



**Universidade de Brasília**

**Instituto de Geociências**

Campus Universitário Darcy Ribeiro - Asa Norte - 70910-900 - Brasília-DF

Fax: (061) 3347-4062

Fones: (061) 3107-6987

---

**CARACTERIZAÇÃO LITO-GEOFÍSICA POR MÉTODOS GEOELÉTRICOS  
NA REGIÃO DA BAIXADA CUIABANA – TREND PIRIZAL – BENTO GOMES**

**Dissertação de Mestrado**

**Ciro Calachibete**

**Brasília**

**Agosto de 2016**

# **CARACTERIZAÇÃO LITO-GEOFÍSICA POR MÉTODOS GEOELÉTRICOS NA REGIÃO DA BAIXADA CUIABANA – TREND PIRIZAL – BENTO GOMES**

Dissertação apresentada para o  
Programa em Pós Graduação em  
Geofísica Aplicada do Instituto de  
Geociências – IG da Universidade de  
Brasília/UnB.

Área de Concentração: Geofísica  
Aplicada

Orientador: Prof. Dr. Welitom  
Rodrigues Borges

Brasília

2016

## **FOLHA DE APROVAÇÃO**

Ciro Calachibete

### **CARACTERIZAÇÃO LITO-GEOFÍSICA POR MÉTODOS GEOELÉTRICOS NA REGIÃO DA BAIXADA CUIABANA – TREND PIRIZAL – BENTO GOMES**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós Graduação em Geociências -  
Instituto de Geociências - Área de Concentração: Geofísica Aplicada

Banca examinadora

---

Prof. Dr. Welitom Rodrigues Borges - Instituto de Geociências - Universidade de  
Brasília/UnB

---

Prof. Dr. Augusto Cesar Bittencourt Pires - Instituto de Geociências - Universidade de  
Brasília/UnB

---

Prof. Dr. Sergio Jr S Fachin – Universidade Federal de Mato Grosso/UFMT

## AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Welitom Rodrigues Borges, pela confiança, pela oportunidade de trabalhar com sua equipe e por ser um grande incentivador na superação de meus limites

Aos meus pais, Nair Araujo Calachibete e Laudo Calachibete (*in memorian*), por ensinar-me a ter coragem

À Angela Augusta Passos Correa, minha esposa, verdadeira companheira de pesquisa

Aos meus GRANDES AMIGOS, Eduardo B2, e Pedro, pela ajuda na aquisição dos dados de campo e sobrevivência no IAG - UnB.

Aos amigos para quebrar rochas, Ademir do Figueiredo, Péricles e Mendes

Ao empresário e minerador, Cristiano Formiga, pela ajuda nos custos desse trabalho (Mineração Ouro Fino)

Aos amigos, empresários e mineradores, Alvir e Sergio Sarro, pela ajuda nos custos e disposição em fazer pesquisa (Mineração Ouro Minas)

Aos amigos e fiéis escudeiros, Francisco de Assis Corra (*in memorian*) e Maria Passos Correa.

A minha irmã pela paciência na “fase de mestrado”

Ao Saullo (Saullinho), meu motor de arranque

## Sumário

1. INTRODUÇÃO	1
1.1 Justificativas	2
1.2 Objetivo	2
1.3 Localização e vias de acesso	3
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
3. GEOLOGIA	8
3.1 Contexto geológico regional	8
3.2 Contexto Estratigráfico	9
3.3. Mineralizações auríferas	11
3.3.1. Indicadores de mineralização	20
4. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	22
4.1 Eletorresistividade	22
4.1.1 Propriedades elétricas dos materiais	23
4.1.1.a. Resistividade elétrica	24
4.1.1.b. Fluxo de corrente no solo e Potencial elétrico	25
4.1.2.a. Arranjos eletródicos	29
4.2 Polarização Induzida (IP)	30
4.2.1 Fontes de Efeito IP	31
4.2.1.a Polarização de Eletrodo	32
4.2.2 Medidas no Domínio do Tempo	33
4.2.3 Técnicas de Aquisição de dados IP	35
5. AQUISIÇÃO DE DADOS	38
5.1 Aquisição de dados geológicos	38
5.2 Aquisição de dados geofísicos	43
5.2.1 Polarização Induzida e resistividade	45
5.2.2 Filtragem e modelagem	49
6. RESULTADOS E INTERPRETAÇÃO	59
6.1 Setor 01 (Mineração Ouro Minas – Nossa Senhora do Livramento)	59
6.2 Linha BLS-03 (Setor 01)	62
6.3 Linha BLS-01	66
6.4 Linha BLS-02	69
6.5 Linha BLS-04	70
6.6 Setor 02 (Mineração Tanque Fundo - Cuiabá)	72
6.7 (Mineração Ouro Fino- Poconé)	76
7. CONCLUSÕES E COMENTÁRIOS	80
8.REFERÊNCIAS	84

## RESUMO

**CALACHIBETE, CIRO. CARACTERIZAÇÃO LITO-GEOFÍSICA POR MÉTODOS GEOELÉTRICOS NA REGIÃO DA BAIXADA CUIABANA – TREND PIRIZAL – BENTO GOMES.** Dissertação de mestrado, Instituto de Geociências, Universidade de Brasília / UnB – DF.

A ocorrência de minerais metálicos de interesse econômico é conhecida na Baixada Cuiabana, desde o período do Império, até o seu fortalecimento no século XVIII com o advento de garimpeiros oriundos de várias regiões do país. A área objeto desse estudo, situa-se cerca de 30km da capital do Estado de Mato Grosso – Cuiabá e está inserida no compartimento geomorfológico da Baixada Cuiabana. Essa região caracteriza-se por apresentar depósitos auríferos e outros minerais associados a veios de quartzo, numa área de aproximadamente 300 km<sup>2</sup>, entretanto, no setor sudoeste, estes depósitos são mais expressivos, e estão localizados na porção centro-norte a nordeste da cidade de Cuiabá e circunvizinhanças, se constituindo, por vezes, numa opção de trabalho para garimpeiros e pela população local.

O uso de métodos indiretos ainda é pouco difundido na região, e seu uso está condicionado a grupos empresariais, não tornando a público seus resultados, o que facilitaria sobremaneira o entendimento regional do controle das mineralizações. A escolha de métodos indiretos de pesquisa mineral possibilita a obtenção de assinaturas geofísicas em função da característica da ocorrência mineral. A proposta desse trabalho é realizar o desenvolvimento de prospectos geofísicos com o método de polarização induzida, muito difundido nesse tipo de ambiente. Os depósitos auríferos associados a sulfetos maciços ou disseminados, apresentam anomalias distintas em função do método geofísico. Na área alvo, as mineralizações ocorrem em veios de quartzo e disseminadas nas rochas encaixantes, ou seja, uma mineralização do tipo “boxwork”. Dessa forma, os parâmetros geofísicos escolhidos para a obtenção dos perfis geoelétricos foram: o

arranjo eletródico dipolo – dipolo com espaçamentos de 5 e 10m, tempos de aquisição de 2, 4 e 8s e com tensões de partida de 400 e 800volts. O tempo de e 2s com tensão de 400volts foi suficiente para individualizar as unidades geológicas, enquanto tornou-se necessário aumentar a voltagem de partida para 800 volts e o tempo de leitura para 8s com o intuito de polarizar melhor os alvos sulfetados para polimetais. A ocorrência de minério de chumbo associado a ouro e outros elementos em algumas feições de cisalhamento, provocaram o equilíbrio de cargas, assim, reduzindo o sinal de cargabilidade entre 3 e 5m/V. Em *trends* onde os sulfetos indicativos de ouro pirita e arsenopirita ocorrem isolados, o sinal de cargabilidade aumenta consideravelmente, em torno de 20m/V.

*Palavras chave:* polarização, cargabilidade, sulfetos, boxwork

## ABSTRACT

**CALACHIBETE, CIRO. LITHO-GEOPHYSICAL CHARACTERIZATION BY GEOELECTRIC METHODS IN THE AREA OF BAIXADA CUIABANA - TREND PIRIZAL - BENTO GOMES.** Master's thesis, Institute of Geosciences, University of Brasilia / UnB - DF.

The occurrence of metallic minerals of economic interest is known in Cuiabana Baixada from the Empire period to its strengthening in the eighteenth century with the advent of prospectors from various regions of the country. The object of the area study is located about 30km from the capital of the State of Mato Grosso – Cuiabá, and it is part of the geomorphological magazine Baixada Cuiabana. This region is characterized by having gold deposits and other minerals associated with quartz veins in an area of approximately 300 square kilometers, however, in the southwest sector, these deposits are more expressive, and they are located in the north central portion of the northeastern city of Cuiabá and surroundings, becoming sometimes a job option for miners and the local population. The use of indirect methods is still not widespread in the region, and its use is subject to corporate groups, not making public its results, which greatly facilitate the understanding of the regional control of the mineralizations. The choice of indirect methods of mineral exploration permits to obtain geophysical signatures depending on the characteristic of mineral occurrence. The purpose of this paper is to develop geophysical prospects with the induced polarization method, widespread in this kind of environment. Gold deposits associated with massive or disseminated sulfides have different anomalies due to the geophysical method. In the target area, mineralization occurs in the quartz grain and spread in the surrounding rocks, that is, a "boxwork" type of mineralization. Thus, the geophysical parameters chosen to obtain the geoelectric profiles were: the electrode arrangement dipole - dipole with 5 and 10m spacings, acquisition times of 2, 4 and 8s and starting voltages of 400 and 800volts. The time and 2s at 400volts voltage was sufficient to distinguish the geological units,

whereas it became necessary to increase the starting voltage to 800 volts and the reading time for 8s in order to bias the best targets for polymetal sulfide. The occurrence of lead ore associated with gold and other elements in some shear features, caused load balancing, thus reducing the chargeability signal between 3 and 5 m / V. In the indicative trends where sulphides pyrite gold and arsenopyrite occur isolated, the chargeability signal increases considerably around 20m / V.

*Keyword:* polarization, chargeability, sulfides, boxwork

# CAPÍTULO 1

## 1. INTRODUÇÃO

Na pesquisa de jazidas de ouro utilizam-se as metodologias de amostragem de solo/rocha para estudos geoquímicos com o intuito localizar anomalias superficiais, como apoio ao mapeamento de pequenas feições estruturais rasas, e sondagens rotativas testemunhadas que auxiliam no entendimento de parâmetros estruturais e geoquímicos.

O Estado de Mato Grosso, especificamente na região compreendida entre os municípios de Nossa Senhora do Livramento e Poconé, possui potencial aurífero em escala de jazimento, e o seu compartimento geomorfológico, “Baixada Cuiabana”, é explorado por pequenos grupos de mineradores desde o início do século XVIII (CPRM, 2004). Atualmente, médias e pequenas empresas de mineração desenvolvem pesquisas de avaliação do potencial mineral da região.

O uso de métodos indiretos ainda é pouco difundido na Baixada Cuiabana, e seu uso está condicionado a grupos empresariais, que não divulgam seus resultados, o que facilitaria sobremaneira o entendimento regional do controle das mineralizações na região.

A escolha de métodos indiretos de pesquisa mineral possibilita a obtenção de assinaturas geofísicas em função da característica da ocorrência mineral. Os depósitos auríferos associados a sulfetos, maciços ou disseminados, apresentam anomalias distintas em função do método geofísico. Nas áreas alvos dessa dissertação, as mineralizações ocorrem em veios de quartzo e disseminadas nas rochas encaixantes, ou seja, uma mineralização do tipo “*boxwork*”. Os métodos geofísicos comumente utilizados na pesquisa de mineralizações auríferas associados a sulfetos disseminados são os métodos elétricos: a polarização induzida, o potencial espontâneo e a eletrorresistividade (Summer, 1976; Yu et al, 2007; Li et al, 2009; Sodeifi e Hafini, 2011; Nordiana et al, 2012).

Neste contexto, a proposta desse mestrado, é utilizar os métodos da resistividade e da polarização induzida na pesquisa de ocorrências minerais de ouro em unidades geológicas do Grupo Cuiabá.

### **1.1 Justificativas**

Na Baixada Cuiabana inexistem trabalhos acadêmicos sistematizados para a caracterização de depósitos minerais com métodos geoeletricos, e as atuais informações geológicas existentes não são suficientes para caracterizar um modelo geoeconômico da região, o que justifica a realização da pesquisa nos municípios de Nossa Senhora do Livramento e de Poconé.

A indicação de metodologias prospectivas se torna necessária para a compreensão de ambientes geológicos favoráveis à sua concentração e para subsidiar decisões sobre a estimativa e avaliação de reservas. O estudo torna-se necessário para viabilizar em escalas variadas de prospecção, uma região que é potencialmente conhecida desde o século XVIII (SICME, 1998), mas que até os dias atuais não foi possível persuadir, com trabalhos e dados consistentes, investidores com tecnologias e recursos para exploração de minério de baixos teores.

O entendimento da geometria e do posicionamento espacial das estruturas mineralizadas contribui não apenas sobre o ponto de vista acadêmico, mas também contribui com o planejamento de estratégias de exploração, além de definir o potencial de áreas mineralizadas, e de indicar novos alvos durante campanhas de prospecção.

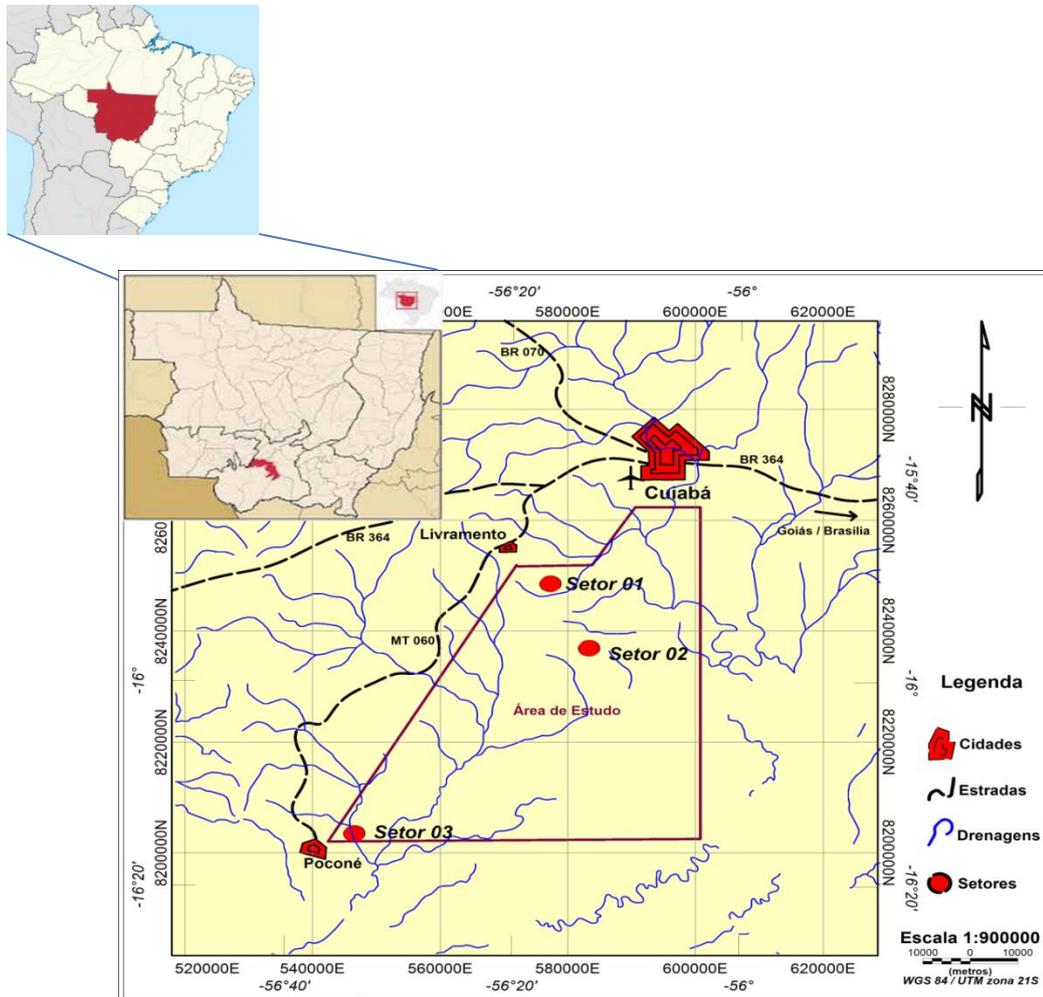
### **1.2 Objetivo**

O objetivo global dessa dissertação de mestrado vem de encontro com a necessidade de desenvolvimento de metodologias mais práticas e econômicas para prospectos de ouro na Baixada Cuiabana. Dessa forma, como não há grupos empresariais de grande porte atuantes na região, o uso de métodos tradicionais do tipo sondagem, inviabilizaria pequenos investimentos devidos ao seu custo, bem como a quantidade de furos que seria necessário para levantar alvos potenciais. Assim, torna-se de grande valia a obtenção de respostas por métodos indiretos, devido esses mostrarem respostas compatíveis com ambientes já testados. Os alvos possuem propriedades físicas

favoráveis ao uso de métodos geolétricos (polarização induzida e resistividade) no trecho compreendido entre a cidade de Nossa Senhora do Livramento e Poconé, no denominado Alinhamento Pirizal – Bento Gomes, orientado N40/35°E e hospedeiro das principais mineralizações da Província Aurífera da Baixada Cuiabana (Paes de Barros, 1998).

### 1.3 Localização e vias de acesso

A província aurífera da Baixada Cuiabana, situa-se na porção centro sul do estado de Mato Grosso. As áreas alvos desse trabalho estão localizadas em uma região com aproximadamente 300km<sup>2</sup>, nos municípios de Nossa Senhora de Livramento e Poconé (**Figura 1.1**).



**Figura 1.1** – Mapa de localização das áreas de estudo, denominadas de (Setores), com as principais rodovias de acesso as áreas.

## CAPÍTULO 2

### 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo faz-se a breve revisão sobre o uso do método da polarização induzida e resistividade na prospecção de mineralizações auríferas e polimetálicos.

O método IP é uma manifestação da dependência de frequência da resistividade, vista como um atraso na resposta do receptor em respeito ao transmissor, devido à taxa de armazenamento de carga no meio.

A principal aplicação do método IP é na exploração de minérios metálicos disseminados. Desde a década de 90, houve um crescente interesse na possibilidade de utilização do método IP para aplicações com meio ambiente (Reynolds, 1997).

Rêgo (2001), juntamente com geofísicos da Geoprospec Prospecção Geológica Ltda. e geólogos da Companhia Vale do Rio Doce (CVRD), realizaram levantamentos de polarização induzida espectral, com o arranjo dipolo-dipolo, na prospecção de alvos sulfetados, responsáveis por concentrações auríferas associadas com crostas lateríticas, e veios de quartzo no depósito do Alvo Breves, Mina do Igarapé Bahia, Província Mineral de Carajás, PA. Nesse levantamento foram identificadas anomalias de cargabilidade, sugerindo a presença de sulfetos disseminados em profundidade, o que possibilitou a locação de furos de sonda. Nessa campanha, realizada no ano de 2001, os furos interceptaram expressivos intervalos com sulfetos disseminados, preenchendo fraturas em padrão *stockwork*, mineralizados em Cu, Au, Ag, W, Sn, Mo e Bi, o que atestou a eficiência do método na prospecção do minério.

Langore *et al* (1989) realizaram levantamentos com um série de métodos geofísicos, porém, consideraram a polarização induzida como o mais representativo para estudarem depósitos de cobre na Albânia. Juntamente com levantamentos geológicos, utilizaram o arranjo gradiente com MN de 20 e 40 metros de espaçamento em sistemas de malha de 100 x 20m e 50 x 20m. Esses autores obtiveram resultados de

anomalia de cargabilidade satisfatórios e dados estruturais combinados com resistividade.

Douglas *et al* (1997) no estudo do depósito de cobre e ouro em um *stock* granítico hidrotermalizado, situado no Monte Milligan, Canadá, obtiveram altos valores de cargabilidade, com o arranjo polo-dipolo, coincidentes com a maior concentração de ouro e cobre no campo. Esses autores tentaram correlacionar dados de susceptibilidade magnética com dados de IP. No geral a resposta de cargabilidade mostrou-se fiel aos dados geológicos, enquanto os dados de susceptibilidade apresentou-se restrita pela elevada concentração de óxidos presentes.

White (2001) apresenta estudos com os métodos da eletrorresistividade e da polarização induzida, em um depósito de cobre e ouro pórfiro, localizado no sul da China. O minério está contido em rochas vulcânicas básicas a intermediárias e vulcanoclásticas, assentadas sobre calcários e sotopostos por quartzitos, arenitos e andesitos. A aquisição de dados consistiu num arranjo multieletrodo polo-dipolo para processamento 3D. Os resultados possibilitaram a caracterização de zonas de alta cargabilidade concomitantes a zonas de baixa resistividade, associadas a concentrações minerais provadas por meio de furos de sondagem. Valores de IP de 35mV/V foram obtidos em zonas com 1,67g/t de ouro e 0,72% de cobre.

Nishikawa (2002) define que as propriedades elétricas dos depósitos de ouro epitermais podem ser detectados por métodos elétricos, visto que os mesmos ocorrem associados a veios de quartzo com óxidos.

Muito similar aos estudos realizados na Baixada Cuiabana, Nunes (2007) apresenta uma região semelhante às áreas deste estudo, com incidências de zonas mineralizadas de ouro associados a veios de quartzo. As anomalias de cargabilidade identificadas nestas áreas indicaram valores de 15 a 30 mV/V.

Jiang *et al* (2009) realizaram pesquisas geológico-geofísico em um dos maiores depósitos de ouro no Cinturão de Jidong, China. Esses autores visualizaram um contraste de propriedade elétrica entre os corpos geológicos. Os extratos rochosos indicaram baixa resistividade e alta polarização, assim, para aquela região, zonas anômalas são coincidentes com as principais estruturas e com granitos pórfiros.

Posteriormente usaram sondagens convencionais, o que atestou uma significativa mineralização aurífera.

Alice (2011) obteve em seus estudos, uma associação entre áreas de baixa resistividade e alta cargabilidade definindo zonas potencialmente mineralizadas em estruturas obtidas por imagens de satélite.

Enaldo (2013) usou os métodos de polarização induzida e eletrorresistividade para identificar depósitos aluvionares enriquecidos em ouro, na região do Riacho do Incó, Barrocas, BA. O autor verificou altos valores de cargabilidade e de resistividade para as rochas do embasamento. Esse autor obteve imagens 2D de cargabilidade, com a possibilidade de haver ouro disseminado no saprólito. Dessa forma, usou a técnica de caminhamento 2D, no qual obteve uma curva de resistividade suave entre os diferentes meios, e IP para discriminar os aspectos litológicos.

Chongo et al (2015) estudaram dados de IP em laboratório. Esses pesquisadores escolheram seis (06) amostras de arenito com contrastes mineralógicos diferenciados e com condutividade hidráulica variando em uma grande escala. O principal objetivo era a verificação do tempo de armazenamento e decaimento de energia imposta nessas rochas, observado pela sua quantidade de poros (espaços vazios). Dessa forma, encontraram uma relação logarítmica positiva entre o tempo de decaimento e o tamanho de poros da rocha.

Shin e Shin (2016) analisaram a resposta de IP, domínio do tempo, e as características petrológicas de depósitos do tipo “*skarn*”. Os valores de cargabilidade das rochas mineralizadas foram superiores aos das rochas não metálicas (carbonatos). Esses autores verificaram que as características de IP nas rochas mineralizadas são dependentes das características dos minerais de minério. Em rochas não mineralizadas, houve pouca diferença de cargabilidade, enquanto que a variação nos seus valores de tempo de decaimento da polarização foi influenciado pelo teor de feldspato (sericitização) e do tamanho dos grãos de calcita (recristalização). Dessa forma, resposta com IP em rochas não mineralizadas estão diretamente relacionadas com o grau de alteração hidrotermal.

Zuran et al (1998) desenvolveram estudos em Domo de Sheelita no Canadá. Essa região é composta por intrusões graníticas com teores da ordem de 40 ppb. Os

dados foram adquiridos no domínio do tempo com o arranjo eletródico dipolo-dipolo e espaçamento entre esses de 50m. As anomalias de resistividade em profundidade correlacionaram com estruturas identificadas na superfície de alto valor resistivo e de alto teor de ouro.

Bhattacharya *et al* (2001) mapearam veios quartzosos mineralizados a ouro com extensões de 500m e de teores econômicos viáveis da ordem de 5 a 6 ppm, utilizando métodos de resistividade.

Zhang *et al* (2011) verificaram por resistividade na região de Hechuan, que rochas selantes de depósito de gás apresentam baixa porosidade e baixos sistemas de microporos. Esses autores caracterizaram as litologias combinando com a propriedade física da água bem como a baixa resistividade do ambiente gasoso, definindo sua volatilidade com o tamanho dos grãos minerais.

Moreira (2011) desenvolveu estudos em ocorrência mineralizada de carbonatos de cobre, localizada na Bacia Sedimentar de Camaquã – Rs. Esse autor identificou áreas com silicificação de alta resistividade, enquanto que valores intermediários são atribuídos a zonas de carbonatação e áreas de baixa resistividade indicaram concentrações de sulfetos disseminados.

Agnolletto (2015) em estudos geofísicos para a determinação de alvos mineralizados em ouro na Província Aurífera de Alta Floresta (PAAF), localizada no Estado de Mato Grosso. A pesquisa consistiu na aquisição por métodos geoeletricos e magnéticos. Os valores de resistividade definiram intensa silicificação e alteração quartzo-sericita-pirita, fortemente relacionados ao tipo de minério local, estendendo muito abaixo da interface saprólito-rocha.

Golebiowski *et al* (2012) definiram em intrusão granítica a concentração de polimetálicos por resistividade baixa resistividade. Ademais, definiram com o decréscimo da resistividade, contatos com rochas dolomíticas, também mineralizadas.

## CAPÍTULO 3

### 3. GEOLOGIA

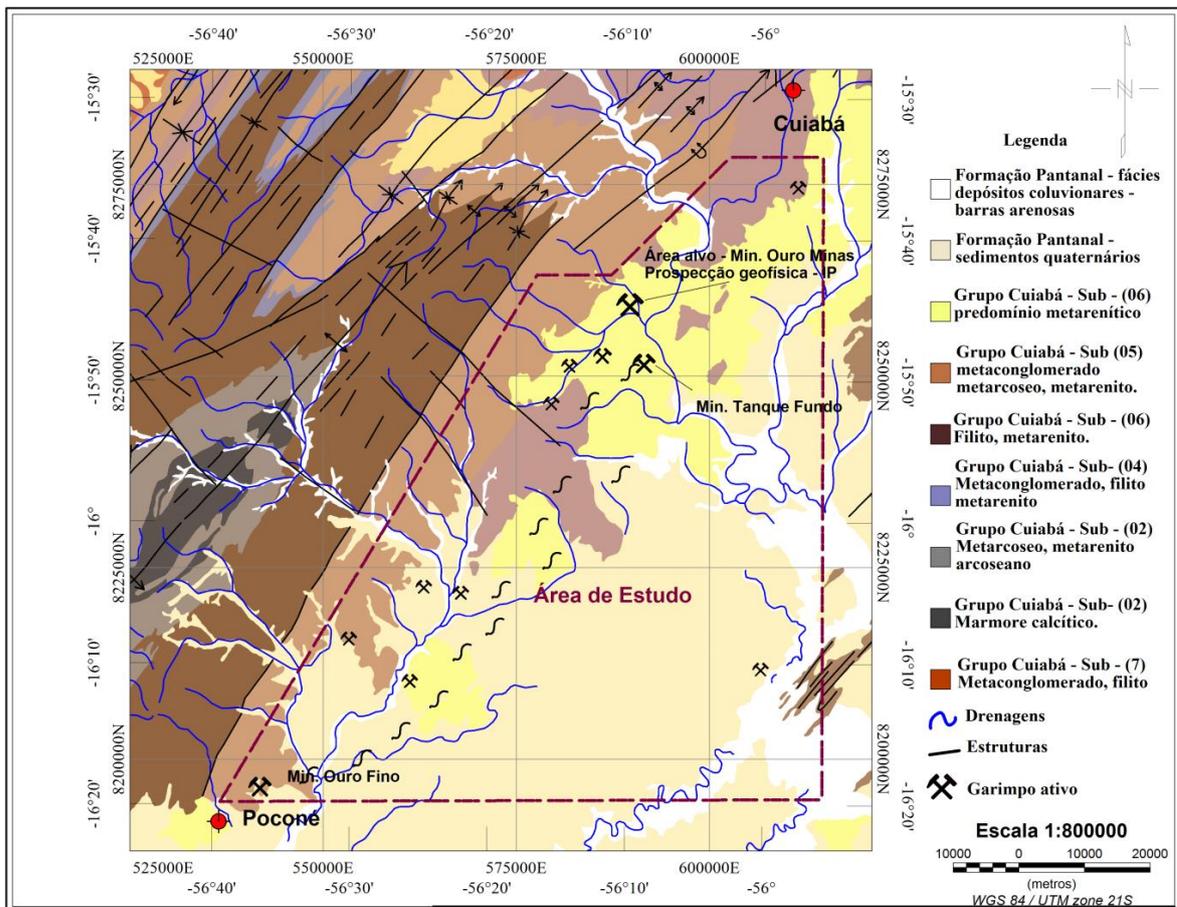
Neste capítulo descrevem-se a geologia regional e a local, bem como as características estruturais e químicas das mineralizações auríferas.

