

Integração de dados geofísicos e geológicos em área mineralizada situada na Bacia sedimentar do Camaquã - RS

Syngra Machado Lopes¹; Walter Malagutti Filho²; César Augusto Moreira³; Alice Marques Pereira⁴; Karla Xavier de Figueiredo⁵

^{2,3} Departamento de Geologia Aplicada (DGA), Instituto de Geociências e Ciências Exatas (IGCE), Universidade Estadual Paulista (UNESP), Rio Claro, São Paulo, Brasil.

^{1,4,5} Instituto de Geociências e Ciências Exatas (IGCE), Universidade Estadual Paulista (UNESP), Rio Claro, São Paulo, Brasil

Copyright 2014, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

Este texto foi preparado para a apresentação no VI Simpósio Brasileiro de Geofísica, Porto Alegre, 14 a 16 de outubro de 2014. Seu conteúdo foi revisado pelo Comitê Técnico do VI SimBGf, mas não necessariamente representa a opinião da SBGf ou de seus associados. É proibida a reprodução total ou parcial deste material para propósitos comerciais sem prévia autorização da SBGf.

Resumo

A crescente demanda por metais básicos no mercado nacional e internacional, impulsiona reavaliações de ocorrências minerais, podendo estas tornarem-se minas. Este estudo integra os resultados dos métodos geofísicos da resistividade elétrica e polarização induzida com arranjo azimutal, aplicado em uma ocorrência mineral de sulfetos de cobre estudada e divulgada previamente, localizada na bacia sedimentar Camaquã, Rio Grande do Sul. Os resultados indicam a coincidência nos valores de alta cargabilidade e valores baixa de resistividade na área possivelmente mineralizada.

Introdução

A demanda crescente e a disponibilidade cada vez menor dos metais impulsionaram a criação e o aperfeiçoamento de novas técnicas de prospecção mineral, sendo assim, cada vez mais se faz interessante a reavaliação de antigas ocorrências minerais, utilizando métodos e técnicas atuais.

O trabalho de White *et al.* (2001), apresenta estudos de aplicação dos métodos da eletrorresistividade e polarização induzida, num depósito de cobre e ouro pórfiro na Austrália.

O minério está contido em rochas vulcânicas básicas a intermediárias e vulcanoclásticas, assentadas sobre calcários e sotopostos por quartzitos, arenitos e andesitos. Na área existiu uma mina com 6,12g/T de ouro em depósitos supergênicos.

Segundo Irvine & Smith (1990) realizaram levantamentos de Polarização Induzida e Eletrorresistividade na mina de ouro McLaughlin, Califórnia (USA). Segundo evidências as rochas do depósito sofreram alteração hidrotermal, com forte controle estrutural da mineralização. A rocha hospedeira é um serpentinito, carbonatado e com forte argilização, além de andesitos e sedimentos silicificados e sericitizados. Grande parte deste depósito é constituída por quartzo, veios de calcedônia e alto teor de pirita. Os resultados apresentaram áreas de elevada resistividade associadas a presença de quartzo e forte anomalia de cargabilidade próximo à superfície, que tende a diminuir

de intensidade em profundidade, semelhante ao ocorrido com a resistividade.

A resposta geofísica foi relacionada a veios mineralizados contendo de 10% a 30% de pirita com ocasionais zonas de pirita maciça de 1 metro de espessura, determinados a partir de sondagens e trabalhos posteriores.

Desta forma, os métodos da polarização induzida e eletrorresistividade são eficazes na detecção de minerais metálicos, sistemas de alteração hidrotermal ou veios de quartzo auríferos e zonas silicificadas.

O trabalho de Moreira & Ilha (2011) descreve os resultados de aplicação dos métodos da eletrorresistividade e da polarização induzida no estudo de ocorrência de cobre localizada em arenitos do Grupo Maricá, bacia sedimentar do Camaquã (RS). Os autores propõem o uso da disposição azimutal de linhas de caminhamento elétricos, com centro do arranjo posicionado sobre a ocorrência mineral aflorante. Os resultados sugerem a continuidade da mineralização em profundidade, caracterizada por baixos valores de resistividade e elevada cargabilidade.

