



ESTUDO ELETROMAGNÉTICO NO DOMÍNIO DA FREQUÊNCIA EM SEQUÊNCIA ULTRAMÁFICA, MUNICÍPIO DE SÃO SEPE - RS.

William Ribeiro Lopes*, César Augusto Moreira & Adriano da Rosa Seixas.

*Universidade Federal do Pampa – UNIPAMPA. Avenida Pedro Anunciação, s/n, Vila Batista, CEP 96570-000, Caçapava do Sul – RS.

Copyright 2011, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation during the 12th International Congress of the Brazilian Geophysical Society held in Rio de Janeiro, Brazil, August 15-18, 2011.

Contents of this paper were reviewed by the Technical Committee of the 12th International Congress of the Brazilian Geophysical Society and do not necessarily represent any position of the SBGf, its officers or members. Electronic reproduction or storage of any part of this paper for commercial purposes without the written consent of the Brazilian Geophysical Society is prohibited.

Abstract

Studies of mineral prospecting and exploration by geophysics are essential for the recognition and incorporation of new reserves, due to its low cost compared to direct methods of investigation and the possibility of covering large areas. There are several geophysical methods in mineral exploration, such as Electrical and Electromagnetic, besides Magnetometry and gamma spectrometry, because of the contrast between areas of physical properties and mineralized rocks. This paper presents the results of applying the electromagnetic method, using the technique of electromagnetic pathway, the characterization of a metamorphosed ultramafic body and chrome mineralization, located in the rural municipality of São Sepe (RS). The study area has gathered rocks Metamorphic Core Complex Metamorphic Complex-ultramafic and Vacacaí. These complexes bring together a wide range of lithotypes, predominantly ultrabasic terms in the form of magnesian serpentinites and schists, with subordinate terms metabasic. The electromagnetic method in the frequency domain was effective for the objectives proposed in the work, presented a striking contrast of physical properties with low values for apparent conductivity compared to the serpentinite rocks. The apparent conductivity measurements were low for the serpentinite due to the occurrence of pyroxene and amphibole minerals which are resistive. Structural measures were essential to understanding the projection of serpentinite at depth. Understanding the results of conductivity contrast was apparent basis consistent with the structural measures, which infer the possible contours that limit the serpentinite.

Introdução

Desde os primórdios o homem vem em busca por recursos minerais de interesse, são feitas observações a respeito das relações entre certos tipos de mineralizações e determinados tipos litológicos. A partir disso foi estabelecida uma série de associações entre litologias e mineralizações tais como: granito e

cassiterita; rochas ultrabásicas e cromita. Contudo, nem todos os granitos apresentam mineralizados em estanho, e que nem todas as rochas ultrabásicas continham depósitos de cromita (PEREIRA, 2003).

A cromita é usada tanto como mineral metálico quanto não metálico, sendo considerado um dos mais importantes minerais industriais em todo o mundo. Os minérios de cromita são empregados como fonte de cromo para as indústrias metalúrgicas, química, de refratários e como areia nos processos de fundição. A indústria metalúrgica desponta como o maior consumidor dos produtos de cromita, comparada às demais (CHATTERJEE, 2007).

Segundo Luiz & Silva (1995), os métodos geofísicos são altamente aplicáveis em prospecção mineral, pois a partir do contraste de propriedades físicas entre alvo potencialmente mineralizado e a rocha encaixante permite a detecção de acumulações minerais economicamente significativas.

Campanhas de prospecção mineral envolvem diferentes etapas de trabalho, cada uma desenvolvida em escalas apropriadas. O reconhecimento, mapeamento e amostragem devem ser levados em consideração com o tamanho da área. O método de sensoriamento remoto e análise de mapas geológicos são de grande aplicação para localização e situação de alvos, após análises geoquímica para confirmar a ocorrência. Logo entra aplicação de geofísica terrestre e por fim furos de sondagem para cubagem de reserva (PEREIRA, 2003).

A geofísica é uma ferramenta indireta de investigação altamente aplicável em estudos de prospecção e pesquisa mineral, devido à sensibilidade do instrumental utilizado diante de contraste de parâmetros físicos associadas à presença de depósitos minerais no ambiente geológico.