#### 3.1 Contexto geológico regional

O Grupo Cuiabá se caracteriza por uma sequência predominantemente de filitos com intercalações de quartzitos, metagrauvas, metarenitos, metaparaconglomerados, com raras ocorrências de metacalcários e filitos calcíferos (**Figura 3.1**).

As primeiras descrições das rochas do Grupo Cuiabá ocorreram na década de 60 com trabalhos de individualização litoestratigráfica, e se deve a Almeida, que em 1964, individualizou os Grupos Jangada e Cuiabá. Na década de 80, Dardenne (1980) realizou trabalhos de reconhecimento nos domínios de rochas pertencentes ao Grupo Cuiabá. Esse autor observou que o pacote sedimentar é constituído predominantemente por paraconglomerados com arcóseos, folhelhos, argilitos. Essas variações granulométricas permitiram a Dardenne (*op. cit*) interpretar esta sequência como turbiditos marinhos de origem glacial, devido à ocorrência de seixos pingados em folhelhos, feição essa originada pelo atrito do deslocamento de geleiras. No entanto, nessa época, nenhuma subdivisão foi proposta para o referido grupo, que para aquele momento continuou indiviso. Coube a Luz (1980) agrupar os resultados dos mapeamentos geológicos, nas escalas 1:50.000 e 1:250.000, do Projeto Coxipó e individualizar oito subunidades litoestratigráficas para o Grupo Cuiabá.

Alvarenga (1990), em sua tese de doutorado, dividiu o Grupo Cuiabá, utilizando critérios faciológicos, em uma unidade inferior e outra glacio-marinha e turbidítica.



**Figura 3.1** – Mapa geológico da área de estudo, com a indicação das ocorrências de garimpos de ouro. (Fonte: CPRM – 1:1.000.000).

### 3.2 Contexto Estratigráfico

O resultado da cartografia geológica sistemática realizada pela equipe conduzida por Luz (1980) detalha em subdivisões estratigráficas o Grupo Cuiabá de forma sistemática. Os autores conseguiram identificar oito sub unidades passíveis de serem mapeadas na escala de 1:50.000, e que apresentam feições geológicas bastantes distintas, conforme a coluna estratigráfica proposta pelo Projeto Coxipó e a constituição litológica típica de cada subunidade (**Tabela 3.1**).

**Tabela 3.1** – Quadro com as subunidades do Grupo Cuiabá, respectivas litologias e espessuras definidas no Projeto Coxipó (Luz *et al*, 1980).

Sub Unidades	Litologias	Espessura (m)
8	Mármore calcícticos e dolomíticos, margas e filitos sericíticos	60
7	Metaparaconglomerados petromíticos, com matriz areno-argilosa e clastos de quartzo, quartzitos	600
6	Filitos conglomeráticos com matriz areno – argilosa e clastos de quartzitos intercalados com metarenitos	800
5	Filitos sericíticos com intercalações subordinadas de metarcósios, quartzitos e metaconglomerados	350
4	Metaparaconglomerados petromíticos, com matriz silte arenosa e clastos de quartzo, rochas graníticas	150
3	Filitos conglomeráticos, metaconglomerados com lentes de metacalcário e nêveis hematizados	550
2	Metarenitos arcosianos, metarenitos calcíferos, filitos grafitosos e lentes de mármore calcíferos	350
1	Filitos sericíticos cinza claro com intercalações de metarenitos grafitosos	300

O Grupo Cuiabá, nesta proposta de divisão estratigráfica, é composto apenas pela parte inferior e pela unidade glácio-marinha/turbidítica, as quais são descritas a seguir: 1. Unidade Inferior – representada apenas por parte do Grupo Cuiabá, situada no núcleo da Anticlinal de Bento Gomes, na cidade Poconé - MT, região noroeste do perímetro urbano. A constituição litológica dessa unidade é dominada por filitos, filitos grafitosos, quartzitos e dolomitos. Esta associação corresponde às sub-unidades 1 e 2 do Projeto Coxipó 2. Unidade Glácio-Marinha-Turbidítica – inclui as rochas formadas durante o período glacial do Neoproterozóico, inclusive as rochas formadas pela influência direta de uma sedimentação glacio-marinha e também as formadas em ambiente marinho mais distal, pelo retrabalhamento de materiais glaciogênicos por corrente de turbidez.

Três grandes grupos de fácies sedimentares, com base nas características de sedimentação turbidítica proximal, intermediária e distal, configuram a sedimentação no talude da bacia. Na parte superior do talude, fácies proximal, são mapeados diamictitos intercalados a conglomerados e arenitos. Esse conjunto corresponde às subunidades 4, 5 e 7 descritas no Projeto Coxipó. Em direção às partes mais externas do talude (fácies intermediária), observam-se filitos com espessas intercalações de quartzitos, quartzitos conglomeráticos e metaconglomerados organizados em ciclos de granodecrescência

para o topo. Essa associação foi interpretada por Alvarenga (1985) como leques submarinos de uma fácies turbidítica grossa no qual equivalem a subunidade 3 e parte da 5. Em direção ao extremo leste da bacia, encontra-se a fácies distal da unidade, composta quase exclusivamente por filitos com intercalações de quartzitos e metassiltitos. Essa fácies é correlacionada no Projeto Coxipó como Grupo Cuiabá indiviso.

Alvarenga (1990) reuniu as rochas da Faixa Paraguai em quatro grandes grupos, formados por diferentes fácies: unidade inferior, de caráter local e situada no núcleo da Anticlinal de Bento Gomes; unidade glácio-marinha turbidítica formada durante a última glaciação brasileira; unidade carbonatada e unidade superior detrítica.

Alvarenga e Trompette (1992) e Alvarenga (2006) descreveram as rochas do Grupo Cuiabá como constituídas por metassedimentos ricos em matéria orgânica (filitos carbonosos) e metadolomitos sobrepostos por metassedimentos glaciogênicos e turbidídicos como diamictitos, conglomerados, arenitos e folhelho.

Tokashiki e Saes (2008) identificaram três unidades associadas ao conjunto sedimentar do Grupo Cuiabá. Essas unidades são separadas por importantes quebras no regime deposicional (discordâncias), de forma que os autores supracitados formularam proposta para divisão formal do Grupo Cuiabá em três formações: Campina de Pedras (filitos, filitos grafitosos, intercalações de metarenitos, mármores calcíticos e metagrauvas feldspáticas), Acorizal (depósitos rítmicos com intercalações subordinadas de metarritmitos com seixos caídos, quartzitos e metadiamictitos maciços) e Coxipó (filitos conglomeráticos, metarenitos, quartzitos, mármores e metadiamictitos petromíticos).

### **3.3. Mineralizações auríferas**

Os depósitos auríferos alvos deste estudo localizam-se no “*trend*” estrutural conhecido como Pirizal – Bento Gomes, região que engloba os municípios de Nossa Senhora do Livramento e de Poconé.

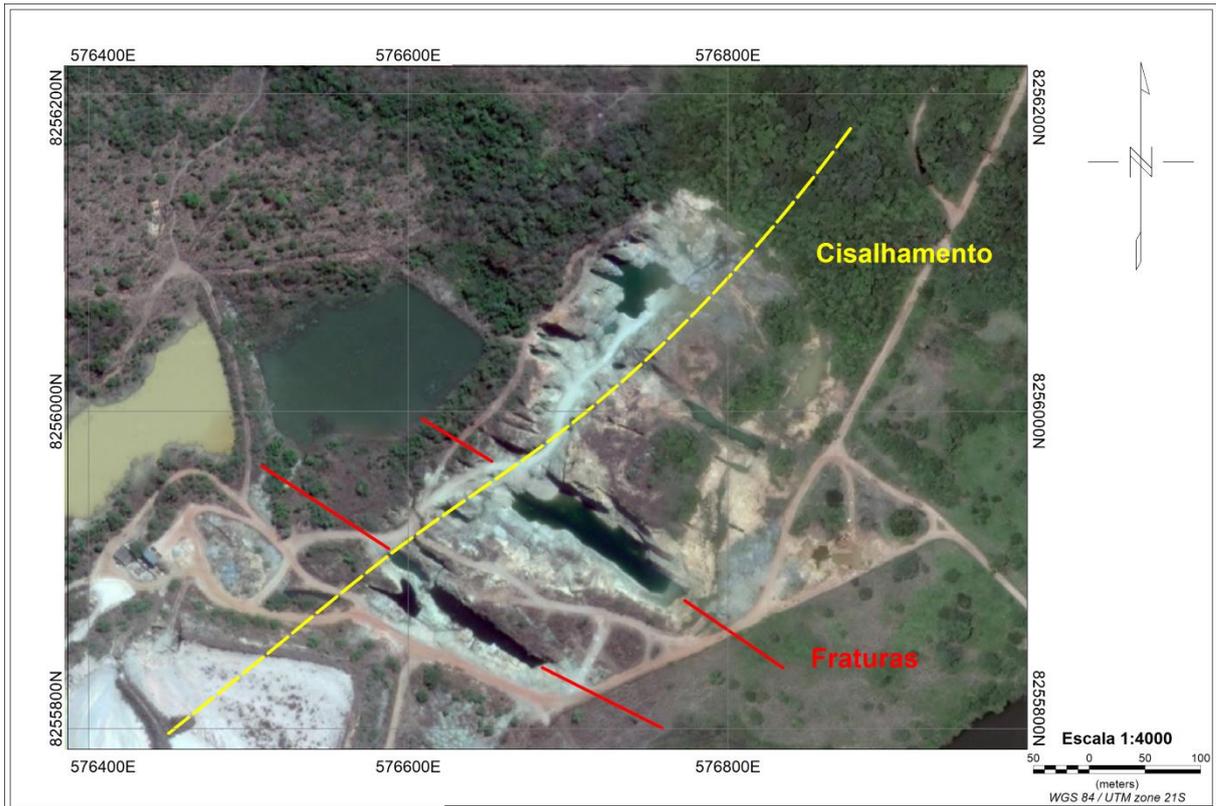
No alinhamento estrutural em estudo, os depósitos auríferos são explorados a céu aberto e por pequenos grupos de mineradores. O ouro está associado a veios de

quartzo que preencheram sistemas de fraturamento, e disseminados nas encaixantes, proximais a essas feições estruturais. Silva (2002) propôs que em alguns depósitos da Baixada Cuiabana, notam-se três fases de deformação: as duas primeiras de direção NE e a terceira de direção NW. A primeira, pré-dobramento, a segunda paralela à foliação principal, e a terceira perpendicular a estruturação regional.

Alvarenga (1990) e Silva (2002) concluíram em trabalhos de campo que os melhores teores de ouro estão localizados nos veios de direção NW, perpendiculares aos cisalhamentos regionais, de direção NE.

Inúmeros autores (Luz, 1980; Pires, 1986; Alvarenga, 1990; D’el-Rey Silva, 1990; Alvarenga e Gaspar, 1992) sugerem que esses veios de maiores teores formaram-se posteriormente aos eventos deformacionais coaxiais. Silva (2002) argumentou que esses veios estão relacionados a sistemas de fraturamentos distensionais, no qual foram preenchidas sin-a-tardi desenvolvimento da atuação do primeiro evento deformacional.

As mineralizações auríferas da Baixada Cuiabana ocorrem em feições estruturais do tipo cisalhamento transcorrente de direção aproximada N20-40E, e fraturas ortogonais. As maiores evidências de lavra garimpeira ocorrem ao longo das fraturas e em alguns setores, no intercepto dessas com o *trend* principal (**Figura 3.2**).



**Figura 3.2** – Imagem mostra a localização de um *trend* estrutural preferencial NE (cisalhamento) e fraturas NW onde ocorre a mineralização aurífera, Mineração Ouro Minas, município de Nossa Senhora do Livramento, MT.

Dados geológicos e geoquímicos em uma das áreas de pesquisa (Setor 01 – Mineração Ouro Minas) são considerados como promissores para alvos mineralizados (**Tabela 3.2**).

**Tabela 3.2** – Resultado de análises geoquímicas de amostras de concentrados de bicas que indicam elevados teores de sulfetos no Setor 1 – Mineração Ouro Minas.

Análises Método Unidade Limite Detecção	AU_1	W1_AAS	AU_2	W2_AAS	AU_3	W3_AAS	AU_4	W4_AAS
	FAA50T PPM 0,005	FAA50T G 0,00	FAA50T PPM 0,005	FAA50T G 0,00	FAA50T PPM 0,005	FAA50T G 0,00	FAA50T PPM 0,005	FAA50T G 0,00
BRANCO_PREP	<0,005	45,44	<0,005	20,47	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
REJEITO DA PLANTA SULFETADO - 50#	0,187	50,42	0,560	50,22	0,911	30,24	0,729	29,02
REJEITO DA PLANTA SULFETADO - 70#	0,313	42,34	N.A.	I.S.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
REJEITO DA PLANTA SULFETADO - >100#	0,924	27,46	1,084	29,75	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
REJEITO DA PLANTA SULFETADO - >140#	1,880	17,34	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
REJEITO DA PLANTA SULFETADO - >200#	1,185	17,06	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
REJEITO DA PLANTA SULFETADO - >270#	1,608	8,24	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
REJEITO DA PLANTA SULFETADO - >325#	1,612	2,51	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
REJEITO DA PLANTA SULFETADO - <325#	1,120	34,89	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
CONC. SULFETADO MOIDO - 30#	93,631	30,59	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
CONC. SULFETADO MOIDO - 140#	16,869	50,39	16,070	40,09	14,361	38,43	N.A.	N.A.
CONC. SULFETADO MOIDO - >200#	17,177	19,55	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
CONC. SULFETADO MOIDO - >270 + 325#	25,490	8,24	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
CONC SEM MOER - 30#	4,326	50,60	4,927	50,26	4,187	45,85	4,744	39,83
CONC SEM MOER - 40#	22,649	50,51	18,760	50,22	25,814	45,52	22,968	34,04
CONC SEM MOER - 50#	15,278	50,50	17,912	40,05	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
CONC SEM MOER - 70#	21,805	50,30	18,812	35,81	22,370	26,95	N.A.	N.A.
CONC SEM MOER - >100#	15,792	50,87	13,692	30,19	18,028	26,03	N.A.	N.A.
CONC SEM MOER - >140#	14,723	28,51	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
CONC SEM MOER - >200#	21,014	18,94	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
CONC SEM MOER - >270#	21,474	10,61	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
CONC SEM MOER - >325#	29,718	2,47	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
CONC SEM MOER - <325#	98,791	5,63	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
* STD CDN-CM-6	1,400	30,07	1,394	30,03	1,416	30,06	1,487	30,11

Os dados geoquímicos indicam que a mineralização aurífera ocorre associada principalmente a sulfetos em veios de quartzo-ferruginosos (filões), o que sugere um processo de hidrotermalização. Esta sulfetação ocorre também nas rochas encaixantes dos veios de quartzo, sem orientação preferencial (**Figura 3.3**).

A impressão generalizada é de um nítido e predominante controle litoestrutural, através de uma mobilização hidrotermal por essas feições estruturais ora de escala quilométrica, ora centimétrica. Nesses ambientes, notam-se processos de sericitização e sulfetação (**Figura 3.4**). Segundo Barboza (2008), na Baixada Cuiabana, em geral, os litotipos estão bastante intemperizados. Isso ocorre, devido ao intenso fraturamento destas rochas, associado ao clima subtropical e espessa cobertura laterítica que propicia a percolação de águas meteóricas em subsuperfície obliterando seu aspecto original



**Figura 3.3** – Foto evidencia a presença de cubos de pirita dispersos em filito carbonoso do Grupo Cuiabá.



**Figura 3.4** – Foto evidencia indícios de hidrotermalização por cubos de pirita no Setor 01 da Mineração Ouro Minas.

No município de Poconé, a mineralização aurífera é conhecida por ser mais grossa, e seus indicativos mostram teores do minério mais elevado, em média 5g/t, o que possibilita uma maior recuperação por métodos gravimétricos convencionais. Em toda a região de Poconé notam-se grandes escavações alongadas na direção SW/NE, sendo considerada como cisalhamentos regionais. Ademais, ortogonais ou perpendiculares a essas, existem sistemas de fraturamentos NW, preenchidos por venulações quartzo-ferruginosas, mais intensamente mineralizados em Au com indícios

de sulfetação, representados por arsenopirita e galena, localmente denominados “travessões”, local onde existe atualmente a maior concentração de garimpos em atividade.

Em campo nota-se uma maior concentração de atividade garimpeira preferencialmente determinada pela tectônica rúptil, ao longo do sistema de fraturamentos NW (**Figura 3.5**), sempre associado às venulações de quartzo.



**Figura 3.5** – Foto evidencia uma frente de lavra e as escavações realizadas ao longo das fraturas NW, Mineração Ouro Minas.

Há uma possibilidade de uma remobilização de ouro através de uma tectônica rúptil e circulação de fluidos hidrotermais, a partir de possíveis sequências carbonosas/carbonáticas inferiores para níveis psamíticos mais porosos a porções mais conglomeráticas, assim, passível de formarem depósitos tipo “*stratabound*”

A origem do ouro no Grupo Cuiabá foi atribuída a diferentes fontes, entre elas, sedimentar (singenética), onde o ouro foi depositado juntamente com os sedimentos que preencheram a bacia sedimentar. O metamorfismo pode ter contribuído para a remobilização e concentração destes fluidos para fraturas onde precipitaram formando veios de quartzo auríferos (Alvarenga, 1990). Além destas, a origem ígnea também não foi descartada, uma vez que a intrusão do Granito São Vicente poderia ter fornecido

fluidos mineralizados a ouro. Tanto a fonte metamórfica como ígnea poderia justificar a presença do ouro, uma vez que os fluidos poderiam ter sido remobilizados de níveis crustais profundos como produto da desidratação da pilha sedimentar durante a atuação do metamorfismo regional ou como produto da remobilização do ouro presente na pilha sedimentar pelo acréscimo térmico fornecido pela intrusão do Granito São Vicente.

Na fase inicial de execução desse estudo, eram conhecidas no município de Poconé, ocorrências de ouro e chumbo nas localidades do garimpo conhecido como “Lavrinha”, região central e no Distrito de Chumbo, cerca de 20 km desta. Essas ocorrências mostram um nítido controle litoestratigráfico e tectônico, uma vez que a galena e a arsenopirita ocorrem associadas aos filitos grafitosos da Formação Campina de Pedra (Tokashiki, 2008), equivalentes a sub-unidades 1 e 3 de Luz (1980), e aos metarenitos da Formação Coxipó (Tokashiki 2008), essa última correspondente às sub-unidades 6 e 7 de Luz (1980), em concentrações mais expressivas ao longo de zonas de cisalhamento/falhamento. Nesses locais, os sulfetos mobilizados e concentrados, especialmente a galena, formam agregados cristalinos de hábito preservado, dispersos em veios de quartzo, e presentes disseminados na massa fina de filitos grafitosos e metarenitos.

Segundo Rondon (1978), grupos de pesquisadores de capital Franco-Belga instalaram vários equipamentos para exploração industrial de ouro, na lavra da Tereza Bota e no lugar denominado Guanandi que mais tarde ficaria conhecida como a Mina de mesmo nome, hoje local conhecido como Distrito de Chumbo. Os resultados iniciais foram bastante promissores, mas devido à falta de um gerenciamento adequado, o empreendimento não obteve êxito.

Segundo Barbosa (2008) a mineralização da “Baixada Cuiabana” obedece a dois controles principais:

Controle litológico: fluídos hidrotermais percolaram na estrutura da rocha, evidenciados pela ocorrência expressiva de sulfetos (arsenopirita, pirita, galena) em caráter aparentemente singenético.

Controle estrutural: os filitos, ardósias e metarenitos mineralizados estão localizados proximais à zonas de cisalhamentos regionais de direção NE e sistemas de fraturas distensivas, obliquas ao cisalhamento com predominância NW.

Essas estruturas maiores vistas por imagens orbitais, apresentam-se com formatos similares à mega *boudins*, sempre seccionados por unidades mais coesas quanto à estrutura, como rochas metareníticas.

Os filitos sericíticos mineralizados encontram-se intercalados com rochas metareníticas, parcialmente hidrotermalizadas, apresentando indícios de sulfetação, enriquecidas em espessuras que variam de 15 a 20 metros, mostrando evidências de intensa percolação de fluidos hidrotermais, no qual é atestado pela concentração de sulfetos, principalmente visto nas cavas de mineradoras locais. Em algumas porções, há poucos indícios de percolação de fluidos, baixa sulfetação.

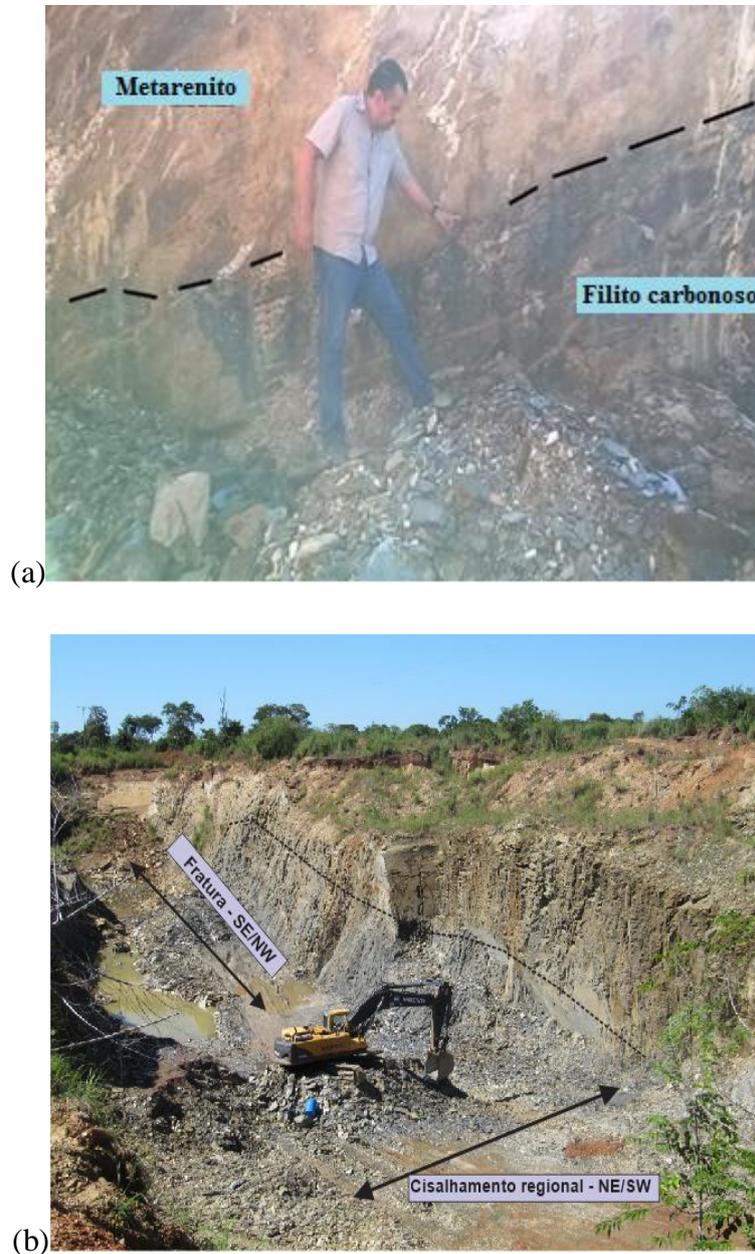
Nas zonas mineralizadas, o filito carbonoso é cinza escuro, possui granulação fina, foliação paralela ao acamamento marcado por lâminas ricas em sulfetos, intercaladas com lâminas quartzo-carbonáticas (**Figura 3.6**). Dobras intrafoliais e dobras em bainha ocorrem em zonas com mais deformação, onde a percolação de fluidos foi mais intensa. Secundariamente, ocorre a formação do tipo “*kink bands*”. Nódulos de carbonato ocorrem preenchendo espaços entre os grãos de quartzo e em sombras de pressão.



**Figura 3.6** – Foto comprova a existência de filito sericítico sulfetado no município de Nossa Senhora do Livramento, MT.

As rochas areníticas foram depositadas *a priori*, posteriores ao ciclo de deformação regional. Estas rochas consistem em litotipos de granulometria fina a

média, compacta, compostas por frações micáceas e óxidos de ferro subordinados. Essa unidade está intercalada com os metassedimentos, em contatos abruptos, proximais a zonas de cisalhamento (**Figura 3.7**).



**Figura 3.7** – (a)foto evidencia em detalhe um contato entre a camada de metarenito e de um filito carbonoso (b) foto ilustra a área da fratura em lavra, bem como contato entre as unidades filito carbonosas e metarenito (Mineração Ouro Minas).

As rochas metareníticas reativas quanto ao fato de proporcionarem a percolação de fluidos mineralizados. Quando associadas a veios de quartzo principalmente, essas

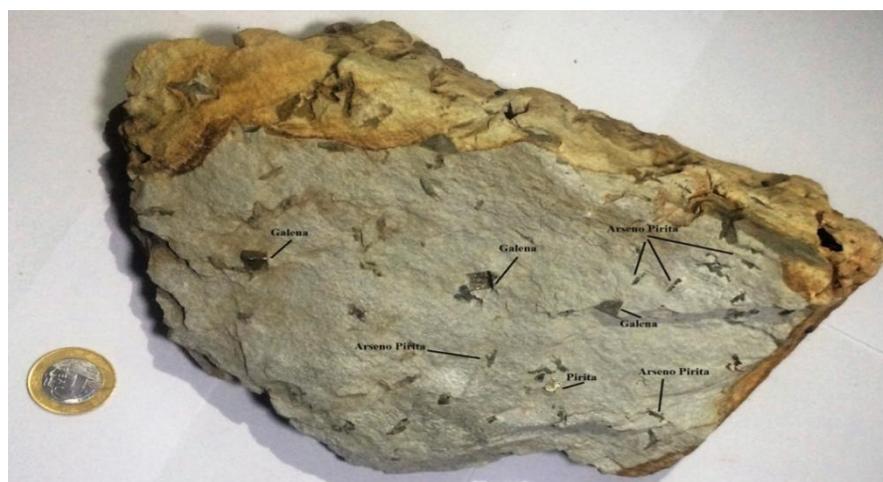
contém em algumas porções, indicativos de hidrotermalização, no qual é evidenciado por forte sulfetação, notados por cubos de pirita e arsenopirita, ora com o hábitos preservados, ora em estágios de oxidação, conforme (Figura 3.8).



**Figura 3.8** – Fotografia de metarenito com indícios de hidrotermalização, com nódulos oxidados de sulfeto. Mineração Tanque Fundo, município de Nossa Senhora do Livramento, MT.

### 3.3.1. Indicadores de mineralização

Os indícios de mineração nas áreas alvos de estudo, estão diretamente relacionados com processos hidrotermais, onde registram-se estágios de carbonatação, sericitização e sulfetação, esse último o mais representativo e evidenciado nos litotipos em estudo (Figura 3.9).



**Figura 3.9** – Foto de amostra de metarenito com cristais de galena e arsenopirita desenvolvidos na matriz da rocha. Mineração Ouro Minas.

Nessas estruturas geológicas, a percolação do fluido hidrotermal ocorreu de forma sistemática pelos veios de quartzo que preencheram as fraturas distensionais, ocasionadas pela tensão dos grandes cisalhamentos regionais. Embora se conheça a presença de sulfetos indicadores de ouro, é possível notar petrograficamente a ocorrência de galena em larga escala, sempre associadas à pirita e disseminadas caoticamente na massa afanítica de metassedimentos ou dispersos em rocha arenítica.

Em alvos onde a matriz rochosa é argilosa, a percolação de água meteórica é reduzida, assim a estrutura cristalina desses óxidos está relativamente preservada, o que possibilita a visualização dos hábitos característicos dos sulfetos. As rochas mais reativas e arenosas facilitam a migração de meios aquosos, ou seja, o processo de lixiviação parece ser mais intenso, o que favorece o processo de oxidação dos sulfetos.