A existência de uma zona com resistividade bastante elevada ao redor da área mineralizada, é interpretada como a fase final de cristalização de fluidos hidrotermais responsáveis pela gênese da ocorrência mineral, com zona central enriquecida em óxidos e sulfetos de cobre, zona intermediária enriquecida em carbonatos de cobre e zona exterior rica em quartzo.

De acordo com Moreira *et al.* (2013), este discute os resultados de estudos geológicos e geofísicos em um depósito de manganês supergênico na região sudeste do Brasil, o uso combinado de métodos geofísicos correlacionados com descrições geológicas de zonas mineralizadas é um procedimento tecnicamente viável, que geralmente apresenta bastante eficácia. A aplicação de métodos geofísicos de resistividade elétrica e polarização induzida neste contexto geológico complexo permitiu o mapeamento de zonas mineralizadas no intervalo do solo e saprolito.

Diante do exposto, justificando a eficácia destes métodos geofísicos em pesquisa mineral, este estudo tem por objetivo a reavaliação de uma ocorrência mineral a qual foi investigada através de métodos diretos (Bocchi, 1965). Com a aplicação da geofísica, dos métodos elétricos foi possível constatar que a área apresenta potencial mineral

Integração de dados geofísicos e geológicos em área mineralizada situada na Bacia sedimentar do Camaquã - RS

o que contradiz pesquisas antigas, assim vale ressaltar que localizar estudos diretos sem uma avaliação integrada anterior pode apresentar conclusões falsas sobre áreas promissoras.

O histórico da ocorrência mostra que devido à falta de aplicação de ferramentas como a geofísica, o furo foi realizado na direção contrária a região promissora, no contato litológico entre tufos (rocha que possivelmente apresenta sulfeto de cobre disseminado) e andesito (litotipo que apresentou altos valores de resistividade).

Localização, aspectos geológicos e históricos da atividade minerária

A área de estudo está localizada a 12 km da cidade de Caçapava do Sul, no Estado do Rio Grande do Sul. As coordenadas onde foi fixado o centro do arranjo para aquisição dos dados são: Lat. $30^{\circ} 25'17''$ S e Long. $53^{\circ} 31'57''$ W, (Figura 1). Está inserida na Bacia do Camaquã, localizada sobre o Escudo Sul-Rio-Grandense, incluindo unidades sedimentares (Paim et al., 2000).

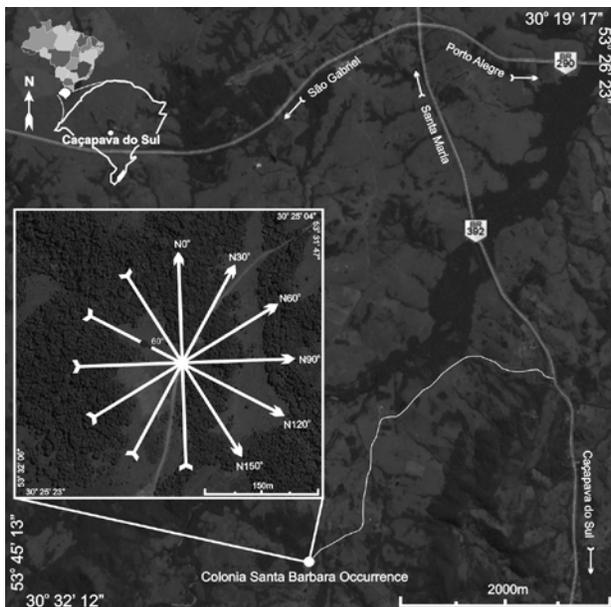


Figura 1 - Localização da área de estudos, com o arranjo das linhas de aquisição e a posição do furo testemunhado.