Os métodos geofísicos desde que trabalhados em escalas adequadas podem ser de fácil e rápida aquisição possibilitando a cobertura de grandes áreas em curto período de tempo e com custo relativamente baixo comparado aos métodos diretos, porém os resultados são baseados em variações de parâmetros físicos e do conhecimento e capacidade de interpretação do geofísico ou geólogo. Já os métodos diretos como amostragem de solo e rocha e furos de sondagem temos dados concretos sobre o bem mineral em estudo.

A geofísica pode ser utilizada na localização de vários tipos de depósitos, com destaque para prospecção geofísica em rochas ultramáficas. O método Eletromagnético no domínio da frequência é de fácil e rápida aquisição e não necessita de aterramento, o que permite uma ampla cobertura.

Caracterização da área de estudo

A área de estudos está localizada na zona rural do município de São Sepé (RS), distante 9 km do viaduto no

entroncamento entre a BR392 e a BR290. O acesso à área é possível por estrada de terra (Figura 1).



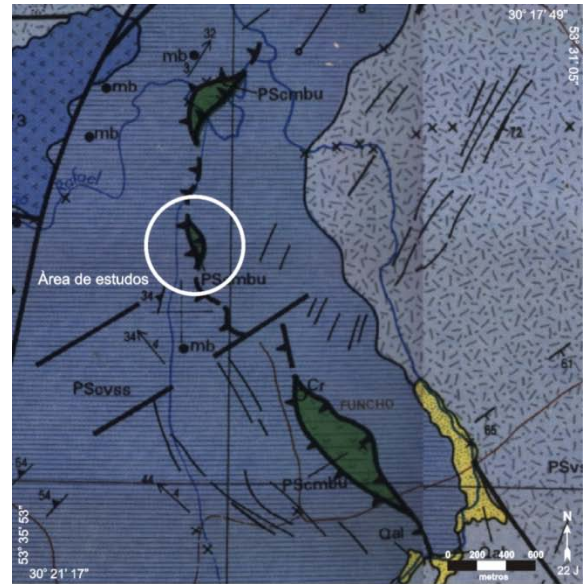
Fonte: Adaptado de Google Earth, 2010.

Figura 1 – Localização da área de estudos.

Esta área é coberta pelo Programa de Levantamentos Básicos Geológicos (PLBG) Passo do Salsinho, que consiste num estudo sistemático em termos geológicos, geofísicos, geoquímicos e metalogenéticos em escala 1:50.000, que cobrem os municípios de Caçapava do Sul, São Sepé e Vila Nova do Sul, Estado do Rio Grande do Sul.

Neste estudo são descritos algumas sequências máficas/ultramáficas metamorfizadas, uma das quais selecionadas para estudos por meio do presente projeto. Nas proximidades desta ocorrência, foram obtidas amostras de rocha para posteriores análises químicas, que indicaram teores de cromo que permitem classificar uma ocorrência em cromo na área (PORCHER, 1995). A área investigada está inserida no segmento meridional da Província Mantiqueira, mais precisamente no setor centro-sul do estado do Rio Grande do Sul, delimitada pelas províncias Paraná e Costeira, constituindo o denominado Escudo Sul-Rio-Grandense. (PORCHER, 1995).

Na área estudada apresenta rochas reunidas no Complexo Metamórfico Básico-ultrabásico, Complexo Metamórfico Vacacaí e Coberturas Vulcanossedimentares representadas pelos Grupos Maricá e Cerro do Bugio (Fig. 2).



Convenções Cartográficas

- Drenagens
- Estradas

Convenções Geológicas

- Depósitos Aluvionares (Quaternário)
Cascalhos, areias, silte e argilas
- GRUPO CERRO DO BUGIO**
Formação Acampamento Velho (Neoproterozóico)
Derrames riolíticos alcalinos a peralcalinos
- GRUPO MARICÁ**
Formação São Rafael (Neoproterozóico)
Arenitos, rítmicos e tempestitos
- Complexo Metamórfico Vacacaí (Neoproterozóico)**
Unidade Vulcano-sedimentar
Metavulcânicas, metafufos e metapelíticas subordinadas
- Complexo Máfico-Ultramáfico Cerro Mantiqueira**
Metamafito, metagabro, metadiorito, xisto magnesiano
- Falha
- Fratura
- Falha encoberta
- Falha de empurrão aproximada

Fonte: Adaptado de Porcher, 1995.