Em amostras de mão, a relação de sulfetos indicativos de ouro e chumbo estão em termos petrográficos distribuídos em uma escala de 1:1, ou seja, muito próximos em termos quantitativos. Em toda Baixada Cuiabana, registram-se “*trends*” estruturais com a presença de outros sulfetos, que indicaria a presença de metais básicos, além do chumbo. A galena, bem como o arsenopirita e pirita, podem ser individualizadas em amostras de mão por suas colorações específicas de acordo com sua composição e densidade, quando essas são fragmentadas.

Em alguns “*trends*” de cisalhamento e fraturas distensionais, a ocorrência de sulfetos está restrita para indicadores de ouro somente, representados por indícios de sericitização e sulfetação do tipo pirita e arsenopirita. Os cisalhamentos apresentam-se em escalas regionais, quilométricas, recortando muitas vezes os municípios de Livramento e Poconé em um mesmo “*trend*”. No entanto, as fraturas ocasionadas por esses esforços, estão condicionadas a pequenas áreas, em torno de 400 metros de extensão máxima.

Na área do Setor 1, região de Nossa Senhora de Livramento, a ocorrência de sulfetos de chumbo supera em termos quantitativos à ocorrência de pirita e arsenopirita. Alguns cristais apresentam escalas que variam de alguns milímetros a dimensões centimétricas, atingindo 10cm de eixo maior. A galena como os outros sulfetos, estão em sua maior parte, preservados no setor de lavra, onde os filitos carbonosos se fazem presentes.

## CAPÍTULO 4

### 4. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo descrevem-se sucintamente as fundamentações teóricas dos métodos da eletrorresistividade e da polarização induzida.

#### 4.1 Eletrorresistividade

O eletrorresistividade é um dos principais métodos geofísicos de prospecção para o estudo da crosta superior terrestre. Sua origem data da década de 1920, com os trabalhos dos irmãos Schlumberger e de Frank Wenner (Butler, 2005).

De acordo com Orellana (1972), a eletrorresistividade, assim como outros métodos elétricos (polarização induzida e potencial espontâneo), teve início no século XVIII com a descoberta da resistividade elétrica dos materiais geológicos por Gray e Wheller. Entretanto, o seu desenvolvimento para aplicações em grande escala é datado no início da década de 70, devido ao avanço da informática que possibilitou o aprimoramento de *softwares* para processar e analisar os dados em grande escala (Reynolds, 1997).

A resistividade do solo relaciona-se com diversos parâmetros geológicos, tais como a composição mineral, o conteúdo de fluido, a porosidade, a salinidade, a temperatura, o conteúdo de colóides e o grau de saturação de água na rocha (Loke, 2004).

A eletrorresistividade é utilizada na determinação do parâmetro físico da resistividade elétrica real ou aparente de materiais em subsuperfície como os solos, as rochas, as águas subterrâneas, etc. O princípio físico baseia-se no fato de que a distribuição em subsuperfície do potencial elétrico gerado no terreno é função das

resistividades elétricas dos diferentes materiais e/ou camadas que compõem o meio investigado (Ward, 1990).

Devido à praticidade, ao relativo baixo custo e ao tempo de aquisição reduzido, o método da eletrorresistividade possui diversos campos de estudo, como: mineração (Loke, 2004), geotecnia (Braga, 1997), hidrogeologia (Braga, 2006), estudos ambientais (Reynolds, 1997) e geologia básica (Braga, 1997).

#### 4.1.1 Propriedades elétricas dos materiais

As propriedades elétricas (resistividade elétrica, condutividade elétrica e constante dielétrica) de rochas e minerais são importantes na prospecção elétrica, uma vez que influenciam na propagação e na absorção da corrente elétrica inserida no meio.

Os potenciais elétricos que ocorrem em subsuperfície resultam de atividades eletroquímicas ou mecânicas. Esses potenciais associam-se ao intemperismo de corpos minerais de sulfeto, a variações nas propriedades mineralógicas das rochas, às atividades bioelétricas, à corrosão, aos gradientes de pressão e termal nos fluídos em subsuperfície, e a outros fenômenos de natureza similar (Telford, 1990).

A resistividade elétrica é o inverso da condutividade elétrica, e corresponde ao parâmetro mais importante para o método da eletrorresistividade. Pode ser definida como a quantidade de corrente que atravessa uma camada quando aplicada uma diferença de potencial elétrico (Reynolds, 1997).

A constante dielétrica é uma medida da polarização resultante da aplicação de um campo elétrico. Essa polarização ocorre de forma iônica, eletrônica ou molecular. Quando usado para descrever as propriedades de um material, refere-se ao parâmetro adimensional obtido pela razão entre o valor real da permissividade efetiva pela permissividade no espaço livre (Butler, 2005).

Existem três maneiras em que a corrente elétrica propaga-se através de uma rocha (Reynolds, 1997):

Condução Eletrolítica – corresponde ao processo de condução mais comum nas rochas. Ocorre pelo relativo baixo movimento dos íons no interior de um eletrólito, e depende do tipo do íon, da concentração e da mobilidade iônica;

Condução Eletrônica – equivale ao processo pelo qual os materiais metálicos, possibilitam o movimento rápido dos elétrons, com transferência de carga.

Condução Dielétrica - ocorre em materiais fracamente condutores quando uma corrente alternada externa é aplicada, fazendo assim com que os elétrons rotacionem.

#### *4.1.1.a. Resistividade elétrica*

A resistividade elétrica é definida como uma medida da dificuldade que a corrente elétrica encontra para sua passagem em um dado material (Telford, 1990).

Dentre todas as propriedades físicas das rochas e dos minerais, a resistividade elétrica é a que apresenta o maior intervalo de variações, e pode chegar a atingir valores tão pequenos quanto  $10^{-5}$  ohm.m para minerais metálicos (condutores), como o ouro, cobre, platina e prata, como valores intermediários (semicondutores) de  $10^{-5}$  a  $10^5$  ohm.m como para a grafita, maioria dos sulfetos e alguns óxidos, e até maiores valores de  $10^5$  ohm.m (dielétricos), como para os silicatos, rochas metamórficas e ígneas (Moura, 2002).

Na grande maioria das litologias encontradas na natureza a condução será eletrolítica, sendo o meio condutor uma solução de água e sais comuns distribuídos de maneira complexa na estrutura dos poros da rocha (Gallas, 2000).

A resistividade elétrica dos materiais é influenciada pelo diferentes tipos de porosidade e texturas encontradas nas rochas. Podemos considerar um exemplo de um arenito, se os grãos forem bem selecionados, a rocha vai apresentar grandes espaços vazios, e conseqüentemente, exibe baixa resistividade. Entretanto, se for um arenito mal selecionado, a porosidade da rocha vai ser menor devido ao preenchimento do espaço poroso por sedimentos de granulometria menor, e como resultado irá exibir uma maior resistividade. Assim, litotipos diversos apresentam características distintas quanto a resistividade (**Figura 4.1**).

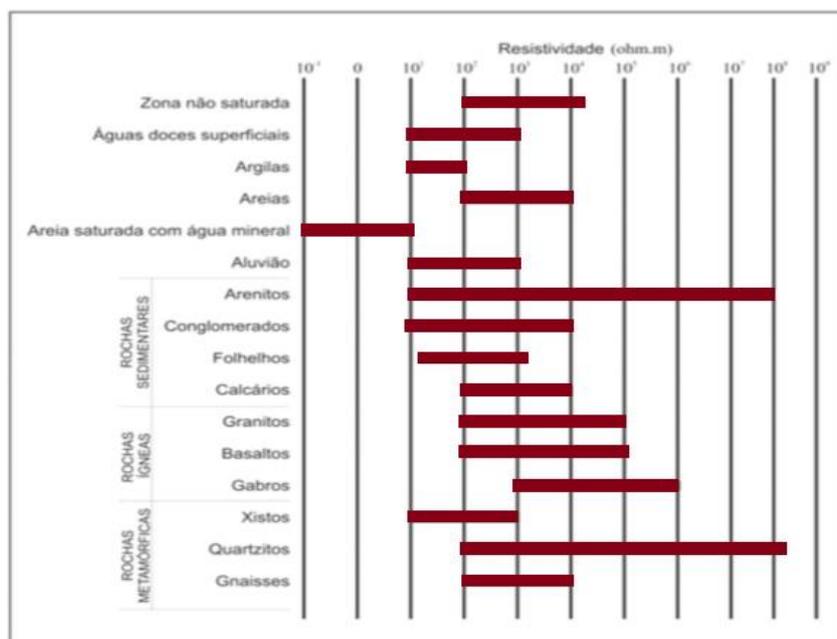


Figura 4.1 – Intervalo de resistividade elétrica de algumas rochas (Ward, 1990).

#### 4.1.1.b. Fluxo de corrente no solo e potencial elétrico

A lei fundamental da física utilizada em levantamentos de resistividade é a Lei de Ohm, que regula o fluxo de corrente no solo (**Equação 4.1**).

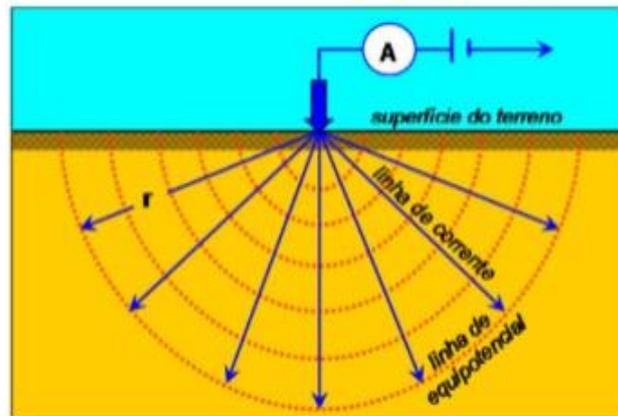
$$\vec{E} = \rho \vec{j} \quad (\text{Eq. 4.1})$$

onde  $\rho$  é a resistividade elétrica do meio,  $J$  é a densidade de corrente e  $\vec{E}$  representa a intensidade do campo elétrico. Na prática, mede-se o potencial do campo elétrico.

Para a melhor compreensão, considere uma subsuperfície homogênea e isotrópica, com uma única fonte de injeção pontual de corrente (**Figura 4.2**). Neste caso, a corrente flui radialmente a partir da fonte, e o potencial varia inversamente com a distância da fonte de corrente. As superfícies equipotenciais têm uma forma semiesférica, e o fluxo de corrente é perpendicular à superfície equipotencial. O potencial é calculado com a Equação 4.2, onde  $r$  é a distância de um ponto ao eletrodo.

Quando aplica-se a corrente a um semi-espaço, tem-se a Equação 4.2.

$$R = \rho \cdot \frac{r}{2\pi r^2} = \frac{\rho}{2\pi} \cdot \frac{1}{r} \quad (\text{Eq. 4.2})$$



**Figura 4.2** – Representação gráfica idealizada de um fluxo de corrente e de potencial elétrico em meio homogêneo (Braga, 2007).

Substituindo-se a Equação 4.2 na Lei de Ohm, obtêm-se a Equação 4.3.

$$V = \rho \cdot \frac{I}{2} \cdot \pi \cdot r \quad (\text{Eq. 4.3})$$

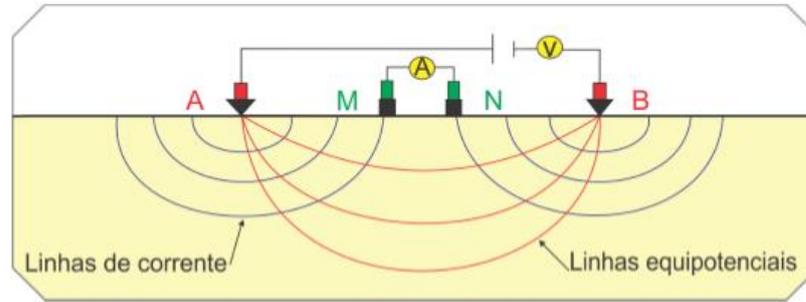
Na prática, todas as aquisições de dados de resistividade elétrica usam-se pelo menos dois eletrodos de corrente, uma fonte de corrente positiva e uma negativa, pois um único eletrodo somente é incapaz de conduzir corrente elétrica. É necessária a existência de um outro eletrodo para que o circuito se feche e ocorra o fluxo de corrente elétrica no subsolo (Telford, 1990).

Os valores de potencial possuem padrão simétrico sobre o ponto médio na vertical no entre os dois eletrodos. O valor do potencial no meio a partir de um par de eletrodos é dado pela Equação 4.4.

$$V = \rho \cdot \frac{I}{2\pi} \left( \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) \quad (\text{Eq. 4.4})$$

onde  $r_1$  e  $r_2$  são distancias do ponto para o primeiro e o segundo eletrodo de corrente.

Para um arranjo composto por 4 eletrodos (**Figura 4.3**), considere um dipolo de corrente AB, e um dipolo de potencial MN.



**Figura 4.3** – Representação gráfica de um arranjo eletrônico composto por quatro (04) eletrodos para determinação da resistividade.

O potencial elétrico no eletrodo M é obtido com a Equação 4.5.

$$VM = \rho \cdot \frac{I}{2\pi} \left( \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) \quad (\text{Eq. 4.5})$$

Da mesma forma, o potencial em N é calculado com a Equação 4.6.

$$VN = \rho \cdot \frac{I}{2\pi} \left( \frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right) \quad (\text{Eq.4.6})$$

Na prática mede-se em campo, não um potencial, mas sim uma diferença de potencial entre dois eletrodos. Logo, a diferença de potencial para um típico arranjo com quatro eletrodos, é calculada com a Equação 4.7.

$$VM - VN = \frac{\rho I}{2\pi} \left( \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_3} + \frac{1}{r_4} \right) \quad (\text{Eq. 4.7})$$

De maneira análoga, reescreve-se a Equação 4.7 em função das distâncias entre os eletrodos de corrente e de potencial (Equação 4.8).

$$VM - VN = \frac{\rho I}{2\pi} \left( \frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} - \frac{1}{AN} + \frac{1}{BN} \right) \quad (\text{Eq. 4.8})$$

Rearranjando-se a Equação 4.8 em função de  $\rho$  obtêm-se a Equação 4.9.

$$\rho = \frac{\rho}{I} 2\pi \left( \frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} - \frac{1}{AN} + \frac{1}{BN} \right)^{-1} \quad (\text{Eq. 4.9})$$

Para minimizar o tempo visto que a posição dos eletrodos sempre será conhecida, individualizam-se os termos relacionados à geometria do meio na Equação 4.10.

$$K = 2\pi \left( \frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} - \frac{1}{AN} + \frac{1}{BN} \right)^{-1} \quad (\text{Eq. 4.10})$$

Por final, tem-se a equação simplificada da resistividade elétrica do meio (Equação 4.11).

$$\rho = \frac{K\Delta V}{I} \quad (\text{Eq. 4.11})$$

Como a Terra não é homogênea e nem isotrópica, o valor da resistividade elétrica varia de ponto para ponto, tanto lateralmente quanto em profundidade. Ao utilizar o mesmo arranjo eletródico para realizar medições sobre um meio homogêneo, a diferença de potencial observada  $\Delta V$  será diferente da registrada sobre um meio heterogêneo, pois o campo elétrico deverá sofrer modificações em função desta heterogeneidade dos materiais geológicos (Butler, 2005). Assim, obtêm-se em campo a resistividade aparente, que não é propriamente um parâmetro físico do meio, e sim um valor que representa o efeito integrado do semi-espaco sobre o qual a medida foi efetuada. A resistividade aparente é uma resultante que sofre a influência das diversas resistividades existentes no volume investigado. Trata-se de um conceito formal, não considera-se uma média das resistividades em subsuperfície (Orellana, 1972). Deste modo, o termo de resistividade elétrica real da Equação 4.10 é substituído pela resistividade elétrica aparente (Equação 4.11).

$$\rho a = \frac{K\Delta V}{I}$$

(Eq. 4.1)

#### 4.1.2 Técnicas de Aquisição de dados de eletrorresistividade

As técnicas de aquisição de dados geoeletricos 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.

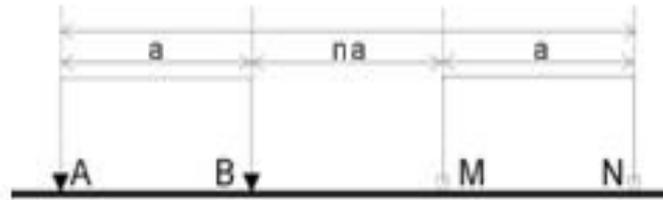
A técnica do caminhamento elétrico aplica-se principalmente em situações cujos objetivos das pesquisas visam determinar descontinuidades laterais nos materiais geológicos, tais como: diques e “sills”, contatos geológicos, fraturamentos e falhamentos, plumas de contaminação e corpos mineralizados (Kearey, 2009).

##### 4.1.2.a. Arranjos eletródicos

Os quatro eletrodos podem assumir qualquer disposição geométrica sobre a superfície do terreno, e são denominados de arranjos. A escolha do melhor arranjo para um levantamento de campo depende do tipo de estrutura a ser mapeada, da sensibilidade do medidor de resistividade e do nível de ruído de fundo (*background*).

Entre as características consideradas de um arranjo estão a profundidade de investigação, a sensibilidade do arranjo para alterações verticais e horizontais de resistividade em subsuperfície, a cobertura de dados e a intensidade do sinal (Loke, 2004). O arranjo utilizado nesse estudo foi o dipolo-dipolo.

O arranjo dipolo-dipolo (**Figura 4.4**) é o mais usado no mapeamento detalhado da resistividade e de medidas de IP com a profundidade, uma vez que este arranjo apresenta uma boa sensibilidade a mudanças laterais. Os eletrodos de corrente AB ficam espaçados ‘a’ metros entre si, assim como os eletrodos de potencial MN. Os dipolos possuem espaçamento entre os eletrodos, que podem ser dispostos nas formas azimutal, axial e equatorial.



**Figura 4.4** – Representação gráfica do arranjo dipolo-dipolo (n=número do nível de profundidade).

Nesse arranjo, a profundidade de investigação cresce com a distância entre os dipolos. As medidas são realizadas na intersecção entre as linhas que saem com mergulho de 45° do centro dipolo de corrente, e do centro do dipolo de potencial em diferentes profundidades de investigação. Para simplificar o cálculo do fator geométrico no arranjo dipolo-dipolo, usa-se a Equação 4.12 para obter-se a resistividade aparente, onde, as distâncias entre A e B e M e N foram sempre a. Apenas a distâncias A e N sofrem variação, e um fator n é multiplicado pelo espaçamento a.

$$\rho_a = \pi n(n + 1)(n + 2)aR \quad (\text{Eq. 4.12})$$

## 4.2 Polarização Induzida (IP)

Na aquisição de dados de IP usam-se essencialmente as mesmas técnicas que a resistividade elétrica, todavia o método IP produz um parâmetro adicional chamado de cargabilidade no domínio do tempo, ou mudança de fase no domínio da frequência, e correspondem a medida da capacidade de armazenamento de energia de certos minerais. A unidade típica é o milisegundos para a cargabilidade, e o miliradianos para a mudança de fase (Butler, 2005).

A principal aplicação do método IP é na exploração de minérios metálicos disseminados. Todavia, desde a década de 90, houve um crescente interesse na utilização deste método em pesquisas de contaminação ambiental (Reynolds, 1997).

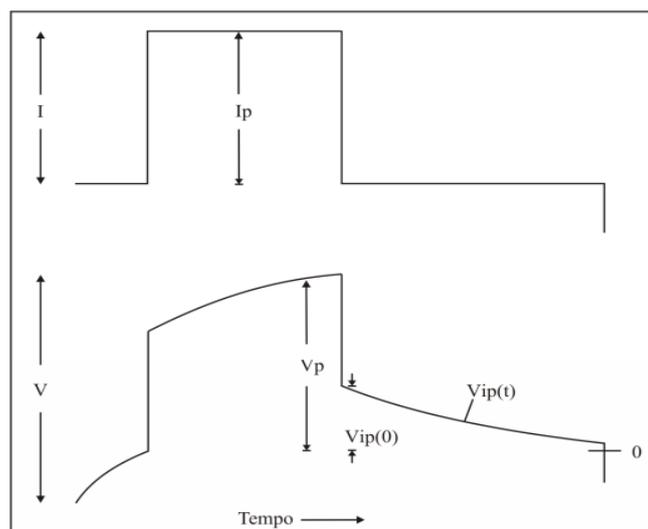
Em alguns corpos, como por exemplo, jazimentos de sulfetos, que são atravessados por uma corrente elétrica, quando esta corrente é interrompida, o campo elétrico não desaparece bruscamente, mas sim de uma maneira lenta (Orellana, 1972).

Segundo Sumner (1976) a relação entre resposta IP e quantidade de mineralização é complexa, porém, o método possui a vantagem de detectar quantidades de minerais metálicos, mesmo que estas quantidades sejam pequenas. Para o autor, bastam somente 5% de metal/volume para a polarização eletrônica ser identificada com sucesso, como sendo a causa de uma anomalia IP.

#### 4.2.1 Fontes de efeito IP

Durante o tempo do fluxo original de corrente elétrica presume-se que algum armazenamento de energia ocorre no material. Esta energia armazenada deve existir na forma mecânica, elétrica e química. Entretanto, estudos de laboratórios de polarização induzida estabelecem que a energia química armazenada nas rochas é a mais importante (Telford,1990). Este armazenamento de energia química é o resultado de variações na mobilidade de íons que fluem através da estrutura da rocha, de variações entre condutividade iônica e eletrônica onde os minerais metálicos estão presentes.

Os fenômenos de IP são medidos pela passagem de uma corrente de indução controlada através de uma substância no substrato, e observam-se as alterações resultantes da tensão com o tempo. Quando a corrente de indução está desligada, a tensão primária quase imediatamente cai para um nível de resposta secundária e, em seguida, o transiente de decaimento da tensão diminui com o tempo (**Figura 4.5**). Observações, deste fenômeno secundário de tensão ou o fenômeno de decaimento, correspondem a um meio de medir a polarização de um material (Sumner, 1976).



**Figura 4.5** – Formas de ondas usadas no método IP – domínio do tempo, mostrando a corrente primária  $I_p$  aplicada, o potencial primário  $V_p$  máximo e a curva do potencial transiente  $V_{ip}(t)$  (adaptado de Sumner, 1976).

O primeiro dos fenômenos de IP é conhecido como polarização de membrana ou polarização eletrolítica e constitui o *background*, ou então chamado efeito IP normal. O segundo é conhecido como polarização de eletrodo ou sobrevoltagem. É geralmente maior em magnitude que o IP normal e depende da presença de minerais metálicos na rocha. Os dois efeitos que geram os fenômenos são indistinguíveis pelas medições de IP. Além disso, eles parecem ser independentes da estrutura molecular ou atômica em rochas e minerais, ou seja, IP é um efeito total (Telford, 1990).

#### 4.2.1.a Polarização de eletrodo

Corresponde ao resultado de grãos metálicos agindo como eletrodos distribuídos por toda a rocha. Na interface entre o sulfeto metálico e os fluidos iônicos presentes nos poros, reações eletroquímicas que ocorrem criam uma camada com carga dentro do sulfeto metálico. As deficiências no equilíbrio de cargas nos minerais de sulfetos são satisfeitas através da polarização de moléculas de água e da atração de ambos os cátions e ânions de metal (Butler, 2005).

Considere duas passagens porosas (**Figura 4.6**), na superior o fluxo de corrente é inteiramente eletrolítico. Na inferior, a presença de um mineral metálico, tendo redes de cargas superficiais de sinais opostos em cada face, resulta em uma acumulação de

íons no eletrólito adjacente a cada uma. A ação é de eletrólise, quando a corrente flui e ocorre uma troca de elétrons entre o metal e a solução iônica na interface; em físico-química este efeito é conhecido como sobrevoltagem. Como a velocidade do fluxo de corrente no eletrólito é muito menor do que no metal, o acúmulo de íons é mantido pela voltagem externa. Quando a corrente é interrompida, a voltagem residual decai conforme os íons difusos voltam ao seu estado de equilíbrio (Telford, 1990).

A magnitude da polarização de eletrodo depende da fonte de corrente externa e também de um número de características do meio. Ela varia com a concentração mineral, mas devido ao fato de ser um fenômeno de superfície, deve ser maior quando um mineral ocorre de forma disseminada do que quando é maciço.

O tamanho ótimo da partícula depende da porosidade da rocha hospedeira e sua resistividade (Telford, 1990). O fato de que mineralização disseminada dá boa resposta IP é uma atrativa característica a mais, porque outros métodos elétricos não trabalham muito bem nessas circunstâncias.

#### 4.2.2 Medidas no domínio do tempo

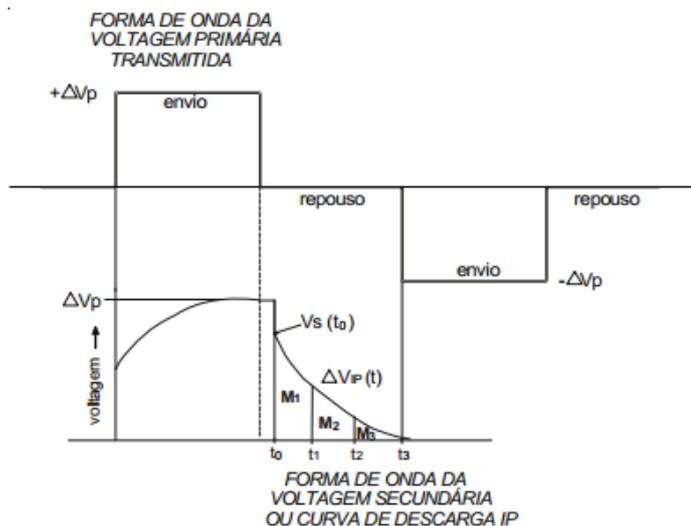
##### 4.2.2.a. Millivolts por volt (Porcentagem IP)

A forma mais simples de medir o efeito IP com o equipamento de domínio do tempo é comparar a voltagem residual  $V(t)$  existente, em um tempo  $t$ , após o corte da corrente com a voltagem inicial  $V_c$  emitida durante o intervalo de fluxo de corrente. A razão  $V(t)/V_c$  é expressa em  $mV/V$ , ou em porcentagem. O intervalo de tempo  $t$  pode variar entre 0,1 a 10 segundos.

##### 4.2.2.b. Integral do tempo de decaimento

O IP comercial define geralmente mede a integração das medidas do potencial sobre um intervalo de tempo de um decaimento transiente (**Figura 4.7**). Se este tempo de integração é muito curto e se a curva de decaimento é amostrada em vários pontos, os valores da integral são efetivamente as medidas do potencial existente em diferentes

tempos, como por exemplo,  $V(t_1)$ ,  $V(t_2)$ ,..., $V(t_n)$ . Essa medida é uma extensão da medida de porcentagem IP, da qual se pode obter a formada curva de decaimento.



**Figura 4.6** – Ilustração das formas de ondas transmitidas e registradas, com o registro da curva de descarga IP (Braga, 1997).

#### 4.2.2.c. Cargabilidade

A cargabilidade é definida pela integração da curva de descarga durante um intervalo de tempo  $\Delta t = t_2 - t_1$ , e calcula-se com a Equação 4.13.

$$M = \frac{1}{V_c} \int_{t_2}^{t_1} V(t) dt \quad (\text{Eq. 4.13})$$

É o parâmetro mais comumente utilizado em IP no domínio do tempo. Quando  $V(t)$  e  $V(c)$  tem as mesmas unidades, a cargabilidade  $M$  é dada em milissegundos, mas geralmente é expressa em  $mV/V$ .

A cargabilidade verdadeira é praticamente impossível de ser medida em uma situação de campo à medida que cada camada em subsuperfície terá o seu próprio valor absoluto de cargabilidade e de resistividade verdadeira. O que é medido é uma função complexa de todas as cargabilidades absolutas e das resistividades verdadeiras para todo o meio. Um curto período de carga irá produzir uma resposta IP inferior do que um longo período de carga.

A cargabilidade aparente é um parâmetro interpretado qualitativamente em termos da geologia em subsuperfície. Para um tempo de carga de 3 s, um período de integração de 1 s e o volume de concentração igual a 1%, o sulfato de cobre ( $\text{Cu}_2\text{S}$ ) possui um valor de cargabilidade aparente de 13,2 ms, que corresponde a mais que o dobro da bornita ( $\text{Cu}_5\text{FeS}_4$ ) 6,3 ms, e um pouco maior que a da grafita (C) 11,2 ms. Em contraste, a magnetita ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) possui um valor de somente 2,2 ms, e a hematita ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) possui uma cargabilidade aparente nula (Reynolds, 1997).

