

Trabalho de Formatura

Curso de Graduação em Geologia

**AQUISIÇÃO E INTERPRETAÇÃO DE DADOS GEOFÍSICOS E GEOLÓGICOS EM
MINA DE MANGANÊS SUPERGÊNICO NA REGIÃO DE ITAPIRA (SP)**

Mário Rezende Caramori Borges

Prof. Dr. César Augusto Moreira

Rio Claro (SP)

2014



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS E CIÊNCIAS EXATAS



Trabalho de Formatura
Curso de Graduação em Geologia

AQUISIÇÃO E INTERPRETAÇÃO DE DADOS GEOFÍSICOS E GEOLÓGICOS EM MINA DE MANGANÊS SUPERGÊNICO NA REGIÃO DE ITAPIRA (SP)

Mário Rezende Caramori Borges

Prof. Dr. César Augusto Moreira

RIO CLARO (SP)

RIO CLARO, JUNHO DE 2014.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Instituto de Geociências e Ciências Exatas

Câmpus de Rio Claro

MÁRIO REZENDE CARAMORI BORGES

**AQUISIÇÃO E INTERPRETAÇÃO DE DADOS
GEOFÍSICOS E GEOLÓGICOS EM MINA DE
MANGANÊS SUPERGÊNICO NA REGIÃO DE ITAPIRA
(SP)**

Orientador: Prof. Dr. César Augusto Moreira

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

Rio Claro – SP

2014

551 Borges, Mário Rezende Caramori
B732a Aquisição de dados geofísicos e geológicos em mina de
 manganês supergênica na região de Itapira (SP) / Mário
 Rezende Caramori Borges. - Rio Claro, 2015
 61 f. : il., figs., fots.

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

 1. Geofísica. 2. Pesquisa mineral. 3. Eletroresistividade.
 4. Polarização induzida. 5. Óxidos. 6. Geofísica aplicada. I.
 Título.

MÁRIO REZENDE CARAMORI BORGES

**AQUISIÇÃO E INTERPRETAÇÃO DE DADOS GEOFÍSICOS E
GEOLÓGICOS EM MINA DE MANGANÊS SUPERGÊNICO NA
REGIÃO DE ITAPIRA (SP)**

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

Comissão Examinadora

Prof. Dr. César Augusto Moreira

Dr. Daniel F. de Godoy

Ma. Synara M. Lopes

Assinatura do aluno

Assinatura do orientador

Rio Claro, 2 de Julho de 2014

A minha família que sempre me incentivou e esteve ao meu lado dando todo suporte e apoio sendo sempre sendo uma fonte de inspiração.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus pela proteção e oportunidades. A meus pais Olavo Caramori Borges e Maria Ivone de Rezende Borges assim como minha irmã Michelle Rezende Borges por sempre estarem ao meu lado aconselhando, amparando e incentivando.

Agradeço aos meus tios Paulo Afonso Ribeiro Barbosa e Sirlene Junqueira Barbosa pelo incentivo e carinho assim como toda família Rezende e família Borges.

Agradeço aos docentes do curso de Geologia e funcionários da UNESP pelo companheirismo e passagem do conhecimento assim como todos os profissionais da área de mineração com quem tive a oportunidade de trabalhar nos estágios que pude fazer ao longo do curso.

Agradeço aos amigos de Goiânia pelo forte elo de amizade e aos amigos feitos em Rio Claro por todo convívio que se tornou algo de natureza familiar. Em especial a todos da República Quarteirão (Xisnaisse e Noea) que sempre serão para mim como irmãos.

Um agradecimento especial a dois professores com quem me identifiquei e sou muito grato por apoio e conselhos, Professor Doutor César Augusto Moreira e Professor Doutor Sebastião Gomes de Carvalho.

RESUMO

O setor mineral é de suma importância para o crescimento econômico brasileiro, área dependente de pesquisas geológicas básicas para ampliação de jazidas conhecidas e em processo de lavra, além da descoberta de novas ocorrências e depósitos minerais. Este conjunto de atividades é denominado pesquisa mineral, cujo planejamento envolve conceitos de economia, demandas de mercado e uso de métodos e técnicas de investigações geológicas diretas e indiretas. Este trabalho visa realizar estudos geofísicos e geoquímicos de detalhe em ocorrências de manganês supergênico localizadas na porção noroeste do Estado de São Paulo, Itapira, para dimensionamento espacial dos alvos minerais, determinar teores dos minerais de minério, investigar a presença de elementos químicos metálicos secundários associados aos minerais de minério suas concentrações. As zonas mineralizadas foram caracterizadas em campo por baixas resistividades (20ohm.m) e alta cargabilidade (30ms), padrão similar a vários estudos de depósitos de óxidos e sulfetos descritos em bibliografia. O modelo 3D gerado a partir das pseudo-seções 2D permitiu a visualização dos patamares em diversas profundidades, com isso houve direta correlação entre alta cargabilidade em zonas mineralizadas profundas. Os valores de resistividade foram relativamente homogêneos no horizonte de solo e saprólito. Fatores como umidade e argilominerais, presentes em depósitos de origem lateríticos provavelmente contribuem para homogeneidade da resistividade no horizonte de solo, saprolito e zonas mineralizadas.

Palavras-chave: pesquisa mineral, eletrorresistividade, polarização induzida, óxidos.

ABSTRACT

The mineral sector is of utmost importance for Brazilian economic growth, an area which depends on basic geological research to enlarge known deposits and in process of mining, besides discovering new occurrences and mineral deposits. This set of activities is named mineral research, which planning involves economy concepts, market demands and use of methods and techniques for geological evaluation, direct and indirect. This paper aim at performing geophysical detailing on occurrences of supergenic manganese located in the northwest portion of the State of São Paulo, Itapira, for spatial dimensioning of mineral targets, besides the attempt to correlate among the content on physical parameter measured by geophysics. The lack of scientific publications by Brazilian researchers in this theme, availability of previous studies for the selected targets, commercial importance of the mineral goods for the Brazilian Trade Balance, justify the performance of the present research project.

Keywords: mineral exploration, electrical resistivity, induced polarization, oxides.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	08
2 OBJETIVOS.....	08
3 ÁREA DE ESTUDOS E ASPECTOS FISIOGRAFICOS.....	11
4 GEOMORFOLOGIA E HIDROLOGIA.....	13
5 GEOLOGIA REGIONAL.....	15
5.1 Complexo Guaxupé.....	16
5.2 Grupo Amparo.....	16
5.3 Grupo Itapira.....	18
6 GEOLOGIA LOCAL.....	21
7 ESTUDO DE CASOS.....	24
8 MATERIAIS E MÉTODOS.....	27
8. 1 Eletrorresistividade.....	27
8.2 Polarização induzida.....	28
9 TÉCNICA E ARRANJO.....	30
10 AQUISIÇÃO E PROCESSAMENTO DE DADOS.....	32
11 RESULTADOS.....	36
12 CONCLUSÕES.....	40
REFERÊNCIAS.....	42
ANEXOS.....	46
ANEXO A.....	47

1 INTRODUÇÃO

O setor mineral compreende as etapas de pesquisa, mineração e transformação, que consiste na base para diversas cadeiras produtivas. Sua participação atual no produto interno bruto (PIB) nacional é de 4,2% e representa cerca de 20% das exportações brasileiras, por meio de uma cadeia produtiva que gera 1 milhão de empregos diretos, equivalente a 8% dos empregos industriais (BRASIL, 2010). Os insumos minerais que destacam o Brasil no cenário internacional são o nióbio, ferro, bauxita, manganês e cobre, além de ouro e rochas ornamentais.

Em 2010, o setor mineral contribuiu em 20% nas exportações do Brasil, com os principais países de destino sendo China, EUA, Japão e Reino Unido, os bens minerais exportados são principalmente, ferro, rochas ornamentais, manganês, níquel, cromo e titânio (BRASIL, 2010). No total os recursos minerais abrangem 72 substancias minerais, das quais 23 são metálicas, 45 não metálicas e 4 energéticas (DNPM 2011).

De suma importância para manutenção, desenvolvimento e crescimento econômico brasileiro, o setor mineral é dependente de pesquisas geológicas básicas para ampliação de jazidas conhecidas e em processo de lavra, além da descoberta de novas ocorrências e depósitos minerais.

Este conjunto de atividades é denominado pesquisa mineral, que reúne uma série de etapas de planejamento e estratégias baseadas no insumo mineral de interesse, que variam desde o modelo genético e forma de ocorrência no ambiente geológico, métodos e procedimentos de investigação, como geofísica e geoquímica, até condicionantes econômicos, como demanda, valor de mercado e projeções futuras (MARANHÃO, 1985; PEREIRA, 2003).

Trabalhos em pesquisa mineral de detalhe em alvos localizados por meio de levantamentos geofísicos terrestres são pouco numerosos (MACHADO; PENHA, 1997; MENEZES et al., 2005; MANTOVANI et al., 2008; SOUZA et al., 2010).

O Manganês, nesse contexto, é importante minério de exportação. Em 2010, foram contabilizadas 2,5 milhões de toneladas de manganês, exportados principalmente para China e Índia (ENGINEERING AND MINNING JOURNAL, 2008). O Brasil é o quinto maior produtor desse bem mineral no mundo com 9,8% ficando atrás de a África do Sul com mais de 23,4% da produção mundial, seguido de China com 19,3%, Austrália 16,5% e Gabão 10,3%. Em termos de reservas mundiais o país é a quarta

maior reserva com 8,8%, tal lista é liderada pela África do Sul 26,3% dos depósitos mundiais, seguida de Ucrânia com 24,6% e Austrália 16,3% (DNPM, 2011).

A produção nacional de Manganês em 2011 atingiu o patamar de, aproximadamente, 3,5 Mt de concentrado de manganês, representando 1,4 Mt em metal contido, o que demonstra um aumento da produção em relação a 2010, que foi de 3,1 Mt (1,2 Mt em metal contido). O Estado do Pará, liderou a produção nacional com 2,4 Mt (1,1 Mt metal contido), ou seja, 71% do total nacional, sendo o município de Parauapebas- PA responsável pela produção de 2 Mt. A produção nacional continua sendo destinada principalmente para abastecer o mercado chinês e para a produção de ferroligas nos parques produtores nacionais (DNPM, 2011).

A pesquisa mineral visa aumentar a produtividade das minas em funcionamento e reservas minerais para manter a balança comercial favorável, essas pesquisas ocorrem através de ferramentas disponíveis que compreendem métodos diretos (mapeamento geológico, sondagem, amostragem de solo e rocha, análises químicas) e indiretos (análise de sensores remotos, métodos geofísicos) (MOON et al. 2007).

Os métodos geofísicos além dos baixos custos com relação a outros métodos, nos permitem obter resultados rapidamente devido a possibilidade de levantamentos regionais com rapidez e custos menores em relação aos métodos diretos. Porém, o estudo de novas formas de contextualizar abordagens e interpretações, nos permitem testar novos métodos de pesquisa ou associações de métodos que nos possibilitam fundamentar novas teorias de prospecção e maximizar os resultados exploratórios.

Diante do diagnóstico previamente exposto, o trabalho de conclusão de curso propõe o desenvolvimento de um estudo em uma ocorrência mineral de manganês, através do uso de métodos geofísicos e consequente detalhamento de horizontes mineralizados em subsuperfície. A aferição desses horizontes nas anomalias de geofísica podem ser características de ocorrências minerais enriquecidas em óxidos metálicos devido a natureza supergênica do depósito.

Este tipo de análise conjunta praticamente inexiste na literatura científica nacional, devido a fatores como confidencialidade de dados eventualmente disponibilizados por empresas de pesquisa mineral, além da indisponibilidade ao acesso de áreas mineralizadas devido a requerimentos de pesquisa, sendo assim um estudo de importante contribuição para a comunidade científica.

2 OBJETIVO

O principal objetivo deste trabalho é a aquisição de dados geofísicos num depósito de manganês supergênico denominado Mina do Cocho, localizada a sudeste da cidade de Itapira (SP), com a finalidade de caracterizar os alvos individuais em termos de propriedades físicas por meio do uso de métodos geofísicos, e assim avaliar as potencialidades de uso dos métodos da Eletrorresistividade e da Polarização Induzida na quantificação de teores de minérios metálicos, além dos fatores limitantes.

O objetivo secundário é interpretar a resposta do método de polarização induzida nos minerais da classe dos óxidos e hidróxidos, uma vez que o método é amplamente empregado em estudos da classe de sulfetos e raramente em óxidos e hidróxidos.

3 ÁREA DE ESTUDOS E ASPECTOS FISIAGRÁFICOS

A área de estudo está localizada no município de Itapira –SP, a sudeste no município de Itapira e 177 km a norte da cidade de São Paulo (Figura 1), tal mina possui requerimento de lavra em nome de Mil Mineração Itapira Ltda, com uma área de concessão de lavra de 663,5 há (Figura 1).



Figura 1: Frente de lavra escolhida para a aquisição dos dados. Fonte: Google Earth 2012.

A atividade de lavra na mina Córrego do Cocho teve sua lavra iniciada no início dos anos 90 pela Mineração Itapira Ltda, que extrai minério de manganês das frentes de lavra por escavação direta de material saprolítico posteriormente transportado até uma área de beneficiamento, onde ocorre homogeneização, lavagem, britagem, moagem e concentração do minério.

A frente de lavra, a céu aberto, possui apenas um patamar de retirada de minério, tal retirada é feita através de desmonte mecânico por retroescavadeiras, promovendo assim uma lavra simples e barata. Na face de desmonte exposta é possível a percepção do encaixe do minério maciço na foliação e conseqüente distinção desse tipo de

minério, com alto teor de manganês, do minério disseminado na interface solo/saprólito, ou seja, existe a fácil distinção de zonas mineralizadas das zonas não mineralizadas, fato importante na coleta de dados para a futura validação dessas áreas mineralizadas segundo os resultados geofísicos. Outro fator importante na escolha do local foi a não existência de minério do tipo granzon, pelo fato desse tipo de minério poder causar interferências na aquisição dos dados do minério maciço, principal minério da pesquisa em questão.

4 GEOMORFOLOGIA E HIDROLOGIA

Segundo Almeida (1964) a área em estudo está localizada na província Geomorfológica I – Planalto Atlântico mais especificamente na Zona da Serrania de Lindóia, definida pelo IPT (1981), sendo assim uma faixa de transição entre a Depressão Periférica, o Planalto de Jundiá e o Planalto do Alto Rio Grande.

De acordo com Veríssimo et al. (1991), predomina um relevo de morros com elevações médias que oscilam entre 700-800m e 900-950m, sendo eles na forma de Morros Paralelos, Mares de Morros, Morros com Serras Restritas e Serras Alongadas. Os dois últimos tipos se associando juntos, correspondendo a relevos residuais por granitos e quartzitos, situados em cotas superiores, entre 1000 e 1200m aproximadamente.

Ainda segundo Veríssimo et al. (1991) nos arredores de Itapira, as áreas de ocorrências minerais de litotipos como hornblenda gnaisses, micaxistos e anfibolitos foram escavadas em vales subsequentes resultando em uma morfologia de morros de topos arredondados e vertentes com perfis convexos a retilíneos. Os litotipos quartzíticos, devido a maior resistência intempérica, ressaltam na topografia, caracterizando pequenas serras e morros alongados, grosseiramente orientados segundo NE. As ocorrências minerais de gonditos e mineralizações de Mn associadas, à SE de Itapira, se apresentam morfologicamente, como pequenos morros individualizados na topografia, ligeiramente pediplanizados.

De acordo com a classificação climática de Köppen, o clima na região de Itapira é do tipo Cwa, subtropical úmido, caracterizado pelo clima tropical de altitude. As estações do ano são bem definidas, com verões úmidos e invernos secos. O período da seca abrange os meses de abril a setembro e os valores médios da pluviosidade local variam entre 28 mm e 73 mm. Os meses de outubro a março representam a estação chuvosa, com índices de pluviosidade variando entre 113 mm e 226 mm. O mês de Fevereiro representa o mês mais quente do ano e a média é 24°C, enquanto que Julho é o mês mais frio com uma média de 17,6°C (CEPAGRI, 2013).

