

INVESTIGAÇÃO GEOFÍSICA EM BOTA-FORA DE ESTÉRIL AFETADO POR PROCESSO DE DRENAGEM ÁCIDA NA MINA OSAMU UTSUMI – POÇOS DE CALDAS– MG.

Matheus Felipe Stanfoca Casagrande¹, César Augusto Moreira²

¹ Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Programa de Pós Graduação em Geociências e Meio Ambiente, IGCE, campus Rio Claro (SP). mfs-casagrande@hotmail.com

² Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Programa de Pós Graduação em Geociências e Meio Ambiente, IGCE, campus Rio Claro (SP). moreirac@rc.unesp.br

Palavras-Chave: drenagem ácida; eletrorresistividade; polarização induzida

INTRODUÇÃO

Minas de urânio, sejam elas a céu aberto ou subterrâneas, são significativamente importantes do ponto de vista ambiental devido à gama de possibilidades de contaminação do meio físico, que abrangem desde a poluição das águas subterrâneas e superficiais locais por metais pesados e radionuclídeos como também a contaminação atmosférica por poeira e ²²²Rn gerados pelas atividades de operação. A exposição de minerais sulfetados, outrora isolados do ar atmosférico em subsuperfície, e sua reação com oxigênio, produz efluentes de baixo pH e com concentrações elevadas de metais e metaloides, processo conhecido como drenagem ácida de mina (DAM) (AKCIL & KOLDA, 2006). É neste contexto de contaminação que está inserida um bota-fora de estéreis (BF-4) da mina “Usamu Utsumi” pertencente ao Complexo Industrial de Poços de Caldas – CIPC (atualmente denominado de Unidade de Tratamento de Minério – UTM) operado pelas Indústrias Nucleares do Brasil – INB e que se encontra em atual processo de recuperação ambiental e descomissionamento. Dada a presença dessas águas ácidas e ricas em sais dissolvidos, métodos geofísicos são uma alternativa no diagnóstico de áreas contaminadas em razão da rapidez e baixo custo, auxiliando na detecção e monitoramento juntamente com métodos diretos de investigação, como poços de monitoramento (MOREIRA et al., 2006).

O objetivo do trabalho é a avaliação da resposta geométrica, através da técnica de tomografia elétrica na BF-4 afetada pelo processo de drenagem ácida, além da avaliação do fluxo subterrâneo local, gerado pela infiltração da água pluvias em um sistema aquífero do tipo poroso, e a delimitação de áreas de interação dessas águas com zonas ricas em pirita presentes em blocos rochosos dispostos no bota-fora de estéril, cujas reações são tidas como causa principal do processo de drenagem ácida de mina.

METODOLOGIA

Foram definidas 9 linhas de aquisição dispostas de tal maneira a cobrir toda a área do patamar inferior da BF4 (Fig. 1). O comprimento total das mesmas foi de 400 metros, com exceção da linha 5 cuja dimensão de 350 metros foi restringida por particularidades do terreno. Os eletrodos utilizados foram do tipo cerâmica não-polarizável contendo solução de sulfato de cobre e a distância estabelecida entre os mesmos foi de 10 metros. Os dados de pseudo-resistividade e cargabilidade referentes aos métodos da eletrorresistividade (RE) e polarização induzida (IP), respectivamente, foram obtidos por arranjo Schlumberger e a técnica escolhida foi o imageamento elétrico, propiciando uma visualização de anomalias dos parâmetros medidos em subsuperfície por meio de seções e modelos de visualização 3D. O equipamento utilizado em campo foi um resistímetro Terrameter LS da ABEM de fabricação sueca.

Os dados adquiridos durante os trabalhos de campo foram processados pelo software Res2Dinv (2D) versão 3.53 (Geotomo Software) onde foram geradas suas representações por meio de imageamento elétrico dos valores quantitativos de resistividade e cargabilidade em subsuperfície. Os modelos de inversão são

expressos em seções com base em suas variáveis distância e profundidade, além de apresentar seus valores convertidos em escala gráfica em razão logarítmica (MOREIRA et al., 2016). Para a obtenção dos modelos pseudo-3D foi utilizada a plataforma Oasis Montaj (Geosoft).

