



ESTUDO GEOFÍSICO DE VAZAMENTO DE COMBUSTÍVEIS EM POSTO DE ABASTECIMENTO

Aline Muriel da Cunha Menezes & César Augusto Moreira (Unipampa)

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

This paper presents the results of applying the Electrical Resistivity method by electrical profiling technique to investigate the fuel presence in soil and groundwater proceeding in station gas, located in an urban area Caçapava do Sul (RS), on soil in situ, from modification of Caçapava granite. The results suggest an association between low resistivity anomalies zones with potentially degraded from underground tanks storage in free phase form, now represented as residual phase. The electrical resistivity method proved to be an important tool for assessment and environmental monitoring in conjunction with direct methods of investigation.

Introdução

Pesquisas levantadas mostram que o vazamento de tanques de armazenamento subterrâneo pode causar contaminação de solos e águas, podendo contribuir também para o risco de explosões e incêndios.

Segundo Santos (2009), os procedimentos de avaliação de áreas contaminadas por combustíveis envolvem a determinação da extensão, sentido de fluxo e suas concentrações. Vazamentos em postos de combustíveis estão relacionados à deficiência de infra-estrutura, manutenção e desgastes dos tanques de armazenamento, que devem ser utilizados por um período máximo de 20 anos.

Diante deste fato, é imprescindível o conhecimento das interações entre os derivados de petróleo e o meio físico em subsuperfície. A residência deste tipo de contaminante altera significativamente nos valores naturais dos parâmetros físicos dos materiais geológicos. A detecção e quantificação de vazamentos em postos de combustíveis envolvem a aplicação de diferentes técnicas diretas e indiretas de investigação como: quantificação de compostos orgânicos voláteis (VOC's) por meio de medidores de gases, sondagem com amostragem de solo e/ou água subterrânea para análise química, além da utilização de métodos geofísicos.

A escolha de métodos Elétricos no estudo de áreas potencialmente contaminadas está baseada em diversos trabalhos que demonstram a eficácia destas ferramentas. Diversos trabalhos descrevem a aplicação de métodos geofísicos como uma excelente ferramenta para detectar e monitorar áreas contaminadas por estes compostos em estudos geofísicos por Atekwana *et al.*

(1998), Sauck *et al.* (1998), Moreira *et al.* (2006), Braga *et al.* (2008) entre outros.

Desta forma, este trabalho realiza uma tentativa de reconhecimento por meio de geofísica, de presença de combustíveis vazados e presentes no solo, além de objetivar a delimitação aproximada da área de maior abrangência de fluxo dos compostos contaminantes, por meio da interpretação dos dados geofísicos sob a ótica da degradação de hidrocarbonetos e variação temporal do parâmetro físico resistividade elétrica.

Caracterização Geoquímica dos Contaminantes

Os hidrocarbonetos podem ser denominados compostos de fase líquida não aquosa (LNAPLs), cujas diferenças nas propriedades físicas e químicas resultam na imiscibilidade em água (Moreira *et al.*, 2005). De acordo com a densidade, os compostos de fase líquida não aquosa (LNAPLs) são classificados em 2 classes.

- Compostos de Fase Líquida não Aquosa - LNAPL, caracterizados por serem mais leves que a água. Tais como benzeno, tolueno, etilbenzeno e xileno, constituintes da gasolina, podem ser biodegradados sob condições ambientais.

- Compostos de Fase Líquida Densa não Aquosa - DNAPL, estes compostos são caracterizados por serem mais densos que a água.

Deste modo, são necessárias técnicas de investigação para avaliar a extensão da contaminação e os impactos causados ao meio ambiente por estes contaminantes derivados de petróleo.

Isto pode ser esclarecido por meio da correlação do tempo de residência destes contaminantes no solo e tempo de exposição a processos de degradação.

