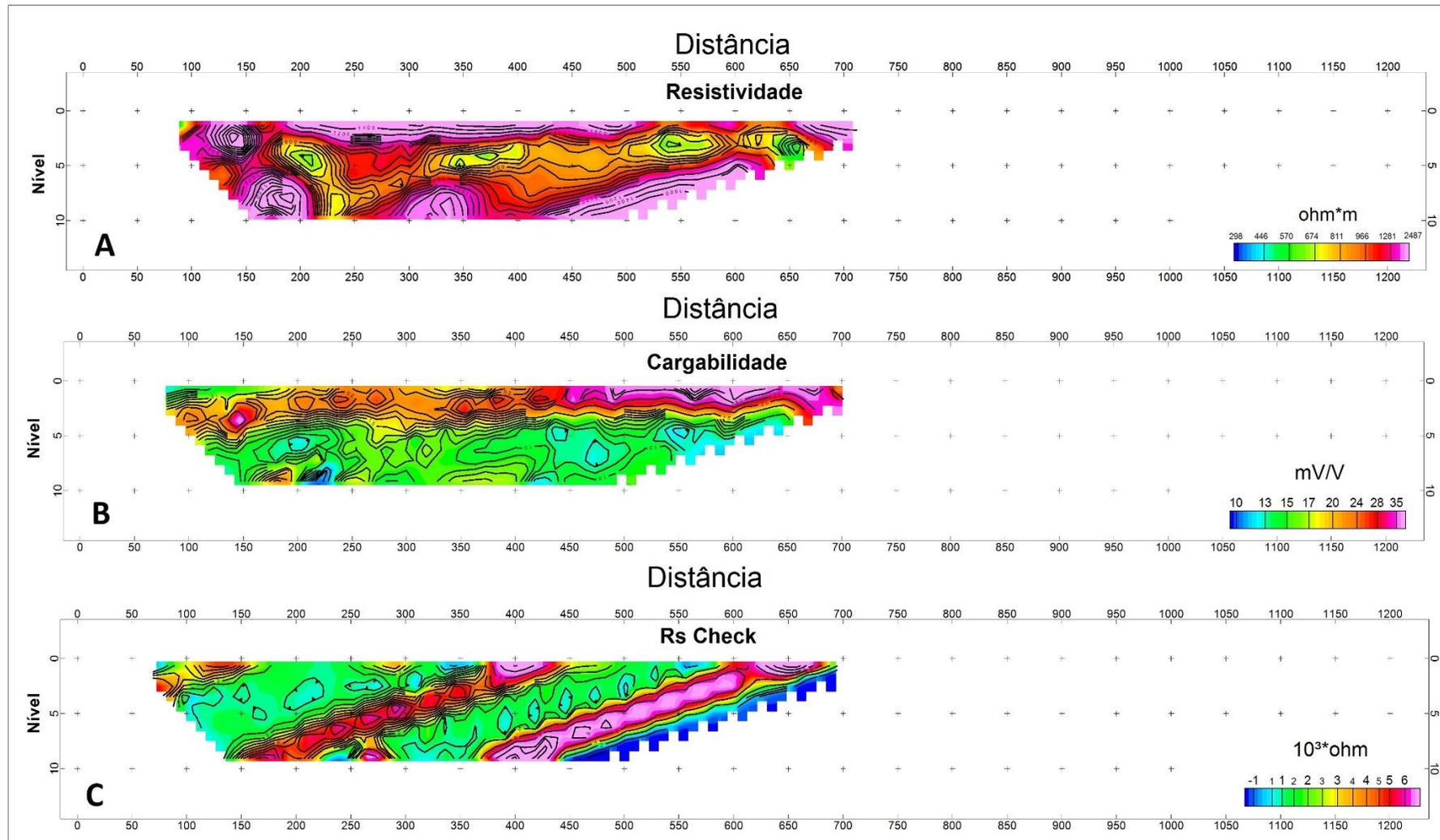


Figura 7.11: Seções de dados adquiridos da linha 3 de resistividade (A), cargabilidade (B) e resistividade de contato (C).