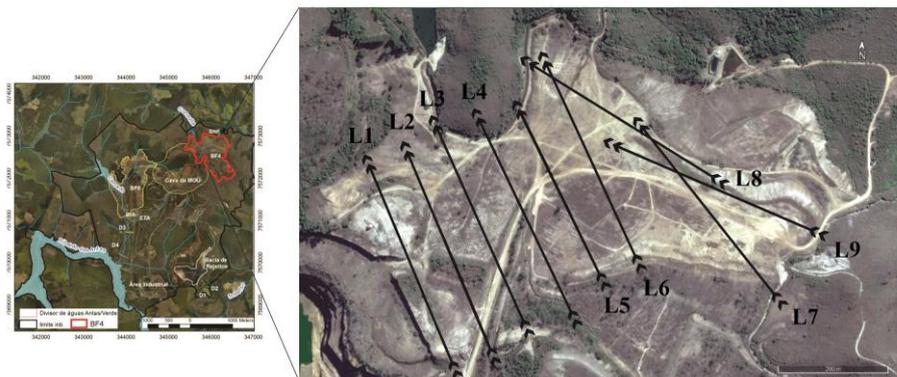


Figura 1. Localização da área de estudo, com a delimitação da BF-04 dentro das instalações da INB.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Foram selecionadas duas das seções de resistividade e cargabilidade para a exemplificação e discussão desses processos químicos em detrimento ao modelo geofísico proposto. No caso da Linha 1 (Fig. 2), a uma distância aproximada de 310 m a partir da origem, observa-se de uma anomalia caracterizada por elevada resistividade ($> 12000 \text{ Ohm.m}$) (Fig. 2a) e cargabilidade ($> 10.1 \text{ mV/V}$) (Fig. 2 b), o que poderia ser entendida como sulfetos disseminados inseridos em redes venulares de quartzo, frutos da atividade hidrotermal na área. Associado a esta anomalia está uma porção de significativa baixa resistividade ($< 70 \text{ Ohm.m}$), tida como drenagem ácida resultado da interação água-minério. O intervalo de resistividade para o aquífero não afetado pelo processo de contaminação seria de $75 - 209 \text{ Ohm.m}$, enquanto que valores de até 1583 Ohm.m , que abrangem uma grande porção da seção, corresponderiam ao embasamento rochoso significativamente fraturado, dada a pouca espessura do bota-fora no local de aquisição da Linha 1. Uma vez que a extremidade NW da linha de aquisição termina nas proximidades de um córrego, é possível que exista alguma contribuição desse corpo hídrico superficial na geração da referida anomalia de baixa resistividade, sobretudo através da infiltração dessas águas no sistema e a possível interação química com sulfetos representados pela zona de alta cargabilidade/resistividade, conforme já mencionado.

A análise dos dados do piezômetro 03, com pH médio de 3,5 e condutividade da ordem $9853 \mu\text{S/cm}$ em medições realizadas de 2000 a 2005 (FRANKLIN, 2007), possibilitou a calibração do modelo geofísico proposto. Na Figura 3 é possível constatar que o piezômetro em questão se encontra instalado próximo a uma zona de baixa resistividade da Linha 3, o que corroboraria a acidez e alta salinidade das águas coletadas nesse ponto. Ao utilizar dados de profundidade da base dos estéreis (ALBERTI, 2017), foi possível ainda a delimitação do contato da base da BF-04 com o topo rochoso, algo que seria próximo à topografia original do terreno pré-emprego (Fig. 3, linha pontilhada). É interessante observar a concentração das anomalias de baixa resistividade no interior da BF-04, principalmente na distância de 160 metros, onde parece haver um “acúmulo” ou caminho preferencial da água subterrânea (a ser confirmado com o modelo 3D) devido à concavidade da referida interface. As anomalias de cargabilidade, por sua vez, estão mais associadas com o corpo rochoso, onde foram obtidos valores superiores a 10.1 mV/V e que poderiam contribuir para a geração da drenagem de mina ácida e consequentemente formação das anomalias de baixa resistividade associadas. Dentro da BF-04 também se observam porções de cargabilidade da ordem de $6,5 \text{ mV/V}$, provavelmente estéreis mais ricos em sulfetos e potenciais sítios de oxidação.

