



Mapeamento tridimensional de um paleocanal por eletrorresistividade

Paula Rayane Lopes de Andrade¹, José Agnelo Soares¹

¹Universidade Federal de Campina Grande

Copyright 2018, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

Este texto foi preparado para a apresentação no VIII Simpósio Brasileiro de Geofísica, Salinópolis, 18 a 20 de setembro de 2018. Seu conteúdo foi revisado pelo Comitê Técnico do VIII 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

Este trabalho apresenta o resultado de um levantamento de eletrorresistividade ao longo de um trecho do rio Sucuru, nas proximidades da cidade de Sumé-PB. O objetivo é mapear a ocorrência de sedimentos saturados com água cujo paleocanal principal se constitui numa feição adequada a perfuração de poços produtores de água. Foram registradas seis linhas 2D as quais foram interpoladas para a geração de um modelo 3D de um trecho da calha do rio. De modo geral, vê-se que há uma zona resistiva, no topo, que corresponde aos sedimentos da zona não-saturada, e outra na base, que corresponde ao topo do embasamento cristalino. Pode-se identificar uma região retilínea e contínua, de baixa resistividade, que corresponde ao principal paleocanal nesse trecho do rio.

Introdução

O reconhecimento de paleocanais é um elemento importante na construção do processo evolutivo dos sistemas fluviais. Ao longo do tempo processos como alteração climática e intemperismo provocam a realocação e o redimensionamento de canais fluviais. Antigos canais são preenchidos por sedimentos e novos canais surgem como caminhos alternativos ao fluxo de água. Paleocanais fornecem informações sobre o paleoclima, possíveis ocorrências minerais associadas à dinâmica fluvial e quanto à favorabilidade hidrogeológica.

Muitas vezes a sua presença não pode ser detectada em superfície, fazendo-se necessário o uso de métodos geofísicos para a sua localização e dimensionamento. Os métodos utilizados no reconhecimento dos paleocanais são variados, tais como o emprego de imagens multiespectrais (Gilvear & Bryant, 2003), modelos digitais de elevação (Almeida Filho & Miranda, 2007) e imagens de radar de abertura sintética (Rossetti, 2010). Diversos autores usaram técnicas geofísicas para o reconhecimento de paleocanais. Genau *et al* (1994) aplicaram o método sísmico de reflexão, de alta resolução e baixa profundidade de investigação, para mapear paleocanais quaternários em Maryland, EUA. Fradelizio *et al* (2008) utilizaram o imageamento sísmico 3D para identificar as margens e o fundo de um

paleocanal inserido entre 10 e 15 metros de profundidade em uma camada de argila. Islam *et al* (2016) utilizaram sondagem elétrica vertical e levantamento da condutividade elétrica para mapear um paleocanal no

deserto Cholistan do Paquistão e avaliar a qualidade da água subterrânea presente nele.

Os dados hidrogeológicos clássicos têm sido complementados com informação geofísica da subsuperfície. Estas novas informações permitem obter imagens mais precisas dos sistemas aquíferos (Schwinn & Tezkan 1997; Unsworth *et al.* 2000; Krivochieva & Chouteau 2003; Meju *et al.* 2003; Kafri & Goldman 2005; Pedersen *et al.* 2005; Mota & Monteiro dos Santos 2006). Falgàs *et al* (2011) caracterizaram a estrutura litológica complexa e a intrusão marinha pela combinação de dados hidrogeológicos, audiomagnetotelúricos (AMT) e modelos de reflexão e de refração sísmica. Dessa forma eles determinaram a espessura e a continuidade lateral dos aquíferos, bem como a sua forma e a profundidade do embasamento. Os modelos gerados revelaram que o caminho principal para a intrusão salina era constituído por um paleocanal soterrado existente na área.

O objetivo deste trabalho é investigar a disposição dos sedimentos saturados em água dispostos ao longo de um trecho da calha do Rio Sucuru, o qual consiste em um rio intermitente localizado na região semi-árida do nordeste brasileiro. As unidades que compõem tal depósito foram mapeadas através da aplicação do método geofísico de eletrorresistividade. A Figura 1 apresenta o mapa de localização da área de estudo, indicada pelo retângulo amarelo, a qual mede 125 m na direção do eixo Y por 100 m na direção do eixo X. A área estudada se encontra dentro de um perímetro irrigado o qual utiliza poços para satisfazer a demanda hídrica. De acordo com Vieira (2002), a largura dos depósitos aluviais que ocorrem no trecho do perímetro irrigado varia entre 100 m e 350 m e a espessura do pacote aluvial varia entre um mínimo de 0,45 m e um máximo de 9,30 m.