Métodos

O método da Eletrorresistividade consiste em empregar uma fonte artificial de corrente (I) que é introduzida ao solo por meio de eletrodos pontuais (denominados de A e B). O potencial criado por essa emissão de corrente pode ser medido nas proximidades por meio de eletrodos de medição (denominados M e N). Com a corrente e os potenciais gerados (ΔV), é possível calcular a resistividade aparente (ρ_a) (Equação 1).

$$\rho_a = K \frac{\Delta V}{I} \quad (1)$$

Onde K é o fator geométrico definido pela geometria dos dipolos AB e MN no momento da medida, que é calculado a partir do arranjo geométrico dos eletrodos de transmissão e recepção e define a profundidade de investigação (Equação 2).

$$k = \frac{2\pi}{\left(\frac{1}{A}\right) - \left(\frac{1}{M}\right) - \left(\frac{1}{N}\right) + \left(\frac{1}{B}\right)} \quad (2)$$

O parâmetro resistividade é o inverso da condutividade elétrica, e é uma propriedade individual de cada substância, dependente da natureza e estado físico da mesma (KEAREY *et al.*, 2002).

Este trabalho aplicou a técnica de caminhamento elétrico, usada para determinar variações verticais de resistividade em duas dimensões, que consiste na fixação de eletrodos numa linha de aquisição, separados de forma equidistante, utilizados para transmissão e recepção de sinal. O ensaio é desenvolvido com a leitura dos parâmetros para diferentes profundidades e movimentação dos eletrodos apenas num sentido de aquisição, com o arranjo Dipolo-dipolo. O equipamento utilizado na aquisição geofísica foi o resistivímetro Syscal Pro, fabricado pela Íris Instruments (França).

Os dados de caminhamento elétrico foram tabelados no programa Surfer versão 8.0, desenvolvido pela Golden software (Estados Unidos), e posteriormente processados no programa Res2dinv, versão 3.4, desenvolvido pela Geotomo software (Malásia). O Res2dinv é um programa que permite modelos bidimensionais (2-D) para o subsolo, a partir de dados obtidos através de levantamentos elétricos, de resistividade e também para cargabilidade. (GRIFFITHS & BARKER 1993).

Caracterização da área de estudos

A área de estudo localizada na zona urbana do município de Caçapava do Sul, distante 240 km de Porto Alegre, acessado a partir da capital através da BR 290. O posto está situado sobre solo *in situ*, proveniente da alteração do granito Caçapava. Este solo é caracterizado por granulação argilo-siltosa, subsaturado com muita boa plasticidade, marrom claro. O trabalho de Hansen & Fensterseifer (2000) classifica este solo como podzólico vermelho-amarelo distrófico e eutrófico, com horizonte A proeminente a moderado.

A área do posto apresenta topografia com declividade no sentido nordeste de aproximadamente 1° grau (Figura 2A). Existem 3 poços de monitoramento instalados na área do posto com nível freático em torno de 2m de profundidade (Figura 2B).

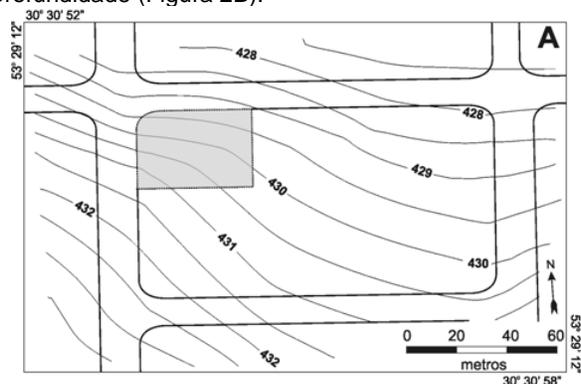


Figura 2 – A) Área do posto de combustíveis em cinza, com curvas topográficas em metros.

Apenas o poço 1 registra a presença de hidrocarbonetos de fase líquida leve não aquosa, flutuantes no nível aquífero. Os poços interceptam o fluxo hidrogeológico, além do fluxo proveniente de uma área com tanques subterrâneos desativados a cerca de 16 anos, até o momento presentes na área. A fase contaminante encontrada no poço 1 aparentemente está relacionada com o vazamento de combustíveis residuais do tanque desativado.

Resultados

Este trabalho realiza cinco linhas de caminhamento elétrico, com 73 m de comprimento, dispostas perpendicularmente ao sentido do fluxo, com espaçamento de 3 m entre eletrodos, com 10 níveis de investigação, onde resultaram em uma profundidade máxima de 10 m e também foram realizadas três linhas perpendiculares as demais (Figura 2).