FIGURA 2 - Mapa geológico da área de estudos.

Método

Os campos eletromagnéticos possuem duas componentes diretamente mensuráveis:

- Os campos elétrico e magnético que, no espaço livre podem ser descritos em termos de vetores de intensidade de campo E e H, ou de vetores de densidade de fluxo D e indução magnética B. Esses campos são funções da posição (r, x, y, z) e do tempo t (segundos), ou da frequência f (Hz) (TELFORD *et al.*, 1990).

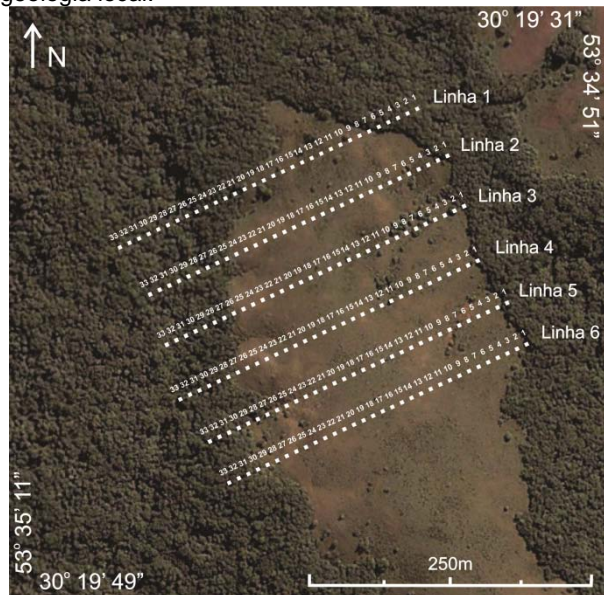
Os métodos de levantamento eletromagnético (EM) fazem uso da resposta do solo à propagação de campos eletromagnéticos, que são compostos por uma intensidade elétrica alternada e por uma força de magnetização. Os campos eletromagnéticos primários podem ser gerados pela passagem de uma corrente

alternada através de uma pequena bobina composta de muitas voltas de fio ou através de um grande anel de cabo elétrico (loop). A resposta do solo é a geração de campos eletromagnéticos secundários, e esses campos resultantes podem ser detectados pelas correntes alternadas que eles induzem ao fluir numa bobina receptora pelo processo de indução eletromagnética (KEAREY, 2009).

Este trabalho apresenta os resultados da técnica de caminhamento eletromagnético, realizado com cabos de 10 e 40 metros. Foi realizada cobertura de 6 linhas com 330 metros de comprimento equidistante paralelamente a 50 metros, para caracterização de um corpo ultramáfico metamorfozido e mineralizado em cromo (Figura 3). Foi utilizado o condutímetro EM 34-3 modelo XL, fabricado pela Geonics Ltda. – Canadá (GEONICS, 2007), fornecido pela Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA). Este equipamento permite leituras de condutividade aparente em milliSiemens/metro (mS/m).

Os dados foram integrados por interpolação por meio do programa SURFER, versão 8, desenvolvido pela Golden Software - EUA. O SURFER é um pacote de programas utilizado para cálculo e confecção de mapas a partir de variáveis distribuídas de forma regular ou irregular.

A interpolação dos dados contou com o método da vizinhança, devido à fidelidade aos dados de entrada, além de apresentar os resultados mais coerentes com a geologia local.



Fonte: Adaptado de Google Earth (2010).

FIGURA 3 - Mapa de localização das linhas.

Resultados e Discussão

Os resultados são apresentados sob a forma de mapas de interpolação em termos de condutividade aparente para profundidades de até 7,5, 15, 30 e 60 metros, (Figuras 4, 5, 6 e 7).