Geologia

As rochas presentes na região são compostas por gnaisses claros com freqüentes intercalações de anfibolitos, calcissilicáticas, com raras formações ferríferas. Podem ocorrer ainda rochas ultramáficas, granulitos e metapiroxenitos (CPRM, 2000). O aquífero existente na área consiste de um aquífero granular livre, não-drenante, composto por grãos de silte, areia e argila.

Método

Para investigar os sedimentos saturados dispostos ao longo do trecho em estudo foi aplicado o método da eletrorresistividade, através da aquisição de múltiplas SEVs, usando o arranjo Schlumberger de eletrodos. O equipamento utilizado foi um eletrorresistímetro Bodenseewerk Geosystem model GGA 30, conforme mostrado na Figura 2.



Figura 1 – Mapa de localização da área investigada (retângulo amarelo). As setas azuis indicam o sentido do fluxo do rio. Os círculos vermelhos indicam a localização dos centros das SEVs. A aquisição de dados foi realizada no sentido 0-X e 0-Y. No lado esquerdo do mapa vê-se parte da cidade de Sumé.



Figura 2 – Equipamentos utilizados na aquisição dos dados de eletrorresistividade.

Na área investigada, conforme indicado na Figura 1, foram feitas seis linhas espaçadas entre si por 25 m, onde para cada linha foram feitas seis SEVs com espaçamento entre elas de 20 m. O espaçamento utilizado entre os eletrodos de corrente foi de 10 m e entre os eletrodos de potencial foi de 2 m. O tamanho total de cada linha foi de 200 m, e para cada SEV, uma distância máxima de 100 m entre os eletrodos de corrente.

A aquisição dos dados foi realizada na forma de linhas dispostas na direção perpendicular ao eixo da calha do rio. Cada linha começa na posição $X = -50$ m (ver Figura 1) e termina na posição $X = 150$ m. No entanto, as seções geoeletricas são geradas apenas na região entre os centros da primeira e da sexta SEV de cada linha, de modo que cada seção começa em $X = 0$ m e termina em $X = 100$ m. As linhas foram registradas para posições Y

sucessivamente crescentes, desde $Y = 0$ m até $Y = 125$ m.

A topografia do terreno é relativamente plana, apresentando apenas depressões submétricas em áreas localizadas do centro da calha do rio. Tais variações topográficas foram desprezadas neste estudo.

A inversão dos dados foi realizada através do software Res2Dinv para cada linha individual de SEVs aplicando a opção de inversão pelo método dos mínimos quadrados, resultando em seções geoeletricas com profundidade máxima de aproximadamente 20 metros.

Para a interpolação dos dados de resistividade, de modo a criar valores no espaço entre as seções bidimensionais, foi utilizado o software Voxler. Nele foi gerado um modelo tridimensional da área estudada através da aplicação de um processo de discretização do espaço 3D por uma malha de células tridimensionais. Para a interpolação foi aplicado o método do inverso do quadrado da distância com busca anisotrópica de dados. Os raios de busca adotados nas direções x, y e z (profundidade), foram respectivamente 25 m, 62,5 m e 5 m. O número mínimo e máximo de dados a considerar dentro do elipsóide de busca foi respectivamente de 3 e 50.

Resultados

As figuras 3 a 8 apresentam as seções geoeletricas de resistividade obtidas pela inversão dos dados de cada linha registrada. Os erros RMS obtidos na inversão de cada linha são apresentados na Tabela 1. Os erros encontrados, todos abaixo de 30%, foram considerados aceitáveis, sendo ainda observada uma redução considerável no erro para as linhas 03 a 06.

Tabela 1 – Erros RMS obtidos para cada linha de dados.

Linha	Erro RMS (%)
01	29,1
02	26,7
03	15,7
04	18,2
05	16,8
06	15,1

De modo geral se observa uma predominância de regiões resistivas na porção superior das seções, assim como, na maioria das seções, na região inferior direita. Por outro lado, a região condutiva se encontra de forma predominante nas regiões esquerda e central das seções geoeletricas.