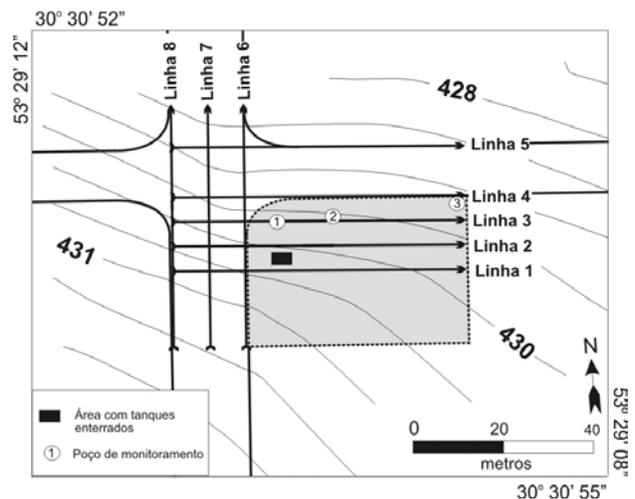


Figura 2 – Mapa das linhas de caminhamento elétrico.

Os resultados são apresentados sob a forma de modelos de inversão, que consiste numa seção distancia e profundidade, como variação do parâmetro resistividade elétrica variável em escala numérica e de cores.

A linha 1 no intervalo entre 0 m a 12 m em superfície apresenta valores de baixa resistividade, abaixo de 400 $\Omega.m$, representa continuidade lateral e entre 40 m a 60 m em superfície também apresenta valores de baixa resistividade. Entre 12 m e 48 m ocorrem valores de alta resistividade, acima de 1409 $\Omega.m$, associados exposição da rocha sã e a alteração do granito.

Entre o intervalo de 38 m a 60 m, esta área fica mais espessa provavelmente devido a presença de água proveniente da lavagem de automóveis, infiltrada no calçamento de blocos presentes em todo área do posto (Figura 3). Há uma continuidade desta área nas linhas a montante, contudo menos pronunciadas.

Na linha 2 ocorre uma anomalia delimitada na seção, com valores inferiores a 114 $\Omega.m$, entre 26 m e 34 m aproximadamente. O formato e a intensidade de valores indicam uma área que pode indicar a presença de combustíveis no solo.

Esta área de baixa resistividade é limitada por uma zona de alta resistividade, a partir de 36 m no sentido do final da seção, com valores acima de 5000 Ω .m.

A linha 3 apresenta anomalia de baixa resistividade entre 30 m e 35 m, com valores inferiores a 400 Ω .m. Aparentemente, esta área de baixa resistividade representa uma continuidade lateral de uma área semelhante, descrita na linha 2. Esta hipótese é corroborada pelo fato da linha 3 estar posicionada a juzante da linha 2.

Em semelhança a linha 2, a zona de baixa resistividade também é limitada a por uma zona de alta resistividade. Em ambos os casos, há uma aparente interrupção no fluxo de combustível no solo, possivelmente devido a presença de algum tipo de barreira hidráulica, como matações ou fragmentos pouco alterados do substrato granítico presente da área (Figura 3).

As linhas 4 e 5 apresentam baixos valores de resistividade em superfície, cerca de 1409 Ω .m, acompanhado pelo aumento crescente de resistividade em profundidade, com valores superiores a 17464 Ω .m. Ambas as linhas apresentam uma clara definição litológica da área, ou seja, solo residual sotoposto a uma faixa transitória e posteriormente rocha sã. Não há indícios da presença de combustível em ambas as linhas, pois os menores valores de resistividade são substancialmente mais elevados que os descritos para as linhas 2 e 3 (Figura 3).

As linhas 6, 7 e 8 foram linhas realizadas perpendiculares ao posto de abastecimento, onde o terreno é relativamente mais inclinado sentido ao início das linhas (Figura 4).

A linha 6 foi posicionada na lateral anexa ao posto, abaixo e ao longo de uma linha de alta tensão, algo que aparentemente comprometeu a qualidade dos dados, pois ocasionando ruídos e alterações nas medidas.