Em termos regionais, na área de estudos ocorrem litotipos pertencentes ao Complexo Metamórfico Vacacaí, seqüências vulcânicas e vulcanoclásticas do Grupo Bom Jardim, Acampamento Velho e Sedimentos Quaternários (figura 2).

O Complexo Metamórfico Vacacaí reúne as unidades vulcanossedimentar e metavulcânica.

O metamorfismo regional que afetou as rochas desta associação é de baixo grau, com rochas de grau metamórfico mais elevado apenas nas proximidades das intrusões graníticas, onde ocorre paragênese mineral de fácies hornblenda cornubianitas (Ribeiro, 1970).

A unidade metavulcanos sedimentar é constituída predominantemente por rochas pelíticas com ocorrências subordinadas de estreitos níveis arenosos e esporadicamente de rochas ortoderivadas.

As rochas metapelíticas apresentam coloração cinza-escuro e cinza esverdeado, com bandamento milimétrico ocasionado pela alternância de bandas claras e escuras. As rochas carbonáticas, associadas à litologias metapelíticas estão representadas por lentes de mármore, de granulometria fina a média, constituídas basicamente de carbonatos, com presença de talco e clorita.

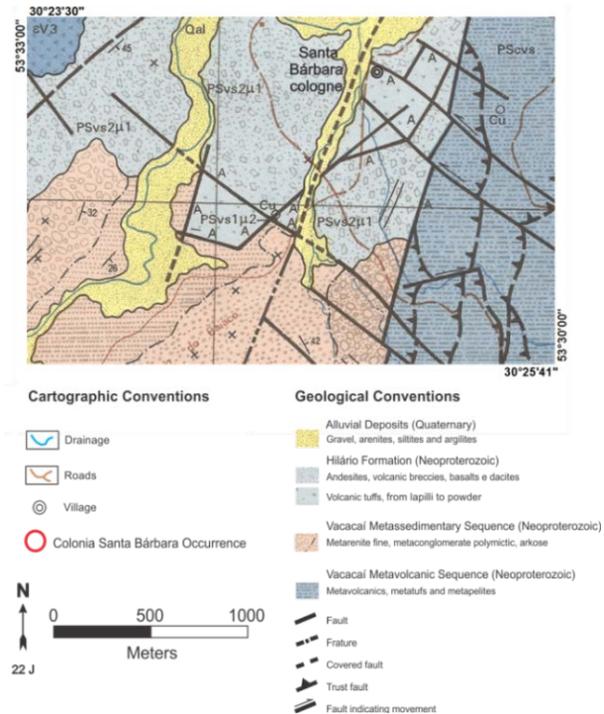


Figura 2- Mapa geológico da área de estudos (adaptado de Porcher, 1995).

As rochas metavulcânicas são predominantemente constituídas de rochas tufáceas e, subordinadamente, vulcânicas, as quais se associam a litologias epiclásticas.

Os litotipos metavulcano-clásticos, em função da variação da granulometria dos fragmentos constituintes, são classificados em tufos, tufos lapelíticos, tufos a pó, derrames e depósitos epiclásticos.

Tufos a pó são amplamente dominantes em relação aos demais litotipos desta unidade, apresentados com aspecto homogêneo de coloração cinza a cinza-esverdeado, freqüentemente com fenoclastos submilimétricos envolvidos por uma matriz fina.

As metavulcânicas são rochas com representação subordinada em relação à unidade vulcanoclástica,

constituem níveis métricos com rochas de aspecto maciço, com foliação metamórfica incipiente.

O Grupo Bom Jardim representa um evento vulcânico que superpõe às rochas siliciclásticas do Grupo Maricá. Os litotipos da Formação Hilário são representados por exposições de tufo vulcânicos, apresentados como fragmentos arredondados dentro de uma matriz de cinzas vulcânicas finas (Porcher, 1995).