Linha 4 - Dados adquiridos

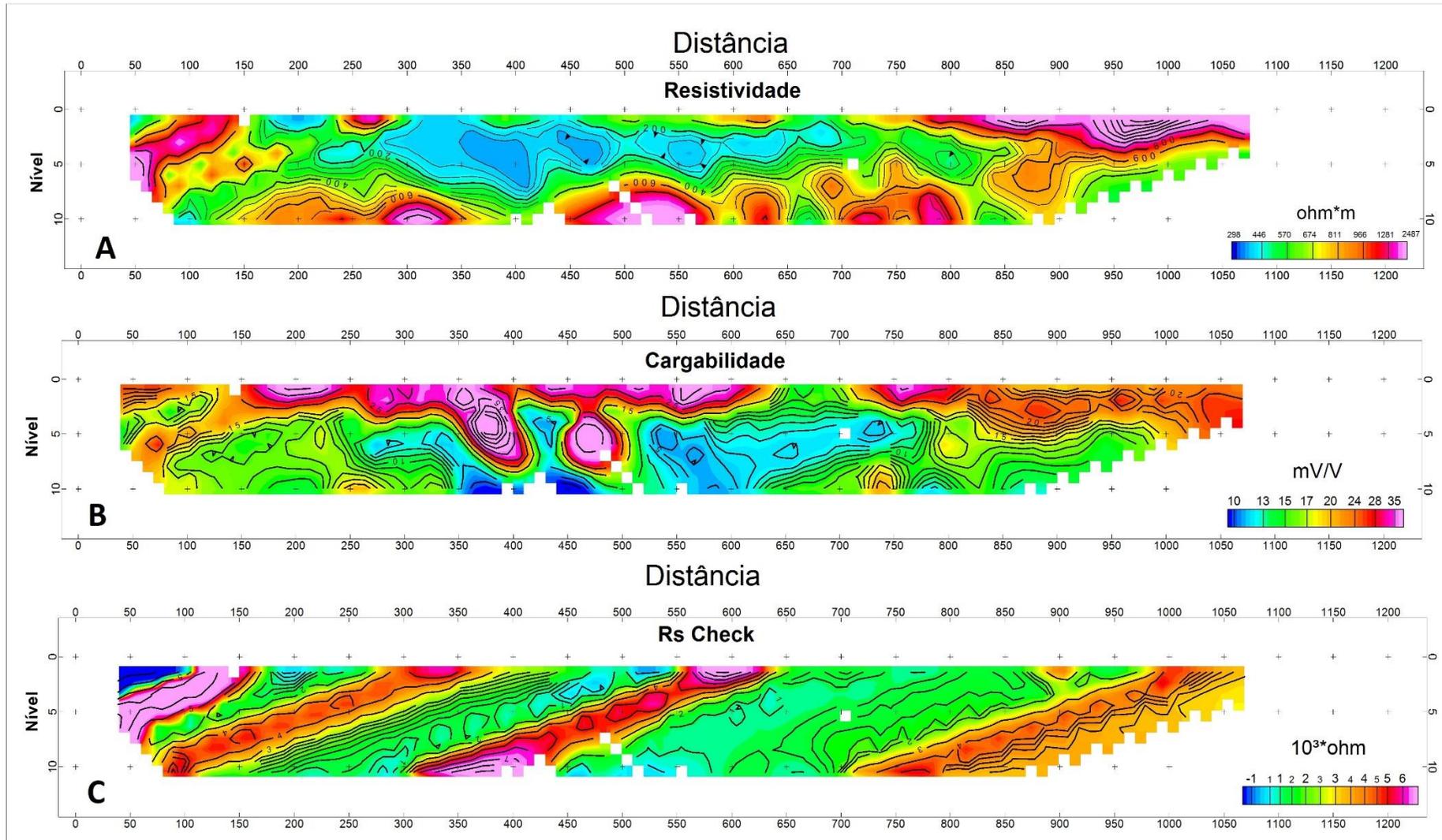


Figura 7.12: Seções de dados adquiridos da linha 4 de resistividade (A), cargabilidade (B) e resistividade de contato (C).