A linha 7 apresenta uma área de baixa resistividade, com valores próximos de 114 Ω .m, com características semelhantes ao descrito para as linhas 2 e 3. A declividade topográfica neste sentido permite correlacionar ambas as anomalias como proveniente de combustíveis vazados dos tanques enterrados a juzante (Figura 4). A linha 8 também apresenta uma área de baixa resistividade e deve representar o contexto descrito para as linhas com anomalias semelhantes.

A migração de LNAPL em subsuperfície é controlada por chuvas, variações sazonais e pelo gradiente hidrogeológico, associada ao fluxo d'água subterrânea (DANIEL *et al.*, 1994).

As zonas de baixa resistividade descrita em diversas linhas, ocorrência de película de combustível sobrenadante bastante incipiente em amostras de água subterrânea obtidas no poço 1, além do fato de tanques de combustíveis subterrâneos desativados a cerca de 16 anos, são elementos que corroboram com a hipótese de degradação de hidrocarbonetos vazados para o solo e águas subterrâneas.

Estas zonas estão situadas entre 0 m e 2 m de profundidade, algo que indica a impregnação do solo por fase residual, acompanhada por fase sobrenadante, conforme constatação em amostras da água subterrânea local.

Os compostos de fase líquida leve não aquosa (LNAPL) tendem a infiltrar no solo por meio da gravidade após a liberação no ambiente, com movimentação lateral na forma de fase livre até atingir a franja capilar. Na ausência de técnicas de remediação artificiais, esses compostos são consumidos na natureza por meio de processos de atenuação natural (MOREIRA *et al.*, 2007). O fluxo de combustível na área de estudo apresenta uma movimentação lateral estipulada pela interpolação dos valores anômalos das linhas 2, 3, 7 e 8 com ocorrência de valores de baixa resistividade (Figura 5). O aquífero livre é definido pelo contato solo/rocha a aparentemente acompanha a topografia local.

Este fluxo é discordante ao desnível topográfico local, possivelmente devido a presença de fragmentos de rocha parcialmente alterada em solo saprolítico, proveniente do granito sotoposto, que agem como barreiras hidráulicas e ocasionaram o desvio do sentido de fluxo de combustíveis no solo.

A integração das anomalias de baixa resistividade descrita em diversas linhas permite estimar a área de abrangência de combustíveis no solo (Figura 5).

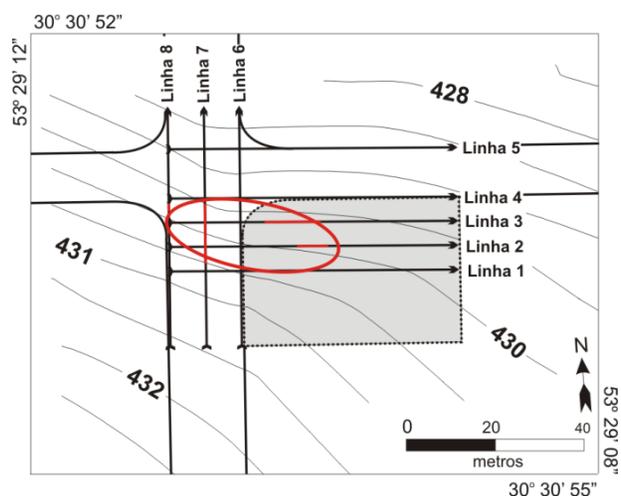


Figura 5 – Abrangência máxima das anomalias de resistividade em planta.

Conclusões

O trabalho resultou em dados satisfatórios apesar das adversidades, como o trânsito intenso de veículo, além da grande quantidade de ruídos para aquisição de dados mediante o método geofísico utilizado. Entretanto, o fato do posto de combustíveis ser em grande parte revestido por blocos auxiliou a realização das diversas linhas sem grandes percalços.

Este tipo de revestimento colabora para a infiltração de água, algo evidenciado por zonas de baixa resistividade na área de lavagem de veículos.

Os dados possibilitaram uma correlação entre áreas de baixa resistividade e a presença de combustível no solo e águas subterrâneas, proveniente de tanques enterrados a montante das anomalias. Análises químicas da água subterrânea atestaram tais apontamentos, embora estejam indisponíveis para incorporação no trabalho.