Andesitos fortemente fraturados também ocorrem, sendo ricos em quartzo, carbonatos e veias barita. Manchas esverdeadas de malaquita ocorrer em ambos os litotipos.

Os basaltos que ocorrem na forma de derrames ou diques são cinza-escuro e preto, apresentam textura porfírica com fenocristais de piroxênio (augita) e plagioclásio imersos a uma matriz de granulação fina.

Análises geofísicas e estruturais locais (Schweig, 2010) sugerem que a mineralização tem um forte controle estrutural, ocorrendo na intersecção de planos de falhas ortogonais, com direções N50 ° e N150 °.

A região é historicamente conhecida por suas atividades de mineração, principalmente de cobre e ouro, primordialmente durante o século XIX, com duração até a década de 1990 (Ronchi & Lobato, 2000).

Durante a década de 90 ocorreu uma redução significativa dos preços dos metais no mercado internacional, o que provocou a interrupção da atividade minerária, incluindo, a mina de Camaquã. Atualmente, as atividades de mineração, no município, estão restritas à extração de calcário.

Os minerais indicadores de mineralização são barita, quartzo e calcita nas juntas e zona brechada, que em superfície dão lugar a siderita. A concentração de cobre, entretanto, é mínima (Bocchi, 1965).

O cobre visível em superfície, possivelmente resultou de uma concentração supergênica, com minerais de superfície representados por malaquita e calcosina secundária em níveis horizontalizados na parte superior do solo.

A ocorrência de cobre na da área de estudo foi denominada Colônia Santa Bárbara, prospectada pelo Serviço Geológico do Brasil (DNPM) (Bocchi, 1965). Os trabalhos de prospecção foram iniciados com a abertura de três trincheiras, com amostragem a cada metro, por dez metros.

O teor de cobre foi menor do que 1% para a amostra analisada em núcleos ricos. A perfuração de um poço, com uma imersão de 40 ° na direção N ° 120, revelou a presença de zonas de cloritização e os níveis de sulfeto com pirita (Figura 3)

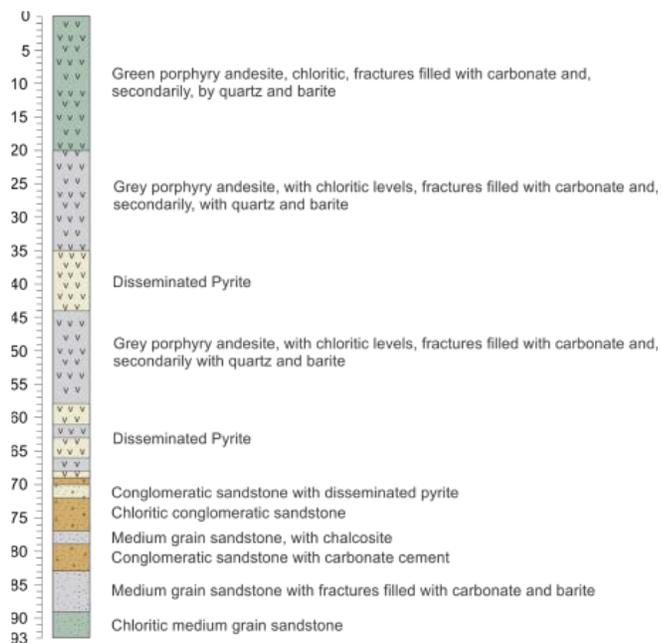


Figura 3 – Descrição do furo de sondagem

Materiais e Métodos

Os métodos da eletrorresistividade e polarização induzida foram utilizados para medir a resistividade elétrica e a cargabilidade em subsuperfície. A aplicação destes métodos baseia-se na medida de propriedades físicas dos materiais geológicos, bem como nos fenômenos físicos envolvidos, os quais estão detalhados em Orellana (1972); Sumner (1976) e Telford et al. (1990).