#### 4.2.3 Técnicas de Aquisição de dados IP

Os levantamentos IP geralmente são realizados de maneira análoga aos de resistividade. Os equipamentos utilizados para os ensaios de IP normalmente fazem simultaneamente medidas de resistividade e cargabilidade. No caso do caminhamento IP realizado nesse trabalho, o arranjo eletródico utilizado é o mesmo empregado no método da eletrorresistividade já descritos anteriormente.

#### 4.2.4 Equilíbrio de cargas entre sulfetos

Quanto maior o campo elétrico, maior a força aplicada nas cargas dos dipolos e, conseqüentemente, maior a tendência do momento do dipolo alinhar-se no mesmo sentido e direção do campo elétrico. De forma análoga, campos elétricos fracos exercem menor força e os dipolos tendem a ficar em direções aleatórias. Sobre as influências do valor do momento de dipolo, faz-se uma análise similar. Para maiores valores do momento de dipolo, tem-se a presença de maiores valores de cargas ou maior distância entre elas. O aumento dos valores das cargas emanadas da superfície, aumenta a força eletrostática resultante, causando uma tendência maior do alinhamento dos dipolos com o campo elétrico. Já o aumento da distância entre as cargas, significa em uma menor interação entre as duas cargas, também aumentando a tendência do alinhamento (Marques, 1987).

Na presença de uma família de sulfetos de diferentes composições, apresentam-se diferentes campos elétricos que somados, resultarão em um único campo que dependendo da intensidade de cada ponto de sulfeto, poderá inclusive anular o campo

total (**Figura 4.7**). Se aplicando uma carga externa ao sistema, haverá interação com o campo já existente, podendo inclusive anulá-lo. Observando a Lei de Coulomb (Equação 4.14):

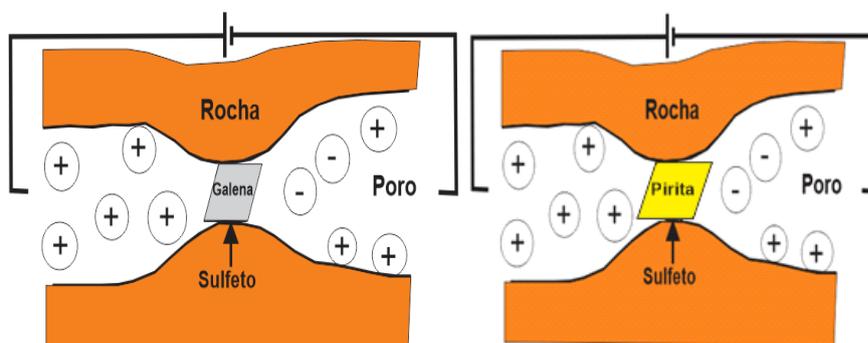
$$F = k \cdot Q_1 \cdot \frac{Q_2}{d^2}$$

(Eq. 4.14)

Onde a expressão K representa a constante eletrostática e Q1 e Q2 as cargas carregadas no substrato. O valor das diferentes cargas envolvidas e da distância existente entre elas e não das dimensões dos cristais de sulfeto, é que resultará na interação do campo elétrico.

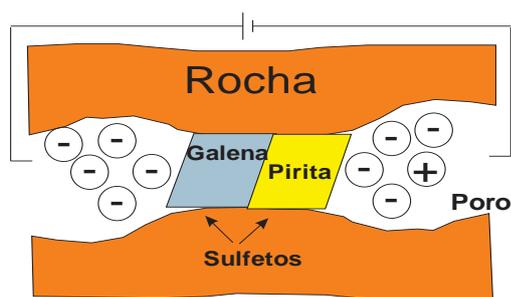
Nesse contexto, variando a carga aplicada, pode surgir um pequeno campo no qual mostrará anomalias de cargabilidade, embora não se conheça sua real representatividade de qual óxido a provocou, pois, sulfetos de chumbo tendem a atenuar o campo resultante. É importante perceber que um campo elétrico só pode ser detectado a partir da interação do mesmo com uma carga de prova, se não existir interação com a carga significa que o campo não existe naquele local. Dessa forma, o campo elétrico da galena que possui número atômico maior, doaria elétrons para o campo elétrico da arsenopirita até que essa atinja estabilidade. Assim, reduzirá a intensidade de campo total.

Em um campo onde a porcentagem de galena seja mais expressiva, o sinal recebido será atenuado em relação ao esperado que é da ordem de 30 a 40 m/v para estudos com polarização induzida.



**Figura 4.7** Campo elétrico – Galena / Pirita

Quando duas partículas de sulfetos de composição e número atômico diferentes estão próximas, o suficiente para que o campo gerado por cada uma delas se interfiram, torna-se possível determinar o campo elétrico resultante em um ponto dessa região. Para tanto é necessário analisar isoladamente a influência de cada um dos campos gerados sobre uma determinada área. O vetor do campo elétrico será dado pelas soma dos vetores de cada uma dessas cargas que antes eram independentes em seu determinado ponto (**Figura 4.8**).



**Figura 4.8** – Representação idealizada do campo elétrico resultante da somatória dos campos das partículas de sulfetos (galena e pirita).

Como nesses casos, as cargas de sulfetos que geram o campo resultante tem sinais diferentes, então um dos setores convergirá em relação a sua carga geradora e o outro divergirá. Dessa forma, será possível generalizar essa soma para qualquer número finito de partículas minerais (Tavares, 2000).

## CAPÍTULO 5

### 5. AQUISIÇÃO DE DADOS

Neste capítulo, descrevem-se a metodologia de campo: mapeamento geológico das unidades do Grupo Cuiabá, bem como as características estruturais das mineralizações auríferas, aquisições geofísicas e sua rotina de filtragem e modelagem.

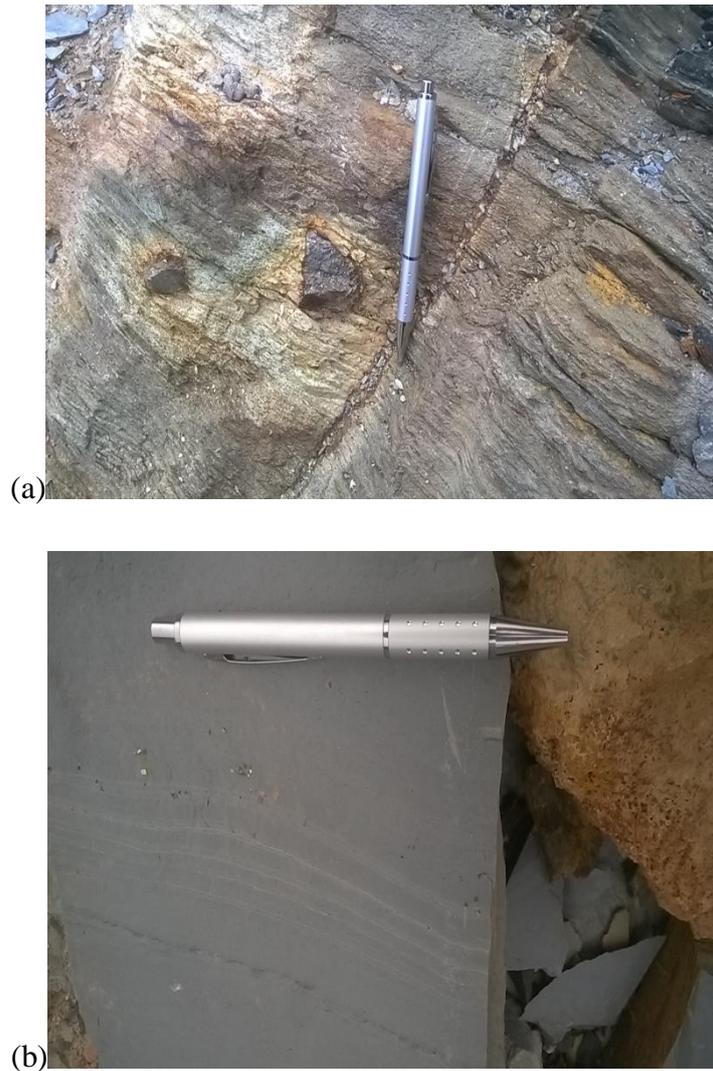
#### 5.1 Dados Geológicos

Existe em todo setor mineral da Baixada Cuiabana, a necessidade de desenvolver novas tecnologias que atendam de forma mais econômica e temporal os prospectos que estão titulados em regime de lavra garimpeira “PLGs”. Após contato com grupos de mineradores, decidiu-se em desenvolver essa pesquisa, concomitante com o desenvolvimento da lavra em operação nos três (03) setores: setor 01, localizado cerca de 5km da cidade de Nossa Senhora de Livramento, setor 02, distante cerca de 32 da cidade de Cuiabá e setor 03 situado no perímetro urbano da cidade de Poconé – MT. Todas essas áreas englobam a Província Aurífera da Baixada Cuiabana.

Dessa forma, os dados limítrofes das áreas (*orverlays*) foram checados. Após levantamento dos processos, iniciaram-se estudos bibliográficos referentes à petrografia (Luz, 1980; Alvarenga, 1990), e estudos sobre o contexto metalogenético desses ambientes (Barbosa, 2009).

O mapeamento foi realizado em escala de semi detalhe - 1:5000, procurando-se definir o contato entre as principais unidades geológicas, citadas anteriormente e estruturas geológicas do tipo: cisalhamentos, fraturas e dobras, feições essas, alvos de atividade de extração garimpeira.

Nessas feições estruturais, verificou-se de forma criteriosa a ocorrência de veios de quartzo com indícios de hidrotermalização, bem como suas respectivas espessuras. Da mesma forma, os alvos proximais aos veios de quartzo estão mineralizados, e nesses ambientes, há a presença de nódulos de sulfetos, como indicativos de percolação hidrotermal (**Figura 5.1**), o que o tornou objeto de estudo de mapeamento geológico e geofísico nesse trabalho.



**Figura 5.1** – Fotografias evidenciam (a) afloramento de metarenito com nódulos de arsenopirita, Mineração Ouro Fino; (b) afloramento de filito carbonoso com cubos de pirita, Mineração Ouro Minas.

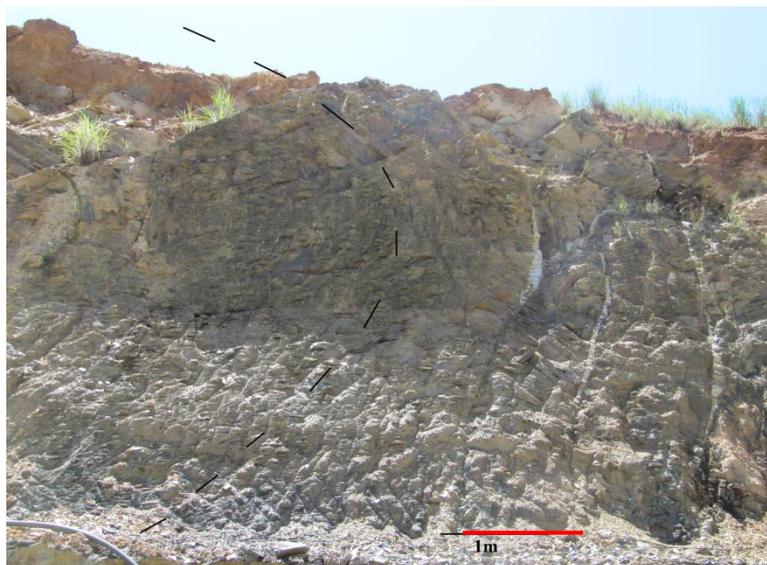
As feições estruturais do tipo fraturas, foram mapeadas com técnicas tradicionais, onde verificaram-se a direção e o sentido de mergulho, para fins de verificação de continuidade dessas na direção noroeste (**Figura 5.2**).



**Figura 5.2** (a) Foto evidencia a operação de escavação em fraturas (NW) preenchidas por veios de quartzo; (b) veios de quartzo de direção NE (cisalhamento principal).

As porções sulfetados foram catalogadas com fotos, bem como sua caracterização em escala macro, e seus pontos de localização registrados com um GPS. A sua direção foi verificada com bússola, bem como o sentido de mergulho com o clinômetro.

As feições de dobras e micro dobras foram mapeadas em todos os setores. Ocorreu um maior detalhamento da estrutura de dobramento localizada na Mineração Ouro Minas, face aos flancos dessa estrutura, serem alvos de atividade de lavra (**Figura 5.3**)



**Figura 5.3** Foto ilustra uma dobra invertida. Afloramento proximal a área de estudo BLS (Mineração Ouro Minas).

Dessa forma, medidas de plano axial foram realizadas para delimitar a continuidade das unidades localizadas no subsolo do setor, onde realizou-se a prospecção geofísica. Nessas, registraram-se medidas com o clinômetro da bússola, com o objetivo de obter-se o sentido de caimento das camadas nessa área, e assim, estimar novos locais de prospecção geofísica para obtenção da continuidade de sua direção.

Após o mapeamento geológico, houve uma etapa de digitalização de mapas em escalas diversas e adquiridas imagens de satélite para auxílio na interpretação dessas feições estruturais.

O mapa base regional foi digitalizado através da Base Geológica na escala 1:1000000, desenvolvido pelo Serviço Geológico Brasileiro (CPRM). Os mapas de detalhe foram digitalizados com observações de campo, bem como, foi feito a inserção dos principais estruturas mineráveis na região e dos ambientes pleiteados para os levantamentos geofísicos. Os *softwares* utilizados para georreferenciamento dos mapas geológicos foram: Oasis Montaj, Global Mapper e AutoGr para aquisição das imagens.

De posse desses dados, procurou-se implantar os perfis de geofísica nas regiões próximas das cavas de garimpo com potencial conhecido para altos teores de ouro e com perspectivas de continuidade das fraturas mineralizadas, embora sempre acompanhando o plano de desenvolvimento das mineradoras (**Figura 5.4**).



**Figura 5.4** Linha geofísica sendo preparada na cava de garimpo – Mineração Ouro Fino.

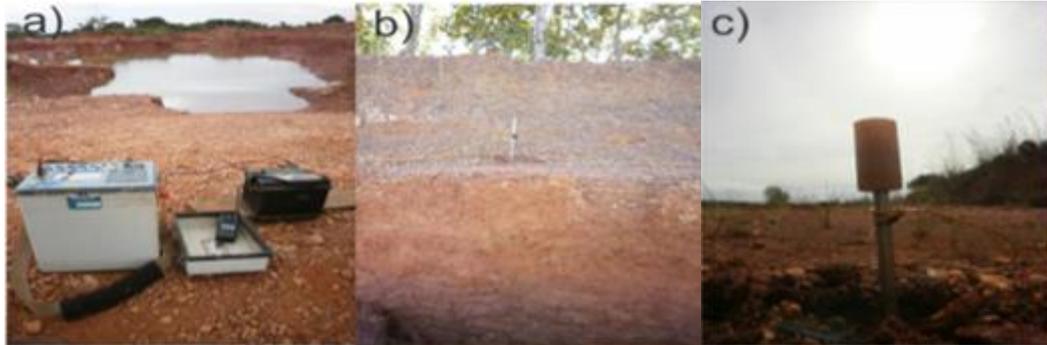
Nas áreas pesquisadas, as equipes das mineradoras utilizaram tratores e ferramentas manuais para a remoção de obstáculos em superfície que prejudicassem a aquisição de dados geoeletricos. As aquisições de dados ocorreram próximas às frentes de lavra, no topo das bancadas, sem a parada da exploração mineral.

## 5.2 Aquisição de Dados Geofísicos

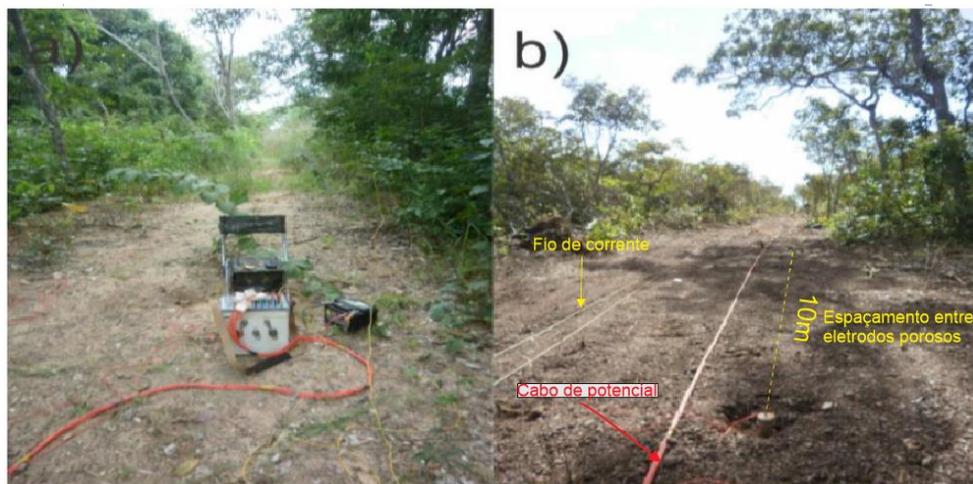
As aquisições geofísicas ocorreram em três áreas distintas: a primeira localizada no município de Nossa Senhora do Livramento, nas dependências da Mineração Ouro Minas, a segunda na região do povoado do “Fundão”, em propriedade da Mineração Tanque Fundo, localizada no município de Cuiabá e a terceira, localizada no perímetro urbano da cidade de Poconé, Mineração Ouro fino.

As linhas de polarização induzida e de resistividade elétrica foram adquiridas em quase sua totalidade, orientadas na direção N20 - 30E. Para o adequado desenvolvimento da prospecção geofísica, realizaram-se as atividades de campo em épocas de seca, o que evitou a presença de umidade no solo, dessa forma, ajudando a minimizar a absorção de corrente elétrica no solo superficial, bem como diminuir os efeitos causados pela polarização de membrana. Todavia, a aquisição de dados em

época de estiagem obrigou a equipe de campo a inserir água salgada nos pontos de injeção de corrente, bem como de registro do potencial visto a elevada resistência de contato em alguns pontos ( $>35\text{ K}\Omega$ ). A alta resistência de contato também ocorreu devido à presença de solos lateríticos e eventuais disposições de eletrodos próximos a veios de quartzo aflorantes **Figuras 5.5 e 5.6**.



**Figura 5.5-** Fotografias evidenciam: (a) aquisição de dados de resistividade com o equipamento SYSCAL PRO. (b) eletrodo conectado ao cabo multieletrodo próximo à cava. (c) Eletrodo acoplado ao solo



**Figura 5.6** (a) Syscal instalado na região central da linha – (b) Linha aberta por trator, detalhe no espaçamento entre eletrodos de potencial (10m) e cabos de corrente (amarelo) e de potencial (vermelho).

Depois de feita a ligação entre os eletrodos, o aparelho Syscal Pro foi colocado preferencialmente no meio da linha de prospecção, para facilitar a locomoção da equipe.

Para execução dos perfis de resistividade e cargabilidade, posteriormente com o *software* Res2DInv, da Geotomo, usa-se uma rotina de inversão para remover os efeitos da deformação do fluxo de corrente elétrica no meio.

As seções 2D modeladas, foram realizadas com espaçamentos de 5 e 10m. As tonalidades em azul representam os valores baixos de resistividade enquanto os tons avermelhados, as altas resistividades elétricas. Com esses espaçamentos, foi identificado os estratos geoeletricos de alta e baixa resistividade.

Referente à cargabilidade, os tons azulados a esverdeados, representam menores valores, enquanto os tons avermelhados, os maiores.

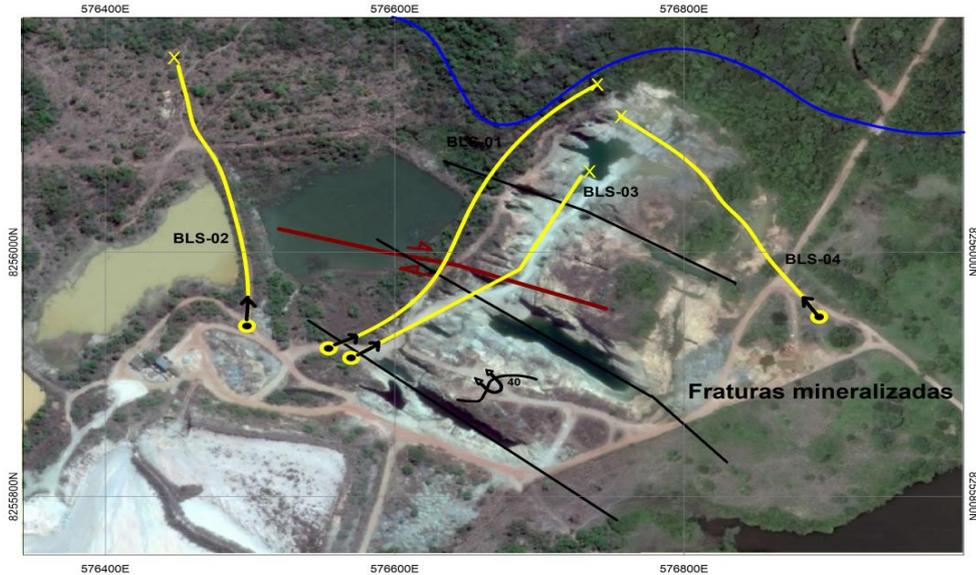


**Figura 5.7** Foto evidencia a aquisição de dados de IP e resistividade com o eletrorresistivímetro Syscal Pro.

### 5.2.1 Polarização Induzida e resistividade

No campo, coletaram-se os dados de resistividade elétrica e de cargabilidade com a técnica de investigação do caminhamento elétrico, usando-se o arranjo eletródico dipolo-dipolo.

Na aquisição da área da Mineração Ouro Minas (**Figura 5.8**), registraram-se quatro (04) perfis com metragens lineares de 345m (BLS-01), 340m (BLS-02), 205m (BLS-03) e 185m (BLS-04).



**Figura 5.8** Imagem da área de lavra da Mineração Ouro Minas com as linhas geofísicas realizadas em relevo pediplanizado. As setas indicam a direção do levantamento, bem como a letra "X" o seu término.

O arranjo eletródico utilizado para a aquisição foi o dipolo-dipolo com trinta (30) níveis de aquisição e espaçamento entre eletrodos de 20m para linha BLS-01 e 10m para as demais. O tempo de aquisição foi de 2s com tensão de partida de 400 volts para as linhas BLS-01, BLS-02 e BLS-04. A linha BLS-03, localizada na base do cisalhamento principal, utilizou-se 2 e 8s de tempo de aquisição e aumentou-se a voltagem para 800 volts com janela *cole-cole*. Essas linhas foram configuradas a quantidade de *stacks* para 4 e 5 medidas, e desvio padrão de 2%. Obteve-se para a linha BLS -01 cento e trinta e um pontos (131) pontos de investigação. A linha BLS 02 obteve-se quinhentos e setenta e dois pontos (572) pontos de investigação, a linha BLS-03, 205 duzentos e cinco pontos (205) e a linha BLS-04 obteve-se cento e vinte e cinco pontos (125) pontos.

Os pontos considerados ruins podem ter sido ocasionados devido ao mau posicionamento do eletrodo fracamente cravado em contato com o solo devido esses estarem secos, ou de curto-circuito entre os cabos devido às condições do solo muito molhado. Outro fator notado em campo seria a influência de zonas de alta concentração de cascalho, ocasionados pela escavação de garimpeiros, o que poderia provocar tais ruídos. Esses valores de resistividade podem apresentar-se muito grandes ou muito

pequenos em comparação com o vizinho. A melhor maneira que lidamos com esses pontos negativos foi excluí-los para que eles não influenciassem nos modelos obtidos.

A aquisição da linha BLS-01 contou com 37 eletrodos distribuídos ao longo da linha, e espaçamento de 20m entre esses. Foram adquiridos 131 pontos para um total de 20 níveis (Figura 5.9).

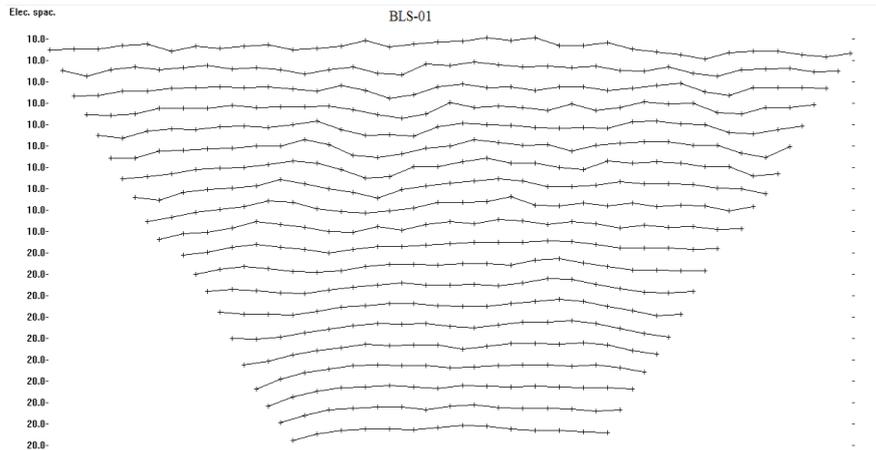


Figura 5.9 Distribuição dos pontos adquiridos na linha BLS 01.

A aquisição da linha BLS-02 contou com 42 eletrodos distribuídos ao longo da linha e espaçamento de 10m entre esses. Foram adquiridos 572 pontos para um total de 20 níveis de leitura (Figura 5.10).

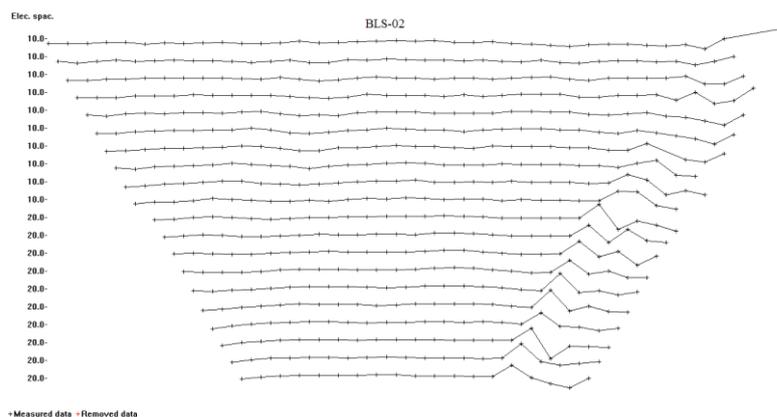
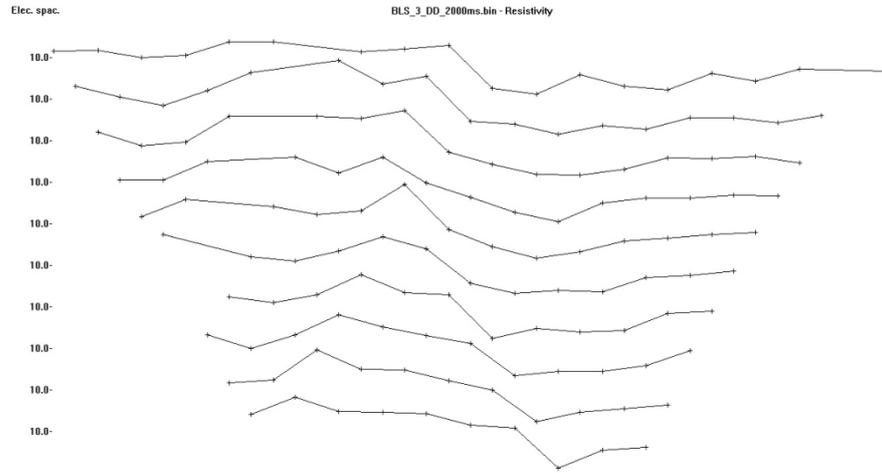


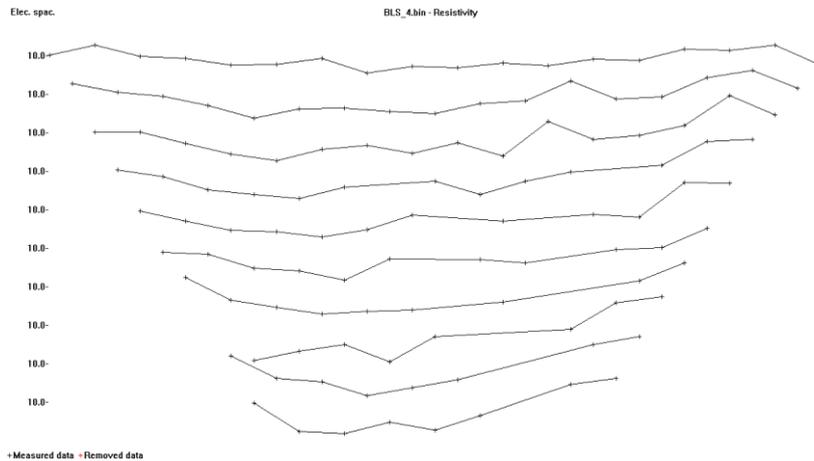
Figura 5.10 Distribuição dos pontos adquiridos na linha BLS 02.

