



## Aquisição e modelagem de dados geoeletricos de Polarização induzida da Baixada Cuiabana

Giovanni Augusto Câmara Santoro\* (giovanni.santoro@outlook.com), André Calazans E. Coelho, Eduardo X. Seimetz, Gabriel Neves O. Samsoniuk, Pedro V. Nogueira, Robson Pereira A. Ramos, Welitom R. Borges - Universidade de Brasília, Distrito Federal.

Copyright 2017, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation during the 15<sup>th</sup> International Congress of the Brazilian Geophysical Society held in Rio de Janeiro, Brazil, 31 July to 3 August, 2017.

Contents of this paper were reviewed by the Technical Committee of the 15<sup>th</sup> 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

This work shows the parameters used in geoelectric surveys with the induced polarization method in both, time-domain and frequency-domain, in Nossa Senhora do Livramento county, state of Mato Grosso, Brazil. Pseudo-sections of electric resistivity, chargeability, percent effective frequency and metal factor using Least-Squares inversion methods were created. Then a geologic model based in correlations of geophysics data was proposed, delimiting two areas of possible sulfides zones that could contain disseminated gold and possible quartz filled fractures.

### Introdução

A exploração aurífera no estado do Mato Grosso iniciou-se no século XVIII onde o metal foi encontrado as margens do rio Coxipó, em Cuiabá (Barbosa, 2008). A descoberta atraiu inúmeros garimpeiros para a região da Baixada Cuiabana, favorecendo o surgimento de cidades na região. No município de Nossa Senhora do Livramento, desde 1980, atuam mineradoras de pequeno e médio portes, ao longo das principais zonas de cisalhamento e esforços regionais de maneira empírica. O ouro é o principal agente mobilizador da mineração que ocorre nas proximidades da cidade. Regionalmente o ouro está associado a veios de quartzo que preencheram sistemas de fraturamento, e disseminados nas encaixantes, proximais a zonas cisalhadas. A mineralização da Baixada Cuiabana obedece a dois fatores, o controle litológico, onde fluidos hidrotermais percolaram na estrutura da rocha, evidenciados pela ocorrência expressiva de sulfetos (arsenopirita, pirita, galena) em caráter aparentemente sin-genético, e ainda ao controle estrutural, em que filitos, ardósias e metarenitos mineralizados estão localizados proximais à zonas de cisalhamentos regionais de direção NE e sistemas de fraturas distensivas, oblíquas ao cisalhamento com predominância NW (Barbosa, 2009). Há também uma possibilidade de uma remobilização de ouro através de uma tectônica rúptil e circulação de fluidos hidrotermais, onde o metamorfismo ocorrido na região pode ter contribuído para a remobilização e concentração destes fluidos para fraturas, onde precipitaram formando veios de quartzo auríferos (Alvarenga, 1990). Na região a mineralização aurífera ocorre associada principalmente a