A Figura 9 apresenta o conjunto de seções geoeletricas como elas são visualizadas no software utilizado para interpolação. Nesta figura todas as seções se encontram em uma mesma escala de cores e se encontram posicionadas em relação ao sistema de eixos.

A Figura 10 apresenta o modelo 3D interpolado para toda a área estudada. Nesta imagem as resistividades apresentadas estão limitadas a 200 ohm.m, pois acima

deste valor não se espera que ocorram sedimentos saturados por água.

As figuras 11 e 12 apresentam cortes do modelo 3D no plano XY a profundidades de 10 m e 17 m, respectivamente. Nelas se observa que os sedimentos saturados de baixa resistividade (cor azul) se concentram ao longo de uma região aproximadamente retilínea na posição $X = 24$ m. Esta região condutiva indica a posição do principal paleocanal soterrado neste trecho do rio Sucuru. Diferentemente da profundidade máxima indicada por Vieira (2002), a profundidade máxima dos sedimentos ao longo do paleocanal identificado neste trabalho está em torno de 20 metros.

A figura 13 apresenta as superfícies que separam as zonas com resistividade elétrica maiores e menores que 200 ohm.m, uma vez que se considera esse valor como sendo a resistividade máxima esperada para sedimentos saturados com água. De modo geral, vê-se que há uma zona resistiva, no topo, que corresponde aos sedimentos da zona não-saturada, e outra na base, que corresponde ao topo do embasamento cristalino. Próximo ao canto inferior direito vê-se uma região retilínea e contínua, de baixa resistividade, que corresponde ao principal paleocanal nesse trecho do rio.

Conclusões

Nesse trabalho foi demonstrada a eficiência do método da eletrorresistividade para a identificação e o dimensionamento de um paleocanal soterrado na calha de um rio intermitente da região nordeste do Brasil. A profundidade máxima dos sedimentos saturados, ao contrário do anteriormente relatado na literatura, chega a atingir até 20 m. O modelo 3D gerado permite visualizar a distribuição espacial dos sedimentos, mostrando as suas irregularidades. Além do paleocanal principal ocorrem canais secundários, especialmente do lado esquerdo do modelo, os quais não podem ser completamente identificados por meio de um programa regular de sondagens.

A identificação do paleocanal principal permite otimizar a locação de poços a serem perfurados com o objetivo de produzir água subterrânea. Isto é de especial importância para a região semiárida do nordeste brasileiro.

Referências

ALMEIDA FILHO, R.; MIRANDA, F.P. 2007. Mega Capture of the Rio Negro and Formation of the Anavilhanas Archipelago, Central Amazonia, Brazil: Evidences in an SRTM Digital Elevation Model. *Remote Sensing of Environment*, 110, 387-392.

CPRM. 2000. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais/Serviço Geológico do Brasil. SUMÉ – FOLHA SB.24-Z-D-V. Brasília – DF.

FALGÁS, E.; LEDO, J.; BENJUMEA, B.; QUERALT, P.; MARCUELLO, A.; TEIXIDÓ, T.; MARTÍ, A. 2011. Integrating Hydrogeological and Geophysical Methods for the Characterization of a Deltaic Aquifer System. *Surv Geophys* (2011) 32:857–873.

FRADELIZIO, G. L.; LEVANDER, A.; ZELT, C. A. 2008. Three-dimensional seismic-reflection imaging of a shallow buried paleochannel. *Geophysics* (2008) 73 (5): B85-B98.

GENAU, R. B.; MADSEN, J. A.; MCGEARY, S.; WEHMILLER, J. F. 1994. Seismic-Reflection Identification of Susquehanna river Paleochannels on the Mid-Atlantic Coastal Plain. *Quaternary Research*, 42, 166-175.

GILVEAR, D.; BRYANT, R. G. 2003. Analysis of Aerial Photography and Other Remotely Sensed Data. In: KONDOLF, G. M.; PIEGAY, H (ed.). *Tools in Fluvial Geomorphology*, Chichester: Wiley, pp. 135-170.

ISLAM, Z.U.; IQBAL, J.; KHAN, J.A.; QAZI, W.A. 2016. Paleochannel delineation using Landsat 8 OLI and Envisat ASAR image fusion techniques in Cholistan desert, Pakistan. *J. Appl. Remote Sensing* 10(4), 046001, doi: 10.1117/1. JRS.10.046001.