A aquisição da linha BLS-03 contou com 23 eletrodos distribuídos ao longo da linha e espaçamento de 10m entre esses. Foram adquiridos 138 pontos para um total de 10 níveis de leitura (**Figura 5.11**).



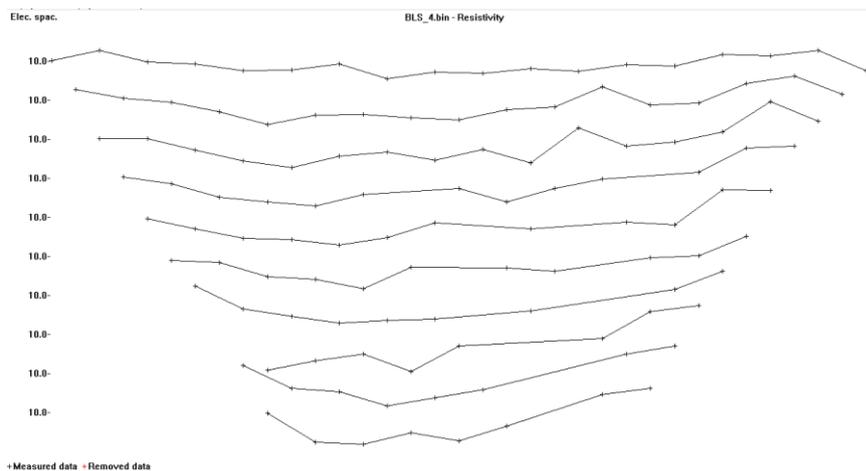
**Figura 5.11** Distribuição dos pontos adquiridos na linha BLS 03.

A aquisição da linha BLS-04 contou com 21 eletrodos distribuídos ao longo da linha e espaçamento de 10m entre esses. Foram adquiridos 125 pontos para um total de 10 níveis de leitura (**Figura 5.12**).



**Figura 5.12** Exemplo do conjunto pontos adquiridos na linha BLS 04

A aquisição da linha BLS-04 contou com 21 eletrodos distribuídos ao longo da linha e espaçamento de 10m entre esses. Foram adquiridos 125 pontos para um total de 10 níveis de leitura (**Figura 5.13**).



**Figura 5.13** Exemplo do conjunto pontos adquiridos na linha BLS 04.

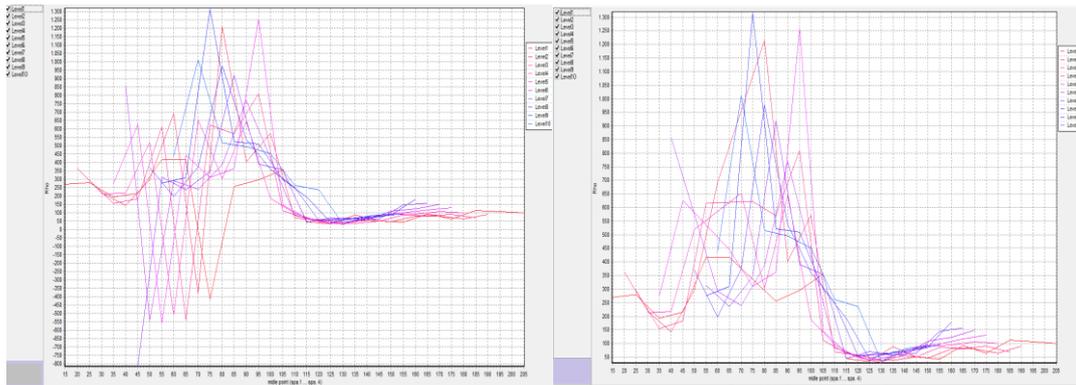
O cabo utilizado na configuração consistiu de 11 fios, esses previamente enumerados e soldados os seus conectores. Para a injeção de corrente foram utilizados eletrodos metálicos, enquanto para a leitura do potencial foram usados eletrodos não polarizáveis.

### 5.2.2 Filtragem e modelagem

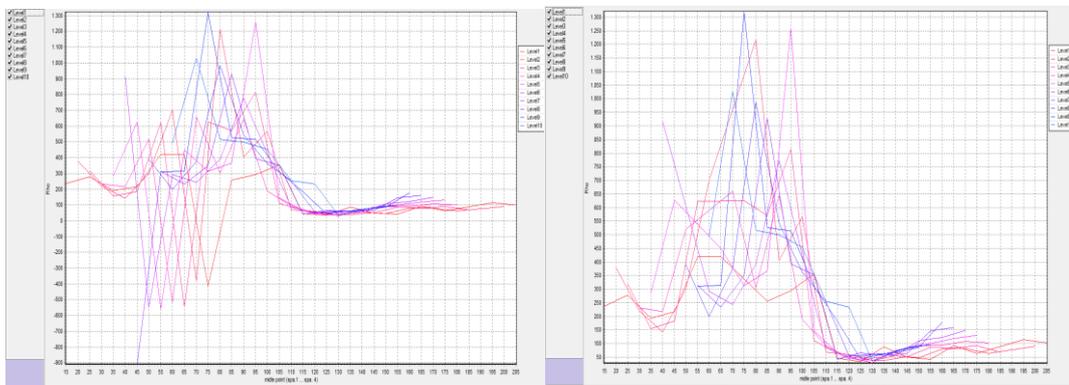
A rotina utilizada baseou-se no método da inversão robusta utilizando-se o *software* *res2dinv*, onde essa opção deve ser utilizada quando espera-se a presença de corpos bem delimitados (Loke, 2004). Esse método é o mais apropriado para o objetivo desse estudo, pois o método padrão utilizado pelo programa de inversão tende a minimizar o quadrado dos valores de resistividade, produzindo assim, um modelo com uma variação suave nos valores de resistividade.

Nesse trabalho, usou-se o modelo 2D para a inversão dos dados. O software de inversão possui um recurso no qual os dados são exibidos na forma de perfis para cada nível de investigação (**Figura 5.14 a Figura 5.16**). Utilizou-se essa ferramenta com o objetivo de remover os pontos onde os valores de resistividade estão claramente incorretos (*spikes*). Os valores destoantes normalmente são muito grandes ou muito pequenos comparados com os valores dos dados vizinhos.

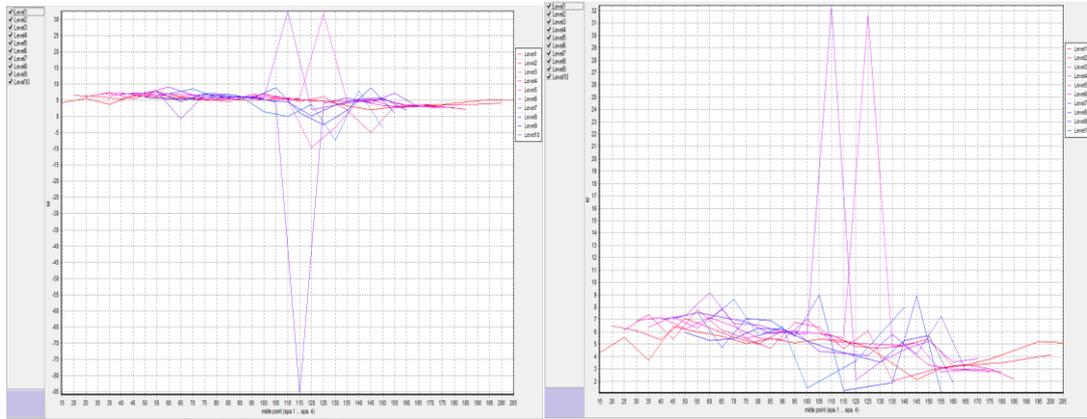
Os dados de resistividade são apresentados sob a forma de perfis para cada nível obtido. O perfil apresentado como exemplo, refere-se à linha BLS-03. Nesta, as linhas apresentam-se aparentemente uniformes com duas ou três desigualdades. Se necessário, poderíamos excluí-los, simplesmente usando comando manual para remover qualquer ponto. O principal objetivo desta opção é remover pontos de dados que têm valores de resistividade que são claramente distoantes dos demais .



**Figura 5.14** Dados da linha BLS 03 com janela cole-cole e tempo de aquisição de 2s sem filtragem apresentando valores negativos, e dados filtrados já sem os spikes para resistividade.



**Figura 5.15** Dados da Linha BLS – 03 com tempo de aquisição de 8s, sem filtragem apresentando valores negativos distoantes, e dados filtrados já sem os spikes para resistividade.



**Figura 5.16** Dados da Linha BLS – 03 com janela de aquisição cole-cole e tempo de aquisição de 8s para polarização induzida, valores distoantes negativos (Spikes), e dados filtrados

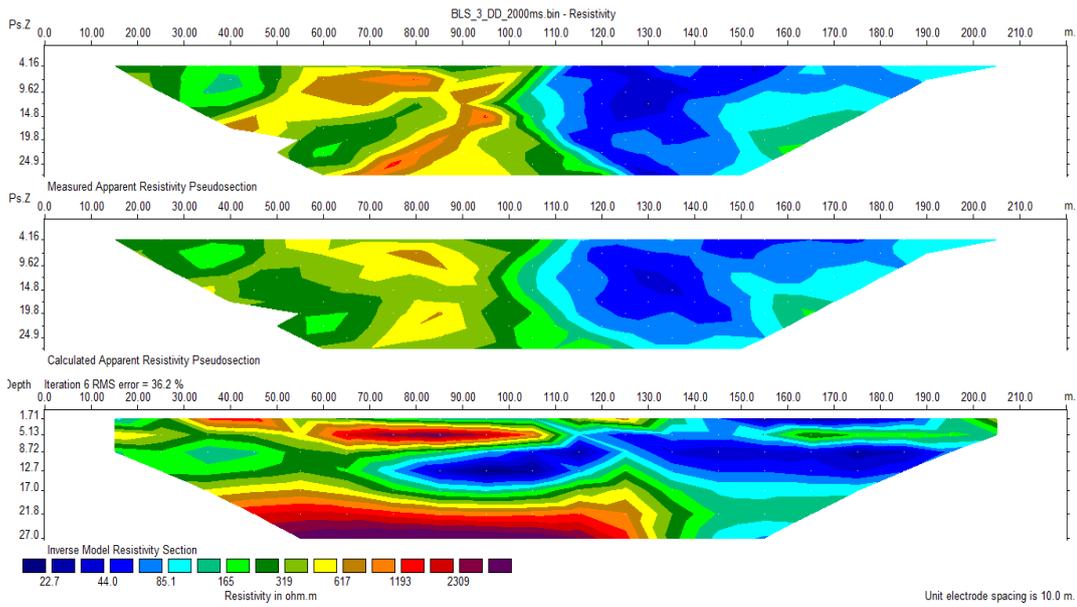
Para remover dados com valores de corrente igual à zero utilizou-se o processo de filtragem. Em seguida, eliminaram-se os dados que apresentavam altos valores de resistência de contato. Alguns valores de cargabilidade nos dois perfis investigados apresentaram respostas negativas, esse comportamento pode ser explicado como sendo o resultado de um acoplamento eletromagnético. Efeitos de acoplamento negativo EM podem estar associados com camadas anisotrópicas e ruídos antrópicos, como cercas e linhas de tubulação (Loke, 2004). Aplicou-se um filtro para remover os valores negativos de cargabilidade registrados.

Em geral, obteve-se uma abordagem mais prudente com interações no qual o modelo gerado não apresentasse erro RMS significativamente entre um e outro. Isto ocorreu após cinco (05) e (06) interações.

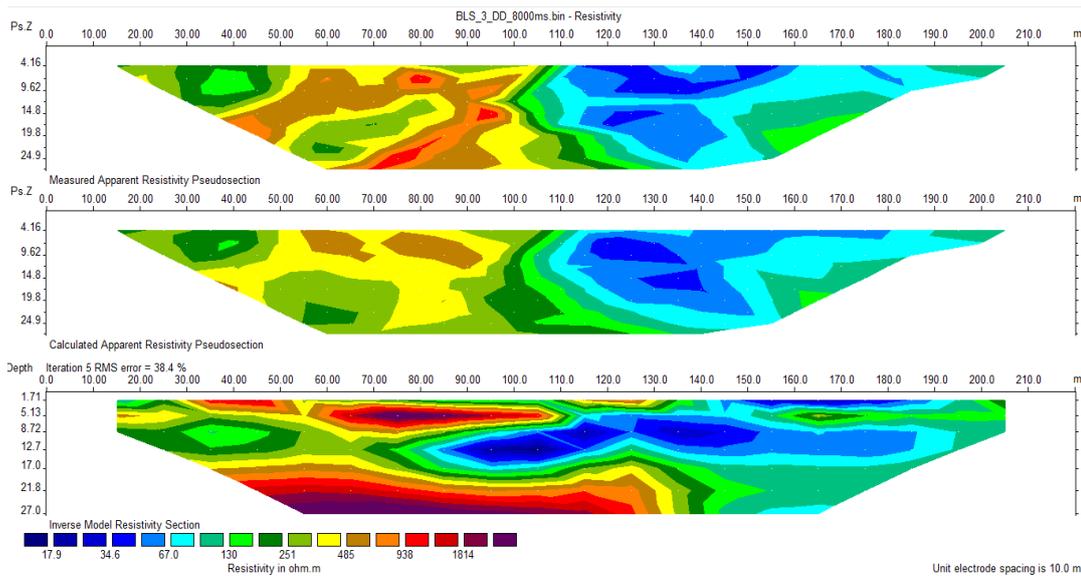
Para obtenção dos dados de cargabilidade, ocorreu um número de interações entre 5 e 6 , em regiões onde poderiam apresentar baixos valores, devido à concentração de outros elementos, o que atestaria falsos resultados.

Neste estudo, utilizou-se o método de otimização Gauss – Newton, que recalcula as derivadas parciais da matriz jacobiana para todas as iterações. Neste método o tempo de processamento pode ser maior, entretanto, apresenta melhores resultados quando há contrastes elevados de resistividade, ou seja, é melhor para detectar alvos pontuais com resistividades distintas (Loke e Dahlin, 2002).

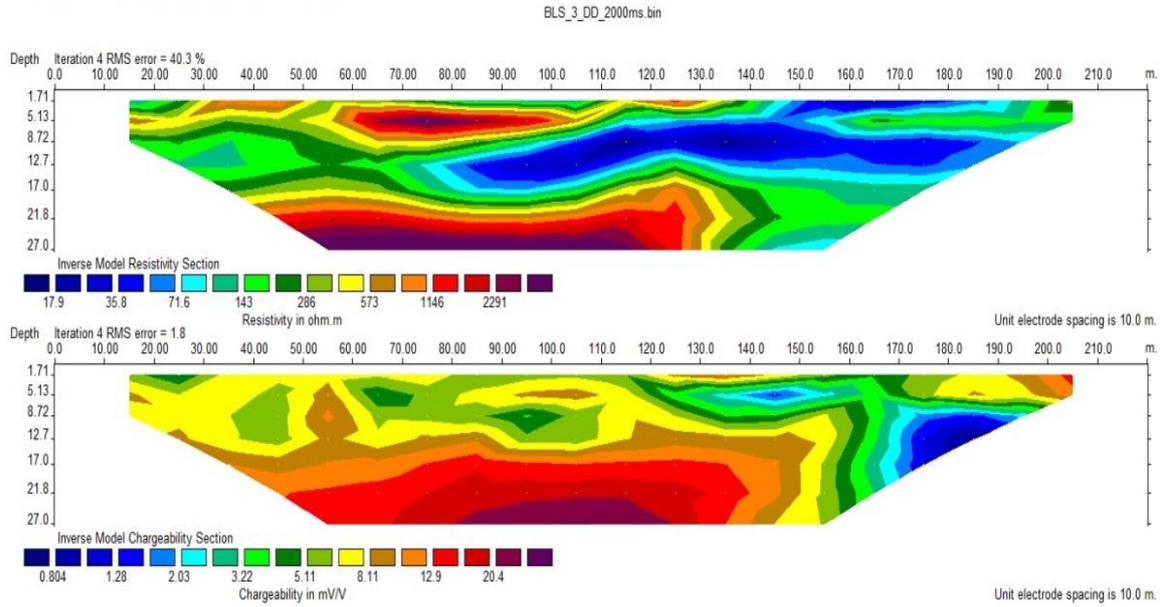
Como a maioria dos métodos de otimização, busca-se alcançar o menor erro entre diferença do modelo medido e o modelo calculado, isto é expresso pela soma dos erros ao quadrado, denominado erro médio quadrático (RMS). Para os dois perfis adquiridos com a janela de 2s, geraram-se modelos inversos dos dados brutos. Na primeira tentativa (**Figura 5.17**) o erro RMS dos dados após seis(06) iterações foi de 36,2 %, enquanto na segunda (**Figura 5.18**) o erro ficou em 34% com 5 interações, porém com um tempo de aquisição de 8s.



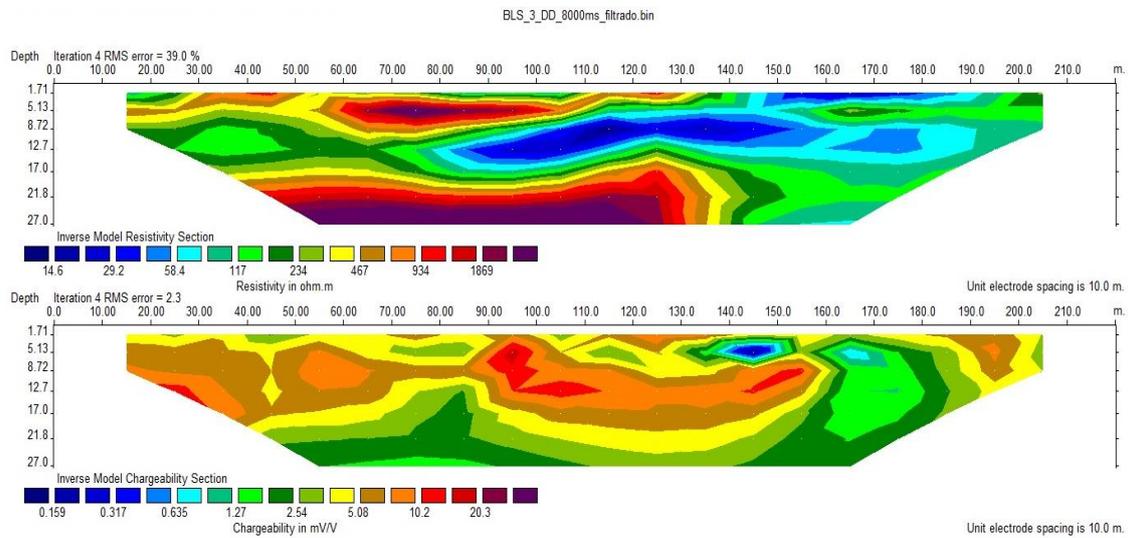
**Figura 5.17** Modelo de resistividade da linha BLS-03 – Tempo de 2s



**Figura 5.18** Modelo de resistividade da linha BLS-03 – Tempo de 8s



**Figura 5.19** Figura mostra perfil de cargabilidade e tempo de aquisição de 2s, com erro de RMS de 1.8% para os dados após quatro (04) iterações.



**(Figura 5.20)** Figura mostra perfil de cargabilidade e tempo de aquisição de 8s, com erro RMS de 2,3% para os dados após quatro (04) iterações.

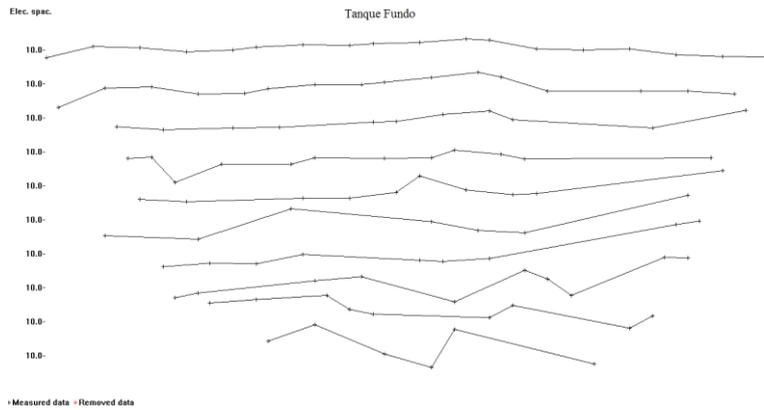
Na Mineração Tanque Fundo, localizada cerca de 30km da Mineração Ouro Fino, realizamos uma linha teste para tentativa de interceptar as feições mineralizadas da principal cava do garimpo dessa empresa (**Figura 5.21**).

Todo processo de preparação da linha seguiu o modelo realizado anteriormente, como mapeamento geológico regional e cavas de garimpo, bem como limpeza da área alvo. Essa linha finalizou-se internamente a área de mata fechada, e assim, foi o único caso que tornou-se necessário abrir parcialmente uma picada, tomando-se com bússola e balizas.



**Figura 5.21** Figura evidencia linha de geofísica (amarela) paralela a feições do tipo fraturas na Mineração Tanque Fundo.

Adquiriram-se o perfil de resistividade e cargabilidade com o tempo de 04 segundos e tensão de 400volts. Foram dispostos 72 eletrodos com espaçamento entre esses de 10m. Nesse setor, foi possível investigar 34 níveis. A distribuição da corrente não ultrapassou 159mA. Configurou-se a quantidade de stacks para 4 e 16 medidas e desvio padrão de 2%. Para essa linha, foram adquiridos 285 pontos (Figura 5.22). Utilizaram-se os mesmos dois (02) eletrodos metálicos para a injeção de corrente, enquanto para leitura do potencial, usaram-se onze (11) eletrodos não polarizáveis.



**Figura 5.22** Exemplo do conjunto de pontos obtidos na linha da Mineração Tanque Fundo

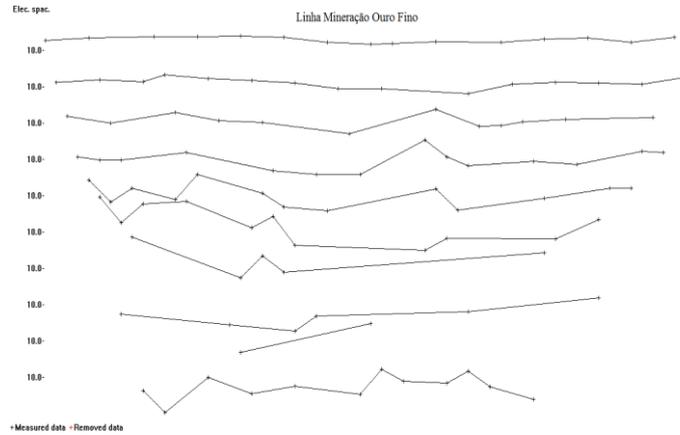
A aquisição dos dados contou com a mesma quantidade de técnicos das outras áreas, distribuídos entre as funções de movimentar os eletrodos de corrente e potencial, bem como o manuseio da central de comando.

A terceira área de estudo, localiza-se na Mineração Ouro Fino, perímetro urbano de Poconé – MT. Nessa área buscou-se o entendimento da mineralização que ocorre na zona de cisalhamento principal. Dessa forma, realizamos uma linha teste de direção noroeste, para tentativa de interceptar as feições mineralizadas do tipo fraturas preenchidas por veios de quartzo em uma das várias cavas da mineradora, onde fosse fácil o acesso para a devida locomoção dos equipamentos. Nessa região, tomou-se como base garimpos próximos e tradicionais da região. Apesar de feita na direção nordeste, teve-se o cuidado de alinhar essa área com fraturas mineralizadas de outras frentes proximais já em atividade e promissoras quanto a teores de ouro. **(Figura 5.23).**



**Figura 5.23** Imagem aérea de parte do perímetro urbano de Poconé, com a localização do perfil geofísico desenvolvido na área da Mineração Ouro Fino.

Nessa linha utilizou-se o arranjo eletrodico dipolo-dipolo com o espaçamento entre os eletrodos de 10m, perfazendo-se um total de 34 eletrodos na linha . O total de números de pontos adquiridos foi da ordem de cento e cinco pontos (105) para 10 níveis de aquisição (**Figura 5.24**).



**Figura 5.24** Exemplo do conjunto de pontos obtidos na linha da Mineração Ouro Fino

Como a área já se encontrava preparada para os estudos, não houve necessidade de abrir a linha com máquinas e outros equipamentos. De relevo plano, e de fácil trafegabilidade, apenas tomou-se o cuidado para não realizar leituras sobre áreas de cascalho, objeto da escavação dos garimpos.

## CAPÍTULO 6

### 6. RESULTADOS E INTERPRETAÇÃO

Neste capítulo, descrevem-se a geologia local das áreas de estudo, representadas por mapas de detalhe e imagens de satélite, bem como os resultados e interpretações geofísicas de polarização induzida e resistividade.

A partir dos produtos gerados na etapa de processamento dos dados, gerou-se um modelo interpretado correspondente a cada linha de aquisição, com o objetivo de correlacionar com os diversos litotipos presentes na área estudada.

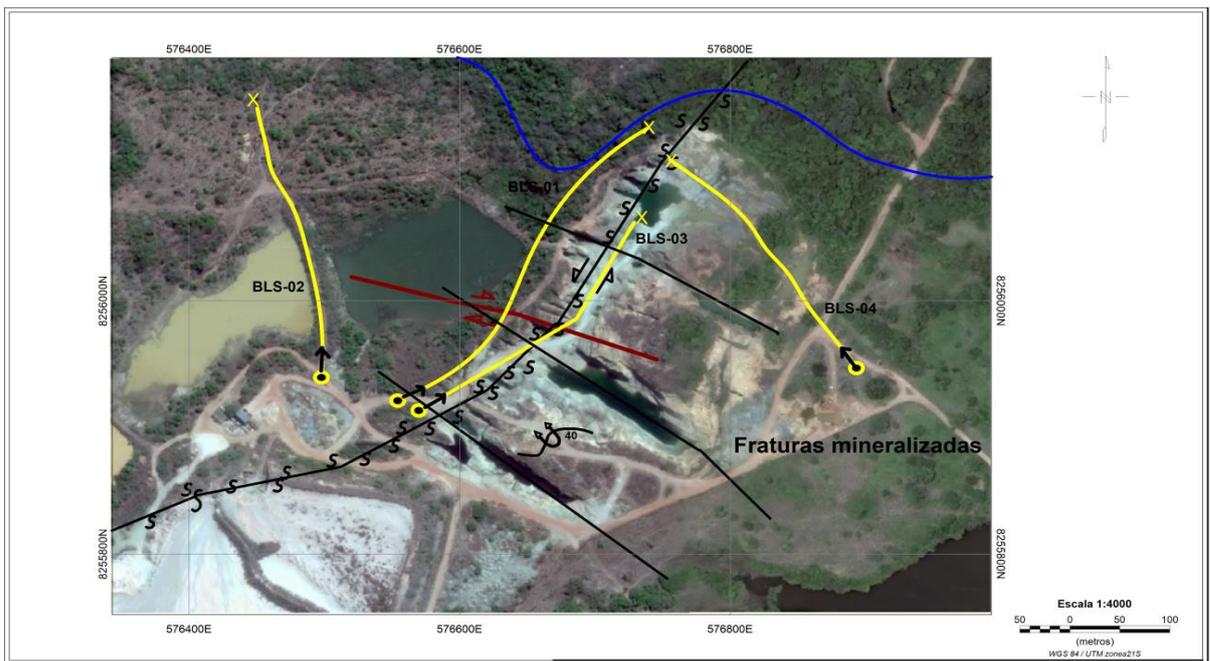
Com o método da resistividade, determinaram-se as camadas de unidades geológicas locais, e seus contatos. Com o arranjo dipolo- dipolo, tempos de aquisição de 2 e 8s e janela *cole – cole*, interpretou-se cada perfil, com o objetivo de gerar um modelo único de subsuperfície. Esse sistema eletródico variou de 10 a 20m, e apresentou uma razão de ruído baixa, definindo bem as camadas horizontais. Ademais, verificou-se a boa resolução para a determinação no topo rochoso e das feições verticais.

#### 6.1 Setor 01 (Mineração Ouro Minas)

A mineração Ouro Minas está localizada na extremidade leste da cidade de Nossa Senhora do Livramento. Nesse ambiente, o processo de lavra encontra-se a céu aberto, com escavações ao longo das fraturas mineralizadas e parte no cisalhamento principal. Dessa forma, optou-se em desenvolver estudos geofísicos ao longo da principal área de lavra, onde os indícios de sulfetação são notados associados aos afloramentos rochosos diversos.