sulfetos em veios de quartzo-ferruginosos (filões), o que sugere um processo de hidrotermalização. Esta sulfetação ocorre também nas rochas encaixantes dos veios de quartzo, sem orientação preferencial (Calachibete, 2016). Para a exploração mineralógica em regiões sulfetadas com ouro associado, os métodos geoeletricos indicam resultados satisfatórios. A principal aplicação do método IP é na exploração de minérios metálicos disseminados. Todavia, desde a década de 90, houve um crescente interesse na utilização deste método em pesquisas de contaminação ambiental (Reynolds, 1997). O método da polarização induzida consegue detectar pequenas concentrações de minerais condutores que poderiam passar despercebidas pelos levantamentos de eletrorresistividade e eletromagnéticos. No IP utiliza-se correntes alternadas muito mais elevadas que as utilizadas em levantamentos de eletrorresistividade padrão (Loke, 2015). Geologicamente a área de estudo está inserida no Grupo Cuiabá que se caracteriza por uma sequência predominantemente de filitos com intercalações de quartzitos, metagrauvacas, metarenitos, metaconglomerados, com raras ocorrências de metacalcários e filitos calcíferos (Calachibete, 2016). O Grupo Cuiabá resumidamente é constituído por metassedimentos clásticos com pequenas contribuições química e vulcânica afetado por várias fases de deformações e metamorfismo nas fácies xistos verdes (Tokashiki, 2008). O objetivo deste trabalho foi realizar a aquisições dos dados geoeletricos da região proposta e gerar modelos elétricos de resistividade, cargaabilidade, porcentagem de frequência efetiva e de fator metal, afim de, interpretar os dados e gerar um modelo geológico estrutural de subsuperfície com as possíveis zonas sulfetadas. A área de aquisição dos dados localiza-se em uma fazenda a 6 km do município de Nossa Senhora do Livramento - MT (figura-1). A escolha da área ocorreu em função da presença de uma cava de exploração de ouro associada a uma grande zona de cisalhamento (travessão). A seção geoeletrica objetivou a localização de eventuais filões auríferos perpendiculares ao travessão (cisalhamento).



Figura 1 – Imagem de satélite com a localização do perfil geoeletrico na área de estudo.

### Método

Para a realização do levantamento geoeletrico utilizou-se o eletrorresistivimetro *Syscal Pro* da *Iris Instrument* (figura-2). Na elaboração do protocolo de aquisição dos dados geoeletricos usou-se o software *ELECTRE II* da *Iris Instrument*. Os dados adquiridos neste levantamento foram processados utilizando o software *RES2DINV*, da *Geotomo*.



Figura 2– Foto evidencia a aquisição de dados geoeletricos na área.

Na aquisição dos dados usou-se o arranjo dipolo-dipolo (DD), cujo o espaçamento entre o par de corrente, A-B, é dada como  $a$ , que é a mesma distância entre o par de eletrodos de potencial M-N. E o fator  $n$  é a razão entre a distância entre os eletrodos de A-B para B-M (Loke, 2015). Na área adquiriram-se duas seções geoeletricas com o arranjo DD. A primeira foi utilizando o método de polarização induzida no domínio do tempo, e a segunda utilizando o método da polarização induzida no domínio da frequência. O método da Polarização Induzida (IP) foi patenteado por Conrad Schlumberger em 1912. O efeito da polarização induzida é causado por dois mecanismos principais, a polarização de membrana e a polarização de eletrodo (Reynolds, 1997). Na polarização induzida no domínio do tempo, mede-se a taxa de decaimento da voltagem  $\Delta V$  da rocha, isso ocorre, pois, ao injetar uma corrente elétrica no solo, as rochas presentes em subsuperfície atuam com um capacitor, liberando a corrente elétrica aos poucos dentro de um intervalo de tempo  $t$ , desse modo, alguns minerais que possuem elementos metálicos em sua composição possuem maior capacidade de armazenar cargas, ou seja, maiores valores de cargabilidade. Já no método da polarização induzida no domínio da frequência, realiza-se a aquisição em duas frequências diferentes e depois mede-se a resistividade aparente  $\rho_a$ , em seguida aplica-se a formula de Porcentagem de frequência efetiva (**PFE**) equação 1, e a formula do fator metal (**FM**) equação 2, onde  $\rho_1$  representa a resistividade aparente da maior frequência, e  $\rho_2$  a resistividade aparente da menor frequência.