KAFRI, U.; GOLDMAN, M. 2005. The use of the time domain electromagnetic method to delineate saline groundwater in granular and carbonate aquifers and to evaluate their porosity. *J Appl Geophys* 57(3): 167–178.

KRIVOCHIEVA, S.; CHOUTEAU, M. 2003. Integrating TDEM and MT methods for characterization and delineation of the Santa Catarina aquifer (Chalco Sub-Basin, Mexico). *J Appl Geophys* 52(1):23–43.

MEJU, M. A.; GALLARDO, L.; MOHAMED, A. K. 2003. Evidence for correlation of electrical resistivity and seismic velocity in heterogeneous near-surface materials. *Geophys Res Lett* 30(7):1373.

MOTA, R.; MONTEIRO DOS SANTOS, F. 2006. 2D sections of porosity and water saturation percent from combined resistivity and seismic surveys for hydrogeologic studies. *Lead Edge* 25:735–737.

PEDERSEN, L. B.; BASTANI, M.; DYNESIUS, L. 2005. Groundwater exploration using combined controlled-source and radiomagnetotelluric techniques. *Geophysics* 70:G8–G15.

SCHWINN, W.; TEZKAN, B. 1997. 1D joint inversion of radiomagnetotelluric (RMT) and transient electromagnetic (TEM) data; an application for groundwater prospecting in Denmark. 3rd EEGS, Aarhus.

UNSWORTH, M. J.; LU, X.; WATTS, M. D. 2000. AMT exploration at Sellafield: characterization of a potential radioactive waste disposal site. *Geophysics* 65:1070–1079.

VIEIRA, L. J. S. 2002. Emprego de um modelo matemático de simulação do fluxo subterrâneo para definição de alternativas de exportação de um aquífero aluvial.117f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande.

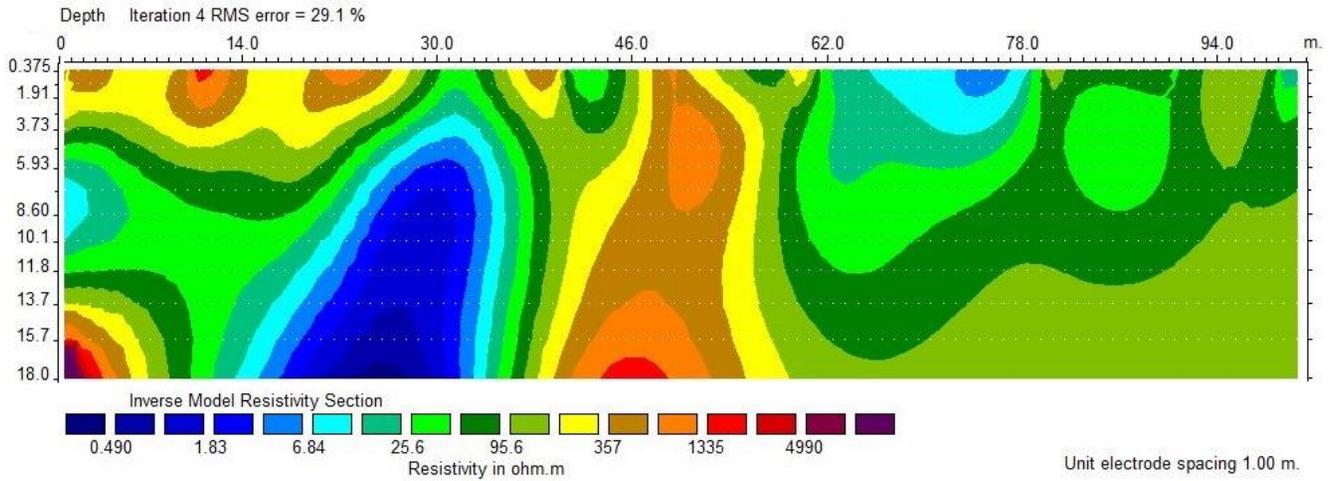


Figura 3 – Seção geoeétrica de resistividade da linha 01 (Y = 0 m).