O município de Itapira está localizado no âmbito do Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Mogi Guaçu. O rio Mogi Guaçu nasce no Estado de Minas Gerais no município de Bom Repouso, e a sua bacia hidrográfica possui uma área de drenagem total de 18.938 km². Seus principais afluentes pela margem direita são os rios: Onça,

Itupeva, Claro e Jaguari Mirim; pela margem esquerda, os rios: Eleutério, do Peixe, do Roque, Bonito, Araras e Mogi Mirim (CBH MOGI, 2008).

Com relação às águas subterrâneas, o município de Itapira está localizado em região dominada pelo aquífero pré-cambriano, cujas águas se caracterizam por serem predominantemente básicas, com pH variando entre 6,9 e 8,0 e dureza entre 64mg/l a 164mg/l de CaCO_3 . Os poços tubulares profundos, em geral, apresentam vazões compreendidas entre $3\text{m}^3/\text{h}$ e $23\text{m}^3/\text{h}$ (CBH MOGI, 2008).

Fatores como pluviosidade e consequente umidade do solo podem ser fatores importantes na hora da aquisição dos dados nesse tipo de estudo, pois o horizonte de solo e saprolítico úmido pode ter direta relação na interpretação dos dados de resistividade elétrica, ofuscando anomalias, por isso o período do ano para a coleta dos dados é importante na obtenção de bons resultados, recomendando-se a coleta de dados em períodos de menor pluviosidade. Tal fator será melhor discutido nos resultados do presente trabalho.

5 GEOLOGIA REGIONAL

A área de estudo esta inserida dentro da Faixa Amparo/Itapira representada pelo Grupo Amparo e Grupo Itapira, tal faixa se localiza, regionalmente, inserido na unidade do Complexo Guaxupé (Figura 2).

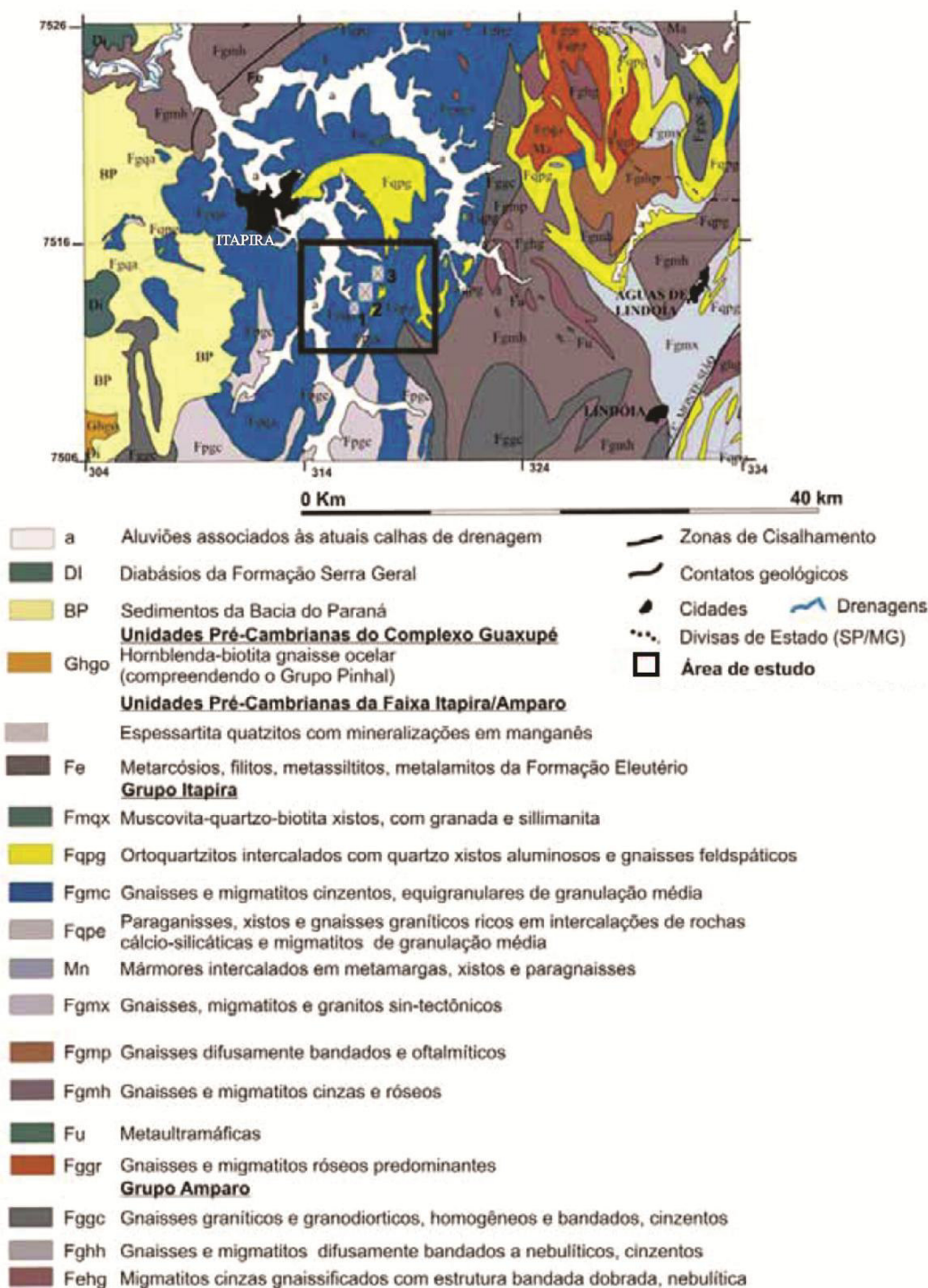


Figura 2 – Geologia da área de estudos (Adaptado de Zanardo 2003).

5.1 Complexo Guaxupé

O Complexo Guaxupé é constituído principalmente por gnaisses, migmatitos e granitóides de composições monzograníticas a sieníticas, mais raramente alcaligraníticas e granodioríticas. Tais rochas possuem intercalações litológicas de tipicamente metassedimentares e de intrusivas sincinemáticas de composições sienítica e granítica. O bandamento e a foliação mergulham em média 30° para SW na porção centro norte até o extremo sul (ZANARDO et al., 1998). O mergulho médio da foliação é maior que 50°, na porção norte, e o mergulho acompanha o aumento resultando num íngreme aumento das condições báricas, o que possibilita o aparecimento de granulitos de alta pressão (DEL LAMA et al., 1998).

De acordo com Lazarini (2000), o Complexo Guaxupé na porção sul, próximo ao contato com a Faixa Itapira/Amaparo possui a presença de uma considerável quantidade maior de metassedimentos (granada paragnaisses, sillimanita-granada-biotita gnaisses, sillimanita xistos feldspáticos, rochas calciossilicáticas, etc.) do que a registrada na literatura. Nesta porção, o padrão estrutural é refletido por um bandamento composicional milimétrico, difuso a nítido, paralelo a uma foliação penetrativa em todos os litotipos, porém menos nítida nos ortognaisses e em alguns corpos de anfibolito e de rocha calciossilicática.

5.2 Grupo Amparo (Proterozóico Inferior-Arqueano)

O embasamento cristalino da região é representado pelo Grupo Amparo (Proterozóico Inferior-Arqueano), onde predominam ortognaisses e migmatitos, sendo que ambos os grupos acham-se intrudidos pelos maciços graníticos que compõem o Grupo Pinhal (Brasiliano), em grande parte gnaissificado, na porção oeste da área pesquisada incluído atualmente como unidade do Complexo Guaxupé.

Artur et al. (1988; 1990) consideraram o Grupo Amparo como sendo uma unidade constituída por associações litológicas originalmente do Arqueano, fortemente transpostas durante o Ciclo Transamazônico (ao redor de 2,0 bilhões de anos), representando, desta forma, o embasamento do Grupo Itapira.

O Grupo Amparo, nas suas mais diversas definições, foi considerado sucessivamente como referível ao Proterozóico Superior (EBERT, 1968), Proterozóico Inferior (ARTUR et al., 1988) e Arqueano (HASUI; OLIVEIRA, 1984).

As datações atualmente disponíveis sobre as rochas do Grupo Amparo não deixam dúvidas quanto sua origem Arqueana, bem como quanto aos sucessivos retrabalhamentos a que suas litologias foram submetidas em eventos tectono-metamórficos posteriores. Assim, foram obtidas idades entre 2,7 Ga. e 3,2 Ga., pelos métodos Rb/Sr, U/Pb e Pb/Pb, para vários afloramentos das regiões de Amparo e adjacências (HASUI; OLIVEIRA, 1984). O Complexo esteve sujeito a retrabalhamento destas litologias durante o Paleoproterozóico segundo datações de Artur (1980, 1988) pelo método Rb/Sr em neossomas de dois afloramentos de rochas migmatíticas do Complexo Amparo na região de Águas de Lindóia, que teriam sido gerados por um segundo processo de remigmatização, tais litotipos forneceram idades entre 600 e 680 Ma, evidenciando novo retrabalhamento superimposto durante a orogenia Brasileira.

Litologicamente o Grupo Amparo é considerado como uma unidade essencialmente gnáissico-migmatítica, de natureza anatética, e de caráter polifásica. Estes migmatitos refletem grande variabilidade na intensidade de anatexia, com estruturas variadas, destacando-se os tipos estromáticos (tipos predominantes), dobrados, schollen, schlieren, ptigmáticos e nebulíticos. Apresentam composição granodiorítica a granítica ou mesmo tonalítica. No global, mostram granulação média com variações para termos grosseiros. A estrutura pode ser isótropa quanto foliada, caso este predominante. Os paleossomas estão representados por associações ortognáissicas essencialmente trondjemíticas, tonalíticas, granodioríticas e dioríticas.

5.3 Grupo Itapira (Neoproterozóica)

Os litotipos predominantes na área pertencem ao Grupo Itapira (Figura 3), de idade Neoproterozóica, são muscovita quartzitos e paragnaisses, e com menor frequência migmatitos, anfibolitos, rochas cálcio-silicatadas, xistos, rochas metaultramáficas, mármore, metassedimentos da Formação Eleutério e lentes de gouditos (ZANARDO, 2003).

As rochas supracrustais constituintes do Grupo Itapira podem ser relacionadas a cisalhamento simples, essencialmente dúctil, resultantes do transporte de massa para

NW ou N e frutos de colisão continental durante o Proterozóico Superior (ZANARDO, 1988). Posteriormente essas estruturas foram rotacionadas e transportadas para NE, devido à atuação do cinturão de cisalhamento dextrógiro de Ouro Fino (HASUI et al., 1988; ZANARDO, 1988).

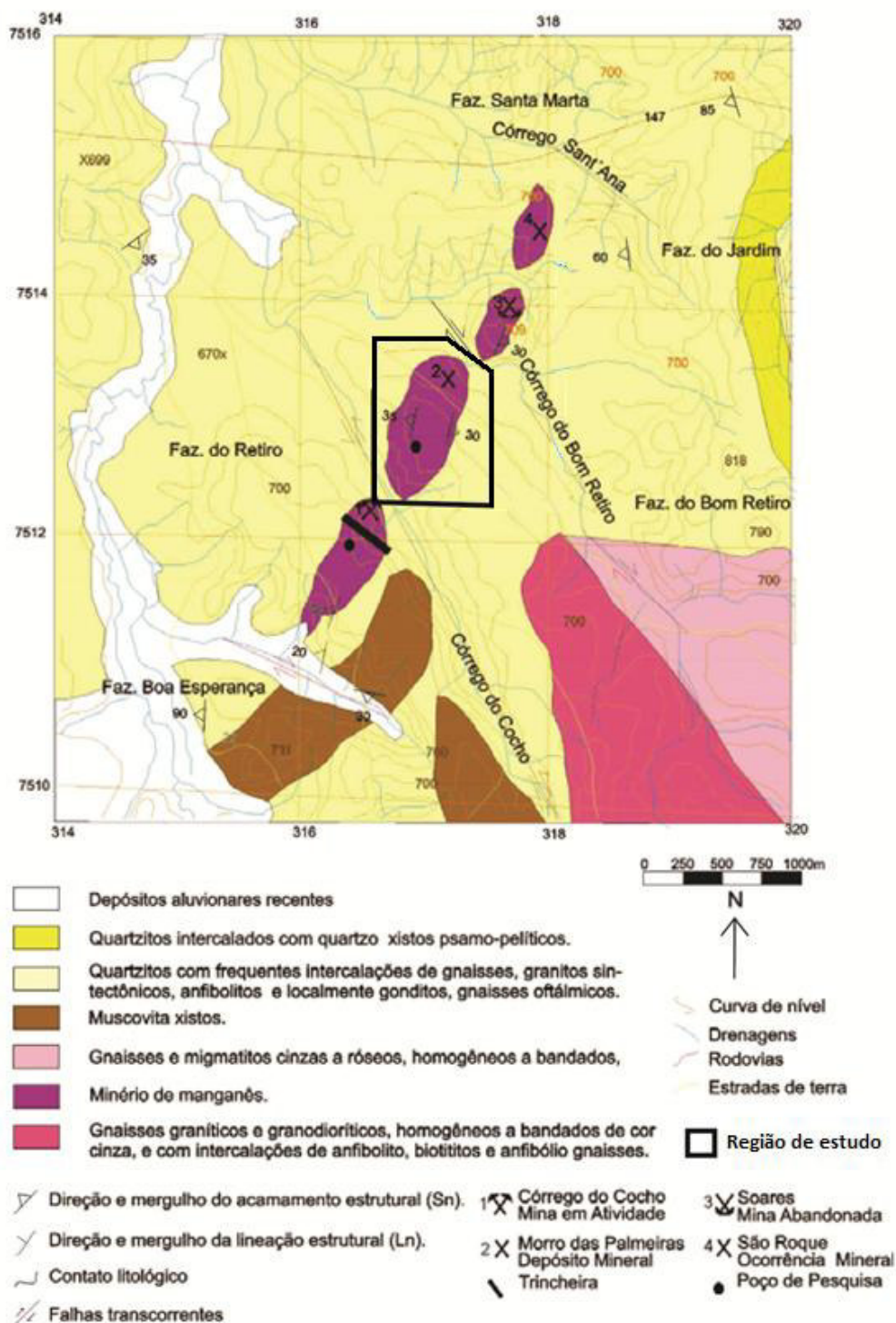


Figura 3: Detalhe da geologia e ocorrências minerais da área de estudo.

A estruturação principal da região de ocorrência do Grupo Itapira é caracterizada por bandamento sedimentar preservado, xistosidade, feições de transposição e lenticularização resultantes de processos de imbricamento tectônico regional (HASUI et al., 1988), a estruturação principal das rochas pertencentes ao grupo é definida pela foliação e bandamento resultante da deformação direcional dextral. A foliação apresenta orientação geral N15E 75SE e E-W 20S, com mergulhos médios a elevados predominantemente para NNW e SSE na porção mais oriental, e NW e SE na porção ocidental (LAZARINI, 2000).

A região demonstra uma evolução polimetamórfica clássica, onde primeiramente ocorreu sedimentação de rochas predominantemente clásticas impuras, acompanhada da intrusão de rochas básicas, e extrusão de lavas e tufos básicos (WERNICK, 1967).

Esse pacote foi metamorfizado, gerando associação gnáissico-migmatítica, de fácies anfibolito e granulito (Grupo Amparo). Em seguida, ocorreu nova deformação tectônica no ciclo Brasileiro (Neoproterozoico), acompanhada da recristalização e intrusão de grandes massas graníticas, que provocaram nova migmatização do Grupo Amparo (WERNICK, 1978).

O Grupo Itapira, encaixante dos corpos mineralizados, é interpretado como uma sequência metavulcano-sedimentar Proterozoica, com granitoides sin-tectônicos associados e subdivididos em duas unidades distintas: uma sequência inferior constituída por pelitos, grauvacas, arcósios, intercalados por sedimentos areno-argilosos, argilo-arenosos, pelitos aluminosos, margas, BIFs e sedimentos manganíferos (OLIVEIRA et al., 1998; LAZARINI, 2000; ZANARDO, 2003). A sequência do topo é composta por pelitos, pelitospsamíticos, pelitos aluminosos, margas, calcários, mármore e sedimentos manganíferos, passando para um pacote psamítico e psamo-pelítico.