$$PFE = \frac{(\rho_2 - \rho_1)}{\rho_1} \cdot 100 \quad (1)$$

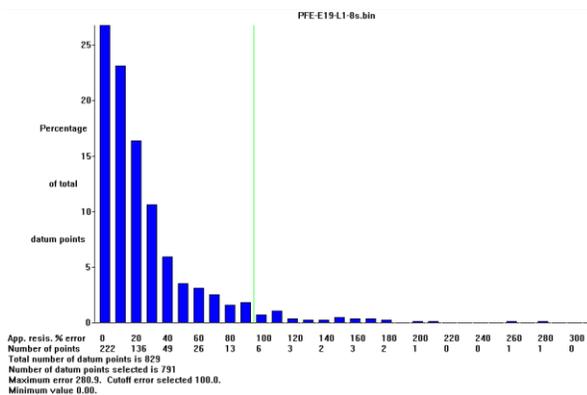
$$FM = \frac{(\rho_2 - \rho_1)}{\rho_1 \cdot \rho_2} \cdot 2 \cdot \pi \cdot 10^5 \quad (2)$$

Como um subproduto do método da polarização induzida, obtém-se o método da eletrorresistividade. O princípio da eletrorresistividade, baseia-se no fato de que a distribuição em subsuperfície do potencial elétrico no terreno é gerado em função das diferentes resistividades elétricas das camadas ou objetos que compõem o meio investigado (Ward, 1990). Os valores obtidos na eletrorresistividade, associam-se a parâmetros geológicos como o tipo de mineral, conteúdo de fluido, porosidade e grau de saturação de água na rocha. Na aquisição da linha de polarização induzida no domínio do tempo, utilizou-se eletrodos não polarizáveis preenchidos com uma solução de sulfato de cobre. A linha de **IP** (figura 3) possui uma extensão de 550 metros, e como parâmetros de campo utilizou-se 56 eletrodos com o espaçamento de 10 metros, em cada dipolo, realizou-se cinco medidas nas quais foram salvas as três melhores. O intervalo entre pulsos de injeção de corrente foi de 4 segundos. A linha de **PFE** teve uma extensão de 530 metros, foram utilizados 54 eletrodos metálicos espaçados a cada 10 metros, foram realizadas três medidas em cada dipolo na qual a melhor medida foi salva. O intervalo entre pulsos de injeção de corrente foram de 2 e 8 segundos.



**Figura 3 – Linha de aquisição do método da polarização induzida realizada na área.**

Os dados obtidos em ambos os métodos, foram descarregados e pré-processados no software *Prosys II da Iris Instrument*. Com este mesmo software foi possível fazer algumas filtrações no dado, eliminando dados inconsistentes do levantamento. O pré-processamento consistiu em retirar dados com valores de cargabilidade e resistividade menor ou igual a zero, e elevados valores de resistência de contato ( $> 50 \Omega$ ). Já no *RES2DINV* primeiramente eliminou-se os dados de natureza randômica usando o *RMS error statistics*, onde é mostrado a distribuição em porcentagem da diferença entre a seção da resistividade aparente calculada e medida (figura 4). As barras maiores representam os menores erros, que diminuem gradualmente com o aumento dos valores dos mesmos. De maneira geral, os pontos que apresentam erros maiores que 100% podem ser eliminados (Loke, 2011).



**Figura 4 – Gráfico da distribuição de porcentagem dos erros de natureza aleatória (*RMS error statistics*).**

Então, realizou-se a inversão dos dados de ambos os métodos utilizando o método de suavização dos mínimos quadrados que é um filtro utilizado para determinar a Resistividade e cargabilidade dos blocos retangulares que irá minimizar as diferenças entre os valores calculados e medidos de resistividade aparente e cargabilidade aparente (Loke & Barker, 1995). Para a realização do cálculo da matriz de dados é utilizado o método Gauss-

Newton (Loke & Barker, 1996). Todos os produtos gerados passaram por cinco interações de inversões. Os produtos gerados após a inversão dos dados podem ser apreciados na figura 5.