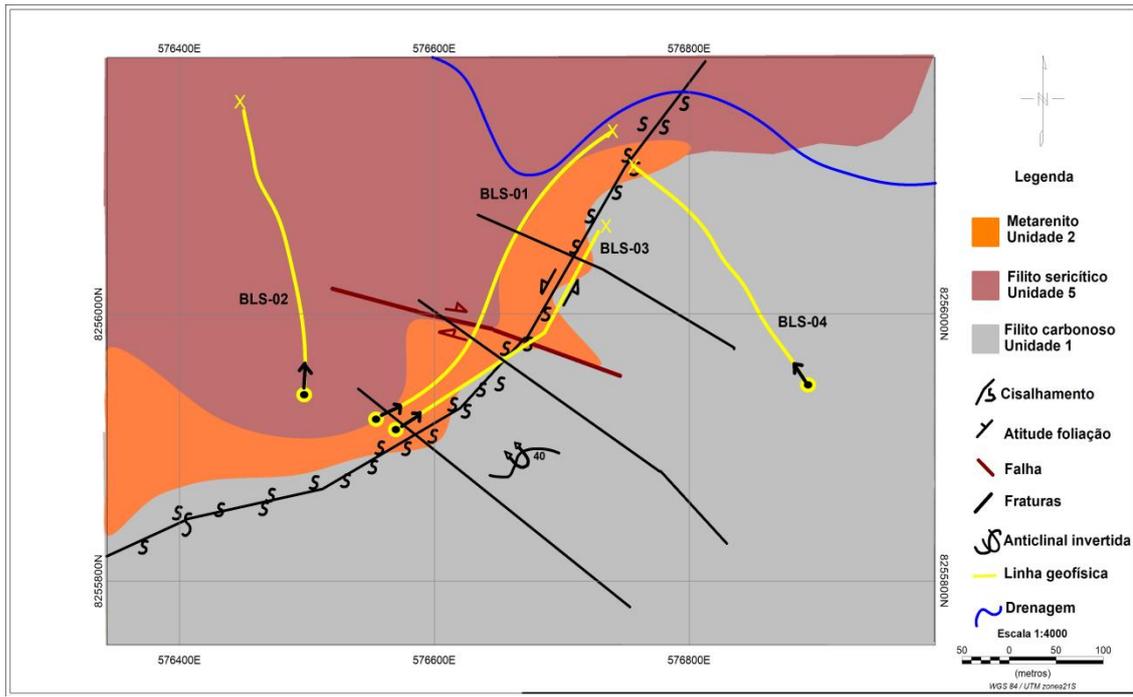
Assim, duas linhas foram realizadas na direção nordeste (NE), com o objetivo de interceptar de forma perpendicular as fraturas mineralizadas que pudessem fornecer indicativos de continuidade dessas zonas sulfetadas em subsuperfície.

Outras duas linhas foram executadas na direção noroeste (NW), com o intuito de ver o prolongamento dessas fraturas (BLS-02) ou verificar a possibilidade de haver sinais de cargabilidade nas rochas encaixantes (BLS-04).



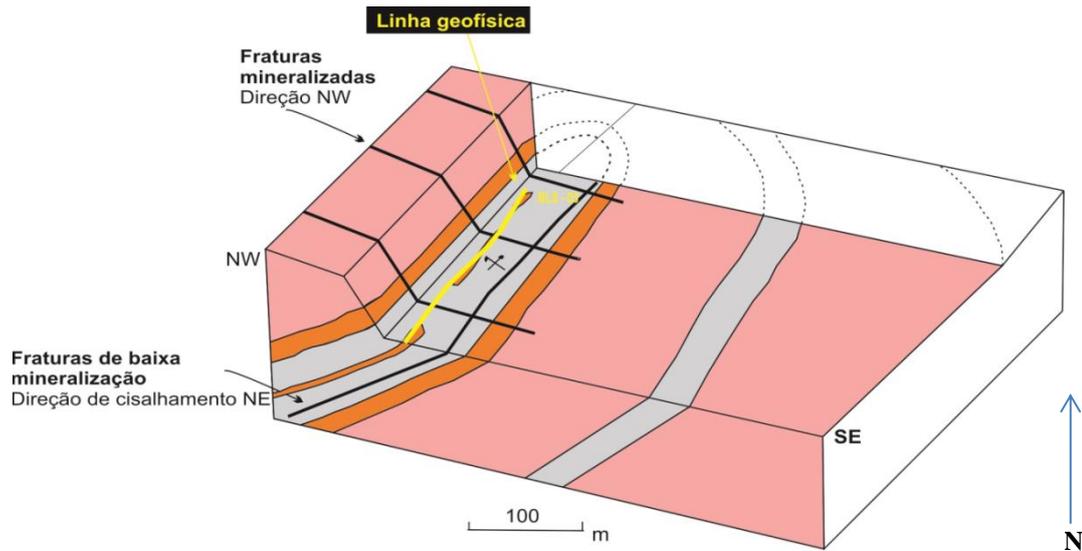
**Figura 6.1.** Imagem com a localização das seções de resistividade e IP, realizadas na área da Mineração Ouro Minas. (linhas em amarelo – IP e resistividade).

A variação litológica nesse setor é composta por rochas metassedimentares de natureza argilosa e arenosa. Os filitos sericíticos e carbonosos afloram com atitudes de foliação principal N20 – 45E e mergulhos de 45<sup>0</sup> para noroeste. Essas camadas estão expostas na cava principal, no corte da escarpa, linha que define o setor de cisalhamento regional. O metarenito ocorre intercalado por filitos sericíticos de topo e filitos carbonosos sobpostos, conforme **(Figura 6.2)**.



**Figura 6.2** Mapa geológico da área da Mineração Ouro Minas com a localização das seções de eletrorresistividade e IP. Os pontos com as setas indicativas indicam a direção do levantamento, bem como a letra “X” o término.

Nessa região, a atividade de lavra está concentrada nos flancos invertidos da estrutura de dobra, e após mapeamento de campo, constatou-se que as camadas litológicas apresentam mergulhos de 45° com sentido de caimento para noroeste (NW). Dessa forma, conforme **(Figura 6.3)**, o estudo por métodos indiretos ou por sondagens convencionais, indicaria camadas alternadas e repetitivas ao longo da linha em estudo. Quanto ao estágio de hidrotermalização visualizado na linha, pode ser notado áreas de percolação de fluídos mineralizados tanto nas fraturas preenchidas por veios de quartzo, quanto nas encaixantes (opt citado).



**Figura 6.3** Bloco diagrama da principal área de lavra

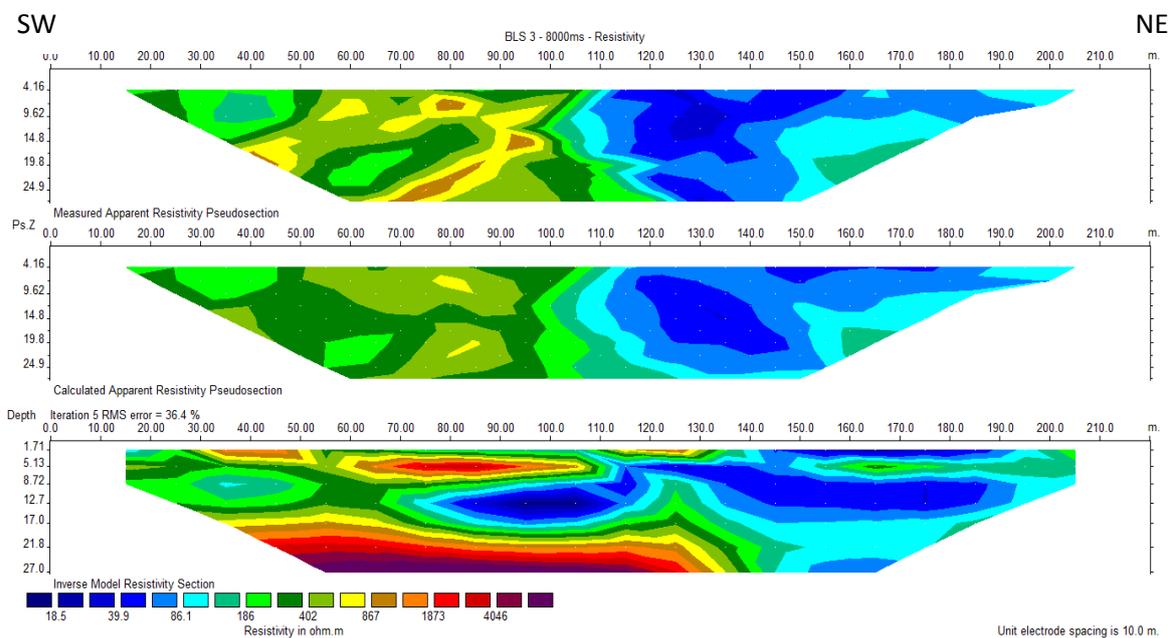
## 6.2 Linha BLS-03 (Setor 01)

O perfil de resistividade apresenta quatro (04) regiões com valores entre 18 a 4000 ohm.m. A primeira caracterizou-se por uma camada horizontalizada de metarenito mal selecionado, conforme evidenciado no local, e sua morfologia estratiforme horizontalizada, pode ser notada com espessuras de 10m, entre as metragens 60 – 130m, apresentando valores de resistividade da ordem de 900 – >1800 ohm.m (**Figura 6.4**). A região compreendida entre 80 e 190 metros, e profundidade média de 12m, mostram valores de resistividades muito baixos, entre 18 – 80 ohm.m, podendo ser entendido como porções mais condutivas, como áreas de fraturas com percolação de água. Presume-se tratar de ambiente filito carbonoso, onde as fraturas coexistem com sulfetos ora disseminados, ora preservados quanto sua estrutura cristalina. Na profundidade de 17m, o filito dá lugar ao metarenito e a resistividade volta a ter valores da ordem de 850 e 1000ohm.m. O litotipos identificados não estão alterados, e além de suas camadas, pôde-se identificar e estruturas de veios de quartzo com alta percolação de água.

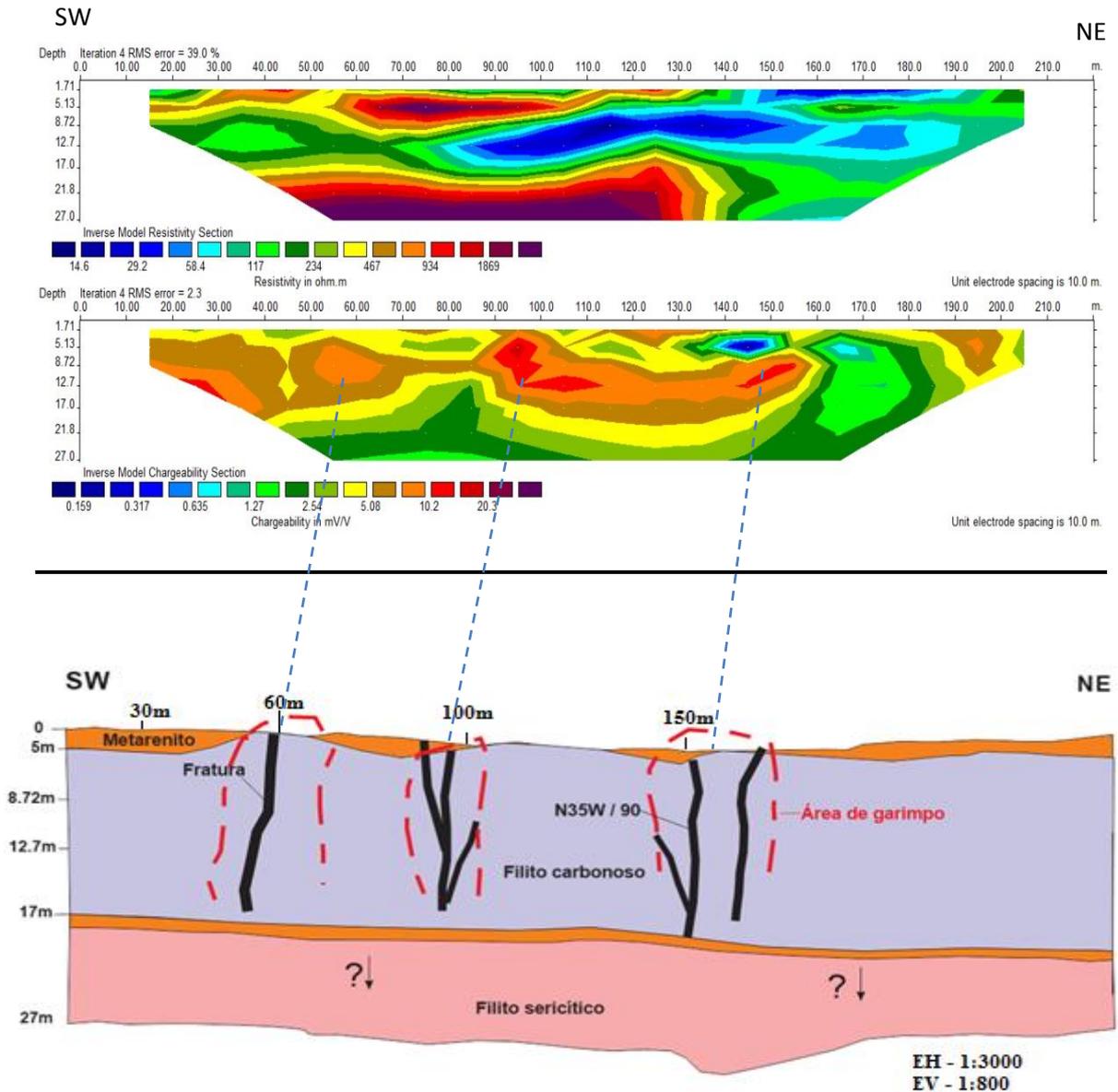
Na porção basal do perfil, a resistividade ultrapassa os valores de 1900 ohm.m e parece estar vinculados com zonas de intenso faturamento, mas já ausente de percolação de meios aquosos.

A cargabilidade obtida com o método de polarização induzida, mostrou-se restrita e somente localizada em alguns setores (**Figura 6.4.a**). O seu “background” não ultrapassou 20m/v e apresentam-se em dois locais da linha, ficando abaixo de resultados obtidos em análises de outros “filões” caracterizados nas regiões de Poconé e Livramento. Esses sinais pontuais estão localizados no espaçamento 90 – 100m, iniciando sua anomalia em profundidade de 3 metros até 12m em aspecto afunilado, aparentemente seguindo a morfologia das fraturas subverticalizadas. Na metragem 150m, pôde-se notar cargabilidade próximo de 10m/V, com profundidade estimada de 8 – 10 metros, corroborando com a área mapeada, onde se observa feições estruturais do tipo fraturas.

Realizou-se essa linha na base do cisalhamento, e essas anomalias de cargabilidade ficaram restritas proximais aos veios de quartzo que preenchem as fraturas, embora a rocha encaixante também seja produto de lavra, por possuir altos teores e fortes indícios de hidrotermalização, dentre eles a sulfetação, na qual, não foi possível a verificação de sinais anômalos nesse setor.



**Figura 6.4** Perfil de resistividade com tempo de aquisição ( 8s ) - Linha BLS – 03.



**Figura 6.4.a** Análise da cargabilidade e indicação de seção de resistividade, modelo de cargabilidade e perfil geológico na principal área de lavra da Min. Ouro Minas – Linha BLS – 03.

Na camada superior do modelo (**Figura 6.5**) com aproximadamente 13 metros de espessura, definiu-se uma área com resposta de baixa condutividade. Essa região apresenta baixa resistividade e valores de cargabilidade predominantemente baixos, e embora sendo interpretados como estruturas de veios de quartzo, no qual é característico para altos valores de cargabilidade. A área onde apresentam-se localmente valores elevados de resistividade ( $900 > 1000 \text{ ohm.m}$ ), são caracterizados como metarenitos (cor amarela-perfil geoeletrico).

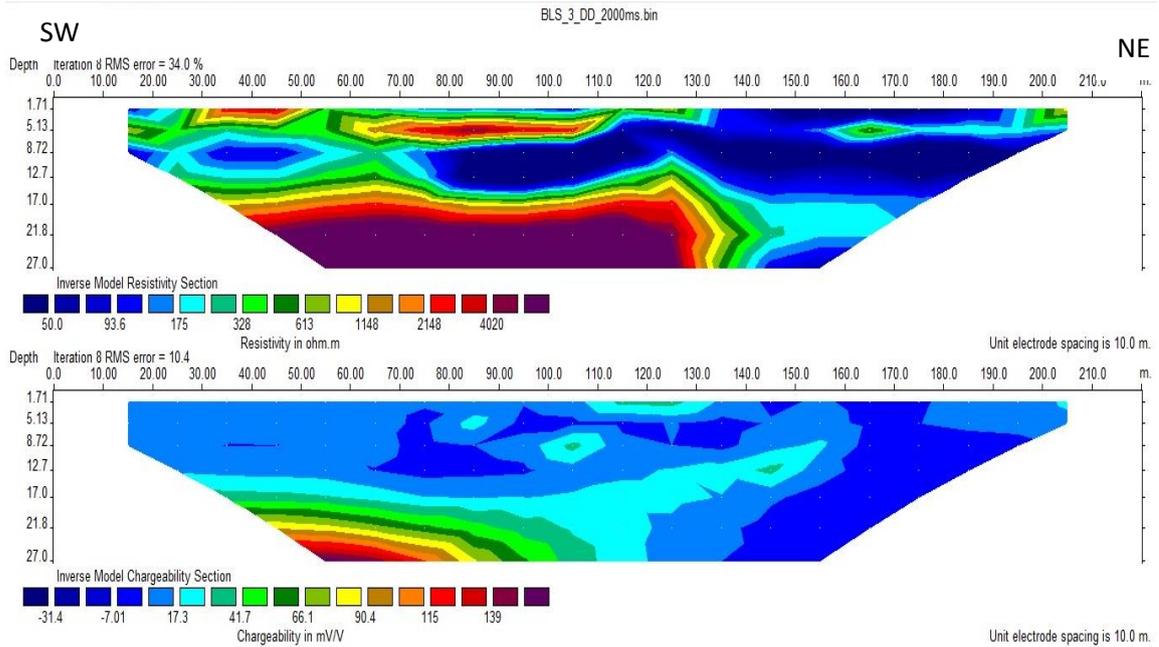
No contato entre as camadas mais condutivas localizadas no meio do modelo e as camadas mais resistivas na extremidade superior, apresenta-se uma camada com resistividades intermediárias (cor verde – perfil), sendo essa associada ao filito (200 >600 ohm.m).

Os setores mais condutivos estão presentes nas metragens lineares de 100 m e 150m, e relaciona-se com estruturas do tipo fraturas e falhas. Essas anomalias estão associadas a veios de quartzo com a presença de sulfetos, contendo a presença de água preenchendo poros das rochas encaixantes, resultantes de drenagens que cortam a região e que estão proximais a esse ambiente.

Nesse modelo, identificou-se a presença de contato geológico entre material arenítico e pelítico filitoso na metragem de oito (08) metros, e na inflexão da camada com 21 metros de profundidade.

Os sinais de cargabilidade atingiram no máximo (>17 mV/V) e baixa resistividade com o tempo de injeção de 8s, em porções onde a mineralização poderia estar associada a presença de sulfetos no veio de quartzo. Esse padrão também é observado em veios localizados nas posições entre 100 – 110m e 150 – 160m.

Outras estruturas de vênulas foram notadas ao longo dessa linha, em feições do tipo “*Boxworks*”, porém de dimensões centimétricas e possivelmente pós estágios de hidrotermalização, o que levou a não detecção de cargabilidade pela geofísica.



**Figura 6.5** Análise de resistividade e cargabilidade – Linha BLS 03 -Tempo de aquisição (2s)

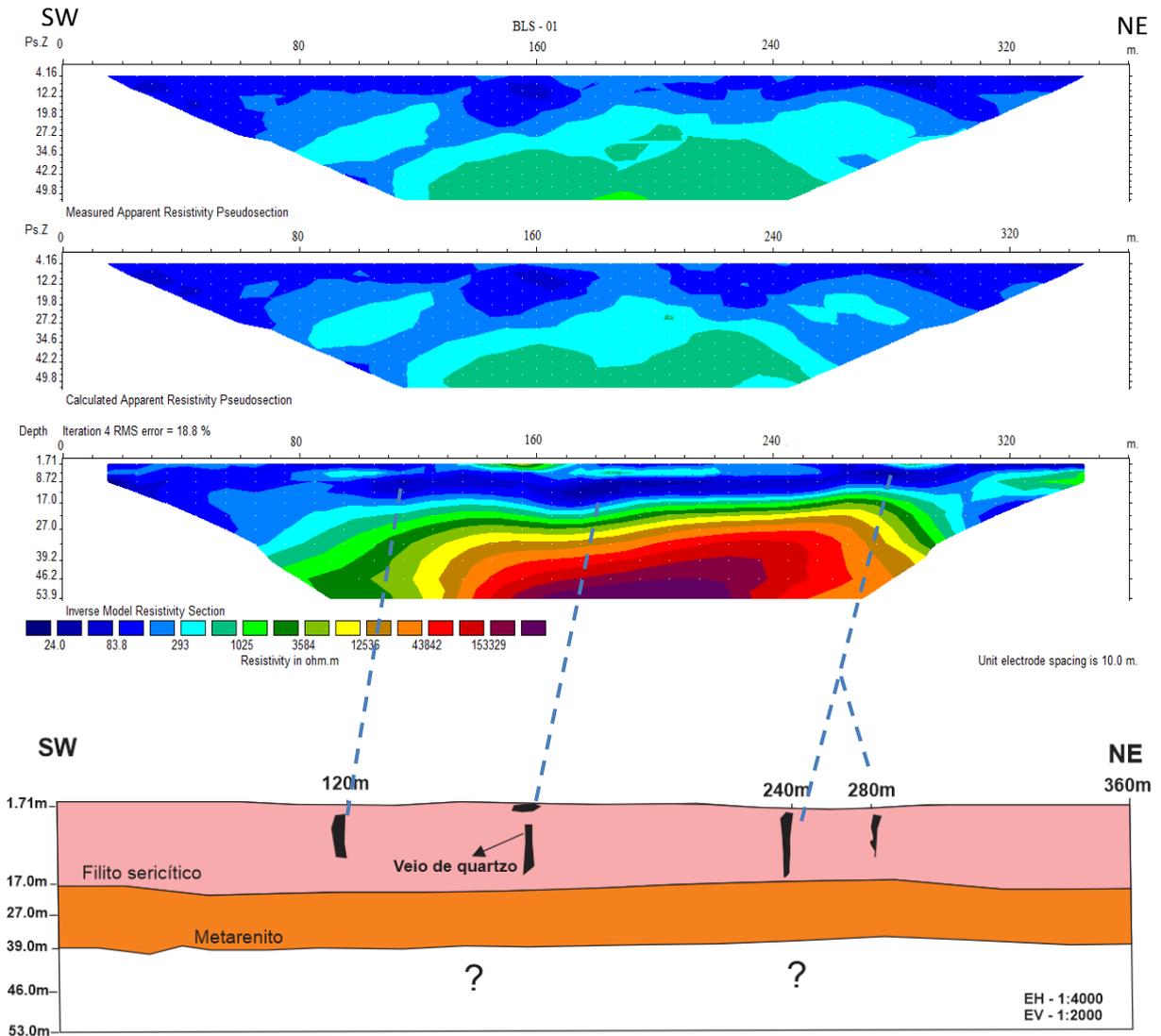
### 6.3 Linha BLS-01

A linha BLS – 01 teve como objetivo a aquisição de anomalias no prolongamento das feições estruturais de falha e fraturas (**Figura 6.6**). Essa linha apresentou um total de 360m, realizados ao longo do topo da bancada em lavra. A rocha nesse setor é aflorante, e é representada pelo filito sericítico. Em alguns pontos, camadas de crosta laterítica podem ser visualizadas junto ao solo argiloso. No advento de aquisição dos dados, utilizou-se o arranjo dipolo – dipolo com espaçamentos entre eletrodos de 10 e 20m, esse último para maior avanço na profundidade a ser investigada, em virtude de já se conhecer cerca de 15 metros de litologia no corte da escarpa.



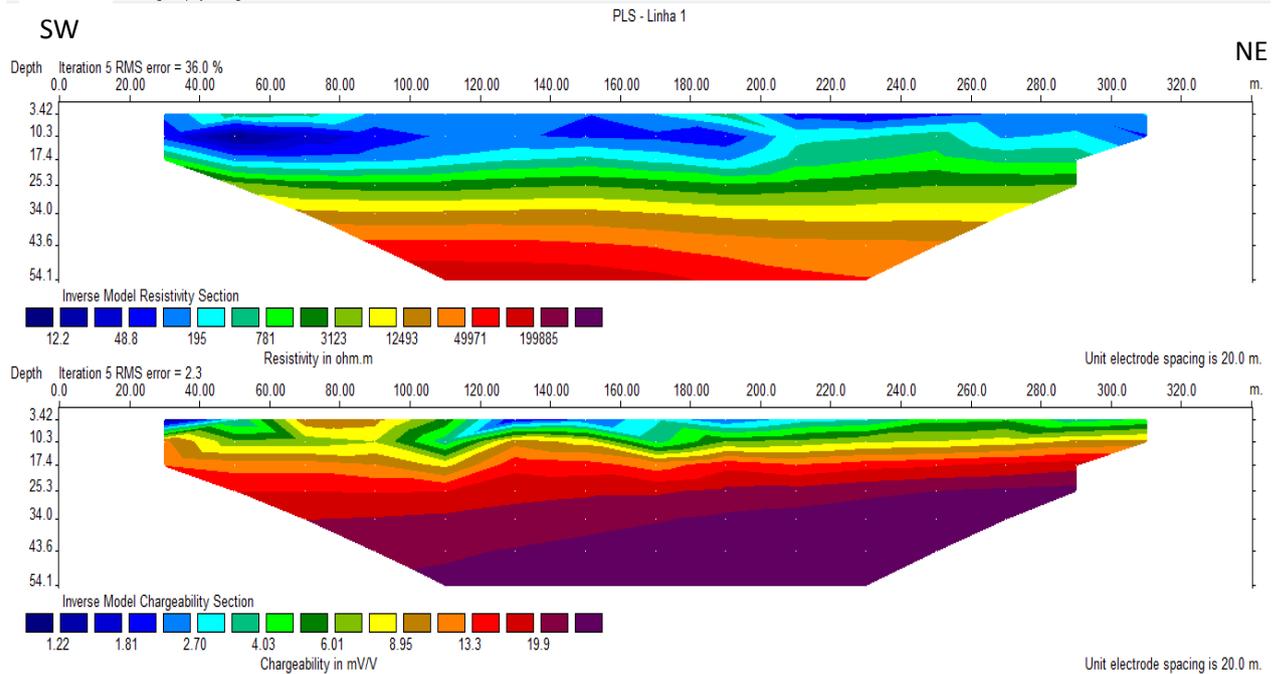
**Figura 6.6** Linha geofísica – BLS-01 evidencia o corte na bancada de lavra à céu aberto e a exposição dos principais litotipos (vista da figura de SE para NW).

Como o solo na área de estudo em partes é coberto por cangas lateríticas e seixos de quartzo, o uso de água e sal foi intenso para tentativa de reduzir a resistência de contato nesse local (**Figura 6.7**).



**Figura 6.7** Perfil geolétrico de resistividade e geológico – Após 4 interações com RMS de 18.8%

O topo do perfil geolétrico até a profundidade de 8m apresenta uma baixa resistividade, entre 20 e 80 ohm.m, no qual corresponde a área saturada ao longo de todo perfil, devido á ocorrência de drenagem próxima. Esse setor pode ser representado por rocha filitosa de baixa resistividade a solo inconsolidado. Na região inferior, o filito se faz presente e de resistividades que variam entre 200 a 293ohm.m. Em contato tectônico e sobposta a essa unidade, encontram-se as feições estruturais do tipo fraturas com valores de resistividades acima de 1000 ohm.m., ausentes de percolação de água. Essas feições estão localizadas de 17 a 50m de profundidade, entre as medidas lineares de 80 a 270m.