Toda a sequência metassedimentar, correspondente ao Grupo Itapira, sofreu deformação e metamorfismo gerando corpos lenticulares, concordantes, preservados em grandes calhas sinformais ou embutidos em gnaisses. As rochas possuem uma associação mineral compatível com a fácies xisto verde (médio-alto) atingindo até anfibolito médio, sendo representada pela seguinte assembléia mineralógica: hornblenda+enstatita+diopsídio+Ca plagioclásio+antofilita, corroborando com observações de outros autores, onde os processos deformacionais foram acompanhados

de metamorfismo regional de médio a alto grau e migmatização por injeção de material granítico e indícios de anatexia (ZANARDO, 2003).

As rochas metassedimentares do Grupo Itapira, diretamente associadas aos gonditos, representam litologias metamórficas geradas a partir de uma sequência plataformar progradante, constituída por muscovita xisto, talco xisto, muscovita quartzito, quartzito, com intercalações de rochas máficas/ultramáficas, que tem como embasamento as rochas migmatíticas e gnáissicas do Grupo Amparo, tal Grupo é correlacionável a Megassequência Andrelândia, sendo inclusive interpretadas por autores como (HEILBRON et al., 2004), como sendo o mesmo grupo. Análises geoquímicas realizadas por Veríssimo (1991) sugerem, para a formação do protominério manganífero, um ambiente tectônico ativo com transporte rápido de sedimentos imaturos com contribuição vulcânica.

6 GEOLOGIA LOCAL

As litologias pertencentes a área de estudo são caracterizadas por bandamento sedimentar preservado, xistosidade, feições de transposição e lenticularização resultantes de processos de imbricamento tectônico regional descritos por (HASUI et al., 1988). A associação mineral dos litotipos são compatíveis com a fácies xisto verde (médio-alto) até anfibolito médio (ANGELI et al., 2011).

No trabalho de Angeli et al. (2011), na área, foram descritas diversas ocorrências minerais manganíferas os estudos apresentados indicam a caracterização mineralógica e geoquímica para algumas ocorrências manganíferas para a região, onde é atribuída predominantemente a presença de dois tipos de minérios: protominério silicático, composto por quartzo e espessartita em proporções aproximadamente similares, e protominério cálcio-silicático, onde além de quartzo e espessartita, ocorrem piroxênios, anfibólios, plagioclásio, carbonatos e epidoto.

No mesmo trabalho, em lâminas e seções polidas o minério de manganês da mina do Córrego do Cocho apresenta textura granoblástica, constituído por criptomelana, como cristais granulares, e litioforita, como cristais prismáticos. Nas porções superiores dos perfis de alteração ocorrem, com certa frequência, cristais eudrais de magnetita, titano-magnetita subhedrais além de hematita e ilmenita, que chegam a representar até 4% dos minerais presentes. Delgados veios de pirita, calcopirita e bornita, indicam localmente ambiente redutor além da presença de pequenos cristais reliquias de sericita e epidoto. A matriz é composta por criptomelana, pirolusita e psilomelana.

Na ocorrência Córrego do Cocho o corpo de minério encontra-se encaixado em paragneisses e espessartita quartzitos, sob forma de lentes com orientação NE, que corresponde a uma única camada estirada e rompida por processo de boudinage, como descrito em trabalho de (ZANARDO, 2003). Localmente, os gnaisses possuem bandas leucocráticas, granulação grossa, quartzo feldspáticas e bandas melanocráticas, menos espessas, ricas em biotita, além de níveis anfibolíticos, com fraturas preenchidas por óxidos e hidróxidos de manganês. Nas frentes de lavra, o minério explorado ocorre sob as formas oxidada na forma de oólitos, pisólitos e concreções (tipo granzon), os quais ocorrem próximos da superfície, com mais de um metro de espessura, e como minério coluvionar.

Segundo Angeli *et al.*, (2011) os principais minerais de minério são óxidos e hidróxidos de manganês, espessartita e quartzo, ocorrendo ainda traços de silicatos, sulfetos, fosfatos de manganês. A espessartita é o mineral mais abundante, com até 20%. Os cristais encontram-se deformados, alterados nas bordas, suportados por uma matriz rica em criptomelana, que ainda conserva a foliação do protominério. A Criptomelana ocorre como cristais amorfos, mas com algumas porções de origem claramente relacionada à alteração supergênica da espessartita. Em escala macroscópica, o minério apresenta estruturas botroidais, bandadas e intergrãos junto à espessartita e quartzo. Em geral, apresenta certo bandamento composicional com leitos milimétricos a centimétricos de quartzo e criptomelana (30% a 50%) com vários tons de cinza, com cristais de granulação grossa

O manto de alteração apresenta espessura variável na mina do Córrego do Cocho, com média de 1,5m e zona mineralizada com até 8,5m. Além disso, nas vertentes dos corpos de minério existem níveis concrecionários (oólitos e pisólitos de manganês), em grande parte corresponde ao minério rolado. As reservas medidas atingem 1,2Mt, somadas as reservas indicadas e inferidas, totalizam 2,0Mt, com 344.664t metal contido em teor médio de 28% de MnO_2 (ANGELI et al. 2011).

Diante dos estudos mineralógicos feitos as concentrações econômicas de manganês são descritos por Angeli *et al.* (1984), como relacionadas aos processos de alteração das rochas pretéritas podendo ser classificadas como residuais ou supergênicas. Análises geoquímicas realizadas por Veríssimo (1991) sugerem um ambiente tectônico ativo com transporte rápido de sedimentos imaturos, com contribuição vulcânica, para a formação do protominério manganífero (ANGELI et al. 2011)

Segundo Veríssimo et al. (1991) o minério é encontrado em cinco diferentes texturas, que são elas:

- Minério maciço, compacto, sem estrutura visível contendo até 14,4% de carbono (C) (figura 4 e 5).
- Minério bandado: com alternância milimétrica de bandas silicosas e bandas com óxidos e hidróxidos de manganês.
- Minério manchado: com presença de manchas brancas irregulares de caulinita e manchas amarronzadas manganésíferas, sendo o minério de menor densidade.

-Minério laminado: minério denso com cavidades e fraturas preenchidas por solo areno-argiloso, laminação desenvolvida, forte brilho metálico e criptomelana epirolusita preenchendo pequenas fraturas.

-Minério granzon: concentração manganésifera na forma de pisólitos e oólitos variando de milimétricos até 1cm de diâmetro. Ocorrem dispersos em solo argiloso com grande concentração e espessura na ocorrência Córrego do Cocho. Tal minério já foi beneficiado em diversas áreas da mina, promovendo a não existencia dele em alguns perfis de zonas mineralizadas em minério maciço, caso ocorrido em foram coletados os dados para o presente trabalho.



Figura 4: Minério maciço, compacto, sem estrutura visível, aflorante na frente de lavra. Fonte: Arquivo pessoal.



Figura 5: Detalhe do minério maciço da área. Fonte: Arquivo pessoal.

7 ESTUDO DE CASOS

O trabalho feito por Moreira e Ilha (2011), ocorreu na bacia sedimentar do Camaquã, formada por sequências estratigráficas sedimentares e vulcanogênicas, no sul do Rio Grande do Sul. O objetivo foi testar o método geofísico da eletrorresistividade com a técnica do caminhamento elétrico, em arranjo azimutal, na caracterização de zonas mineralizadas por carbonato de cobre. O minério ocorre aflorante em fraturas e zonas de maior porosidade em arenito encaixante. O método da eletrorresistividade demonstrou resultados satisfatórios na caracterização da ocorrência cuprífera, devido ao contraste nas propriedades físicas entre as rochas encaixantes e a zona mineralizada, áreas com silicificação apresentam alta resistividade, enquanto que valores intermediários são atribuídos a zonas com carbonatação e, finalmente, áreas de baixa resistividade, provavelmente, indicam concentrações de sulfetos disseminados.

O trabalho feito por Sandrin e Elming (2007), foi feito em áreas mineralizadas em cobre do prospecto de Tjårrojåkka IOCG, norte da Suécia, a área possui rochas vulcânicas intermediárias a máficas metamorfizada em anfibolito, nessas metavulcanicas existem a intrusão de rochas que variam de gabro a quartzo monzodiorito assim como alteração potássica e sódica. O objetivo do trabalho foi tentar definir uma assinatura geofísica em escala local para esse tipo de depósito. O prospecto ocorre relacionado a um andesito e a minerais como calcopirita, bornita e em menor escala covelita e calcosita. O controle geológico ocorre através de falhas. Dos métodos geofísicos utilizados apenas a resistividade não é interessante devido a cobertura de solo com alta condutividade. Polarização induzida, magnetometria, gravimetria, e eletromagnético definem bem a posição dos corpos mineralizados por eles terem alta densidade e minerais enriquecidos em Fe e Cu, porem zonas preenchidas por magnetita sem enriquecimento em Cu podem dar a mesma assinatura pois possuem mesma densidade e minerais ricos em Fe. Gamaespectrometria com altos valores de K podem indicar no solo alteração potássica em profundidade que parece hospedar a mineralização de Cu.

No trabalho de Irvine e Smith (1990), foi estudada a mina de ouro de McLaughlin, a 110km nordeste de São Francisco-Califórnia. O objetivo do trabalho foi o de estudar métodos geofísicos para contribuição na exploração de ouro epitermal. Os métodos geofísicos empregados foram magnetometria terrestre, sísmica, gravimetria

terrestre, IP e resistividade. A geologia da mineralização é definida por falhas em litotipos como cataclasito de argilito-serpentinito associado com plagioclásio basalto, esses litotipos são sobrepostos por vulcanismos recentes de andesitos e localmente por existência de calcedônia. Todas as rochas próximas aos veios estão hidrotermalizadas. Não existe aeromagnetometria na área e magnetometria terrestre, sísmica e gravimetria terrestre não foram eficientes na identificação dos corpos de anomalias. Entretanto, IP e resistividade geraram bons resultados na identificação dessas anomalias. Alta resistividade indicava alta silicificação, que envelopava o corpo mineralizado, apesar do andesito mais jovem também ser moderadamente resistivo. Alta cargabilidade nessas regiões indicava presença de pirita que se relacionava a existência de ouro.

O trabalho feito por Sadek, Ibrahim e Alshanti (1989) ocorreu no prospecto de Gehab, norte da região de Wadi Bidah, Arábia Saudita. O estudo das respostas geofísicas de metais base em sulfeto, basicamente cobre e zinco, ocorreu utilizando os métodos de potencial espontâneo, para detecção de corpos rasos e polarização induzida, para detecção de corpos profundos. A geologia regional é basicamente de uma zona deformada com uma dobra antiforma, onde existem no topo metavulcanicas do tipo anfibólio-hornblenda pórfiros, sericita quartzo xisto, jaspelito chert e clorita xisto. Ocorrem também Intrusões de rochas graníticas posteriores assim como intrusões basálticas aos redores da área. O minério basicamente é controlado por duas falhas NE. Os resultados do estudo propuseram resultados fracos de SP (polarização espontânea) e IP nas porções norte e central indicando mineralização insignificante representado por gossans. A parte sul, de maiores teores de minério na região, tinha fortes anomalias de SP e IP, causada pela presença de depósitos de sulfeto raso com continuação em profundidade abaixo dos gossans aflorantes. Mais a sul da área, uma anomalia de baixo SP e alto IP pode representar um depósito de sulfeto em profundidade.

O trabalho feito por Sultan, Mansour, Santos e Helay (2009), na região de Wadi El Beida, Deserto sudeste no Egito, teve como objetivo delinear o depósito mineral de ouro e sulfeto com relação à profundidade e extensão, através da zona de cisalhamento NW-SE, onde se encontra tal material. Basicamente o ouro e sulfeto disseminado encontram-se na zona de alteração dessa falha que é composta por rochas quartzo-feldspáticas altamente ferruginosas, gossans, em rochas ofiolíticas e meta-vulcanicas (meta-andesito e meta-dacitos). Os métodos geofísicos utilizados foram magnetometria, potencial espontâneo, resistividade e polarização induzida. Através da magnetometria

foi possível estipular o intervalo de profundidade dos corpos de minério. O SP permitiu a coleta de dados de anomalias de estruturas polarizáveis e sua respectiva profundidade, que por sua vez coincidiram com a zona de falha. O método da resistividade permitiu a análise de zonas de baixa resistividade que coincidiram com a zona de alteração da falha nas rochas meta-vulcânicas, onde encontrava-se o minério. O método do IP também teve resultado da profundidade de anomalias de alta cargaabilidade coincidentes com a zona de alteração da falha.

8 MATERIAIS E MÉTODOS

Na obtenção dos dados de campo são utilizados os métodos geofísicos da Eletrorresistividade e de Polarização Induzida para medidas de resistividade elétrica e cargabilidade. A descrição completa dos métodos quanto ao princípio teórico dos métodos, propriedades físicas dos materiais geológicos pertinentes aos métodos, bem como os principais fenômenos físicos envolvidos, são descritas por Telford *et al.*, (1990), Orellana (1972) e Sumner (1976).

8.1 Eletrorresistividade

O método eletrorresistividade caracteriza-se por medir a variação da resistividade elétrica das rochas em subsuperfície, usando um sistema de quatro eletrodos AMNB ligados ao terreno (Figura 6). Os eletrodos A e B constituem o denominado Circuito de Corrente, enquanto que os eletrodos M e N compõem o Circuito de Potencial. O primeiro transmite corrente elétrica I (miliamperímetro) para o interior da Terra, e o segundo mede a diferença de potencial elétrico ΔV (milivoltímetro) entre os outros dois eletrodos (KEARY *et al.* 2002).

A resistividade elétrica é obtida através da equação 1.

$$\rho = K \cdot \Delta V / I \quad (\text{Equação 1})$$

ρ - resistividade elétrica do terreno;

K constante geométrica que depende da geometria do arranjo entre os eletrodos e da distância entre os mesmos;

ΔV - diferença de potencial entre M e N medida no circuito de potencial e

I - corrente elétrica transmitida para o interior da Terra, medida no circuito de corrente.

A resistividade elétrica depende basicamente da composição, granulometria, porosidade, grau de saturação e salinidade da água que preenche os vazios (poros e fraturas) das rochas.

Quando o terreno não é homogêneo e isótropo considera-se que o valor medido para cada posição dos eletrodos corresponde a uma resistividade elétrica aparente, que reflete a contribuição de diferentes resistividades elétricas das rochas em profundidade,

sob a zona central do arranjo dos eletrodos. A profundidade alcançada aumenta, à medida que o mesmo ocorre com a distância entre os eletrodos de corrente AB.

Este método, assim como os outros métodos geofísicos, mede propriedades físicas das rochas e é extremamente importante no levantamento de alvos a serem investigados através de furos de sondagens. Entretanto, diferentes tipos de rochas podem apresentar valores semelhantes de algumas propriedades físicas.

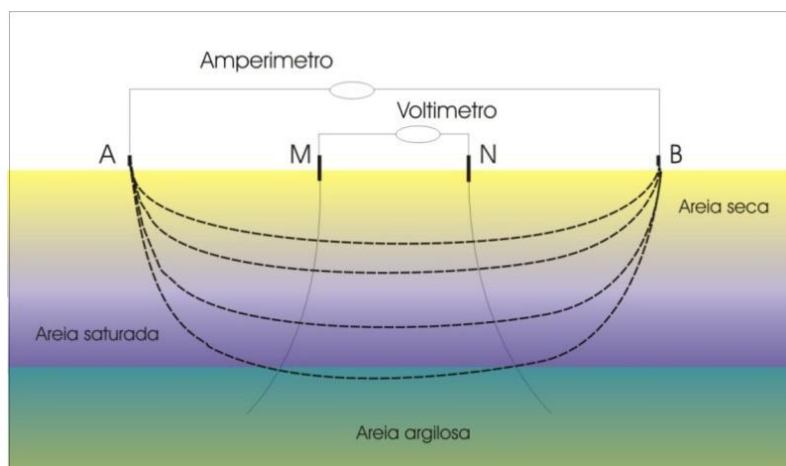


Figura 6: Esquema do método Eletrorresistividade - quatro eletrodos AMNB (Adaptado de KEARY et al. 2002).