Neste trabalho foi aplicada a técnica do imageamento elétrico, com o arranjo Wenner-Schlumberger, utilizando-se um espaçamento constante entre os eletrodos de 15m. As medidas da variação do potencial elétrico, para o cálculo da resistividade e da cargabilidade foram realizadas em 10 níveis de profundidade.

Os ensaios foram realizados 6 linhas com 480m de comprimento cada, perfazendo um total de 2880m de aquisição. As linhas foram dispostas em superfície de forma azimutal, com o ponto central fixado sobre a ocorrência mineral, espaçadas num ângulo de 30° (Figura 1).

O equipamento utilizado foi o resistivímetro Syscal Pro, fabricado pela Iris Instruments (França), com resolução de 1 μ V. Os dados foram processados com o software RES2DINV (Loke e Barker, 1996), e visualizados através de modelos de inversão.

O modelo de visualização 3D foi gerado a partir de dados modelados anteriormente em 2D, utilizando o programa Oasis Montaj desenvolvido pela Geosoft.

Resultados

Os dados modelados para cada seção de resistividade e cargabilidade foram georreferenciados e reunidos em uma única planilha para geração de modelos tridimensionais, apresentados em escalas de cores. Os valores elevados relacionam-se às cores quentes (tons de rosa), enquanto que os baixos valores são apresentados em cores frias (tons de azul).

A vista superficial do bloco apresenta uma extensa área de baixa resistividade, valores em torno de $68,5 \Omega m$, limitada apenas por valores mais elevados de resistividade na extremidade SW da área.

Os resultados geofísicos indicam que num perfil NE/SW, basicamente no sentido das linhas N60° e N90°, ocorrem tufo vulcânicos onde foi observado quebra de relevo, aproximadamente 180m do início da seção (Figura 5).

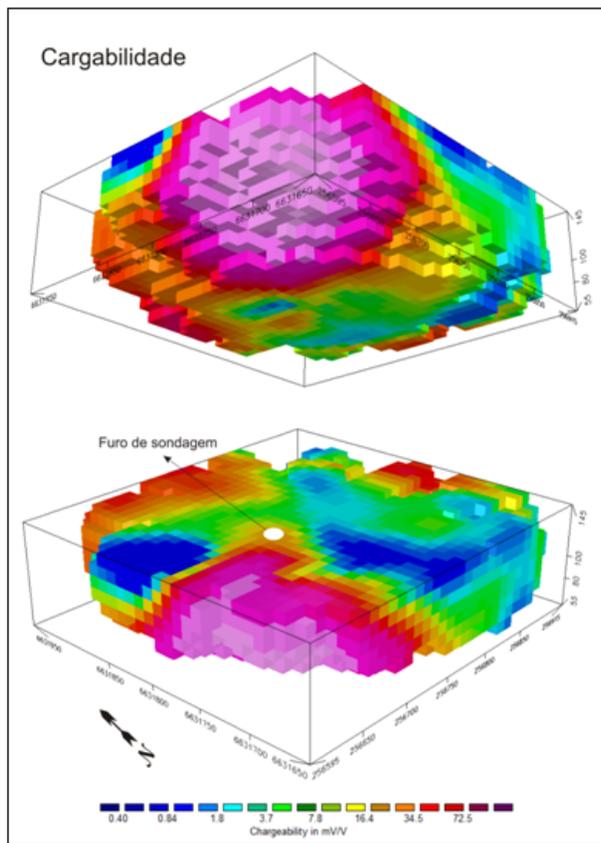


Figura 5 – Modelo pseudo 3D em termos de 5a - cargabilidade e 5b - resistividade.

O furo de sondagem (Figura 3) está localizado na proximidade do contato por falha normal, entre os tufo e metaconglomerados e na sua descrição, observa-se a presença de níveis sulfetados em pirita e cloritização em profundidade. Este furo está posicionado numa interface entre valores de cargabilidade moderados a altos, com mergulho para N120°, ou seja, no sentido de uma zona com baixos valores de cargabilidade (Figura 5a e 5b).