Foram realizadas medidas estruturais em campo onde aflora o serpentinito entre os pontos 20 e 25 das linhas 2, 3 e 4 que mostram valores médios de N105°/ 48°SW na linha 2, N60°/40°SW, e N62°/55°NW. Os restantes das

medidas estruturais são entre o meio e o início das linhas 2, 3, 4 e 5, mostram o comportamento do xisto.

No mapa de condutividade aparente para profundidade de até 7,5 metros apresenta um amplo contraste de valores, que variam de 5 mS/m a 17 mS/m. As linhas 1, 5 e 6 os valores oscilaram de 11 mS/m a 16 mS/m, pequena variação compara as linhas 2, 3 e 4 que variam desde valores de 5 mS/m até 16 mS/m. A isolinha de 8 mS/m foi adotada como limite do serpentinito com base nas medidas estruturais realizadas em campo que quando referenciados no mapa para condutividade aparente de até 7,5 metros foi coerente com os limites do serpentinito. A linha 2 apresenta condutividade de 5 mS/m a 9 mS/m entre os pontos de leitura 20 ao 31. A linha 3 apresenta condutividade de 7 mS/m a 9 mS/m entre os pontos de leitura 20 ao 29. A linha 4 apresenta condutividade de 8 mS/m a 9 mS/m entre os pontos de leitura 20 ao 27 (Figura 3). É visível um maior contraste de condutividade aparente para a linha 2, o início da linha apresenta valores de 16 mS/m e decresce para 8 mS/m no ponto de leitura de número 22, e para 6 mS/m no ponto 25 e depois cresce para 11 mS/m no final da linha (Figura 4).

No mapa de condutividade aparente para profundidade de até 15 metros apresenta um contraste de valores que vai de 6 mS/m a 17 mS/m. As linhas 1, 5 e 6 apresentam um contraste relativamente pequeno entre 11 mS/m e 17 mS/m comparado as linhas 2, 3 e 4 que foram desde valores de 5 até 16 mS/m. Para profundidade de até 15 metros foi adotada a isolinha de 8mS/m com base no ângulo de mergulho das medidas estruturais que condicionam o serpentinito, visível uma pequena variação no diâmetro da isolinha que diminui em profundidade. A linha 2 apresenta condutividade de 8 mS/m a 9 mS/m entre os pontos de leitura 20 ao 27. A linha 3 apresenta condutividade de 7 mS/m a 9 mS/m entre os pontos de leitura 20 ao 29. A linha 4 apresenta condutividade de 8 mS/m a 9 mS/m entre os pontos de leitura 21 ao 29.

Neste caso a linha 3 apresenta um contraste maior em termos de condutividade aparente, visto que o início da linha apresenta valores de 13 mS/m, no ponto de leitura número 23 o valor é de 8 mS/m, diminui para 7 mS/m no ponto 26 e depois cresce para 12 mS/m no final da linha (Figura 5).

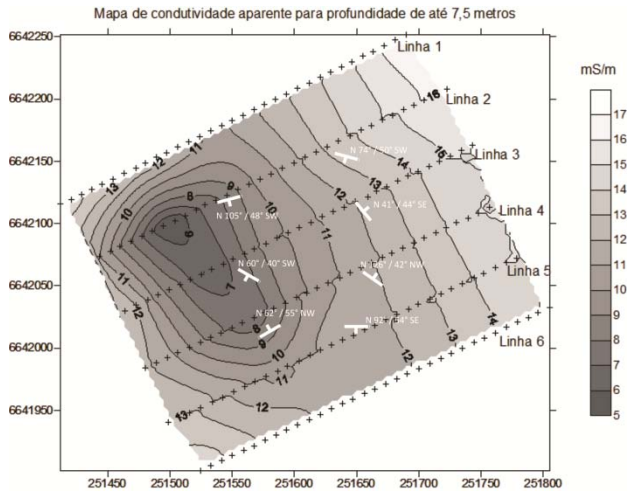


FIGURA 4 - Mapa de condutividade aparente para profundidade de 7,5 metros e medidas estruturais.