8.2 Polarização Induzida

A Polarização Induzida é um fenômeno elétrico provocado pela transmissão de corrente no solo, observado como uma resposta defasada de voltagem nos materiais terrestres (SUMNER, 1976). Este método geofísico possui grande aplicação na prospecção mineral devido à capacidade de detectar disseminações de sulfetos metálicos da ordem de 0,5% em volume.

A curva de decaimento da polarização induzida (Figura 7) é resultado do retorno ao estado original de campo elétrico e a descarga de energia armazenada de diversas formas: mecânica, elétrica ou química. O armazenamento desta energia resulta de:

- Variações entre condutividades iônicas e eletrônicas, quando estão presentes minerais metálicos, denominada polarização de eletrodo;
- Variação da mobilidade de íons em fluídos presentes na rocha, que ocorre mesmo na ausência de minerais metálicos, denominada polarização de membrana.

Os fenômenos físico-químicos que explicam a polarização induzida são considerados principalmente polarização da membrana e polarização metálica ou eletrônica. A polarização de membrana é um fenômeno associado a rochas carentes em minerais metálicos, e com certa quantidade de argila presente, uma vez que a cargabilidade ocorre devido a uma diferença de mobilidade entre ânions e cátions.

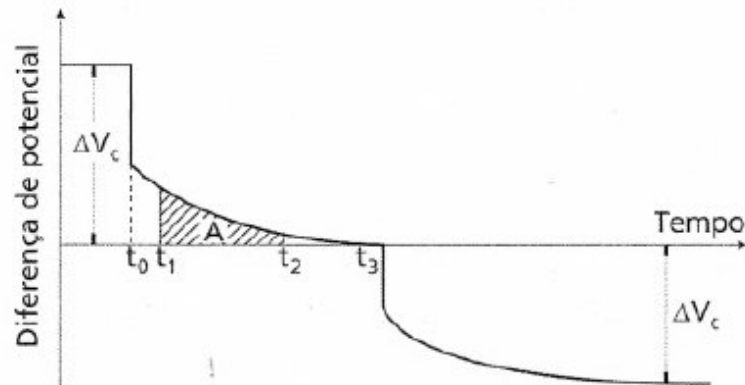


Figura 7: O fenômeno de polarização induzida. Num tempo t_0 a corrente é desligada e a diferença potencial medida, após uma longa queda inicial do valor estável V_c decai gradualmente a zero, representando a área sob a curva de decaimento. Fonte: (KEAREY et al., 2002).

Os minerais argilosos são polarizados negativamente, em cujo redor ocorre uma polarização em semelhança a uma membrana (KEAREY et al., 2002) (Figura 8).

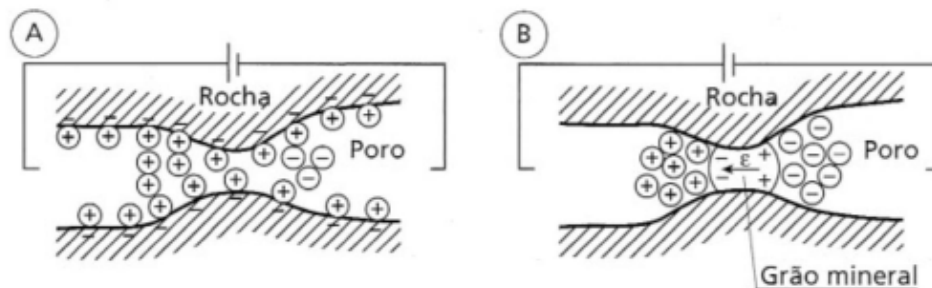


Figura 8: Demonstração da distribuição dos íons no fenômeno polarização de membrana (A) e polarização metálica ou eletrônica (B). Fonte: (KEAREY et al. 2002.)

Uma das formas de medida da polarização induzida no domínio do tempo é comparar a tensão residual $V(t)$, existente em um tempo t após o corte de corrente, com a tensão constante V_c , durante o intervalo de fluxo de corrente. Contudo, $V(t)$ deve ser medido antes da corrente residual decair acentuadamente, (Equação 2)

$$M = \frac{1}{V_c} \int_{t_1}^{t_2} V(t) dt \text{ ms}$$

Equação 2

9 TÉCNICA E ARRANJO

Para a obtenção dos dados em campo foi utilizada a técnica de caminhamento elétrico, por meio do arranjo Dipolo-dipolo com espaçamento entre os eletrodos a cada 5m. Utilizando tal arranjo foram realizadas leituras de resistividade elétrica e cargabilidade em 8 níveis de profundidade.

A técnica do caminhamento elétrico utilizando o arranjo Dipolo-dipolo, consiste na combinação de investigações laterais que deve se levado em conta fatores como a disposição do corpo a ser analisado e a sensibilidade do equipamento utilizado na aquisição, esse arranjo é caracterizado pelo uso de mesmo espaçamento entre eletrodos de corrente e potencial, orientados e deslocados de forma linear (Figura 9).

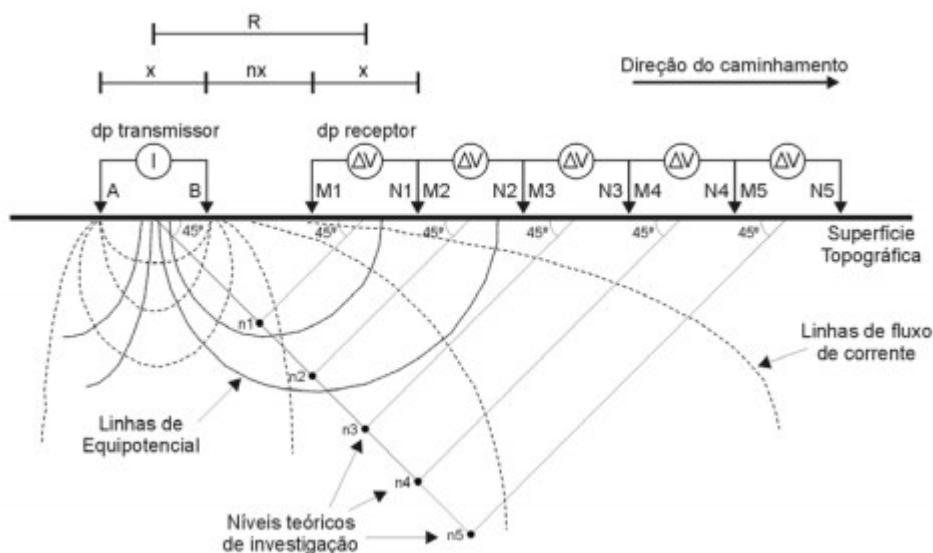


Figura 9: Pseudosseção representando o espaçamento relativo entre os pares de eletrodos, de potencial e de corrente no arranjo dipolo-dipolo. (adaptado de ELIS, 1998)

No arranjo, como evidenciado na figura acima, os eletrodos AB injetam corrente enquanto os eletrodos MN são dispostos em linha com a finalidade de fazer as leituras elétricas. A disposição desses pares de eletrodos é definida pelo espaçamento $X=AB=MN$, onde a profundidade de investigação cresce em relação a distancia dos eletrodos de potencial e os de corrente (R), a profundidade alcançada nesse arranjo é $R/2$.

No caminhamento elétrico os eletrodos de leitura são afastados simetricamente a partir dos eletrodos de injeção que ficam parados, a profundidade, neste caso, aumenta de acordo com o aumento da distancia entre os eletrodos de corrente e de leitura.

10 AQUISIÇÃO E PROCESSAMENTO DE DADOS

Os parâmetros de aquisição foram: 100mA de corrente, tempo de decaimento de 10ms, janela única de leitura com 100ms, tempo de aquisição de 2s, quatro ciclos de aquisição e leituras concomitantes de resistência e cargabilidade. Essencialmente devido às leituras de cargabilidade, foram utilizados eletrodos não polarizáveis abastecidos por solução de sulfato de cobre (Cu-CuSO_4) (Figura 10).



Figura 10: Eletrodo com de sulfato de cobre montado. Fonte: arquivo pessoal.

Foi utilizado o resistivímetro Terrameter SAS 4000 (Figura 11), que consiste num módulo único de transmissão e recepção de dados, com resolução de 1mV, 100W de potência e quatro canais de leitura. Este equipamento é calibrado para transmissão de ciclos periódicos de corrente alternada de baixa frequência, procedimento que permite a filtragem de ruídos durante a aquisição de dados (ABEM, 2006) (Figura 12 A e B).



Figura 11: Equipamento e base de leitura montados. Fonte: arquivo pessoal.



Figura 12: A) Calibragem do equipamento. B) Aquisição dos dados geofísicos. Fonte: arquivo pessoal.

Na área da mina foram realizados 300m de caminhamento elétrico, divididos em 4 linhas de 75m dispostas de forma paralela com direção N17° e 10m de espaçamento entre linhas (Figura 13). A aquisição ocorreu no dia sete de janeiro de dois mil e

quatorze, período de chuvas na região. Por isso algumas zonas do perfil de alteração poderiam estar saturadas em água.

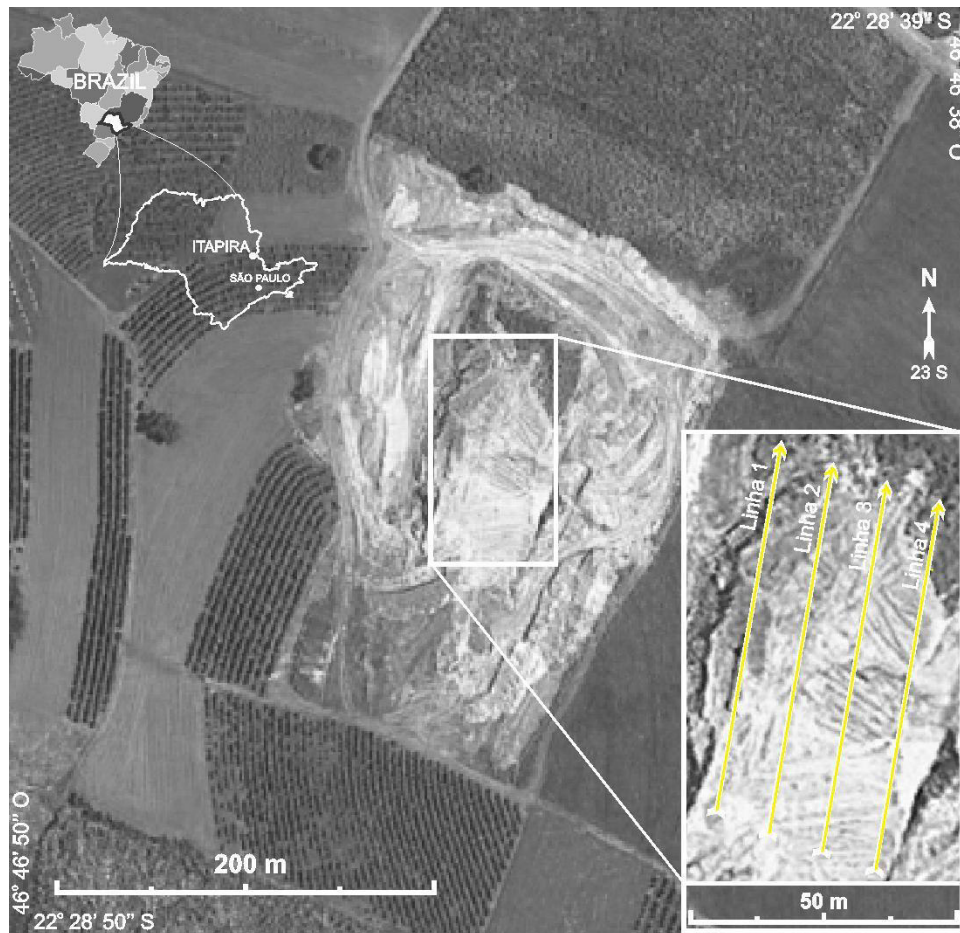


Figura 13: Localização da área de estudos, com posicionamento das linhas de aquisição de dados geofísicos em área de lavra de minério de manganês. Fonte: Google Earth 2012.

Os dados adquiridos em campo foram tabelados e processados inicialmente no programa RES2DINV (LOKE; BARKER, 1996), onde foram gerados modelos de inversão de seções com distância e profundidade, acompanhadas de correção topográfica.

O processo de inversão consiste em uma série de blocos retangulares, a disposição dos blocos é ligada à distribuição dos pontos dos dados na pseudoseção, ou seja, seção gerada pelos dados de campo em profundidade teórica. A distribuição e tamanho dos blocos são gerados automaticamente pelo programa conforme a distribuição dos pontos de dados. A profundidade da linha inferior dos blocos é definida

para ser, aproximadamente, igual à profundidade equivalente de investigação de pontos com o maior espaço entre eletrodos (EDWARDS, 1977).

O modelo de visualização 3D foi gerado a partir dos dados previamente modelados em 2D, por meio do programa Oasis Montaj desenvolvido pela Geosoft. Este programa permite o processamento de um grande volume de dados espaciais, além de efetuar tarefas de processamentos complexos como: interpolação de dados, edição de mapas, edição e integração de dados de diversas naturezas.

Dentre os diversos algoritmos disponíveis no programa, este trabalho adota o método de mínima curvatura para interpolação dos dados. A interpolação consiste em um procedimento matemático de ajuste de uma função a pontos não amostrados, baseada em valores obtidos em pontos amostrados. A partir dos pontos amostrados é definido um reticulado com espaçamento relativo aos pontos. O valor de cada nó do reticulado é calculado por seleção de pontos mais próximos conhecidos, que posteriormente são filtrados de modo a suavizar os contornos resultantes e permitir o melhor ajuste com os valores originais.

11 RESULTADOS

O resultado é apresentado sob a forma de seção com distância versus profundidade em termos de pseudo-seção, seção calculada e modelo de inversão. São apresentados somente modelo de inversão em termos de resistividade e cargabilidade.

A linha 1 está localizada próxima a uma frente de lavra em atividade, onde ocorrem pontos de exposição de minério de manganês. O georreferenciamento das linhas de caminhamento elétrico possibilitou relacionar áreas de contraste de parâmetros físicos detectados nos modelos de inversão, com zonas de concentração de minério (Figura 14).