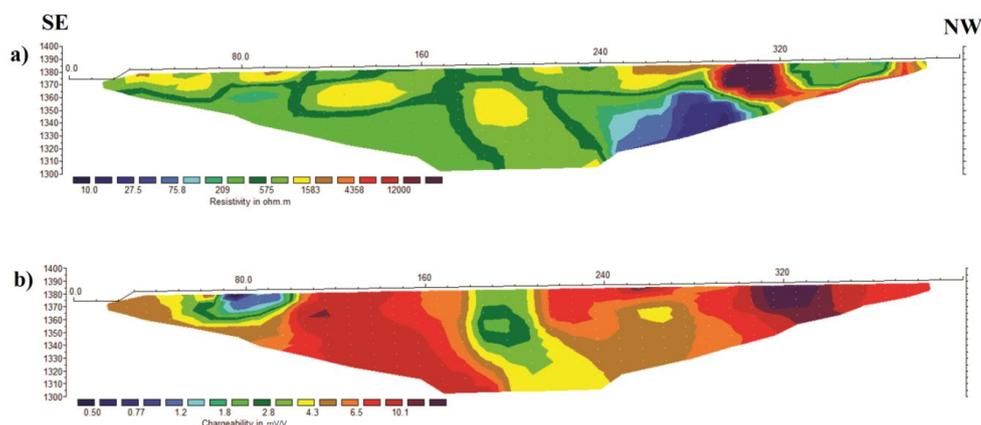


Figura 2 – Modelos de inversão de resistividade (a) e cargabilidade (b) referentes a Linha 1.

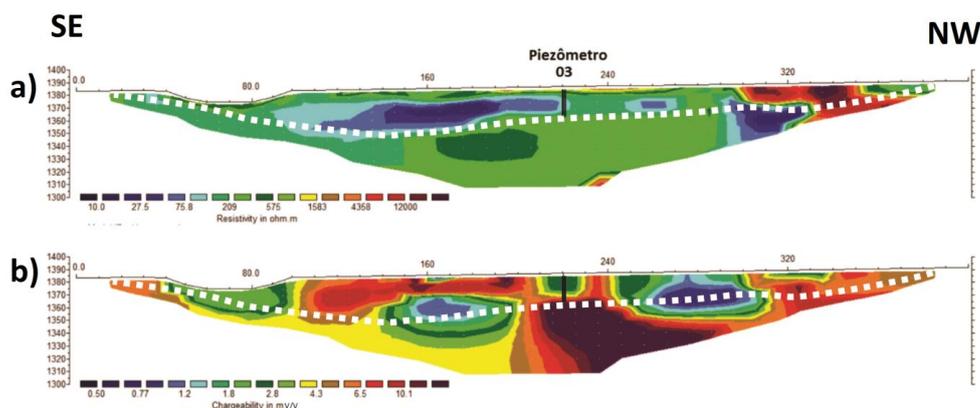


Figura 3 – Modelos de inversão de resistividade (a) e cargabilidade (b) referentes a Linha 3 com delimitação do contato pilha de estéril-topo rochoso, segundo mapa de isópacas da BF04 (ALBERTI, 2017) e piezômetro 03 (FRANKLIN, 2007).

A interpolação das nove seções geofísicas levantadas geraram dois modelos pseudo-3D, um para cada parâmetro físico medido em campo. As imagens foram suavizadas e definidos nove níveis de visualização em profundidades correspondentes às cotas 1395 (superficial), 1383, 1371, 1359, 1347, 1335, 1323, 1311 e 1299 metros. Essa profundidade teórica de aquisição abrange as porções mais profundas do BF-04 de estéreis, cuja espessura máxima é em torno de 70 metros nas porções mais próximas ao talude (extremidade NE da Fig. 1) e diminui em direção a antiga cava da mina (extremidade SW da Fig. 1). As anomalias de baixa resistividade, já descritas anteriormente, formam um prolongamento na área do bota-fora que pode ser visto principalmente nos dois primeiros níveis de visualização (1395 e 1371 metros). Essa característica poderia ser entendida como a superficialidade do lençol freático salino, se propagando na direção da bacia de captação na base BF-04 (extremidade NE). No que tange às anomalias de cargabilidade, existem várias porções superficiais da ordem de 6,5 a 10,1 mV/V que certamente alimentam o processo de drenagem de mina ácida, associadas a resquícios de rochas com sulfetos (pirita) em meio aos estéreis, conforme já mencionado.

Ao comparar o sentido de fluxo proposto para as anomalias de baixa resistividade com o mapa de isópacas da BF-04 (Fig. 4), percebe-se uma clara relação entre ambas. A água subterrânea no BF-04 parece seguir a porção mais profunda do BF-04, o que na prática seria análogo a uma drenagem em vale fechado (topografia original do terreno). Esse fluxo seguiria em direção a NW e no sentido da bacia de captação, onde a profundidade do pacote de atinge seu valor máximo. As extremidades da BF-04, de menor espessura,

apresentam altos valores de resistividade, que podem estar associadas a altas cargabilidade, justamente pela posição rasa das rochas do embasamento nas laterais do bota-fora.