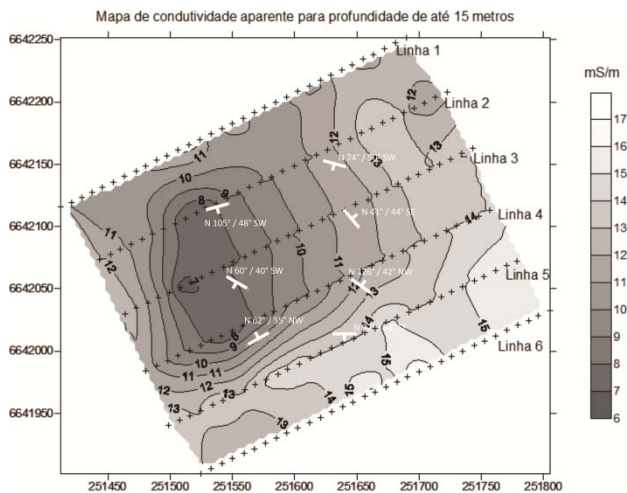


FIGURA 5 - Mapa de condutividade aparente para profundidade de 15 metros e medidas estruturais.

Nos mapas de condutividade aparente para profundidade de até 7,5 m e 15 m ocorre uma leve variação, ambos apresentaram valores máximos de 17 mS/m e o mínimo foi de 6 mS/m para o mapa profundidade de até 7,5 m e 7 mS/m para profundidade de até 15 metros.

O mapa de condutividade aparente para profundidade de até 30 metros apresenta valores mais baixos dentre todos os demais, que variam de 3,5 mS/m até 7,5 mS/m. As linhas 1, 5 e 6 não apresentam grande variação, com valores entre 5,5 mS/m a 7,5 mS/m, em contraste com as linhas 2, 3 e 4, que apresentam uma variação maior com valores de 3,5 mS/m a 7,5 mS/m.

A projeção do ângulo de mergulho das medidas estruturais foi coerente com a isolinha de 4 mS/m. Esta isolinha foi adotada como limite do serpentinito para a profundidade de até 30 metros de profundidade.

A linha 2 apresenta condutividade de 4,5 mS/m a 5 mS/m entre os pontos de leitura 20 ao 31. A linha 3 apresenta condutividade de 4 mS/m a 5 mS/m entre os pontos de leitura 21 ao 32. A linha 4 apresenta condutividade com valores abaixo de 3 mS/m até 5 mS/m entre os pontos de

leitura 21 ao 31. É visível um maior contraste de condutividade aparente para a linha 4, com valores de 8 mS/m no início, decréscimo até valores de 4,5 mS/m e valores de 5 mS/m no final da linha (Figura 6).

No mapa de condutividade aparente para profundidade de até 60 metros, os valores variam de 4,5 mS/m a 11 mS/m. As linhas 1, 2, 5 e 6 apresentam valores pouco variáveis, entre 6 mS/m a 11 mS/m, em contraste com as linhas 3 e 4, onde ocorrem maior variação com valores, entre 4,5 mS/m a 11 mS/m.

Com base na projeção do ângulo de mergulho das medidas estruturais foi coerente atribuir que a isolinha de 4,5 mS/m é a que melhor limita o serpentinito para profundidade de até 60 metros de profundidade.

A linha 3 apresenta condutividade de 4,5 mS/m a 6,5 mS/m entre os pontos de leitura 22 ao 32. A linha 4 apresenta condutividade de 4,5 mS/m a 6,5 mS/m entre os pontos de leitura 23 ao 32 (Figura 3). A faixa de maior contraste é representada pelas linhas 3 e 4 que apresentam valores de condutividade aparente de 11 mS/m no início das linhas e decréscimo para valores de 4,5 mS/m na linha 3 no ponto 25 e na linha 4 no ponto 28. (Figura 7).