Os resultados dos modelos de inversão são condizentes com os padrões esperados para hidrocarbonetos

presente na zona saturada do perfil de alteração. Áreas de baixa resistividade elétrica presentes nas primeiras linhas de caminhamento elétrico podem estar relacionadas à degradação na fase residual dos compostos.

O tempo de residência dos contaminantes no solo e o período de exposição dos hidrocarbonetos a processos de degradação influenciam na magnitude de variação do parâmetro físico resistividade elétrica. Tais compostos são caracterizados por alta resistividade num curto período de residência no solo, enquanto que em longo prazo resultam em anomalias de baixa resistividade. Os trabalhos de Braga *et. al.* (2008), Moreira *et. al.* (2006), Moreira *et. al.* (2009) advogam neste sentido.

A interpolação do parâmetro de resistividade modelado obtido nas diversas linhas associadas a áreas com hidrocarboneto degradado, permitiu uma estimativa da área abrangência e do sentido de fluxo de combustíveis no local. Esse sentido é discordante ao desnível topográfico local possivelmente devido a presença de barreiras hidráulicas, como matacões ou blocos de granitos parcialmente alterados, bastante comuns no solo da região de estudos.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Secretaria de Administração da Prefeitura Municipal de Rio Claro, pela liberação da área e apoio na realização do trabalho. Agradecem também ao técnico Francisco Manuel Garcia Barrera, do Departamento de Geologia Aplicada, UNESP – Rio Claro, pelo auxílio na execução dos trabalhos de campo.

Referências bibliográficas

ATEKWANA, E. A.; SAUCK, W. A.; WERKEMA JR, D. D. Investigations of geoelectrical signatures at a hydrocarbon contaminated. *Journal of Applied Geophysics*, vol. 44, p.167-180, 1998.

BRAGA, A. C. O.; MOREIRA, C. A.; CARDINALI, M. T. Variação Temporal da resistividade elétrica em contaminação por gasolina. *UNESP. Geociências*, São Paulo, vol.27, n° 4, p. 517-525, 2008.

DANIEL, J. J.; ROBERTS, R.; VENDI, M. Ground Penetrating Radar for the detection of liquid contaminants. *Journal of Applied Geophysics*, vol. 33, p.197-207, 1994.

GRIFFITHS, D.H. & BARKER, R. Two-dimensional resistivity imaging and modeling in areas of complex geology. *Journal of Applied Geophysics*, n° 29, p 211-226, 1993.

HANSEN, M. A. F.; FENSTERSEIFER, H. C. Caracterização Edafopedológica da Sub-Bacia do Arroio João Dias como Ferramenta de Planejamento Ambiental, Bacia Hidrográfica do Rio Camaquã, RS, Brasil. In: Ronchi, L. H. E Lobato, A.O.C. (Org.) Minas do Camaquã, um estudo multidisciplinar. São Leopoldo: Editora UNISINOS, v. 1, p. 211-240, 2000.

KEAREY, P.; BROOKS, M.; HILL, I. An Introduction to Geophysical Exploration; 3 ed; UK, a Blackwell Publishing Company, 262 p, 2002.

LOWRIE, W. Fundamentals of Geophysics. Second Edition. New York: Cambridge University Press, 375 p, 2007.

MOREIRA, C. A. & DOURADO, J. C.. Análise de Contaminantes de fase Líquida não aquosa (NAPLs) por aplicação do método Eletromagnético Indutivo (EM). *Revista Brasileira de Geofísica*, n° 23, vol. 3, p.213-220, 2005.

MOREIRA, C. A.; DOURADO, J. C.; BRAGA, A. C. O. Aplicação da técnica de caminhamento elétrico em área contaminada por derivados de petróleo. *Revista Brasileira de Geofísica*, n° 24, vol. 4, p. 1-10, 2006.

MOREIRA, C. A.; AQUINO, W. F.; DOURADO, J. C. Aplicação do método eletromagnético indutivo (EM) no monitoramento de contaminantes em superfície. *Revista Brasileira de Geofísica*, 25(4): 413-420, 2007.

MOREIRA, C. A.; DOURADO, J. C.; BRAGA, A. C. O. Aplicação de métodos geofísicos no monitoramento de área contaminada sob atenuação natural. *Engenharia Sanitária e Ambiental*. v.14 n. 2, p. 257-264, abr/jun 2009.