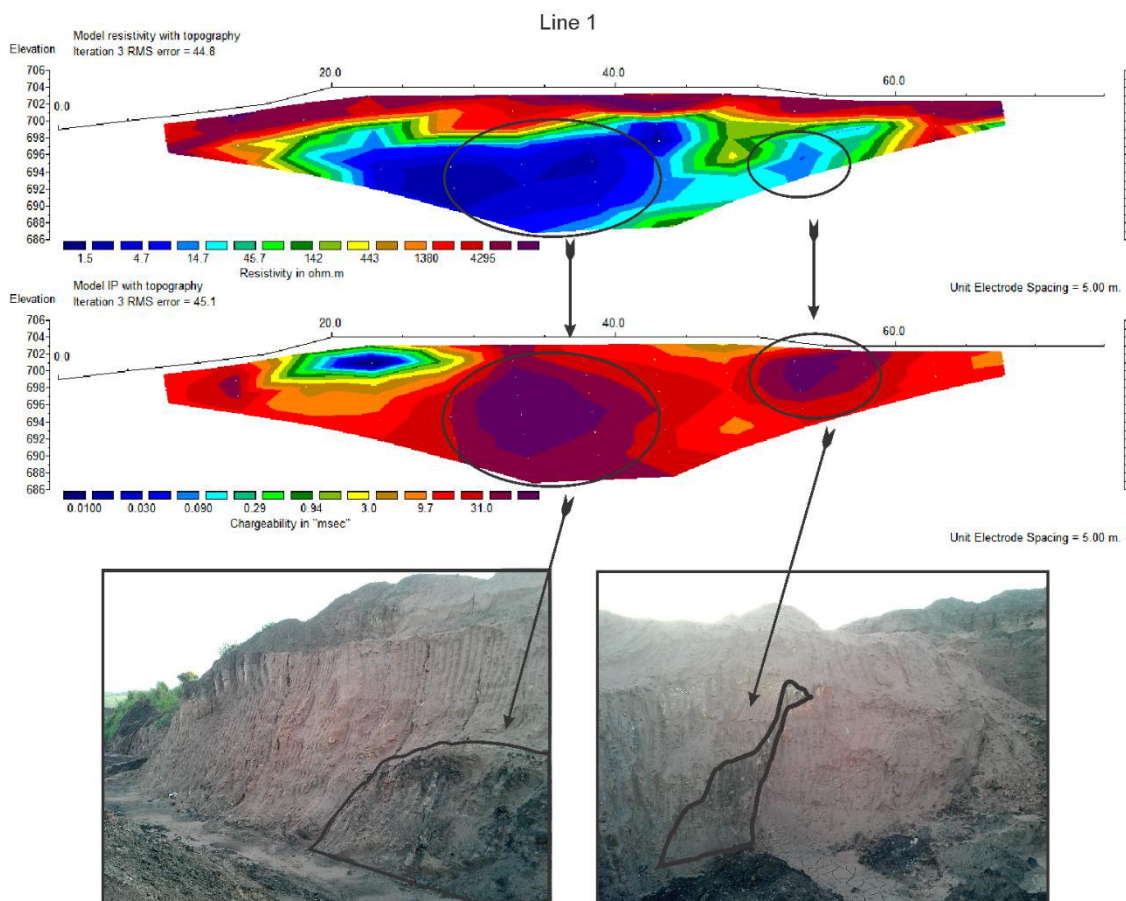


Figura 14: Modelos de inversão em termos de resistividade elétrica e cargabilidade, com realce para áreas de baixa resistividade e alta cargabilidade, relacionada a zonas mineralizadas exposto em frente de lavra localizada nas proximidades.

As áreas de concentração de minério de alto teor são caracterizadas no modelo de inversão da linha 1, por valores de cargabilidade acima de 30ms e de resistividade

abaixo de $20\Omega.m$, num padrão condizente para óxidos e hidróxidos em solo e saprólito. Esta faixa de valores é descrita para sulfetos disseminados e ouro em contextos geológicos diversos (IRVINE; SMITH, 1990; MOREIRA; ILHA, 2011; MOREIRA et al., 2012).

Os valores derivados da inversão em termos de resistividade elétrica e cargabilidade foram novamente tabelados e processados na plataforma Oasis Montaj, desenvolvido pela Geosoft, para elaboração de modelos 3D e mapas 2D, por meio do método de interpolação de mínima curvatura, dos dados previamente processados.

Foram gerados dois blocos 3D, respectivos a interpolação das 4 linhas de caminhamento elétrico em termos de resistividade elétrica e cargabilidade, com ângulo de visão de NW para SE (Figura 15).

O modelo 3D de resistividade elétrica é caracterizado por elevados valores de resistividade elétrica em superfície, com gradativa redução dos valores acompanhada pelo aumento da profundidade, com destaque para baixos valores em tons de azul. No modelo 3D de cargabilidade predominam baixos valores em superfície, que aumentam em profundidade, destacados em tons de vermelho, em área correspondente ao predomínio de baixos valores de resistividade (Figura 15).

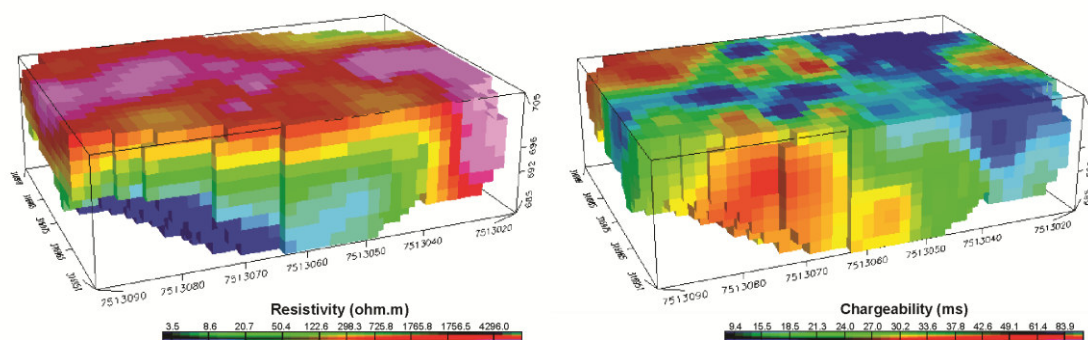


Figura 15: Modelos 3D de resistividade elétrica e cargabilidade gerados pela interpolação das linhas de caminhamento previamente processadas.

Com o objetivo de verificar a continuidade deste padrão de valores em outras porções dos modelos 3D, foram gerados mapas de isovalores para profundidades previamente estabelecidas, limitadas a cota 693m e 697m, rotacionados para ângulo e visão de W para E (Figura 16).

A cota 693m corresponde à rampa da frente de lavra, onde afloram os corpos mineralizados correlacionados ao modelo de inversão da linha 1. Entre as cotas 697m e

693m predomina solo saprolítico pouco alterado, com fragmentos de rocha, foliação e bandamento preservados e reconhecíveis em campo, onde os corpos mineralizados apresentam estrutura maciça e são intensamente fraturados. A cota 697m representa o intervalo de solo ausente de fragmentos de rocha, onde ocorrem concentrações de minério manganífero atribuídas ao intemperismo do minério gondítico.

Os mapas para ambas as cotas revelam a inexistência de relações concomitante de baixa resistividade e alta cargabilidade para as demais linhas, coincidência aparentemente limitada a porção oeste dos mapas (posição da linha 1) (Figura 16).

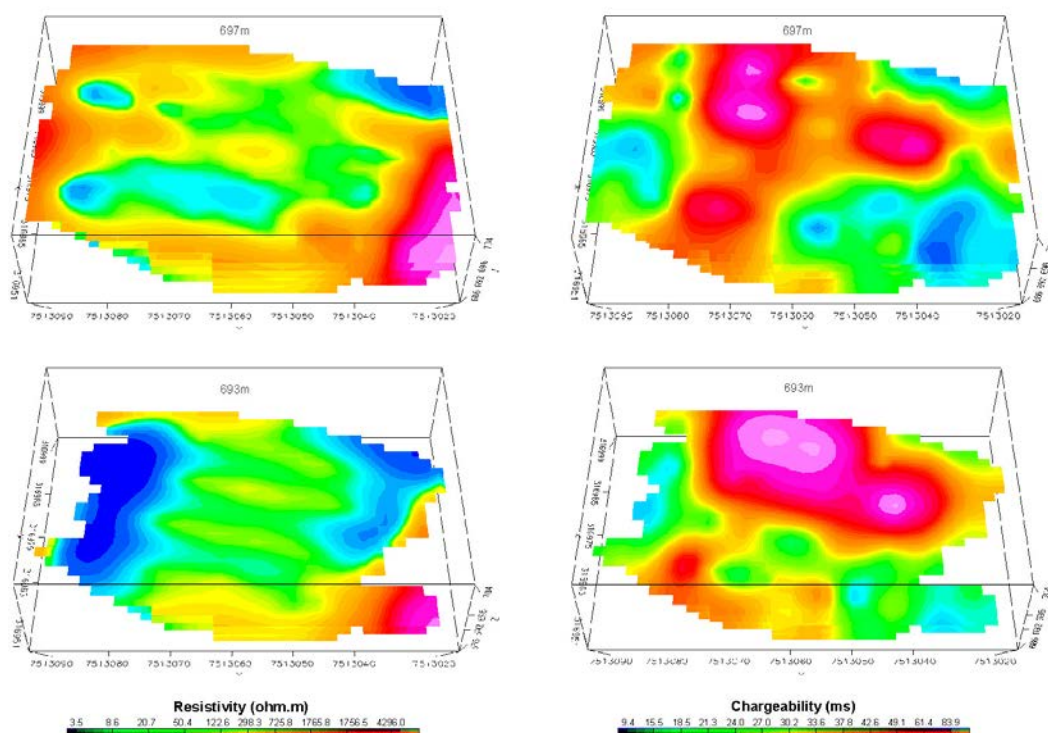


Figura 16: Mapas de resistividade elétrica e cargabilidade para as cotas 693m e 697m.

A comparação dos mapas para a cota 693m revela uma área central com resistividade elétrica bastante homogênea, correspondente a um domínio com cargabilidade bastante contrastante, onde ocorrem valores elevados na porção central e leste, coincidente com as linhas 3 e 4, e valores moderados a baixos a oeste, coincidente com as linhas 1 e 2. A comparação entre os mapas para a cota 697m também seguem este padrão, embora predomine valores de resistividade elétrica relativamente superiores, além de valores relativamente menores de cargabilidade.

A resistividade elétrica é um parâmetro físico sensível a fatores como conteúdo mineral, porosidade, granulometria, presença de argilominerais, dentre outros. Os

materiais que constituem o perfil de alteração são basicamente representados quartzo e argilominerais, originados do intemperismo de quartzitos e xistos. As porções de solo próximas da superfície são caracterizadas por altos valores de resistividade pela ausência de umidade e predomínio de quartzo. Em contraste, ocorre o aumento da umidade concomitante a profundidade, acompanhado pelo aumento na quantidade de argilominerais lixiviados de posições superficiais pela infiltração de água da chuva. Neste caso, a resistividade elétrica deve ser atribuída essencialmente a processos de condução eletrolítica, em detrimento aos processos de condução eletrônica.

A forte influência do grau de umidade dos materiais geológicos é determinante no padrão de resistividade para as porções interiores do terreno estudado. A relação de baixa resistividade e alta cargabilidade obtida para a linha 1 é provavelmente relaciona a sua proximidade a frente de lavra, onde a evapotranspiração resulta num perfil de alteração relativamente seco. Neste caso, as zonas de baixa resistividade elétrica coincidem com áreas mineralizadas ausente de umidade, onde predominam processos de condução eletrônica.

As medidas de cargabilidade também são em parte influenciadas por condicionantes geológicos semelhantes à resistividade elétrica, principalmente o conteúdo mineral. Este aspecto é determinante a polarizabilidade dos materiais geológicos, bastante intensos em sulfetos disseminados, medianamente intensos para óxidos e hidróxidos e pouco intensos em minerais silicáticos. Embora haja processos de polarização eletrolítica em presença de umidade ou de argilominerais, a polarizabilidade é pouco relevante em presença de sulfetos e óxidos minerais, responsáveis pelo fenômeno de polarização eletrônica.

Desta forma, as áreas de alta cargabilidade reveladas nos mapas provavelmente correspondem a zonas com minério de manganês, aparentemente relacionadas às exposições descritas na frente de lavra analisada. É possível ainda tais áreas correspondam a zonas de maiores concentrações de minério, diante dos valores relativamente superiores de cargabilidade, principalmente para a profundidade de 697m, constituída por material saprolítico.

12 CONCLUSÃO

O uso combinado de métodos geofísicos correlacionados a descrições geológicas de zonas mineralizadas consiste num procedimento tecnicamente viável no planejamento de lavra de curto prazo. A calibração de dados geofísicos com áreas comprovadamente mineralizadas, pode resultar num detalhamento bastante superior ao adquirido somente a partir de sondagens para amostragem e análises químicas, e assim, num controle relativamente preciso de lavra.

A compreensão da existência e continuidade de corpos de minério para controle de teores em procedimentos de lavra é bastante dificultoso somente por meio das técnicas convencionais de perfuração e amostragem, principalmente em jazidas complexas, com distribuição de minério desvinculado de controles estruturais ou estratigráficos. O caráter pontual deste procedimento de controle pode resultar em volumes superestimados ou subestimados.

O caso avaliado neste trabalho consiste num depósito de manganês de origem supergênica, com óxidos e hidróxidos de manganês disseminados no intervalo de solo e saprolito, atualmente em processo de lavra, além de minério estruturalmente controlado em maiores profundidades, contido em xistos e gnaisses.

A aplicação dos métodos geofísicos da Eletorresistividade e da Polarização Induzida neste contexto geológico complexo permitiu o mapeamento de zonas mineralizadas no intervalo de solo e saprolito. A calibração inicial entre zonas de minério exposto resultou numa assinatura geofísica de baixa resistividade e alta cargabilidade, padrão descrito em diversos trabalhos desenvolvidos em depósitos de óxidos e sulfetos contidos em rocha.

Entretanto, este padrão não ocorre em porções internas do depósito, caracterizadas pelo decréscimo da resistividade elétrica com o aumento da profundidade e horizontes com valores relativamente homogêneos, resultados que não permitem a definição de zonas mineralizadas. Em contrapartida, os dados de cargabilidade revelaram áreas com altos valores em profundidade, conectadas com zonas expostas comprovadamente mineralizadas.

Desta forma, os resultados deste trabalho indicam que a assinatura clássica de depósitos de óxidos em sulfetos por meio dos métodos geofísicos supracitados, pode ser esperada para depósitos primários ou não intemperizados. Para o caso de depósitos

minerais de origem secundária, cujos condicionantes genéticos são controlados por processos de intemperismo, fatores como umidade, porosidade e teor de argilominerais, exercem grande influência na análise de medidas de resistividade elétrica, devido à semelhança entre valores para zona mineralizada e zona estéril.

Recomenda-se a quantificação dos teores do minério em diferentes níveis de profundidade, através de parâmetros físicos, em amostras coletadas na frente de lavra. Tal quantificação pode ser interessante na análise da correlação entre resultados geofísicos e teor de minério, gerando assim um melhor conhecimento do comportamento dos teores de Mn ao longo do perfil de alteração.

REFERÊNCIAS

ANGELI, N.; CARVALHO, S. G.; OLIVEIRA, M. A. F.; CHOUDHURI, A.; SARAGIOTO, J. A. R. Caracterização das ocorrências de minério de manganês em parte da porção nordeste do Estado de São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 33., Rio de Janeiro - RJ. Anais... Rio de Janeiro: SBG, 1984. v. 8, p. 3710-3723.

ANGELI, N.; KHAN, H.; ITO, G. M.; CARVALHO, S. G.; JIMENEZ-RUEDA, J.; PENHA, U. C. Geologia e Caracterização Tecnológica do Minério de Manganês da Mina Córrego do Cocho, Itapira (SP). Revista do Instituto de Geociências - USP Geol. USP, 2011, Sér. cient., São Paulo, v. 11, n. 3, p. 107-130, 2011.

ARTUR, A.C. Rochas metamórficas dos arredores de Itapira - SP. 1980. 193 p Dissertação (Mestrado em petrologia) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1980.

ARTUR, A.C.; WERNICK, E.; KAWASHITA, K. Geocronologia das unidades litoestratigráficas do embasamento cristalino da região sul de Minas Gerais e áreas adjacentes do Estado de São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 33, 1988, Belém. Anais... Belém, 1988. v.6, p.2854-2869.

ARTUR, A.C.; WERNICK, E.; KAWASHITA, K. Migmatitos policíclicos do sul de Minas Gerais e áreas adjacentes do Estado de São Paulo: Caracterização estrutural/ petrográfica e dados geocronológicos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 34., 1990, Natal. Anais... Natal, 1990. v.6, p.2827-2842.

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Plano Nacional de Mineração 2030 (PMN – 2030). Brasília: MME, 2010. 178p.

CBH MOGI – COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO MOGI GUAÇO. Plano da bacia hidrográfica 2008. Dez. 2008.

CEPAGRI - Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura. Disponível em: <http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima_muni_261.html>. Acesso em: 02 Mai. 2014.

DEL LAMA, E. A. Terrenos granulíticos de Guaxupé: evolução petrológica de um segmento da Crosta Inferior. 1998. 188p. Tese (Doutorado em Geologia Regional) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, 1998.

DNPM - DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL. Sumário mineral brasileiro. 2011. Disponível em: <<http://www.dnpm.gov.br/conteudo.asp?IDSecao=68&IDPagina=2263>>. Acesso em: 2 Maio 2014.