Na comparação dos mapas de condutividade aparente para profundidade de até 30m e 60m ocorre uma variação relativamente pequena nos valores de condutividade aparente com valores mínimos de 3,5 mS/m e 4,5 mS/m e máximos de 7,5 mS/m e 11 mS/m, respectivamente. É notável que valores de condutividade aparente nos mapas para até 7,5 e 15 metros de profundidade são relativamente altos comparados com os valores para os mapas com profundidade de até 30 m e 60 m.

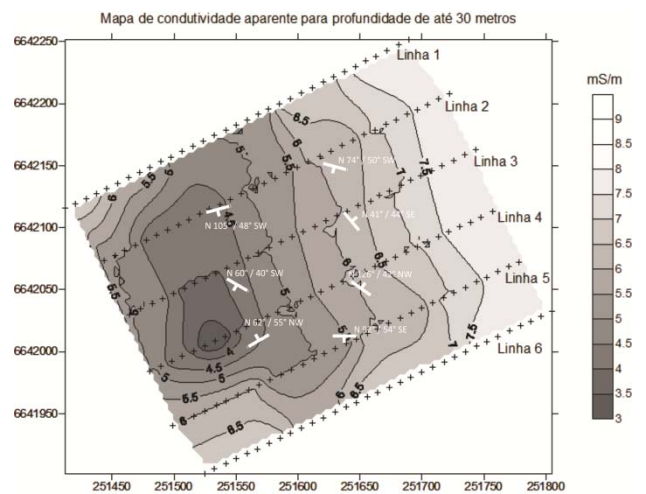


FIGURA 6 - Mapa de condutividade aparente para profundidade de 30 metros e medidas estruturais.

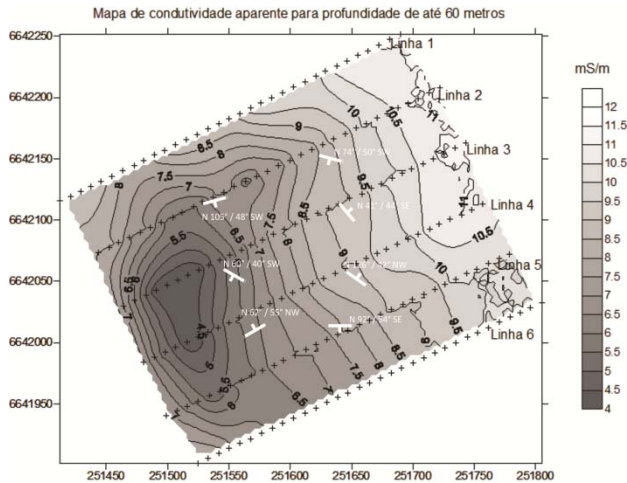


FIGURA 7 - Mapa de condutividade aparente para profundidade de 60 metros e medidas estruturais.

Para os mapas de 7,5 m e 15 m os valores variam desde 5 mS/m até 17 mS/m enquanto nos mapas até 30 m e 60 m a variação é menor com valores médios de 3,5 mS/m até 11 mS/m. A variação de condutividade aparente nos mapas de 7,5 m e 15 m foi cerca de 40% maior que nos mapas de 30 m e 60 m de profundidade.

Os valores mais contrastantes ocorrem basicamente entre os pontos de leitura 20 e 30 sempre no sentido nordeste/sudoeste. Este intervalo apresenta em campo exposições de serpentinito com ocorrência de cristais magnetita e intercalações de talco. O serpentinito é uma rocha com foliação característica de metamorfismo de médio grau e tem uma coloração cinza-esverdeado (Figura 8).

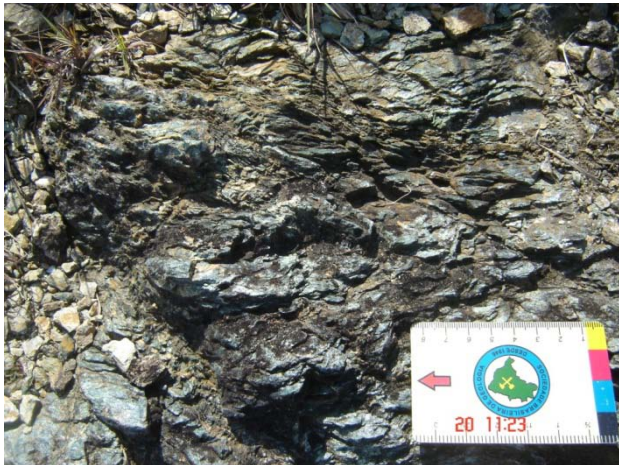


FIGURA 8 - Serpentinito aflorante em campo.