## Resultados

Ao todo obteve-se quatro pseudo-seções geoeletricas. Com o método da polarização induzida no domínio do tempo obteve-se a pseudoseção de cargabilidade, nela observou-se dois altos valores de cargabilidade acima de 49mV, que estão delimitados na figura 5-B como sendo os alvos 1 e 2, nota-se que os valores de cargabilidade na região varia entre 1mV/V a 63 mV/V. Através do método da polarização induzida no domínio da frequência, obtiveram-se as outras três pseudo-seções. A figura 5-C representa a porcentagem de frequência efetiva que apresenta a porcentagem do material que sofre a polarização de maneira efetiva. Na figura 5-D infere o valor do fator metal que, inferi a quantidade de minerais metálicos mensurados no meio, com valores variando entre 100/Ohm.m e 1000/Ohm.m. Por fim, a figura 5-A representa a pseudoseção da eletroresistividade que interpreta-se como as possíveis estruturas geológicas presentes em subsuperfície, nesta seção os valores de resistividade variam de 0.039 ohm.m a aproximadamente 9000 ohm.m, onde percebe-se possíveis fraturas que ocorrem na região representada pela linha tracejada que foram inferidas pela descontinuidade dos valores da resistividade aparente. Para a interpretação correlacionou-se os perfis de cargabilidade, resistividade e porcentagem de frequência efetiva, então notou-se pontos de altos valores de cargabilidade, correlacionados com o gradiente de decrescimento dos valores de resistividade, podendo representar possíveis regiões sulfetadas, que por sua vez, podem possuir minérios de ouro disseminados. Foi feita então, um possível modelo geológico da linha de aquisição representado pela figura 5-E. Delimitou-se duas camadas no perfil de resistividade, a primeira sendo um filito oxidado devida a ação de intemperismo, e a segunda com sendo a rocha não alterada, o modelo foi proposto através dos valores dos dados geofísicos obtidos e a bibliografia existente sobre a região. O saprólito aparece com resistividade acima de 1500 ohm.m que condiz bastante com a realidade, pois a figura 6-A e 6-B mostram imagens de veios de quartzo (considerados altamente resistivos) que ocorrem na região.

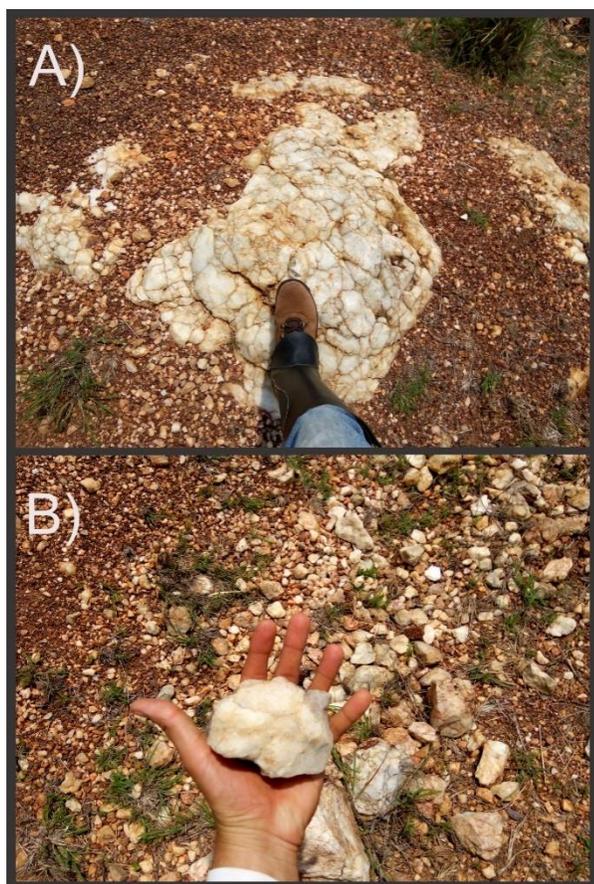


Figura 6 – A) intrusão de veios de quartzo na área do levantamento. B) amostragem de quartzo leitoso.