EBERT, H. 1968. Ocorrência da fácies granulítica no sul de Minas Gerais e em áreas adjacentes, em dependência da estrutura orogênica: hipóteses sobre sua origem. Anais da Academia Brasileira de Ciências, São Paulo, v. 40, supl., p. 215-229.

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

ELIS, V. R. ; ZUQUETTE, L. V. . Aplicação de Técnicas geofísicas no estudo de área de disposição de resíduos urbanos.. Geotecnia, Lisboa, v. 84, n. 84, p. 5-22, 1998.

ENGINEERING AND MINNING JOURNAL – Global Business Reports- A mineração brasileira , 2005, pag 21.

GOOGLE EARTH. Versão 4.3 (beta). Europa Technologies - US Dept. of state Geographer, 2012.

HASUI, Y.; RODRIGUES, E. de P.; OLIVEIRA, M. C. B. D.; ENS, H. H.; MORALES, N.; ZANARDO, A.; QUADE, H.; NYK, R.; KÜLLER, M. L.; FRASCÁ, M. H. B. de O. Deformação por cisalhamento dúctil: modelo de transformações de rochas pré-cambrianas antigas do leste do Estado de São Paulo. São Paulo: Pró-Minério, 1988. (Relatório IPT, n. 25.908).

HASUI, Y.; OLIVEIRA, M.A.F. Província Mantiqueira - setor central. In: ALMEIDA, F. F. M.; HASUI, Y. (Coord.). O Pré-Cambriano do Brasil. São Paulo: Edgar Blücher Ltda, 1984. p. 308-344.

HEILBRON, M.; PEDROSA-SOARES, A. C.; CAMPOS NETO, M. C.; SILVA, L. C.; TROUW, R.; JANASI, V. A. Província Mantiqueira. In: MANTESSO NETO, V.; BARTORELLI, A.; DAL RÉ CARNEIRO, C.; BRITO NEVES, B. B. de (Ed.). Geologia do Continente Sul-Americano: Evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida. São Paulo: Editora Beca, 2004. Cap. 13, p. 203-235.

IRVINE, R. J.; SMITH, M. J. Geophysical exploration for Epithermal deposits. Journal of Geochemical Exploration, Amsterdam, v. 36, p.375-412, 1990.

IPT – INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo. São Paulo: IPT/PRÓ-MINÉRIO, 1981. 94 p.

KEAREY, P.; BROOKS, M.; HILL, I. An Introduction to Geophysical Exploration, 3rd ed. Hobboken: Wiley-Blackwell Science, 2002. 272 p.

LAZARINI, A.P. Petrologia de metabasitos e ultrabasitos da região de Águas de Lindóia. 2000. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas - Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2000.

LOKE, M. H.; BAKER, R. D. Rapid Least-Squares Inversion of Apparent Resistivity Pseudosections by Quasi-Newton Method. Geophysical Prospecting, Oxford, v. 44, p. 131-152, 1996.

MARANHÃO, R.J.L. Introdução a Pesquisa Mineral. Banco do Nordeste do Brasil. 2. ed. Fortaleza: ETENE, 1985. 796p.

MOON, C. J.; WHATELEY, M. E. G.; EVANS, A. M. Introduction to Mineral Exploration. 2. ed. Oxford: Backwell Publishing, 2006. 499 p.

MOREIRA, C. A.; ILHA, L. M. Prospecção geofísica em ocorrência de cobre localizada na bacia sedimentar do Camaquã (RS). Revista da Escola de Minas, Ouro Preto, v. 64, n. 3, p. 309-315, 2011.

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

ORELLANA, E. Prospeccion Geoelectrica em Corriente Continua. Madrid: Paraninfo, 1972. 523 p. (Biblioteca Técnica Philips).

OLIVEIRA, M. A. F. DE; ZANARDO, A.; SILVA, A. H. M.; LAZARINI, A. P. Anfibolitos associados à Faixa Metamórfica Amparo - Itapira na região de Socorro - Amparo - Águas de Lindóia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 40. Belo Horizonte. Anais... Belo Horizonte - MG. 1998. 456 p.

SANDRIN, A.; ELMING, S. Physical properties of rocks from borehole TJ71305 and geophysical outline of the Tjårrojåkka Cu-prospect, northern Sweden. Ore Geology Reviews, Londres, v30, p56-7, 2007.

SADEK, H. S.; IBRAHIM, A. E.; ALSHANTI, A. M. Geophysical Prospection for Base Metal Sulphides in Gehab Prospect, Wadi Bidah, Kingdom of Saudi Arabia. In: 1ST SAUDI SYMPOSIUM ON EARTH SCIENCE, Jeddah, Anais... Jeddah. 1989, p357-365.

SULTAN, S. A.; MANSOUR, S. A.; SANTOS, F. M.; HELALY, A. S. Geophysical exploration for gold and associated minerals, case study: Wadi El Beida area, South Eastern Desert, Egypt. Journal of Geophysics and Engeneering, Amsterdam, v. 6, p 345-356, 2009.

SUMNER, J. Principles of induced polarization for geophysical exploration. 1 ed. Scientific, Amsterdam, 1976, 277 p.

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

TELFORD, W.M.; GELDART, L.P.; SHERIFF, R.E. Applied Geophysics. Second Edition. Cambridge University Press, 1990, p. 611-644.

VERÍSSIMO, C. V. Evolução geológica dos corpos de protominério e mineralizações de manganês associadas, porção leste de São Paulo e Sul de Minas Gerais. Dissertação (Mestrado)-Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista UNESP, Rio Claro (SP), 1991.

VERÍSSIMO, C. V.; HACKSPARCHER, C. P.; VALARELLI, V. J.; Protominério e minério de manganês de Itapira-SP considerações Genéticas. In: 2º SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO SUDESTE, SÃO PAULO- SP, Anais... São Paulo, 1991, 205p.

WERNICK, E. A geologia da região de Amparo, Leste do Estado de São Paulo. Dissertação (Doutorado)- Faculdade de Filosofia Ciências e Letras, Rio Claro, 235 p. 1967.

WERNICK, E. Contribuição à estratigrafia do Pré-Cambriano no leste do Estado de São Paulo e áreas vizinhas. Revista Brasileira de Geociências, São Paulo, v. 8, n. 3, p. 206-216. 1978.

ZANARDO, A.; VERÍSSIMO, C.V.; LAZARINI, A. P.; ROLDAN, A. A. Protominério de Manganês das ocorrências do Grupo Itapira. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 40, 1998, Belo Horizonte – MG, Anais... Belo Horizonte, 1998. 159 p.

ZANARDO, A. Pesquisa geológica e de matérias primas cerâmicas do centro nordeste do estado de São Paulo. Tese (Livre Docência) - Instituto De Geociências e Ciências Exatas, Universidade Júlio de Mesquita Filho UNESP, Rio Claro (SP), 2003.

ANEXOS

ANEXO A

**Geological and geophysical integration data for definition of
the mineralized areas in manganese supergene mine in Itapira,
Brazil**

**Integración de datos geológicos y geofísicos para definition de
zonas mineralizadas en mina de manganeso supergénico en
Itapira, Brasil**

César Augusto Moreira¹; Mario Rezende Borges²; Glauber Martins Lira Vieira³;

¹ Departamento de Geologia Aplicada (DGA), Instituto de Geociências e Ciências Exatas
(IGCE), Universidade Estadual Paulista (UNESP), Rio Claro, São Paulo State, Brazil.

² Instituto de Geociências e Ciências Exatas (IGCE), Universidade Estadual Paulista (UNESP),
Rio Claro, São Paulo State, Brazil.

Endereço

^{1,2,3} Av. 24-A, 1515, Bela Vista. CEP 13506-900, Rio Claro, São Paulo, State, Brazil, Phone: +55
19 3526-9213. E-mail: moreirac@rc.unesp.br; marios_rb@hotmail.com;
glaubermatheus@hotmail.com

Geological and geophysical integration data for definition of the mineralized areas in manganese supergene mine

Integración de datos geológicos y geofísicos para definición de zonas mineralizadas en mina de manganeso supergénico

ABSTRACT

The geophysical methods are widely technical used in mineral exploration, due to the physical properties contrast between ore and host, possibility of the great coverage areas with cost relatively low, indirectly and non-invasive. This paper discusses the results of the geological and geophysical studies carried in supergenic manganese mine, localized in Brazilian southern. Mineralized zones described geological in filed survey are characterized for low resistivity ($20\Omega.m$) and high chargeability (30ms), similar patter to the described in several study to oxides and sulfite mineral deposits in rocks. The tridimensional modeling geophysical data allowed the visualization maps in several deeps. There was direct relationship between high chargeability areas in deep with mineralized areas in surface. The values of electrical resistivity were relativity homogeneous in soil and saprolite horizons. Factors as humidity and clays minerals, presents in secondary deposits of weathering origin, probably contributed of the similarity resistivity value among soil, saprolite and mineralized zones.

Keywords: mine, manganese, supergenic, electrical resistivity, chargeability.

RESUMEN

Los métodos geofísicos son ampliamente utilizados en las herramientas de exploración minera, debido al contraste entre las propiedades físicas del mineral y roca huésped, capaces de cubrir grandes áreas con un costo relativamente bajo, de manera indirecta y no invasiva. En este trabajo se analizan los resultados de los estudios geológicos y geofísicos realizados en la mina supergénica de manganeso, ubicada en la región sureste de Brasil. Zonas mineralizadas descritas en estudios geológicos se caracterizaron por una baja resistividad ($20\Omega.m$) y una alta cargabilidad (30 ms), similar al patrón descrito en varios estudios para los depósitos minerales de óxidos y sulfuros en la roca. El modelado tridimensional de datos geofísicos permitió la visualización de mapas a varias profundidades. Existe una relación directa entre las áreas de alta cargabilidad con la profundidad en zonas mineralizadas en superficie. Los valores de resistividad eléctrica fueron relativamente homogéneos en el horizonte del suelo y saprolita. Factores tales como el tamaño de partícula, humedad y minerales de arcilla encontradas en los depósitos secundarios de origen intemperie, probablemente contribuyó a la similitud de los valores de resistividad entre el suelo, saprolita y de las zonas mineralizadas.

Palabras clave: mina; manganeso; supergénico; resistividad eléctrica; cargabilidad

Introdução

A economia brasileira é tradicionalmente alicerçada em atividades de extração mineral, que remonta centenas de anos e que impulsionou o avanço dos primeiros colonizadores a deixarem o litoral recém-descoberto, rumo às áreas interiores, durante os períodos de colonização portuguesa. A expansão territorial foi motivada pela busca de pedras e metais valiosos, acentuada em períodos historicamente conhecidos como ciclos do diamante e do ouro.

Nos dias atuais, o Brasil está posicionado entre as sete maiores potências econômicas mundiais, com produto interno bruto (PIB) baseado na exportação de **commodities** como soja, carne bovina e minério como ferro, além de produtos oriundos de indústrias de base e provenientes da indústria química e manufatureira.

A concentração das reservas mundiais de minério de manganês está em um grupo de sete países, que juntos somam praticamente 98% dos depósitos mundiais. Os países são: Ucrânia com 24,14%, África do Sul 20,69%, Austrália 16,03%, Brasil 10,34%, Índia 9,66%, Gabão 8,97% e China 7,59% (DNPM, 2011).

A produção mundial de manganês em 2010 foi 14710 milhões de toneladas, com o Brasil posicionado como o segundo maior produtor (2,6 milhões de toneladas), atrás somente da China com 2800 milhões de toneladas produzidas. A produção nacional aumentou 13% de 2009 para 2010 em detrimento ao aquecimento da demanda mundial (DNPM, 2011).

O setor mineral é a base para diversas cadeias produtivas e compreende as etapas de pesquisa, mineração e transformação. Sua participação atual no produto interno bruto (PIB) nacional é de 4,2% e representa cerca de 20% das exportações brasileiras, por meio de uma cadeia produtiva que gera 1 milhão de empregos diretos, equivalente a 8% dos empregos industriais (MME, 2010). Os insumos minerais que atualmente destacam o Brasil no cenário internacional são o nióbio, ferro, bauxita, manganês e cobre, além de diversos outros como ouro e rochas ornamentais (MME, 2010).

De suma importância para manutenção, desenvolvimento e crescimento econômico brasileiro, o setor mineral é dependente de pesquisas geológicas básicas para ampliação de jazidas conhecidas e em processo de lavra, além da descoberta de novas ocorrências e depósitos minerais. Este conjunto de atividades é denominado pesquisa mineral, que reúne uma série de etapas de planejamento e estratégias baseadas no insumo mineral de interesse, que variam desde o modelo genético e forma de ocorrência no ambiente geológico, métodos e procedimentos de investigação, até condicionantes econômicos, como demanda, valor de mercado e projeções futuras.

Estudos de prospecção e pesquisa mineral são fundamentais para o reconhecimento e incorporação de novas reservas, em atendimento a uma demanda crescente tanto para o mercado interno, quanto para exportação e equilíbrio da balança comercial. As ferramentas

disponíveis compreendem métodos diretos (mapeamento geológico, sondagem, amostragem de solo e rocha, análises químicas) e indiretos (análise de sensores remotos, métodos geofísicos) (Moon *et al.* 2007).

Devido ao baixo custo e a possibilidade de cobertura de amplas áreas, os métodos geofísicos constituem uma importante ferramenta em pesquisa mineral. Levantamentos aerogeofísicos são empregados em trabalhos regionais, enquanto que detalhamentos são obtidos por levantamentos terrestres. Neste último caso, é possível destacar o uso dos métodos Elétricos e Eletromagnéticos na prospecção de depósitos minerais constituídos por sulfetos e óxidos, frequentemente precedidos por levantamentos magnetométricos (Moon *et al.*, 2007; Telford *et al.*, 2004).

O método da Eletrorresistividade possui aplicação em pesquisas de manganês disseminado devido à característica de elevada condutividade elétrica deste metal, freqüentemente contrastante em relação às rochas ao redor. O método de Polarização Induzida é amplamente aplicado neste tipo de pesquisa devido a elevada polarizabilidade de minerais disseminados no ambiente geológico. Este método foi desenvolvido e aperfeiçoado essencialmente para prospecção e pesquisa de sulfetos disseminados.

Diversos trabalhos demonstram as vantagens, desvantagens, benefícios e limitações de usos dos referidos métodos geofísicos no detalhamento e análises da morfologia de depósitos minerais (Alis, 1990; Irvine & Smith, 1990; White *et al.*, 2001; Moreira & Ilha, 2011; Moreira *et al.*, 2012).

Este trabalho discute os resultados de estudos geológicos e geofísicos realizados em mina de manganês de origem supergênica, localizado na região sudeste do Brasil. Neste trabalho são empregados os métodos da Eletrorresistividade e da Polarização Induzida. Os principais objetivos são: estabelecimento de relações entre parâmetros físicos medidos e zonas mineralizadas em óxidos e hidróxidos mapeadas em frentes de lavra e análise da morfologia de corpos de minério a partir da análise e interpretação de modelos tridimensionais em termos de resistividade elétrica e cargabilidade.

Materiais e Métodos

Geologia e gênese do minério

A área de estudos, denominada mina Córrego do Cocho, está localizada na cidade de Itapira, Estado de São Paulo, região sudeste do Brasil, distante 177 km da cidade de São Paulo (Figura 1).

A atividade de lavra na mina Córrego do Cocho teve sua lavra iniciada no início dos anos 90 pela Mineração Itapira Ltda, que extrai minério de manganês das frentes de lavra por escavação direta de material saprolítico (Figura 2), posteriormente transportado até uma área de beneficiamento, onde ocorre homogeneização, lavagem, britagem, moagem e concentração do minério.



Figura 1 – Localização da área de estudos, com posicionamento das linhas de aquisição de dados geofísicos em área de lavra de minério de manganês.