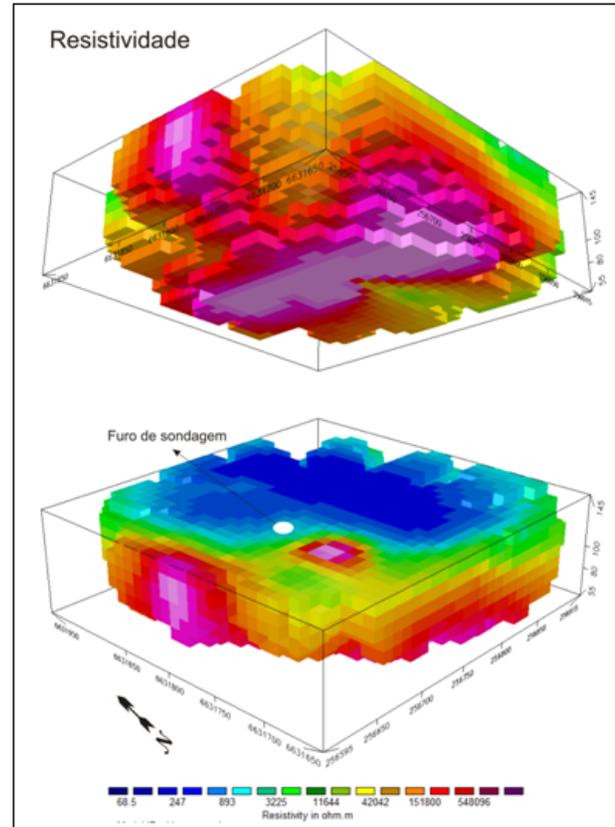


Figura 5 – Modelo pseudo 3D em termos de 5a - cargabilidade e 5b - resistividade.

O bloco que representa a cargabilidade (Figura 5 a) revela claramente a ocorrência de altos valores entre o azimute N30° e N90°, predominante no início das linhas N30°, N60° e N90°, ou seja, na porção SW da área de estudos. Esta região é representada por tufo a pó e tufo lapilítico que constituem as porções mais elevadas do terreno, localmente caracterizados por coloração vermelha a rosa escuro, com matriz de granulometria areia média e fragmentos centimétricos de clásto vulcânicos. Algumas exposições apresentam impregnações de carbonatos de cobre como malaquita.

Os altos valores de cargabilidade está aliada à presença dos tufo, o que pode indicar a continuidade de uma zona com sulfetos disseminados no sentido oeste.

O modelo 3D apresenta baixos valores de resistividade (Figura 5b) na extremidade SW do bloco, na mesma área de ocorrência de valores de elevada cargabilidade. Contudo, a área de baixa de resistividade é menos abrangente, com valores pouco contrastantes quando comparados à área de cargabilidade.

Os dados revelam claramente um contraste de valores entre os principais litotipos da área, ou seja, baixos valores de cargabilidade para metaconglomerados e andesitos e altos valores para os tufo vulcânicos.

A visão em perspectiva de subsuperfície mostra elevados valores de resistividade em toda a base do bloco, correlacionável com áreas de baixa cargabilidade, algo que indica a provável ausência de mineralizações além da área de tufo vulcânico, ou seja, no domínio do metaconglomerado.

A gênese do minério estudado, provavelmente ocorreu por meio de um sistema de fraturas por onde se deu o fluxo hidrotermal magmático, que resultou em preenchimento de espaços vazios em fraturas e poros, conforme sugerem os dados geológicos e geofísicos.

Conclusões

No mapa geológico disponível para a área a ocorrência mineral mostra-se associada aos dois sistemas de falhas, o que sugere um depósito mineral estruturalmente controlado. No entanto, o predomínio de valores elevados de cargabilidade e valores baixos de resistividade na área dos tufo vulcânicos indicam a presença de sulfetos disseminados.