Para o mapa de condutividade aparente de até 7,5 metros de profundidade, o serpentinito é limitado pela isolinha de 8 mS/m, segundo os litotipos descritos na área e aflorantes no domínio deste intervalo. Para o mapa de condutividade aparente de até 15 metros de profundidade, o serpentinito foi limitado também pela isolinha de 8 mS/m.

Os resultados de todos os mapas foram coerentes, apresentaram valores baixos de condutividade aparente nos pontos onde é possível ver que o serpentinito aflora entre os pontos 20 e 30 das linhas 2, 3 e 4 e na rocha encaixante os valores são elevados, como consequências geram um contraste de propriedades físicas em termos de condutividade aparente.

Em campo foi possível reconhecer os intervalos de serpentinitos com valores de baixa condutividade aparente e o xisto com valores mais altos.

Para o mapa de condutividade aparente de até 30 metros de profundidade a rocha alvo foi limitada pela isolinha de 4 mS/m. Este valor comparado com anteriores teve uma variação considerável, foi inferido com base em medidas estruturais realizadas em campo que indicam um fechamento do serpentinito em profundidade, logo é possível notar que o diâmetro do corpo diminui com o aumento da profundidade (Figura 9).

Para o mapa de condutividade aparente de até 60 metros de profundidade, o serpentinito é limitado pela isolinha de 4,5 mS/m, valor adotado com base nas medidas estruturais.

Os dados disponíveis sobre geologia indicam relações de deslocamento de campo tangencial para o complexo Máfico-ultramáfico, que ocasionaram sua imbricação nos metamorfitos vulcanossedimentares (PORCHER, 1995). Em campo, as relações de contato entre os serpentinitos e os xistos encaixantes estão frequentemente mascaradas por zonas de cisalhamento transcorrentes.

A evolução geotectônica das associações metamórficas de natureza básica-ultrabásica, ora têm sido consideradas como faixas ofiolíticas, ora como parte constituinte de cinturões vulcanossedimentares tipo greenstone belt (PORCHER, 1995). Evidências claras de falhamentos de empurrão observados no âmbito do Cinturão Metavulcanossedimentar em outros setores da folha permite sugerir que a faixa de metamorfitos básico-ultrabásicos esteja cavalgada por sobre as rochas do cinturão.

As medidas estruturais realizadas em campo são coerentes com evidências de falhamentos de empurrão descritas no parágrafo acima. Com base na projeção dos ângulos de mergulho do serpentinito é possível projetar um fechamento em profundidade.

O empilhamento dos mapas de condutividade aparente mostra uma visão tridimensional do serpentinito em relação à rocha encaixante, o serpentinito tende a diminuir em profundidade com base nas medidas estruturais, assim rocha apresenta um formato de cunha (Figura 9).