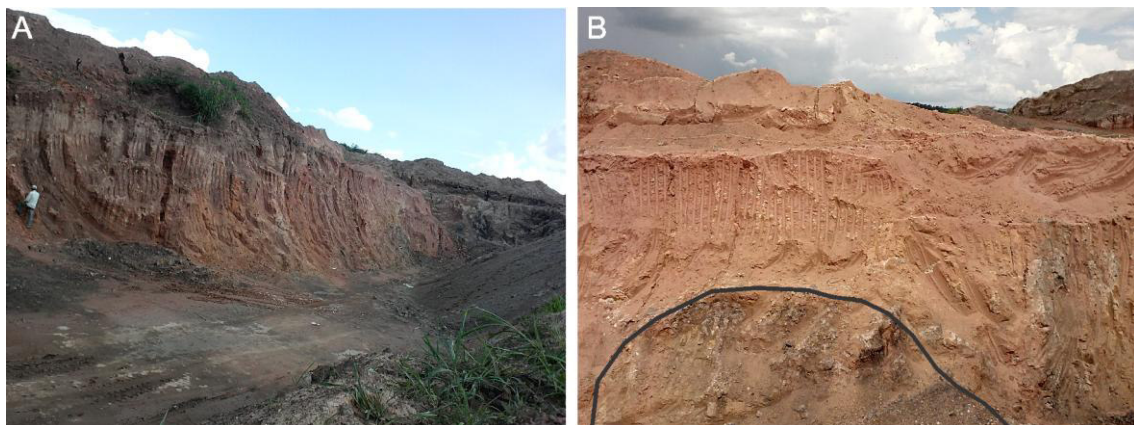


Figura 2 – A) Frente de lavra em atividade. B) Detalhe de corpo de minério exposto.

O contexto geológico regional é representado pela Faixa de Dobramentos Ribeira, caracterizada por trend NE-SW com empilhamento tectônico para W rumo ao Cráton São Francisco. Os litotipos presentes exibem deformação principal caracterizada por colisão frontal e componente transpressiva dextral. As zonas de cisalhamento transpressivo e os empurrões limitam domínios tectônicos que compartimentam este domínio geológico.

A Faixa de Dobramentos Ribeira agrupa na região de estudos, duas unidades litoestratigráficas principais: Complexo Amparo e Grupo Itapira.

As estruturas e rochas do Complexo Amparo revelam evolução polimetamórfica clássica, iniciada pela sedimentação de clástica com argilominerías concomitantes a intrusões, extrusões e tufos básicos (Wernick, 1967). Estas rochas resultaram em associação gnáissico-migmatítica de fácies anfibolito e granulito em evento metamórfico atribuído ao Mesoproterozóico. Em sucessivo evento de deformação tectônica ocorrem recristalização e intrusões de grandes massas graníticas, que resultaram em nova migmatização do Complexo Amparo durante o Ciclo Brasileiro, de idade Neoproterozóica (Wernick, 1978).

O Grupo Itapira é composto por rochas metassedimentares originadas por sedimentos plataformais rasos prográdantes, composto predominantemente por muscovita quartzitos e paragneisses, e com menor frequência migmatitos, anfibolitos, rochas cálcio-silicatadas, xistos, rochas metaultramáficas, mármore, metassedimentos da Formação Eleutério e lentes de gouditos (Zanardo, 2003, Angeli *et al.*, 2011).

Em termos evolutivos, o Grupo Itapira é interpretado como uma sequência metavulcanossedimentar de idade Proterozoica, com granitoides sin-tectônicos associados e subdivididos em duas unidades distintas (Oliveira *et al.*, 1998; Lazarini, 2000): sequência inferior constituída por pelitos, greywackes, arcósios, intercalados por sedimentos areno-argilosos, argilo-arenosos, pelito aluminosos, margas, formações ferríferas bandadas e sedimentos manganíferos. A sequência do topo é composta por pelitos, pelitos psamíticos, pelitos aluminosos, margas, calcários, mármore e sedimentos manganíferos.

As rochas metassedimentares do Grupo Itapira, diretamente associadas aos gouditos, representam litologias metamórficas geradas a partir de uma sequência plataformar prográdante, constituída por muscovita xisto, talco xisto, muscovita quartzito, quartzito, com intercalações de rochas máficas e ultramáficas, cujo embasamento é representado por rochas migmatíticas e gnáissicas do Complexo Amparo. O trabalho de Veríssimo (1991) sugere ambiente tectônico ativo com transporte rápido de sedimentos imaturos com contribuição vulcânica, para a gênese do protominério manganífero na região de estudos.

No âmbito regional são classificadas mais de uma dezena de corpos goudíticos, que apresentam em maior ou menor grau, clássicos perfis de alteração intempérica com enriquecimento em óxidos e hidróxidos de manganês. Os processos genéticos de enriquecimento supérgeno do protominério de manganês são atribuídos a eventos ocorridos entre o Eoceno e o Mioceno, relacionados com a formação da Superfície Sul-Americana, atribuída às variações climáticas e reativações tectônicas (King, 1956).

O protominério de manganês encontrado no Grupo Itapira é classificado quanto à gênese em: protominério silicático, composto essencialmente por quartzo e espessartita em proporções aproximadamente similares, e protominério cálcio-silicático, com quartzo, espessartita, piroxênios, anfibólios, plagioclásio, carbonatos e epidoto.

Na mina Córrego do Cocho domina o protominério silicático, com texturas e estruturas de deformação, estiramento e rompimento nas direções NW-SE e NE-SW, que ocorre em paragneisses e espessartita quartzitos, sob forma de lentes alinhadas e segmentadas na direção NE, correspondendo a uma única camada estirada e rompida por processo de

boudinage (Angeli *et al.*, 2011). Os gnaisses possuem bandas leucocráticas quartzo feldspáticas de granulação grossa, com fraturas preenchidas por óxidos e hidróxidos de manganês.

O minério explotado nas frentes de lavra ocorre sob na forma oxidada, constituído por oólitos, pisólitos e concreções ocorrem próximos da superfície, e como minério de estrutura maciça, bandada e manchada em profundidade. Os principais minerais de minério são representados por espessartita, clinoanfíbólios manganíferos, raramente escapolita e piroxmagita. Ocorrem também litioforita, criptomelana, pirolusita, hausmannita, manganita e hollandita, além de nsutita, gahnita, jacobsita, yofortierita, psilomelana venular, woodruffita e todorokita (Angeli *et al.*, 1984).

A espessartita é o mineral mais abundante, cimentado por matriz rica em criptomelana, que ocorre como cristais amorfos e que preservam feições de origem relacionada à alteração supergênica da espessartita. A psilomelana ocorre sob forma de cristais cinzentos, semiarredondados, com maior frequência próxima da superfície junto à criptomelana, tanto na própria matriz quanto junto aos cristais de espessartita. As reservas totais de minério para a mina Córrego do Cocho atingem cerca de 2,0 Mt, com 344.664 t metal contido em teor médio de 28% de MnO₂ (Angeli *et al.*, 2011).

Métodos Geofísicos

Neste trabalho foram empregados os métodos da Eletrorresistividade e da Polarização Induzida, por meio da técnica de caminhamento elétrico.

O método de Eletrorresistividade é baseado na geração de um campo elétrico em subsuperfície pela injeção de corrente elétrica (I) por meio de um dispositivo eletródico representado por hastes metálicas, denominado circuito transmissor (Sheriff, 1989). O potencial elétrico (ΔV) produzido pela passagem deste campo e captado por meio de um circuito receptor, que também pode ser representado por hastes metálicas ou eletrodos impolarizáveis. A aplicação da Lei de Ohm considerando o espaçamento entre os eletrodos, representado por um fator denominado K, permite medidas do parâmetro resistividade aparente (ρ_a) para vários níveis de profundidade (equação 1):

$$\rho_a = K \frac{\Delta V}{I} \quad \Omega.m \text{ (equação 1)}$$

A polarização induzida é um fenômeno de estimulação de corrente elétrica, observado após o retardo ou atraso de um sinal de voltagem em materiais de subsuperfície (Sumner, 1976). Este método consiste no emprego de um dispositivo eletródico de transmissão para injeção de corrente elétrica pulsante e periódica em subsuperfície, cuja resposta é obtida por meio de um circuito receptor constituído de eletrodos impolarizáveis.

A cargabilidade é definida pelo potencial transiente variável entre dois pontos da curva de decaimento transiente normalizada pelo potencial primário. Neste trabalho foram realizadas

medidas de cargabilidade no domínio do tempo, em termos de milissegundos (ms), definido como (equação 2):

$$M = \frac{1}{V_c} \int_{t_2}^{t_1} V_t dt \quad \text{ms (equação 2)}$$

Nas aquisições de campo foi adotada a técnica de caminhamento elétrico, baseada na realização de medidas de resistividade aparente ao longo de um perfil, com o objetivo de investigar variações em um ou mais níveis em profundidade, por meio do arranjo Dipolo-dipolo. Este arranjo é caracterizado pelo uso de mesmo espaçamento entre eletrodos de corrente e potencial, orientados e deslocados de forma linear.

Foram adotados espaçamento de 5m entre eletrodos e investigação em 8 níveis de profundidade. Os parâmetros de aquisição foram: 100mA de corrente, tempo de decaimento de 10ms, janela única de leitura com 100ms, tempo de aquisição de 2s, quatro ciclos de aquisição e leituras concomitantes de resistência e cargabilidade. Essencialmente devido às leituras de cargabilidade, foram utilizados eletrodos não polarizáveis abastecidos por solução de sulfato de cobre (Cu-CuSO₄).

Foi utilizado o resistivímetro Terrameter SAS 4000, que consiste num módulo único de transmissão e recepção de dados, com resolução de 1mV, 100W de potência e quatro canais de leitura. Este equipamento é calibrado para transmissão de ciclos periódicos de corrente alternada de baixa frequência, procedimento que permite a filtragem de ruídos durante a aquisição de dados (ABEM, 2006).

Na área da mina foram realizados 300m de caminhamento elétrico, divididos em 4 linhas de 75m dispostas de forma paralela com direção N17° e 10m de espaçamento entre linhas (Figura 1).

Resultados

Os dados adquiridos em campo foram tabelados e processados inicialmente no programa RES2DINV (Loke & Barker, 1996), onde foram gerados modelos de inversão de seções com distância e profundidade, acompanhadas de correção topográfica.

O processo de inversão consiste na sobreposição de uma série de blocos retangulares ligados à distribuição dos pontos de campo na pseudo-seção, ou seja, aquela gerada pelos dados de campo em profundidade teórica. A profundidade da linha inferior dos blocos é definida para ser aproximadamente igual à profundidade equivalente de investigação de pontos com o maior espaço entre os eletrodos (Edwards, 1977).

A sub-rotina de modelagem direta é usada para calcular os valores de resistividade aparente, e uma técnica de otimização não-linear por mínimos quadrados é usada para a rotina de inversão (DeGroot-Hedlin & Constable 1990, Loke & Barker, 1996). O resultado é apresentado sob a forma de seção com distância versus profundidade em termos de pseudo-

seção, seção calculada e modelo de inversão. Neste trabalho são apresentados somente modelo de inversão em termos de resistividade e cargabilidade.

A linha 1 está localizada próxima a uma frente de lava em atividade, onde ocorrem pontos de exposição de minério de manganês. O georreferenciamento das linhas de caminhamento elétrico possibilitou relacionar áreas de contraste de parâmetros físicos detectados nos modelos de inversão, com zonas de concentração de minério (Figura 3).

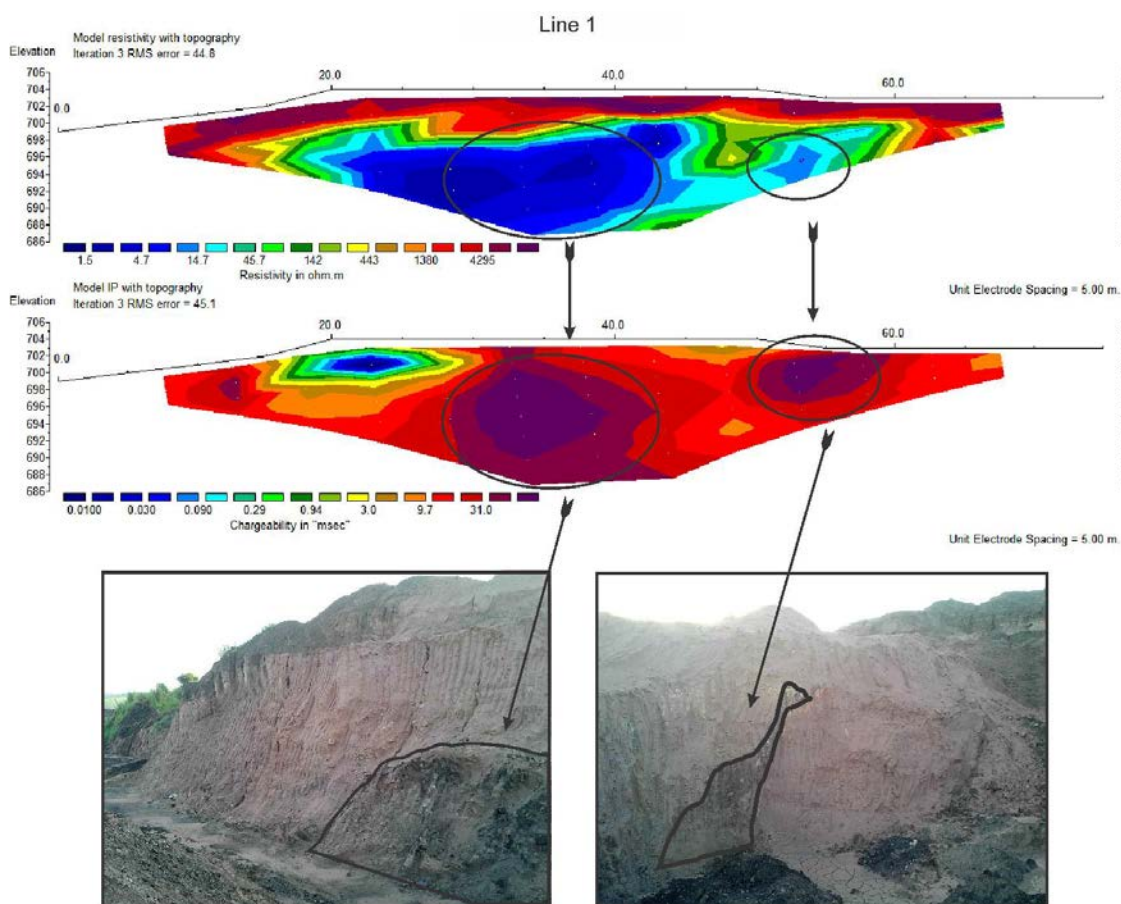


Figura 3 – Modelos de inversão em termos de resistividade elétrica e cargabilidade, com realce para áreas de baixa resistividade e alta cargabilidade, relacionada a zonas mineralizadas exposto em frente de lava localizada nas proximidades.

As áreas de concentração de minério de alto teor são caracterizadas no modelo de inversão da linha 1, por valores de cargabilidade acima de 30ms e de resistividade abaixo de $20\Omega.m$, num padrão condizente para óxidos e hidróxidos em solo e saprolito. Esta faixa de valores é descrita para sulfetos disseminados e ouro em contextos geológicos diversos (Alis, 1990; Irvine & Smith, 1990; White *et al.*, 2001; Moreira & Ilha, 2011; Moreira *et al.*, 2012).

Os valores derivados da inversão em termos de resistividade elétrica e cargabilidade foram novamente tabelados e processados na plataforma Oasis Montaj, desenvolvido pela Geosoft, para elaboração de modelos 3D e mapas 2D por meio da interpolação dos dados previamente processados.

Dentre os diversos algoritmos disponíveis no programa, nesta pesquisa foi adotado o método de mínima curvatura para interpolação dos dados. A interpolação consiste em um procedimento matemático de ajuste de uma função a pontos não amostrados, baseada em valores obtidos em pontos amostrados. A partir dos pontos amostrados é definido um reticulado com espaçamento relativo aos pontos. O valor de cada nó do reticulado é calculado por seleção de pontos mais próximos conhecidos, que posteriormente são filtrados de modo a suavizar os contornos resultantes e permitir o melhor ajuste com os valores originais.

Foram gerados dois blocos 3D, respectivos a interpolação das 4 linhas de caminhamento elétrico em termos de resistividade elétrica e cargabilidade, com ângulo de visão de NW para SE (Figura 4).