**Figura 6.8** Perfil evidencia a ausência de cargabilidade nesse perfil geoeletrico

#### 6.4 Linha BLS-02

A continuidade dessas fraturas potenciais a serem lavradas, podem ser notadas na linha BLS – 02 (**Figura 6.9**), situada na região noroeste da linha BLS 01. Essa possui direção noroeste e teve como objetivo estimar a profundidade e continuidade dessas feições e consequentemente orientar a direção das escavações

Como esse estudo está localizado proximal ao represamento de rejeitos de garimpo, notou-se baixa resistividade até 8m de profundidade ao longo de todo perfil, presumindo tratar-se de influência desse ambiente, por ser a água um meio muito condutivo. O filito apresenta resistividade entre 200 – 400 ohm.m localizada na região central do perfil e de profundidade próxima aos 17 metros. Na base dessa unidade, entre 600 – 1000 ohm.m, a unidade filitosa dá lugar ao metarenito, podendo ser interpretado como a camada selante desse represamento. Sua morfologia apresenta-se estratiforme horizontalizada, na porção que foi realizada esse estudo. Após 20 metros de profundidade, a resistividade ultrapassa os 1600 ohm.m e sua feição morfológica indica que o sistema de faturamento ocorre contínuo para direção NW e provavelmente com mergulhos mais suaves do que o notado no corte da escarpa e abaixo da área da represa.

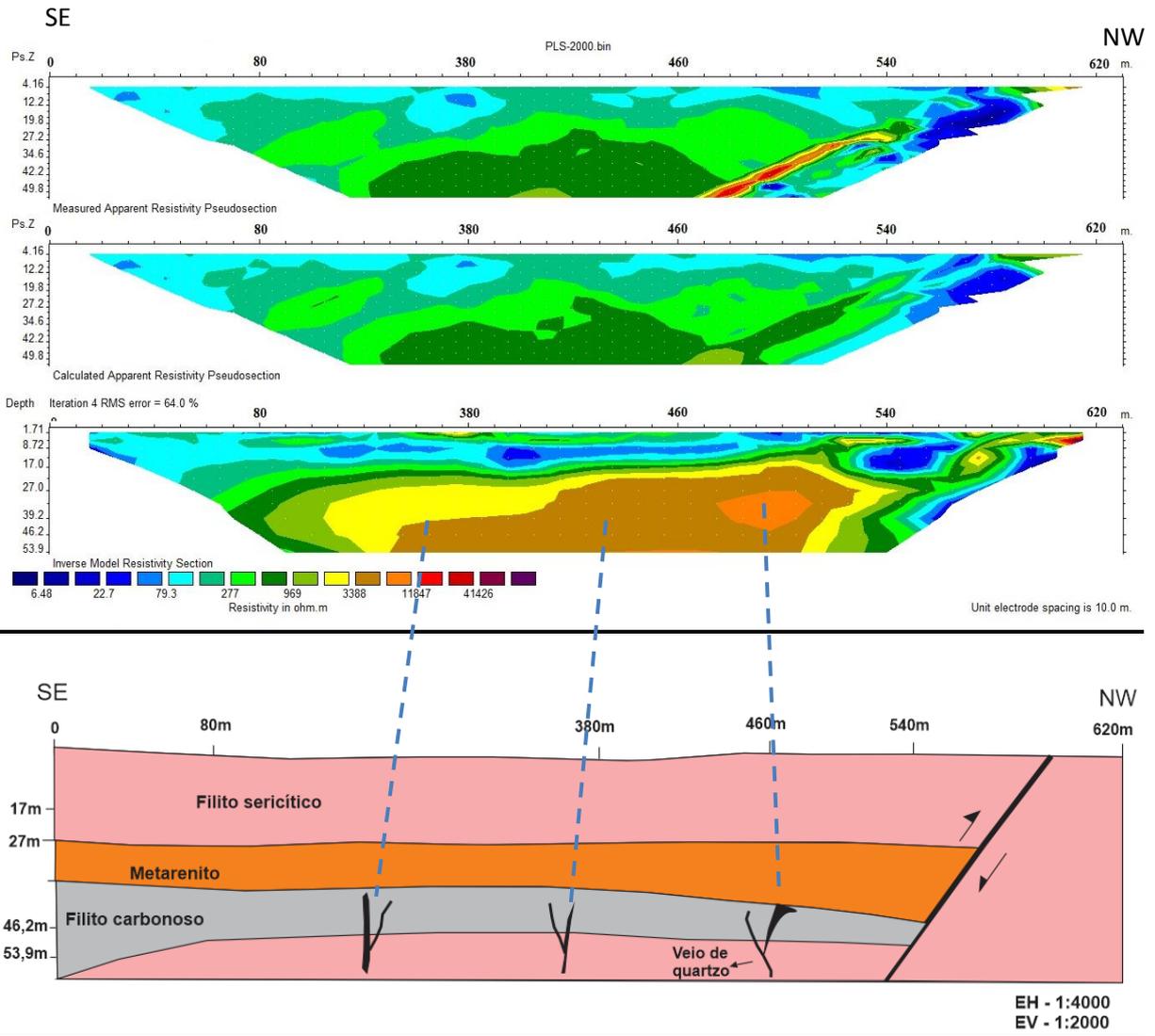


Figura 6.9 Análise de resistividade na linha BLS-02 – N/NW na principal área de lavra da Min. Ouro Minas.

### 6.5 Linha BLS – 04

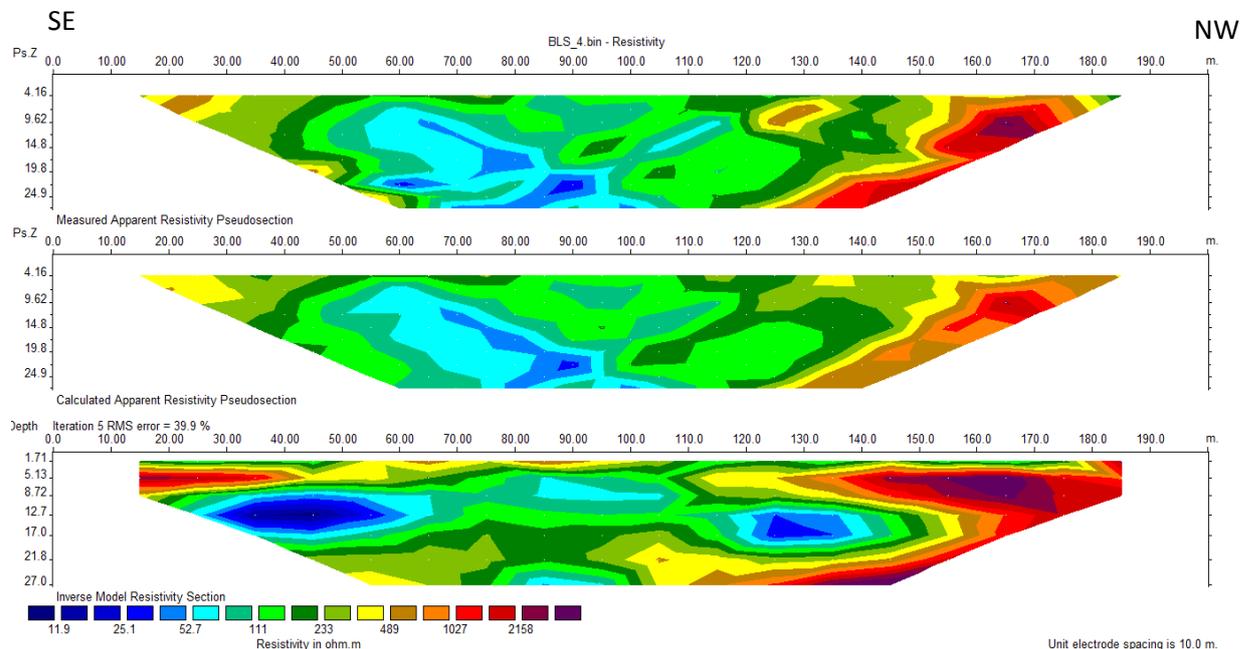
A linha BLS-04 foi locada na direção noroeste (NW), na região de lavra em atividade, e teve como principal objetivo, o mapeamento de feições estruturais do cisalhamento principal (NE), preenchidas por quartzo.

Na camada superior do modelo (Figura 6.10) com aproximadamente 3 metros de espessura, definiu-se uma área com resposta de resistividade entre  $200 > 300$ , tratando-se do filito. Acima de 400 ohm.m, entende-se como sendo a rocha arenítica corroborando com valores de carbabilidade predominantemente baixos, entre 11 – 16 m/V, sobreposta ao filito. O perfil indica valores desprezíveis de carbabilidade, e as porções onde esperava-se encontrar

tais sinais, apresentou-se como uma região de percolação de meio aquoso de baixa resistividade.

Os dados de resistividade elétrica e cargabilidade evidenciam uma porção de baixa cargabilidade e baixa resistividade na linha investigada. Ocorrem entre as metragens 30 – 130m lineares, uma importante estrutura de quartzo, estendendo praticamente até o final da linha. Possuem cerca de oito (08) metros de profundidade, com direção aproximada N25E

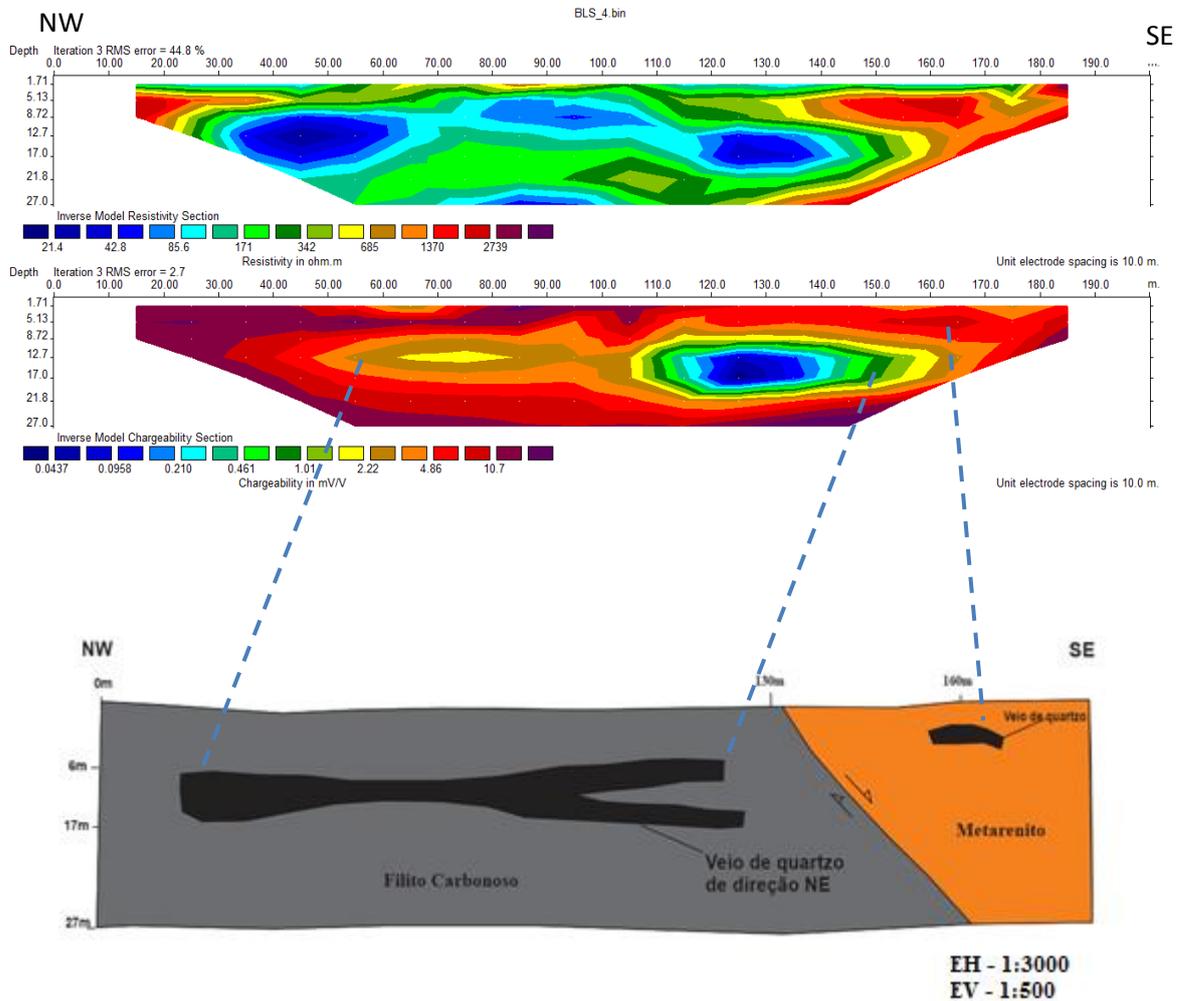
Na petrografia de mão, essa região é compreendida por forte sulfetação, embora contrastando com os resultados obtidos de carbabilidade.



**Figura 6.10** Análise de resistividade na linha BLS-04 – SE/NW na principal área de lavra da Min. Ouro Minas.

Nessa região, os veios de quartzo estão fissurados e a percolação de água se faz presente. As estruturas de veios quartzosos estão orientadas para nordeste e possuem resistividade que varia entre 15 – 73 ohm.m, localizadas entre as metragens lineares de 30 a 140m. Possuem profundidades que variam de 5 a 8m. O eixo maior apresenta-se com 15 metros de extensão em menor profundidade, enquanto os mais profundos da ordem de 9m apresentam eixos maiores de extensão em 30m. Toda estrutura está envolvida por filitos carbonosos de resistividade entre 150 – 350 ohm.m. Na porção leste do perfil geológico, ocorre o contato do filito carbonoso com o metarenito. A rocha arenosa possui resistividade entre 700 a 1100 ohm.m.

Nesse ambiente arenítico, pode-se observar uma anomalia de cargabilidade com valor acima dos 10mV/V, associada ao sistema de faturamento, embora de alta resistividade e provavelmente insaturada (**Figura 6.11**). A cargabilidade entre 4 – 5 sugere indicativos de sulfeto de chumbo, de vasta ocorrência em todas as unidades.



**Figura 6.11** Análise de cargabilidade na linha BLS-04 – SE/NW - área de lavra da Min. Ouro Minas.

### 6.6 Setor 02 (Mineração Tanque Fundo)

Essa área de estudo está localizada no município de Nossa Senhora do Livramento, mais precisamente no distrito de Forquilha, e nas dependências da Mineração Tanque Fundo. A área fica distante 32 km à sudoeste da cidade de Livramento. Essa região é composta por cavas antigas de garimpo e escavações atuais (**Figura 6.12**).



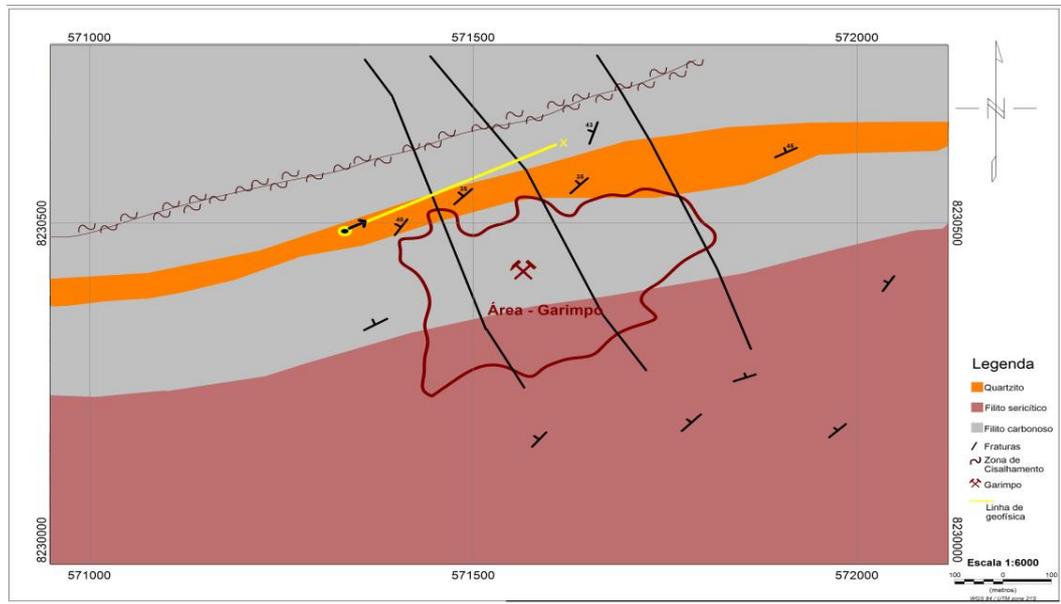
**Figura 6.12** – Imagem evidencia a área da Mineração Tanque Fundo. Linha geofísica realizada perpendicular à fraturas mineralizadas.

O planejamento dessa linha ocorreu em virtude do alto potencial mineral dessa região. As feições estruturais estão mineralizadas e o objetivo da caracterização desses alvos pela geofísica, foi o de interceptar de forma perpendicular, fraturas e falhas com evidências de percolação de fluido hidrotermal (**Figura 6.13**).



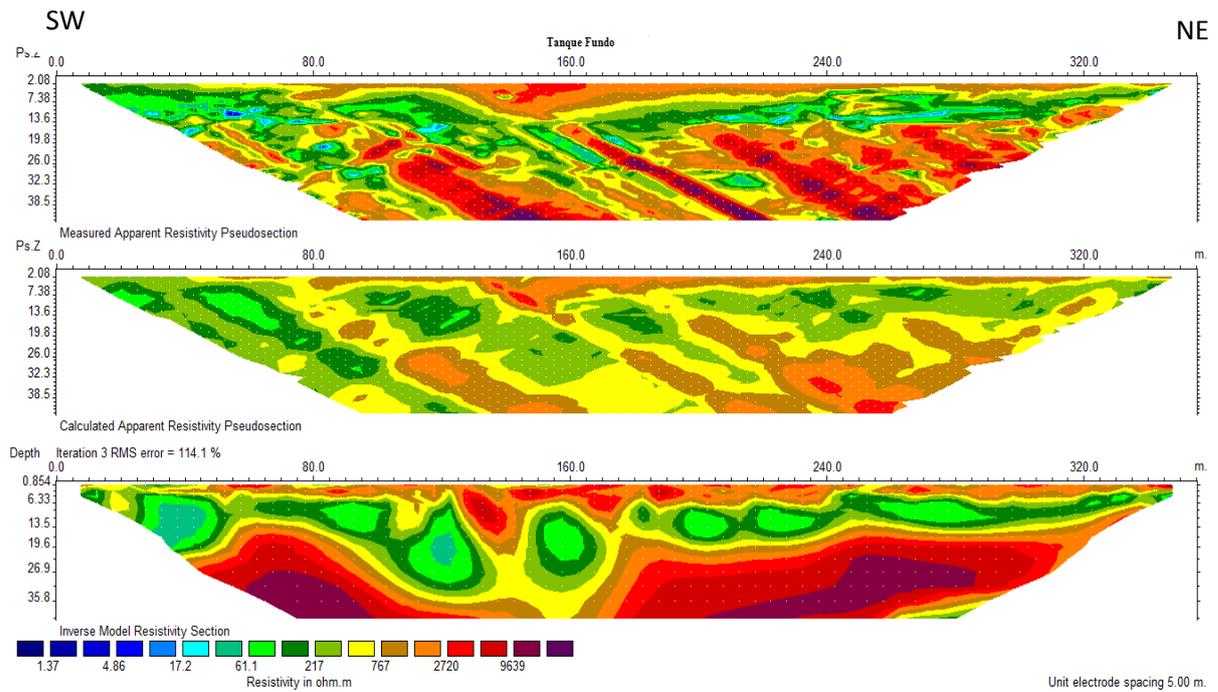
**Figura 6.13** Veio de quartzo e encaixante arenítica sulfetada (área da Mineração Tanque Fundo)

A variação litológica nesse setor é composta por rochas metassedimentares de matriz argilosa e arenosa. Os filitos sericíticos e grafitosos, afloram com atitudes de foliação principal N25 – 45E e mergulhos suaves de 35° para noroeste. Essas camadas estão expostas na cava principal, no corte da escarpa (**Figura 6.14**).



**Figura 6.14.** Mapa geológico – área Setor 02 (Mineração Tanque Fundo)

Na camada superior do modelo com aproximadamente 14 metros de espessura, definiram-se duas áreas com respostas distintas. A primeira área apresenta alta resistividade e valores de cargabilidade predominantemente baixos, sendo este correlacionado com metarenitos, de valores que variam entre 1220 a 2000ohm.m. A área onde apresentam-se localmente valores elevados de resistividade (>3000 ohm.m) e baixos de cargabilidade (<5 mV/V), são correlacionados com metarenitos alterados (**Figura 6.15**).

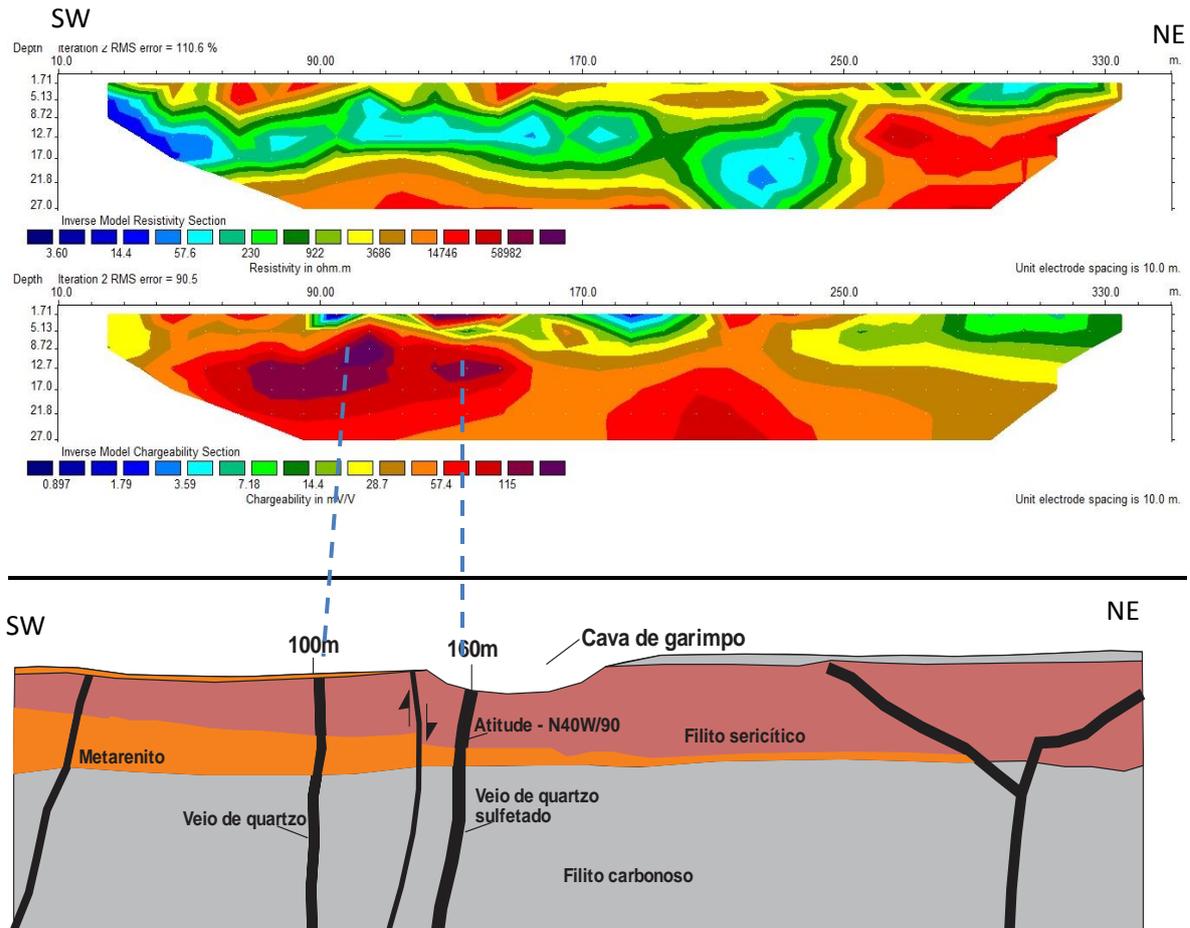


**Figura 6.15** Perfil geoeétrico da resistividade

Na transiço entre as camadas mais condutivas localizadas no meio do modelo e as camadas mais resistivas nas extremidades superior e inferior, apresenta-se uma camada com resistividades intermediárias, sendo esta associada ao filito, entre 200 e 450ohmm.

A faixa condutiva presente entre as profundidades de 10 a 35 m relaciona-se com filitos. Observam-se anomalias locais com baixos valores de cargabilidade e resistividade. Essas anomalias esto associadas a veios de quartzo alterados sem a presena de sulfetos, podendo conter a presena de água preenchendo poros/fraturas resultantes dos processos estruturais. Identificou-se no modelo a presena de trs discontinuidades, que apresentam-se como prováveis estruturas de veios de quartzo.

Na porço a sul da linha, ocorre uma resposta de alta cargabilidade ( $>100$  mV/V) e baixa resistividade (**Figura 6.16**). Essa região está associada à presena de sulfetos em estágios de oxidaço em veio de quartzo. Esse padrão também é observado nas estruturas localizadas nas posies de 125 e 255 m. Os veios identificados no modelo cruzam todos os litotipos, mostrando que essas feies no ocorrem em uma litologia específica.



**Figura 6.16** Análise de cargabilidade na linha Tanque Fundo SW/NE na principal área de lavra da Min. Tanque Fundo.

### 6.7 (Mineração Ouro Fino - Poconé)

A área da Mineração Ouro Fino situa-se no perímetro urbano de Poconé (**Figura 6.17**). Nessa, a atividade de garimpo é intensa, e suas frentes de lavra encontram-se em regime de céu aberto. No ambiente geológico de Poconé e circunvizinças, o minério de ouro ocorre disseminado nas estruturas de cisalhamento (NE) e fraturas distensivas ocasionadas pela feição de escala regional.



**Figura 6.17** Imagem da área de prospecção geofísica (linha amarela). Setor localizado no perímetro urbano da cidade de Poconé, nas dependências da Mineração Ouro Minas.

Os litotipos são constituídos pelas unidades do Grupo Cuiabá, e na área de estudo, estão representadas por filitos de composição sericítica a férrica. A direção predominante é a nordeste e sentido de mergulho noroeste, em ângulos que variam de 30 a 40° (**Figura 6.18**).

.Observa-se na seção do arranjo dipolo-dipolo, regiões com alternâncias de resistividade que associam-se a camadas de rochas com altas inclinações e variações de porosidade. Rochas que são mais porosas/permeáveis propiciam maior percolação de fluidos, o que resulta em um intemperismo mais acentuado marcados pelas zonas de alta resistividade. Barongo e Palacky (1991) concluíram que rochas intemperizadas costumam conter um maior volume de sílica e, por isso, possuem valores mais altos de resistividade elétrica.

Destacam-se valores anômalos de cargabilidade próximos a 98 mV/V e valores de resistividade próximos a 45  $\Omega.m$  entre os 170 e 200 metros do início linha.

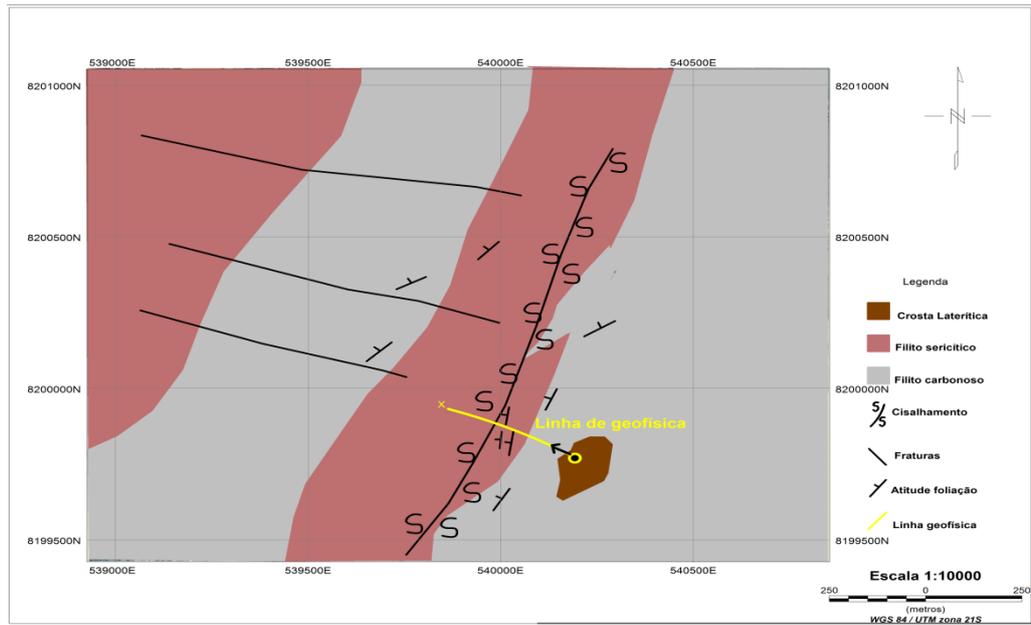


Figura 6.18 Mapa geológico de detalhe – área Setor 03 (Mineração Ouro Fino).