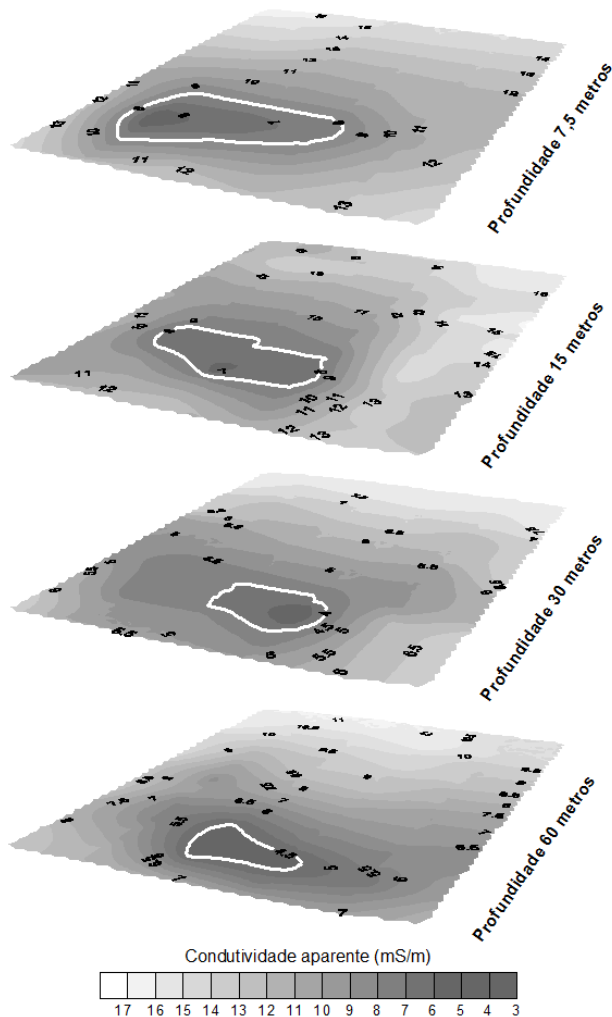


FIGURA 9 - Mapa de condutividade aparente para as profundidades de até 7,5, 15, 30 e 60 metros dando uma visão da continuidade da rocha em profundidade.

Conclusões

O método eletromagnético no domínio da frequência foi eficiente para os objetivos proposto no trabalho, apresentou um contraste marcante de propriedades físicas com valores baixos de condutividade aparente para o serpentinito em relação à rocha encaixante.

As medidas de condutividade aparente foram baixas para o serpentinito devido à ocorrência de minerais de anfibólios e piroxênios que são resistivos.

Os mapas de condutividade aparente apresentam valores de 8 mS/m para os dois primeiros níveis que são de profundidades fixas de até 7,5 e 15 metros, e de 4 mS/m e 4,5 mS/m para os níveis 3 e 4 que são para

profundidades fixas de até 30 m e 60 m, respectivamente.

As medidas estruturais foram de essenciais para entender a projeção do serpentinito em profundidade. A compreensão dos resultados de contraste de condutividade aparente foi coerente com base nas medidas estruturais, que possibilitou inferir as isolinhas que limitam o serpentinito.

É visível um decréscimo em profundidade no diâmetro das isolinhas que limitam o serpentinito, o mesmo tem um formato de cunha com uma base de aproximadamente 30x60 metros e topo de aproximadamente 80x120 metros.

É recomendado um maior adensamento de pontos de medidas para limitar com maior precisão o serpentinito da encaixante e aplicação de um método de maior penetrabilidade para estudar a projeção da rocha em profundidade.

Referências

CHATTERJEE, K. K. Uses of Metals and Metallic Minerals. New Delhi: New Age International, 2007. 326 p.

GEONICS. EM-34 & EM34-3XL Operating Instructions (for model with two digital meters). Ontario Canada L5T 1C6, 2007.

GOOGLE EARTH. Versão 4.3 (beta). Europa Technologies - US Dept. of state Geographer, 2010.

LUIZ, José Gouvêa; SILVA, Lúcia Maria Costa. Geofísica de Prospecção: Quadro Geral. In: Geofísica de Prospecção. Belém: Universidade Federal do Pará; Cejup, 1995. 311 p.

KEAREY, Philip; BROOKS, Michael; HILL, Ian. Geofísica de Exploração. Tradução: Maria Cristina Moreira Coelho. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. 431 p. Tradução de: An introduction to geophysical exploration.

PEREIRA, Ronaldo Mello; Fundamentos de Prospecção Mineral. Rio de Janeiro: Interciência, 2003. 167p.

PORCHER, Carlos Alfredo; et al. Passo do Salsinho – Folha SH.22-Y-A-1-4. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil, Brasília: CPRM, 1995.372 p.

TELFORD, William Murray; GELDART, Lloyd Phillip; SHERIFF, Robert Edward. Applied Geophysics. 2 ed. New York: Cambridge University Press, 1990.774 p.