### Discussões e Conclusões

A escolha do arranjo dipolo-dipolo para o levantamento foi considerada satisfatória, já que representa bem as descontinuidades verticais. O processamento dos dados foi feito de maneira clássica seguindo as bibliografias sobre o método. A utilização de ambos os métodos de polarização induzida mostrou-se de suma importância para a geração do modelo geológico proposto, pois percebe-se que os métodos no domínio do tempo e no domínio da frequência se complementam. O perfil de eletrorresistividade representa que há um gradiente de valores de resistividade na região variando entre 500 ohm a 900 ohm. O perfil da cargabilidade delimitou regiões variando entre 33mV/V e 60mV/V, como sendo importantes áreas. Através da correlação entre os perfis pode-se inferir os possíveis alvos de regiões sulfetadas. Em suma, as cargabilidades elevadas e baixas resistividades podem ser consideradas como alvos, devido ao histórico de jazidas de sulfetos existentes na Baixada Cuiabana. As possíveis fraturas presente no modelo geológico estão relacionadas com os veios de quartzo existentes na região. O saprófito altamente resistivo pode ser explicado devida a grande quantidade de veios de quartzo que afloram próximo a superfície, a rocha oxidada devida a ação de agentes intempéries. Outros estudos estão sendo feitos na região com outros arranjos e espaçamentos

menores, a fim de se obter um melhor modelo de subsuperfície regional.

### Agradecimentos

Os autores agradecem a todos os participantes deste projeto, a Universidade de Brasília, aos alunos da Universidade Federal do Mato Grosso, aos garimpeiros e empresários da região de Poconé-MT e Nossa Senhora do Livramento-MT que ajudaram na realização deste projeto, bem como o Laboratório de Geofísica Aplicada do IG-UnB.

### Referências

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

BARBOZA, E. S. Gênese e controle estrutural das mineralizações Auríferas do Grupo Cuiabá, na Província Cuiabá - Poconé, centro Sul do Estado de Mato Grosso – Brasil. 2008. Tese (Doutorado) - Universidade do Estado do Rio de Janeiro, 2008.

CALACHIBETE, CIRO. Caracterização lito-geofísica por métodos geoeletricos na região da Baixada Cuiabana – Trend Piriza I- Bento Gomes. Dissertação de mestrado, Instituto de Geociências, Universidade de Brasília / UnB – DF.

LOKE, M.H., BARKER, R.D., 1995. Least-squares deconvolution of apparent resistivity pseudosections. *Geophysics*, 60, 1682-1690.

LOKE M.H., BAKER R.D., 1996. Rapid least-squares inversion of apparent resistivity pseudosections using a quasi-Newton method. *Geophysical Prospecting*, 44, 131-152.

LOKE, M.H., DAHLIN, T. 2002. A comparison of the Gauss-Newton and quasi-Newton methods in resistivity imaging inversion. *Journal of Applied Geophysics*, 49, 149-162.

LOKE, M.H., CHAMBERS, J.E., KURAS, O., 2011. Instrumentation, electrical resistivity. in Gupta, H (ed.), *Solid Earth Geophysics Encyclopaedia (2<sup>nd</sup> Edition) "Electrical & Electromagnetic"*, Springer-Verlag, 599-604.

REYNOLDS, J. M. An introduction to Applied and Environmental Geophysics. Ed. John Wiley and Sons. 796 p. 1997.

TOKASHIKI, C. C. & SAES, G. S. 2008. Revisão estratiográfica e faciologia do Grupo Cuiabá no alinhamento Cangas-Poconé, Baixada Cuiabana, Mato Grosso. *Rev. Bras. Geoc.* 38(4): 661-675.