O modelo apresenta 4 camadas geolétricas, onde a primeira camada é interpretada como o solo laterítico que atinge até cerca de 11 metros de profundidade. A segunda camada corresponde a uma região de alto intemperismo e localiza-se entre 4 e 15 metros de profundidade. A terceira camada também é caracterizada por rochas alteradas, porém com um intemperismo menos intenso e localizada entre 6 e 32 metros de profundidade (Figura 6.19).

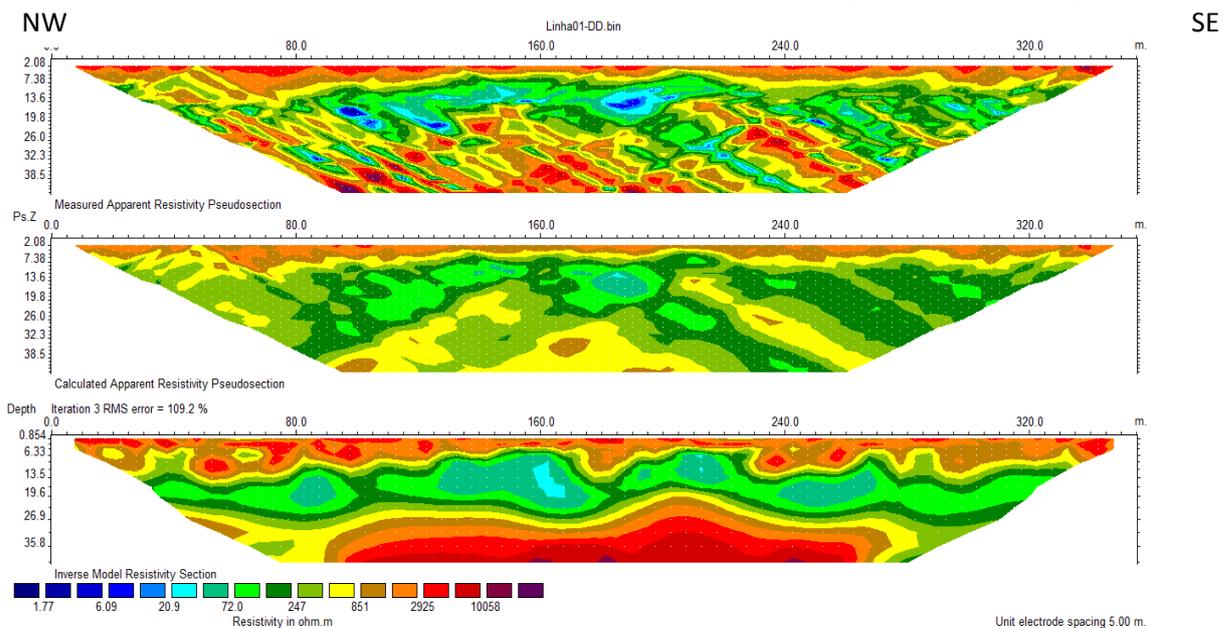
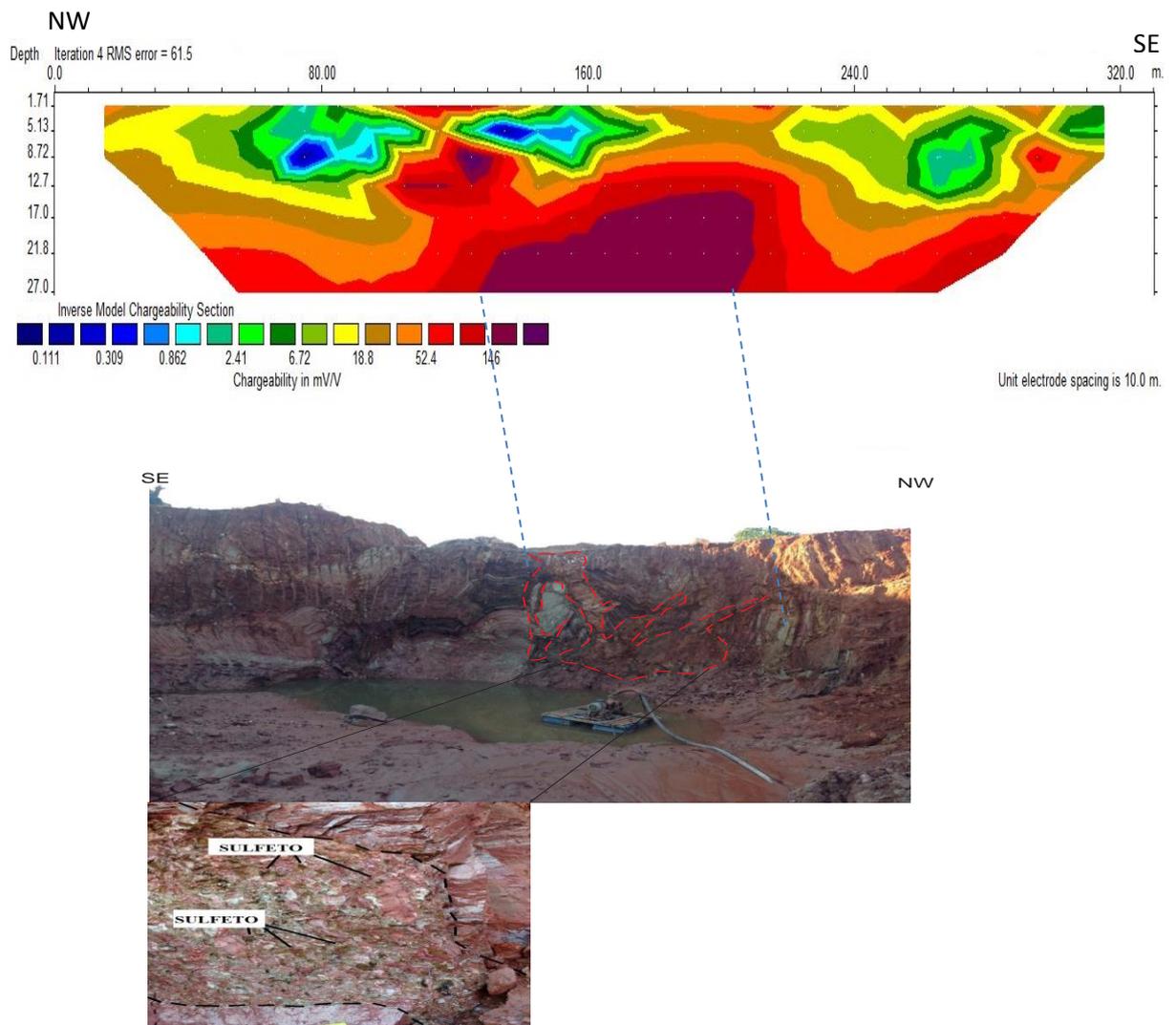


Figura 6.19 Perfil geolétrico de resistividade da Mineração Ouro Fino.

Os dados de cargabilidade evidenciam uma porção de alta cargabilidade e baixa resistividade na linha investigada (**Figura 6.20**). Entre as coordenadas 540350 E / 8199835 S – 540382E – 8199838S ocorre uma importante anomalia de resistividade muito baixa, coincidindo com alta cargabilidade, estendendo-se por toda a faixa de 31,5m linear e 20 metros de profundidade, com direção aproximada N20E

Na escavação, verificou-se até a profundidade de 20 metros, a presença de uma camada de filito sericítico com porções férricas subordinadas, com sulfeto disseminado, em uma massa propilitizada recortada fraturas em padrão “boxwork” e ao longo da foliação. O metarenito se faz presente em blocos centimétricos, associados na massa pelítica dos filitos, tipicamente em aspecto de brechação.



**Figura 6.20** Análise da cargabilidade na área de escavação (Mineração Ouro Fino)

## CAPÍTULO 7

### 7. CONCLUSÕES E COMENTÁRIOS

- A mineralização aurífera da Baixada Cuiabana, e em particular da região de Poconé, é a pior e a mais difícil possível para avaliação e determinação de um teor médio real. A extrema variabilidade da granulometria e a distribuição conduz a necessidade de amostragens volumétricas, de uma preparação (moagem/quarteamento) adequada e criteriosa.
- A mineralização e do tipo epitermal (baixa profundidade) e baixa sulfetação. Dessa forma, estima-se que a obtenção de anomalias de cargabilidade e visualização de feições estruturais do tipo fraturas por parâmetros de resistividade, estaria condicionadas a profundidades máximas de até 30 metros, sendo que alguns setores, essas anomalias poderiam estar próximo de subaflorantes.
- Confirma-se, todavia a impressão de um controle lito-estrutural para a mineralização aurífera, com a possibilidade de existência de um ou vários níveis litológicos mais reativos, ora quartzosos, ora carbonosos.
- Acredita-se que a presença mais expressiva de sulfetos de chumbo (galena), seria o fator de equilíbrio nos sinais de cargabilidade. Ademais, o próprio sulfeto de chumbo fornece valores baixos de cargabilidade, na ordem de 3,7 mV/V para as linhas realizadas na Mineração Ouro Minas
- O contexto litológico das regiões em estudo, apresentaram quanto aos padrões de resistividade, cinco (05) unidades individualizadas em relação a sua composição mineralógica e textural. Essas foram determinadas na região de Poconé e Nossa Senhora do Livramento e foram correlacionadas com afloramentos locais. As unidades

metassedimentares (2;5;1), são representadas por rochas filito carbonosas, sericíticas e de composição ferrífera. A unidade que perfaz o metarenito foi relacionado com as estruturas de quartzo.

Litologia	Resistividade ohm.m	Composição mineralógica
Filito carbonoso	117 - 234 ohm.m	Minerais de mica, quartzo e matéria orgânica
Filito sericítico	467- 600 ohm.m	Minerais de mica + quartzo
Metarenito	600 - 1400 ohm.m	Quartzo, feldspato + óxidos
Veio de quartzo	14 - 60 ohm.m	Quartzo + óxidos

- Em livramento (setor 01), os teores médios são da ordem de 10 – 15g/t de Au em concentrados de sulfetos. Dessa forma, o uso de metodologias para identificar zonas de percolação hidrotermal, torna-se de grande importância para prospecção econômica na região.
- A partir da definição do arranjo eletródico dipolo-dipolo realizado para esse trabalho, foi possível definir que o arranjo apresenta características suficientes para obtenção de sinais de resistividade para definição das camadas litológicas, das discontinuidades, dos contatos litológicos, bem como dos veios de quartzo presentes na área de estudo.
- O arranjo dipolo-dipolo apresentou uma boa razão sinal ruído. Esse obteve elevada sensibilidade a efeitos laterais e possibilitou a definição do topo rochoso em profundidades de até 50m.
- Os dados de IP permitiram a definição de áreas onde há ocorrência de sulfetos associados à mineralização com valores de cargabilidade entre 20 e 30 mV/V nas linhas adquiridas no setor 01, município de Livramento. Devido à orientação das linhas, foi possível a identificação tanto dos veios no sentido NW (travessão) com mais presença de sulfetos, quanto dos veios no sentido NE (canoão) menos intensamente sulfetados.
- Os dados de IP permitiram a definição de valores de cargabilidade acima de 50mV/V na Mineração Tanque Fundo, município de Cuiabá, setor 02. Nessa região, os sulfetos

estão oxidados e sua massa ocorre associadas aos veios de quartzo e em rochas mais reativas, do tipo areníticas.

- Em Poconé, setor 03, os resultados de cargabilidade foram superiores aos valores adquiridos nos setores 01 e 02. A região é conhecida pela mineralização mais grossa, e os seus indicadores são representados em maiores evidências pela pirita. Em algumas porções, são visualizados cubos desses sulfetos com 5cm de diâmetro.
- Os resultados apresentados atestam a aplicabilidade dos métodos elétricos para a caracterização de áreas com mineralizações auríferas associadas a sulfetos em veios de quartzo. A geofísica mostrou-se satisfatória quanto à locação do alvo potencial mineralizado nas linhas das três áreas checadas. As assinaturas geofísicas de cargabilidade atingiram o valor de 146mv/v, contrastando com as porções estéreis. Ademais, as venulações de quartzo que ocorrem na área de anomalia são condizentes com o notado em campo e apresentam resistividades da ordem  $<1200 - > 4000$  ohm.m, caracterizando estruturas quartzosas.
- Na região de Poconé (Mineração Ouro Fino) e Fundão (Mineração Tanque Fundo) os sulfetos estão oxidados, apresentam valores de cargabilidade maiores que as zonas mineralizadas da Mineração Ouro Minas, localizada em Nossa Senhora do Livramento. Dessa forma, acredita-se que a área oxidada aumentaria a polarização, pois, houve um espalhamento de elétrons nos poros das rochas.
- Em todas as áreas, observam-se que cerca de 90% dos dados de cargabilidade, concentram-se no intervalo de 3 – 15mV/V, enquanto os valores acima de 15mV/V seriam anômolos e representariam menos de 5%.
- Na mineração Ouro Minas, região de Livramento, o tempo de injeção do potencial no subsolo de 8s apresentou uma resposta de cargabilidade esperado para o setor, enquanto o tempo de 4s não mostrou-se satisfatório com a energia de partida de 400volts, para a polarização do meio sulfetado onde há o predomínio de galena com
- Em geral, o tempo de injeção do potencial de 2s foi satisfatório para a obtenção de cargabilidades nas áreas do município de Poconé e Cuiabá, e a energia de partida de

400volts foi suficiente para romper a resistências de todos os litotipos de interesse. O uso de 800 volts deverá ser utilizado para a polarização de setores onde existe a concentração de polimetais.

- As seções mostraram de forma clara que o detalhe obtido nos níveis mais superficiais apresenta um elevado grau de resolução, quase sempre o objetivo principal de uma prospecção muito rasa, onde o detalhamento preciso é exigido. Por outro lado, não houve perda de penetração, uma vez que nestas mesmas seções também podem ser observadas informações relativas aos níveis mais profundos, casos em que a resolução detalhada não é crucial.

## CAPÍTULO 8

### 8.REFERÊNCIAS

ALMEIDA F.F.M. Geologia do Centro-Oeste Matogrossense. Boletim da Divisão de Geologia e Mineralogia. DNPM, Rio de Janeiro, Boletim 215, 123p. 1964.

ALMEIDA F.F.M. Geossinclíneo Paraguai. In: Semana de Debates Geológicos, Porto Alegre, Centro Acad. Est. Geol. Univ. Fed. Rio Grande do Sul, atas, p.87- 101. 1965.

ALMEIDA F.F.M. Sistema tectônico marginal do Cráton do Guaporé. Anais do Congresso Brasileiro de Geologia, 28, Porto Alegre, p.11-17. 1974.

ALMEIDA, F.F.M. 1985 Alguns Problemas das relações geológicas entre o Cráton Amazônico e as faixas de dobramentos marginais a leste. In: Simpósio de Geologia, Geologia do Centro-Oeste, 2. Goiânia, 1985. Atas Goiânia, SBG. p.3-14.

ALMEIDA, F.F.M. Província Tocantins - setor sudoeste. In: ALMEIDA, F.F.M. & HASUI, Y. eds. O Pré-Cambriano do Brasil. São Paulo, Ed. Blücher. p. 265-281. 1984.

ALVARENGA C.J.S. Evoluções das deformações polifásicas brasileiras na Faixa Paraguai – Região de Cuiabá, MT. In.: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 34, 1986, Goiânia. Anais...Goiânia:SBG, 1986. v.3, p 1170-1

ALVARENGA C .J. S.; TROMPETTE R. Glacially Influenced Sedimentation in the Late Proterozoic of the Paraguay belt (Mato Grosso, Brazil). Palaeogeography, Palaeoclimatology and Palaeoecology, 92: p.85-105. 1992.

ALVARENGA C.J.S. Phénomènes sédimentaires, structuraux et circulation de fluides à la transition Chaîne-Craton: Exemple de la cote Paraguai d'âge Proterozoïque Supérieur, Mato Grosso, Brésil. These Doc. Sci. Univ. d' Aix Marseille, 177p. 1990.

ALVARENGA C.J.S. Turbiditos e a glaciação do final do Proterozóico Superior no Cinturão Paraguai, Mato Grosso. *Revista Brasileira de Geociências*, 18(3):323-327. 1988.

BARBOSA, E. S. Gênese e Controle Estrutural das Mineralizações Auríferas do Grupo Cuiabá, na Província Cuiabá-Poconé, Centro Sul do Estado de Mato Grosso. Tese de Doutorado, Faculdade de Geologia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 148 p. 2008.

BB BHATTACHARYA .Misc-a-la-masse survey for an auriferous sulfide deposit (Geophysics – vol 66, Issue 1, january-february 2001).

BRAGA, A. C. O. Métodos da eletrorresistividade e polarização induzida aplicados nos estudos da captação e contaminação de águas subterrâneas: uma abordagem metodológica e prática. Livre Docência, Instituto de Geociências e Exatas, UNESP, Campus de Rio Claro-SP, 123p. 2006.

BRAGA, A. C. O. Métodos geoeletricos aplicados na caracterização geológica e geotécnica – formações Rio Claro e Corumbataí, no município de Rio Claro-SP. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, UNESP, Campus de Rio Claro-SP, 173p. 1997.

BUTLER, D. K. Near-Surface Geophysics: Investigations in Geophysics. Tulsa: Society of Exploration Geophysics SEG. No. 13, 732p. 2005.

CORWIN, R. F.; HOOVER, D. B. The self-potential method in geothermal exploration. *Geophysics*, 44(2): 226-245. (1979).

CÉSAR AUGUSTO MOREIRA: Prospecção geofísica em ocorrência de cobre localizada na bacia sedimentar do Camaquã (RS), Rem: Rev. Esc. Minas vol.64 no.3 Ouro Preto July/Sept. 2011

COSTA, B. S.; da SILVA, C. H.; COSTA, A. C. D. Caracterização estrutural do domínio interno da Faixa Paraguai na região de cangas, porção centro sul do Estado de Mato Grosso. *Brazilian Journal of Geology*, 45(1), 35-49. 2015.

- DOUGLAS W.OLDENBURG. Inversion of geophysical data over a copper gold porphyry deposit: A case history. *Mi Milligan-geophysics*, vol 62, No.5 (setember-october 1997); p. 1419-1431
- DAHLIN, T.; LEROUX, V.; NISSEN, J. Measuring techniques in induced polarisation imaging. *Journal of Applied Geophysics*, 50(3), p.279-298. 2002.
- DNPM. Sumário Mineral 2014. Disponível em: <<http://www.dnpm.gov.br/assets/galeriaDocumento/SumarioMineral2014.pdf>>. Acessado em: 17/06/2015.
- DRASKOVITS, P.; HOBOT, J.; VERÖ, L.; SMITH, B. Induced-polarization survey applied to evaluation of groundwater resources, Pannonian Basin, Hungary. USA. *Investigations in Geophysics*, nº 4. Induced Polarization Applications and Case Histories. Society of Exploration Geophysicists, Ed. Stanley H. Ward, p.379-396. 1990.
- DEL'REY SILVA L.J.H. 1990. Ouro no Grupo Cuiabá, Mato Grosso: Controles estruturais e implicações tectônicas. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 36. Natal, Anais, v. 6, p. 2520-2534.
- DARDENNE, M. A. Relatório da viagem ao Mato Grosso. Goiânia: Projeto Radam Brasil, 1980.7p.(Relatório Interno RADAMBRASIL, 377-G)
- EDWARDS, L. S. A Modified Pseudo-Section for Resistivity and Induced Polarization. *Geophysics*, v. 42, p.1020 – 1036. 1977.
- ELIS, V. R. Avaliação da aplicabilidade de métodos elétricos de prospecção geofísica no estudo de áreas utilizadas para disposição de resíduos. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, UNESP, Campus de Rio Claro-SP, 264p. 1999.
- ERICKSON GOLD MINING CORP. Technical description of a gradient array induced polarization and resistivity survey. author: dennis v. woods, ph.d., p.eng. date of work: july 1990 date of report: December 1990
- EVANS, J. W. The geology of Mato Grosso. *Geol. Soe. London*. 50: p.8504.1894.
- ETHIENE AGNOLETTO. "Interpretation of magnetic and geoelectrical data". *Revista Brasileira de Geofísica*, v. 33, n. 2 (2015).

- GALLAS, J. D. F. O método do potencial espontâneo (SP) – uma revisão sobre suas causas, seu uso histórico e suas aplicações atuais. *Revista Brasileira de Geofísica*, Vol. 23(2), p.133-144. 2005.
- GALLAS, J. D. F. Principais métodos geométricos e suas aplicações em prospecção mineral, hidrogeologia, geologia de engenharia e geologia ambiental. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, UNESP, Campus de Rio Claro-SP, 258p. 2000.
- GEOTOMO. Rapid 2-D Resistivity & IP inversion using the least-squares methods. Manual do usuário Res2Dinv, 129p. 2003.
- GOLEBIEWSKI, T. Geophysical research for the recognition of polymetallic mineralization in the quarry in Rędziny (Poland) - EGU General Assembly 2012, held 22-27 April, 2012 in Vienna, Austria., p.13417
- HENDERSON, R. D. Paracatu Mine Technical Report. Kinross GoldCorporation, 2006. Disponível em:<http://www.kinross.com/pdf/operations/Technical-Report-Paracatu.pdf>. Acesso em: Maio 2015.
- HENNIES, W. T. Geologia do Centro-Norte Mato-Grossense. Tese de Doutorado, Poli/USP. São Paulo. 65p. 1966.
- HERNANDEZ., (2012) “Geophysical exploration of disseminated and stockwork deposits associated with plutonic intrusive rock: a case study on the eastern flank of Colombia’s western cordillera”
- INSANUNDIN , 2010. “Identification of gold mineralization deposit by using induced polarization method conducted at kunyi village, anreapi, polewalimandar, west sulawesi”
- Keller, V. G.; Frischknecht, F. C. 1966. *Electrical methods in geophysical prospecting*. Oxford, Pergamon Press. 517 p.
- JENSEN, M. L.; BATERMAN, A. M. *Economic Mineral Deposits*. Nova York: John Wiley, 593p. 1979.
- JIANG Z.H., FUQ., SONG X.J., YUAN G.P., XUANL., ZHANG D.H., GUAN C.J. and WANG H., (2009) “The application and significance of the induced polarization method in exploration of the shear of Jidong - China,” *Geology and Exploration*, 2.

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

LANGORE L., ALIKAJ P . AND GJOUREKU DH. Achievements in copper exploration in Albania with IP and EM methods geophysical prospecting 37, 975-991 (1989)

LACERDA FILHO J.V.; ABREU FILHO W.; VALENTE C.R.; OLIVEIRA C.C.; ALBUQUERQUE M.C. Geologia e recursos minerais do estado de Mato Grosso. Programa Geologia do Brasil, CPRM/MME/SICME. Relatório final, 200p. 2004.

LAGO, A. L. 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. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo. 194p. 2009.

LI XIANG., ZHI F., MA J.D., ANG Z.W., AO Y.F., JIANG Z.H., FU Q., SONG X.J., YUAN G.P., XUAN L (2009) “The application and significance of the induced polarization method in exploration of the Baizhang Gold Deposit in Liaoning,” *Geology and Exploration*, 2.

LOKE, M. H. A practical guide to 2-D and 3-D surveys. Electrical imaging surveys for environmental and engineering studies. 136p. 2004. Disponível em: <http://www.goelectrical.com/coursenotes.zip>, acessado em 23/04/2015.

LOWRIE, W. Fundamentals of geophysics. Cambridge: Cambridge University Press, 354p. 1997.

LUIZ, J. L. Geofísica na Prospecção Mineral: Guia para Aplicação. Rio de Janeiro: SBGF, 90p. 2013.

LUZ J. S.; OLIVEIRA A. M.; SOUZA J. O.; MOTTA J. J. I. M.; TANNO L. C.; CARMO L. S.; SOUZA N. B. Projeto Coxipó: Relatório Final. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, Superintendência Regional de Goiânia, DNPM/ CPRM, v.1, 136p. 1980.

MOURA, H. P. Emprego da eletrorresistividade e da polarização induzida na caracterização geométrica de áreas de disposição de resíduos sólidos urbanos. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, UNESP, Campus de Rio Claro-SP, 231p. 2002.

- NORDIANA M.M, Saad R., I.N Azwin and Mohamad E.T., (2012) “Iron ore detection using electrical methods with enhancing resolution (EHR) technique,” National Geoscience Conference, Sarawak, 6566.
- NOBUYASU, NISHIKAWA., (1992) The use of eletrictrical methods in recentes exploration for epitrermal gold in Japan. Metal Mining Agency of Japan, 1-24-14. Toranomom – Tokyo – Japan.
- ORELLANA, E. Prospeccion Geoelectrica em Corriente Continua. Ed. Paraninfo, Biblioteca Técnica Philips. 523p. 1972.
- PIRES F.R.M., SIQUEIRA A.J.B. 1986. Controle das Mineralizações Auríferas do Grupo Cuiabá, Mato Grosso. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 34. Rio de Janeiro, Anais, v. 5, p. 2383-2395.
- PAES DE BARROS A.J., GAMBIER COSTA J.L., RESENDE W.M. 1998. Tipologia das Mineralizações Auríferas da Fazenda Salinas, Poconé - MT. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 40. Belo Horizonte, Anais, p. 235.
- REYNOLDS, J. M. An introduction to Applied and Environmental Geophysics. Ed. John Wiley and Sons. 796 p. 1997.
- RONDON, LUCIDIO N. Poconé, Sua Terra e Sua Gente. 1º Edição, 1978.
- SILVA C. H.; SIMÕES L. S. A.; RUIZ A.S. Caracterização estrutural dos veios auríferos da região de Cuiabá, MT. Revista Brasileira de Geociências, 32:407-418. 2002.
- SILVA C.H. Caracterização Estrutural de Mineralizações Auríferas do Grupo Cuiabá, Baixada Cuiabana (MT). Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 129 p. 1999.
- SECRETARIA DE INDÚSTRIA, COMÉRCIO E MINERAÇÃO, Companhia Mato-Grossense de Mineração Diagnóstico Preliminar da Atividade Garimpeira na Região da Baixada Cuiabana e Poconé. Relatório interno. Cuiabá: METAMAT, (1988). 24 p.
- SODEIFI A.H. AND HAFINI M.K. (2011) “The application of Induced polarization polymetal mines,” Exploration Journal of the Earth, (Abstract). Summer J.S., (1976)

“Principles of induced polarization for geophysical exploration,” Elsevier Scientific Publishing Company.

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

TELFORD, W. M.; GELDART, L. P.; SHERIFF, R. E. Applied Geophysics. 2.ed. Cambridge: Cambridge University Press, 770 p. 1990.

TAVARES, J., Tese de Doutorado: Análise de Movimento de Corpos Deformáveis usando Visão Computacional, FEUP, 2000.

TOKAHASHI, C. D. C.; SAES, G. S. Revisão estratiográfica e faciologia do Grupo Cuiabá no alinhamento Cangas-Poconé, Baixada Cuiabana, Mato Grosso. Revista Brasileira de Geociências, 38(4), p.661-675. 2008.

TRINDADE, R. B. E. Extração de Ouro: princípios, tecnologia e meio ambiente. CETEM, Centro de Tecnologia Mineral, Ministério da Ciência e Tecnologia, 312p. 2002.

VIEIRA, A. J. Geologia do Centro-Oeste de Mato Grosso. Relatório Técnico Petrobrás/DEBSP, Ponta Grossa, 58p. 1965.

WARD, S. H. Resistivity and polarization methods. Geotechnical and environmental geophysics. Tulsa: SEG. v.3, p. 147-189. 1990.

White, N. C., K. Yang, and W. Li, in press, Discovery of the Haboporphry Cu-Au-(Mo) system in southern China: its lessons forexploration everywhere: Proceedings of the tenth biennial Societyfor Geology Applied to Mineral Deposits meeting,

Zuran, R., Carlson, G.G. and Fields, M., 1999. The Scheelite Dome gold project, central Yukon. In: Yukon Exploration and Geology 1998, C.F. Roots and D.S. Emond (eds.), Exploration and Geological Services Division, Yukon, Indian and Northern Affairs Canada, p. 243-248.

ZHANG CHUN. Study on formation mechanism of low resistivity gas bearing reservoir in Anyue-Hechuan área (Key Laboratory of Exploration Technologies for Oil and Gas Resources,Ministry of Education,Yangtze University,Jingzhou 434023,China; Logging Company,Huabei Petroleum Administration Bureau,Sinopec,Xinxiang 453700,China - 2011