O modelo 3D de resistividade elétrica é caracterizado por elevados valores de resistividade elétrica em superfície, com gradativa redução dos valores acompanhada pelo aumento da profundidade, com destaque para baixos valores em tons de azul. No modelo 3D de cargabilidade predominam baixos valores em superfície, que aumentam em profundidade, destacados em tons de vermelho, em área correspondente ao predomínio de baixos valores de resistividade (Figura 4).

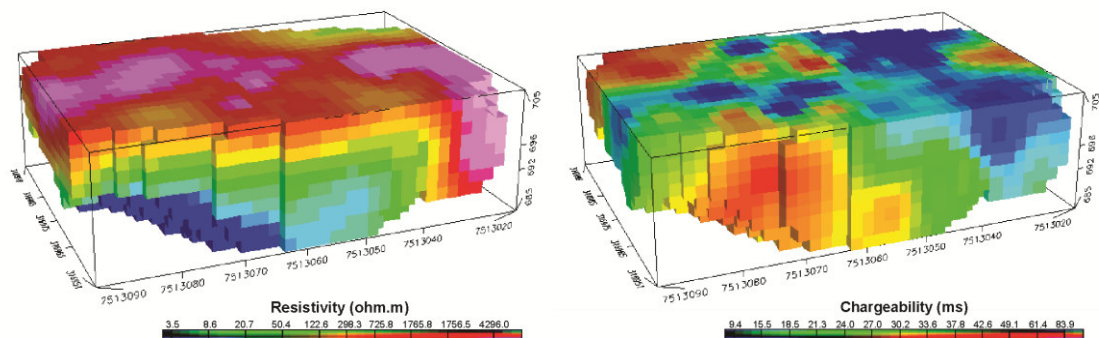


Figura 4 – Modelos 3D de resistividade elétrica e cargabilidade gerados pela interpolação das linhas de caminhamento previamente processadas.

Com o objetivo de verificar a continuidade deste padrão de valores em outras porções dos modelos 3D, foram gerados mapas de isovalores para profundidades previamente estabelecidas, limitadas a cota 693m e 697m, rotacionados para ângulo e visão de W para E (Figura 5).

A cota 693m corresponde à rampa da frente de lavra, onde afloram os corpos mineralizados correlacionados ao modelo de inversão da linha 1. Entre as cotas 697m e 693m predomina solo saprolítico pouco alterado, com fragmentos de rocha, foliação e bandamento preservados e reconhecíveis em campo, onde os corpos mineralizados apresentam estrutura maciça e são intensamente fraturados. A cota 697m representa o intervalo de solo ausente de fragmentos de rocha, onde ocorrem concentrações de minério manganífero atribuídas ao intemperismo do minério gondítico.

Os mapas para ambas as cotas revelam a inexistência de relações concomitante de baixa resistividade e alta cargabilidade para as demais linhas, coincidência aparentemente limitada a porção oeste dos mapas (posição da linha 1) (Figura 5).

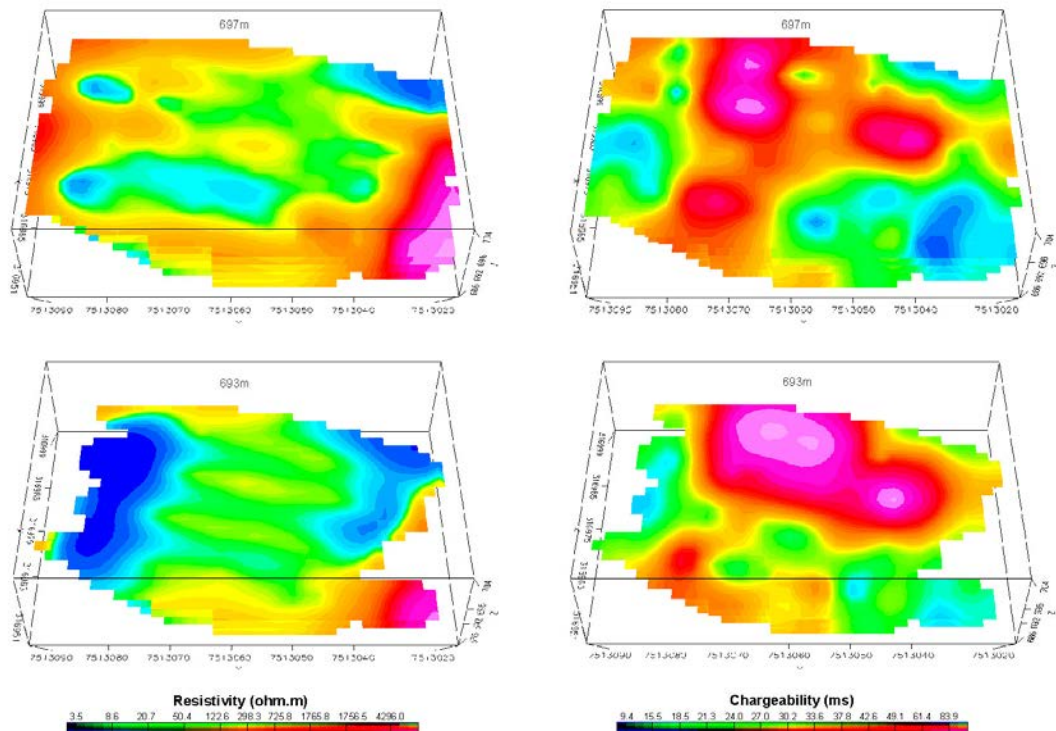


Figura 5 – Mapas de resistividade elétrica e cargabilidade para as cotas 693m e 697m.

A comparação dos mapas para a cota 693m revela uma área central com resistividade elétrica bastante homogênea, correspondente a um domínio com cargabilidade bastante contrastante, onde ocorrem valores elevados na porção central e leste, coincidente com as linhas 3 e 4, e valores moderados a baixos a oeste, coincidente com as linhas 1 e 2. A comparação entre os mapas para a cota 697m também seguem este padrão, embora predomine valores de resistividade elétrica relativamente superiores, além de valores relativamente menores de cargabilidade.

A resistividade elétrica é um parâmetro físico sensível a fatores como conteúdo mineral, porosidade, granulometria, presença de argilominerais, dentre outros (Keller & Frischknecht, 1966). Os materiais que constituem o perfil de alteração são basicamente representados quartzo e argilominerais, originados do intemperismo de quartzitos e xistos. As porções de solo próximas da superfície são caracterizadas por altos valores de resistividade pela ausência de umidade e predomínio de quartzo. Em contraste, ocorre o aumento da umidade concomitante a profundidade, acompanhado pelo aumento na quantidade de argilominerais lixiviados de posições superficiais pela infiltração de água da chuva. Neste caso, a resistividade elétrica deve ser atribuída essencialmente a processos de condução eletrolítica, em detrimento aos processos de condução eletrônica.

A forte influência do grau de umidade dos materiais geológicos é determinante no padrão de resistividade para as porções interiores do terreno estudado. A relação de baixa

resistividade e alta cargabilidade obtida para a linha 1 é provavelmente relacionada a sua proximidade a frente de lavra, onde a evapotranspiração resulta num perfil de alteração relativamente seco. Neste caso, as zonas de baixa resistividade elétrica coincidem com áreas mineralizadas ausente de umidade, onde predominam processos de condução eletrônica.

As medidas de cargabilidade também são em parte influenciadas por condicionantes geológicos semelhantes à resistividade elétrica, principalmente o conteúdo mineral. Este aspecto é determinante a polarizabilidade dos materiais geológicos, bastante intensos em sulfetos disseminados, medianamente intensos para óxidos e hidróxidos e pouco intensos em minerais silicáticos. Embora haja processos de polarização eletrolítica em presença de umidade ou de argilominerais, a polarizabilidade é pouco relevante em presença de sulfetos e óxidos minerais, responsáveis pelo fenômeno de polarização eletrônica.

Desta forma, as áreas de alta cargabilidade reveladas nos mapas provavelmente correspondem a zonas com minério de manganês, aparentemente relacionadas às exposições descritas na frente de lavra analisada. É possível ainda tais áreas correspondam a zonas de maiores concentrações de minério, diante dos valores relativamente superiores de cargabilidade, principalmente para a profundidade de 697m, constituída por material saprolítico.

Conclusões

Este trabalho revela que o uso combinado de métodos geofísicos correlacionados a descrições geológicas de zonas mineralizadas consiste num procedimento tecnicamente viável no planejamento de lavra de curto prazo. A calibração de dados geofísicos com áreas comprovadamente mineralizadas, pode resultar num detalhamento bastante superior ao adquirido somente a partir de sondagens para amostragem e análises químicas, e assim, num controle relativamente preciso de lavra.

A compreensão da existência e continuidade de corpos de minério para controle de teores em procedimentos de lavra é bastante dificultoso somente por meio das técnicas convencionais de perfuração e amostragem, principalmente em jazidas complexas, com distribuição de minério desvinculado de controles estruturais ou estratigráficos. O caráter pontual deste procedimento de controle pode resultar em volumes superestimados ou subestimados.

O caso avaliado neste trabalho consiste num depósito de manganês de origem supergênica, com óxidos e hidróxidos de manganês disseminados no intervalo de solo e saprolito, atualmente em processo de lavra, além de minério estruturalmente controlado em maiores profundidades, contido em xistos e gnaisses.

A aplicação dos métodos geofísicos da Eletrorresistividade e da Polarização Induzida neste contexto geológico complexo permitiu o mapeamento de zonas mineralizadas no intervalo de solo e saprolito. A calibração inicial entre zonas de minério exposto resultou numa assinatura geofísica de baixa resistividade e alta cargabilidade, padrão descrito em diversos trabalhos desenvolvidos em depósitos de óxidos e sulfetos contidos em rocha.

Entretanto, este padrão não ocorre em porções internas do depósito, caracterizadas pelo decréscimo da resistividade elétrica com o aumento da profundidade e horizontes com valores relativamente homogêneos, resultados que não permitem a definição de zonas mineralizadas. Em contrapartida, os dados de cargabilidade revelaram áreas com altos valores em profundidade, conectadas com zonas expostas comprovadamente mineralizadas.

Desta forma, os resultados deste trabalho indicam que a assinatura clássica de depósitos de óxidos em sulfetos por meio dos métodos geofísicos supracitados, pode ser esperada para depósitos primários ou não intemperizados. Para o caso de depósitos minerais de origem secundária, cujos condicionantes genéticos são controlados por processos de intemperismo, fatores como umidade, porosidade e teor de argilominerais, exercem grande influência na análise de medidas de resistividade elétrica, devido à semelhança entre valores para zona mineralizada e zona estéril.

Agradecimentos

Os autores agradecem a Mineração Itapira Ltda pela disponibilidade de suas instalações e acesso a área de lavra de minério.

Referencias

- ABEM. 2006. Terrameter SAS 4000 / SAS 1000 - Instruction Manual, 136f.
- ALLIS, R., 1990, Geophysical anomalies over epithermal systems. Journal of Geochemical Exploration, v. 36, p. 339 – 374,
- ANGELI, N.; CARVALHO, S. G.; OLIVEIRA, M. A. F.; CHOUDHURI, A.; SARAGIOTTO, J. A. R., 1984, Caracterização das ocorrências de minério de manganês em parte da porção nordeste do Estado de São Paulo. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 33., 1984, Rio de Janeiro. Anais. Rio de Janeiro: SBG, v. 8, p. 3710-3723.
- ANGELI, N.; KHAN, H.; ITO, G. M.; CARVALHO, S. G.; JIMENEZ-RUEDA, J.; PENHA, U.C., 2011, Geologia e Caracterização Tecnológica do Minério de Manganês da Mina Córrego do Cocho, Itapira (SP). Revista do Instituto de Geociências - USP Geol. USP, Sér. cient., São Paulo, v. 11, n. 3, p. 107-130.
- DNPM - Departamento Nacional de Produção Mineral – MME - Brasil., 2011, Sumário Mineral, volume 31.
- EDWARDS, L.S., 1977, A modified pseudosection for resistivity and induced polarization. Geophysics, 42: 1020-1036.

- DEGROOT-HEDLIN, C. & CONSTABLE, S., 1990, Occam's inversion to generate smooth, two-dimensional models from magnetotelluric data. *Geophysics*. v. 55, p. 1613-1624.
- IRVINE, R. J. & SMITH, M. J., 1990, Geophysical exploration for Epithermal deposits. *Journal of Geochemical Exploration*, v. 36, p.375 – 412.
- KELLER, G.V. & FRISCHKNECHT, F.C., 1966, *Electrical methods in geophysical prospecting*. Pergamon Press, 562p.
- KING, L. C. A., 1956, Geomorfologia do Brasil Oriental. *Revista Brasileira de Geografia*, Rio de Janeiro, v. 18, n. 2, p.147-265,.
- LAZARINI, A. P. Petrologia de metabasitos e ultrabasitos da região de Águas de Lindóia. 2000. Dissertação (Mestrado)- Instituto de Geociências e Ciências Exatas- Universidade Estadual Paulista (UNESP), Rio Claro, São Paulo, 2000.
- LOKE, M. H. & BARKER, R. D. Rapid least-squares inversion of apparent resistivity pseudosections by a quasi-Newton method. *Geophysical Prospecting*, nº 44, p. 131-152, 1996.
- MME - Ministério das Minas e Energia – Brasil. Plano Nacional de Mineração 2030 (PMN – 2030). Brasília, MME, 178p., 2010.
- MOON, C. J.; WHATELEY, M. E. G.; EVANS, A., 2006, M. *Introduction to Mineral Exploration*. 2º ed., Backwell Publishing, Oxford, 499 pp.
- MOREIRA, C. A. & ILHA, L. M., 2011, Prospecção geofísica em ocorrência de cobre localizada na bacia sedimentar do Camaquã (RS). *Revista da Escola de Minas, Ouro Preto*, vol. 64(3), p. 309-315.
- MOREIRA, C. A.; LOPES, S. M.; SCHWEIG, C.; SEIXAS, A. R., 2012, Geoelectrical prospection of disseminated sulfide mineral occurrences in Camaquã sedimentary basin, Rio Grande Sul State, Brazil. *Revista Brasileira de Geofísica*, vol 30 (2), p. 169-179.
- OLIVEIRA, M. A. F.; ZANARDO, A.; SILVA, A. H. M.; LAZARINI, A. P., 1998, Anfíbolitos associados à Faixa Metamórfica Amparo – Itapira na região de Socorro – Amparo – Águas de Lindóia. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 40, Belo Horizonte. *Anais*. Belo Horizonte: SBG/Núcleo MG, 1998. p. 456.
- SHERIFF, R. E., 1989, *Geophysical Methods*, New Jersey, Prentice Hall, p.175-201

470

471 SUMNER, J.S., 1976, Principles of induced polarization for geophysical exploration. Elsevier
472 Scientific, Amsterdam, 277 pp.

473

474 TELFORD, W. M.; GELDART, L. P.; SHERIFF, R. E., 2004, Applied Geophysics. 2^o ed., New
475 York, Cambridge University Press, 774p.

476

477 VERÍSSIMO, C. U., 1991, Evolução geológica dos corpos de protominério e mineralizações de
478 manganês associadas, porção leste de São Paulo e Sul de Minas Gerais. Dissertação
479 (Mestrado)-Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista
480 (UNESP), Rio Claro (SP).

481

482 ZANARDO, A., 2003, Pesquisa geológica e de matérias primas cerâmicas do centro nordeste
483 do estado de São Paulo. Tese (Livre Docência) - Instituto De Geociências e Ciências Exatas
484 (Unesp), Rio Claro (SP).

485

486 WERNICK, E. A., 1967, Geologia da região de Amparo, leste do Estado de São Paulo. Tese
487 (Doutorado), Faculdade de Filosofia Ciências e Letras, Rio Claro (SP).

488

489 WERNICK, E., 1978, Contribuição a estratigrafia do Pré-Cambriano do leste do estado de São
490 Paulo e áreas vizinhas. Revista Brasileira de Geociências, São Paulo, v. 8, n. 3, p. 206-216,