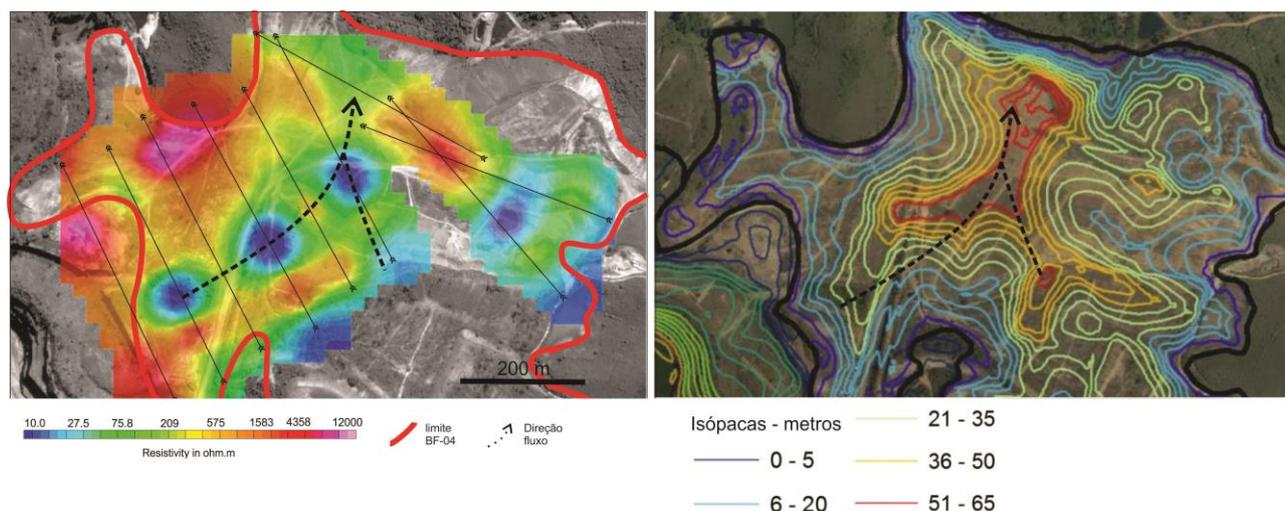


Figura 4— Comparação entre o fluxo preferencial gerado pelo método da eletrorresistividade com o mapa de isópachas da BF-04. Aparentemente o fluxo da água subterrânea se dá de SW para NE, mesma direção da porção alongada de maior profundidade do bota-fora (Mapa segundo (ALBERTI, 2017)).

CONCLUSÕES

O conjunto de métodos propostos foi consistente no estudo da dinâmica da água subterrânea no sistema aquífero granular, sobretudo na identificação de padrões de fluxo no interior do bota-fora (< 70 Ohm.m). Foram identificados processos-chave na geração do processo de drenagem ácida de mina, com anomalias de alta cargabilidade (> 9 mV/V) relacionadas a sulfetos disseminados nas rochas do embasamento ou na próprio material estéril. A água subterrânea no sistema aquífero granular seria alimentada pela infiltração da água pluvial e também provavelmente de um córrego próximo (conforme discutido na Linha 1), onde reagiria com os sulfetos disseminados e em sistemas venulares e geraria efluentes de alta salinidade e baixo pH, detectados como anomalias de baixa resistividade. Essa água subterrânea seguiria na direção NW pelo centro do BF-04, condicionada pela topografia original do terreno onde foi instalada a BF-04. A indicação dessas zonas potenciais para a oxidação dos sulfetos propiciaria mais uma base para o estudo, planejamento e execução de medidas de recuperação da área. Os dados geofísicos puderam ser correlacionados a dados diretos de piezômetros, análises químicas e mapas topográficos pré-empresendimento, o que corrobora ao modelo geofísico proposto, sobretudo na locação de mais poços de monitoramento adicionais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Akcil, A., Koldas, S. Acid Mine Drainage (AMD): causes, treatment and case studies. *Journal of Cleaner Production*, vol. 14, p1139-1145. 2006.
- Alberti, H. L. C. 2017. Estudo hidroquímico e isotópico das águas subterrâneas impactadas pela drenagem ácida da mina de urânio – Osamu Utsumi, Planalto de Poços de Caldas (MG). Dissertação de mestrado, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 2017.
- Franklin, M. R. 2007. Modelagem numérica do escoamento hidrológico e dos processos geoquímicos aplicados à previsão da drenagem ácida em uma pilha de estéril da mina de urânio de Poços de Caldas – MG. Tese de Doutorado, Universidade Federal do rio de Janeiro, RJ. 2007.
- Moreira, C. A., Lapola, M. M., Carrara, A. Comparative analyzes among electrical resistivity tomography arrays in the characterization of flow structure in free aquifer. *Geofísica Internacional*, vol. 55, 2, p119 – 129. 2016.