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

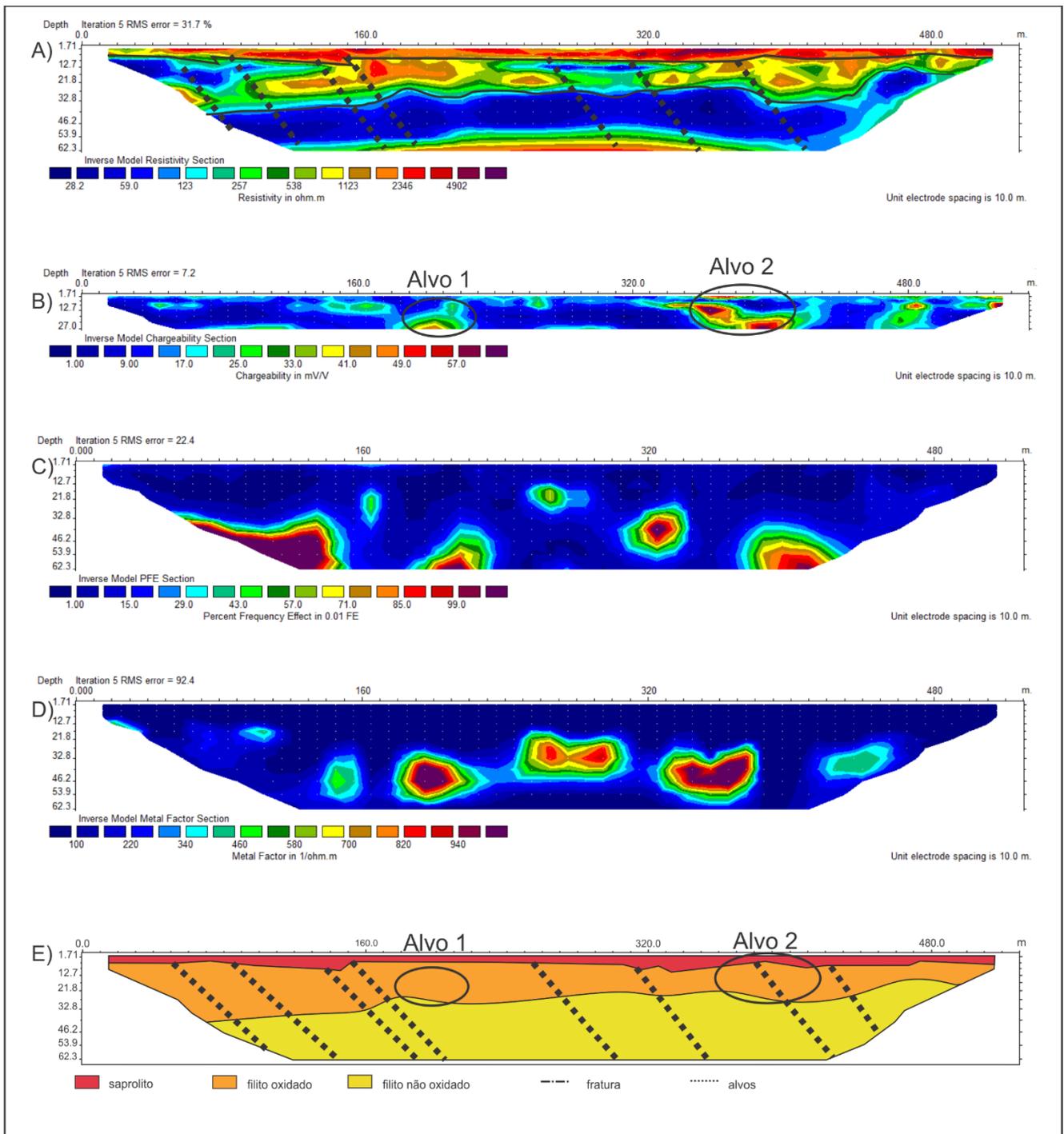


Figura 5– A) pseudoseção de resistividade com possíveis fraturas delimitadas. B) pseudoseção de cargabilidade com possíveis regiões sulfetadas delimitadas como alvos 1 e 2. C) pseudoseção da porcentagem de frequência efetiva (PFE). D) pseudoseção do fator metal (FM). E) Modelo geológico estrutural proposto a partir da correlação das pseudo-seções anteriores descritas.