Dessa forma conclui-se que o sistema de falhas serviu provavelmente como forma preferencial para o fluxo de fluidos hidrotermais, como no caso da Mina do Camaquã.

No caso da ocorrência estudada, o acesso de fluidos a litotipos com alta porosidade e as condições favoráveis para a cimentação, foram fatores que permitiram a cristalização de sulfetos na forma disseminada, em tufo vulcânicos.

O andesito e o metaconglomerado são rochas com porosidade muito baixa, o que provavelmente impossibilitou a mineralização disseminada, exceto no preenchimento de fraturas.

A descrição do furo de sondagem indica que os níveis de pirita estão disseminados em fraturas e poros, e a cloritização, mostra um tipo de mineralização no veio hidrotermal, dentro de uma área estruturalmente controlada com mineralização em fraturas.

Os dados geofísicos apontam para uma área com potencial mineral, contrariamente ao que foi concluído nas pesquisas realizadas na década de 70. Desta forma, pode-se concluir que estudos metalogenéticos aliados a pesquisas indiretas são de extrema importância nas etapas iniciais de uma pesquisa.

Referências

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). Geologia USP série Científica, v. 11, n. 3, p. 107-130.

Bocchi, P. R. 1965. Relatório da Ocorrência Cuprífera de Colônia de Santa Barbara. Brasil. Div. Fom. Prod. Min., DNPM. Inédito.

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

Irvine, R. J. & Smith, M. J. 1990. Geophysical exploration for Epithermal deposits. Journal of Geochemical Exploration, v. 36, p.375 – 412.

Loke, M. H. & Barker, 1996. Rapid least-squares inversion of apparent resistivity pseudosections by a quasi-Newton method. Geophysical Prospecting, n. 44, p. 131-152.

Moreira, C.A.;Borges.R.M.;Vieira G.M.; Malagutti Filho.W.;Montanheiro M.A.F.; 2013. Geological and geophysical data integration for delimitation of mineralized areas in a supergene manganese deposits. Geofísica Internacional, p 145- 156.

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,

Orellana, E. 1972 Prospeccion Geoelectrica en Corriente Continua, Biblioteca Técnica Philips, Madrid: Paraninfo, 523 p.

Paim, P.; Chemale J. F.; Lopes, 2000. R. C.. A Bacia do Camaquã. In: Holz, Michael, Luiz Fernando (Org.). Geologia do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, p. 231-274.

Porcher, C. A. et al. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. Folha Passo do Salsinho, Folha SH.22-Y-A-I-4. Estado do Rio Grande do Sul. Escala 1:50.000. Brasília: CPRM, 1995.358 p.

Porcher, C.C.; Fernandes, L. A. D.; Monteiro, A. O. 1995, Zonamento Metamórfico das Granadas e Dados de Geotermometria dos Metamorfitos Cerro do Facão - Suíte Metamórfica Porongos (RS). In: Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos, 5., 1995, Gramado. Boletim de resumos Expandidos... Gramado: Sociedade Brasileira Geologia, p. 69-70.

Ribeiro, M. 1970, Geologia da Folha de Bom Jardim, Rio Grande do Sul, Brasil. Rio de Janeiro: DNPM,. Boletim 2.

Ronchi, H.L.; Lobato, C.O.; 2000 ; Minas do Camaquã. Editora Unisinos,p.348.

Schweig, C.2010.; Caracterização geológica da ocorrência de Cobre Colônia de Santa Bárbara, Município de Caçapava do Sul (RS). Caçapava do Sul; 77 p. Monografia (Graduação em Geofísica) – Universidade Federal do Pampa.

Sumner, J.S. 1976. Principles of induced polarization for geophysical exploration. Elsevier Scientific, Amsterdam, 277 p.

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

White S. R.M.S. Collins R. Denne R. Hee R. Brown P. 2001. A new survey design for 3D IP inversion modelling at copper hill. Exploration Geophysics, vol 32, p.152 – 155,

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