SANTOS, D. A. R. Análise do Monitoramento Ambiental e da delimitação das plumas de contaminantes provenientes de vazamentos em postos de combustíveis: estudos de caso no médio Vale do Paraíba. 2009. 127p. Dissertação de Mestrado (Mestre em engenharia mecânica) Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, São Paulo,.

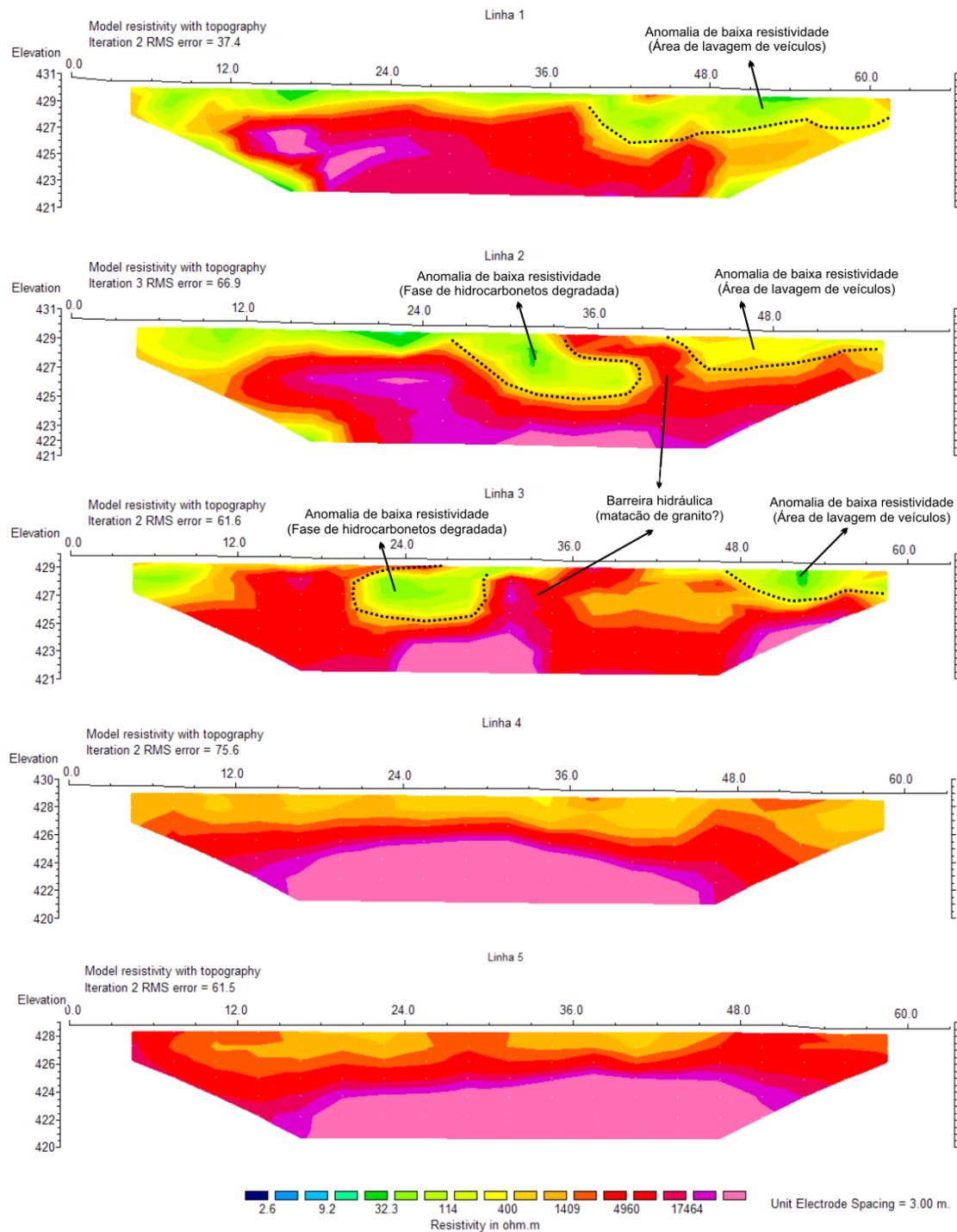


Figura 3 – Modelo de inversão de resistividade, para as linhas 1, 2, 3, 4 e 5.

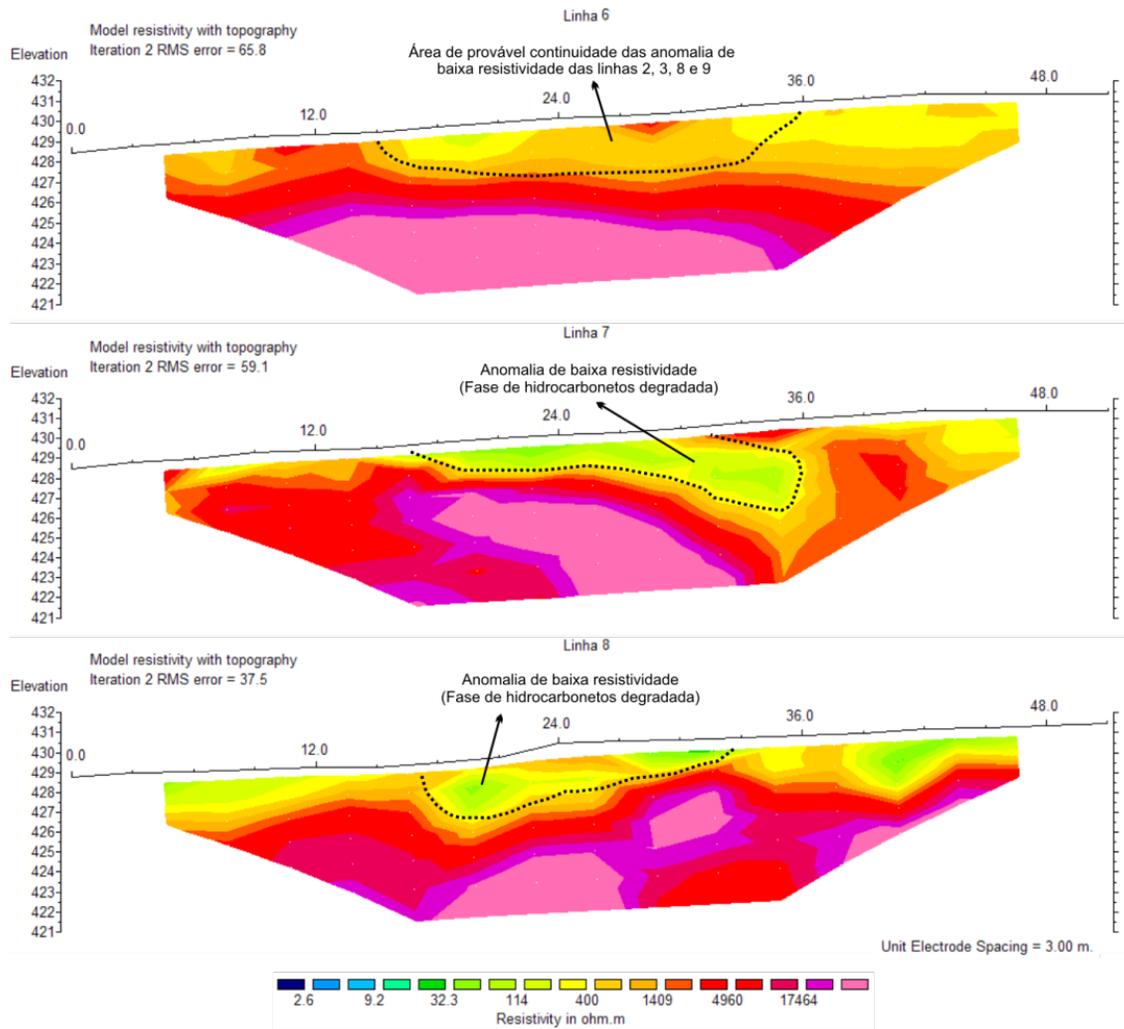


Figura 4 – Modelo de inversão de resistividade, para as linhas 6, 7 e 8.