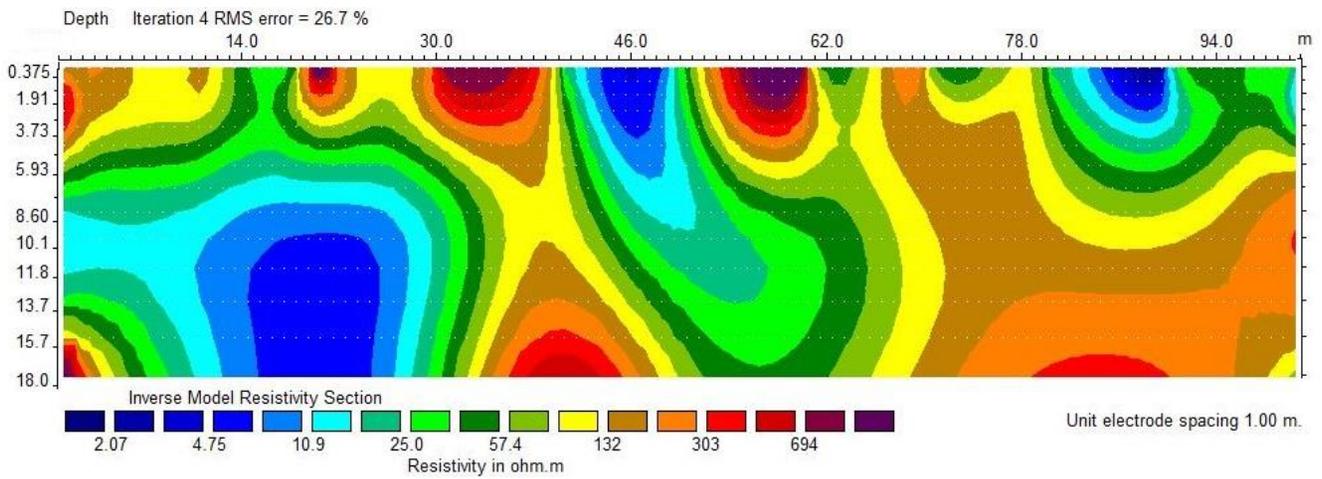


Figura 4 – Seção geoeétrica de resistividade da linha 02 (Y = 25 m).

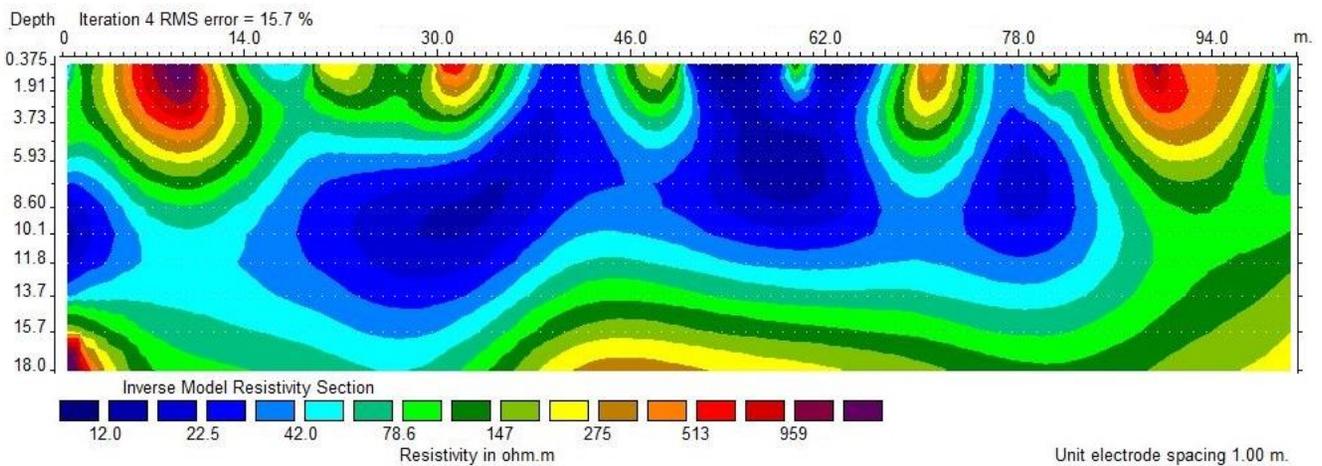


Figura 5 – Seção geoeétrica de resistividade da linha 03 (Y = 50 m).

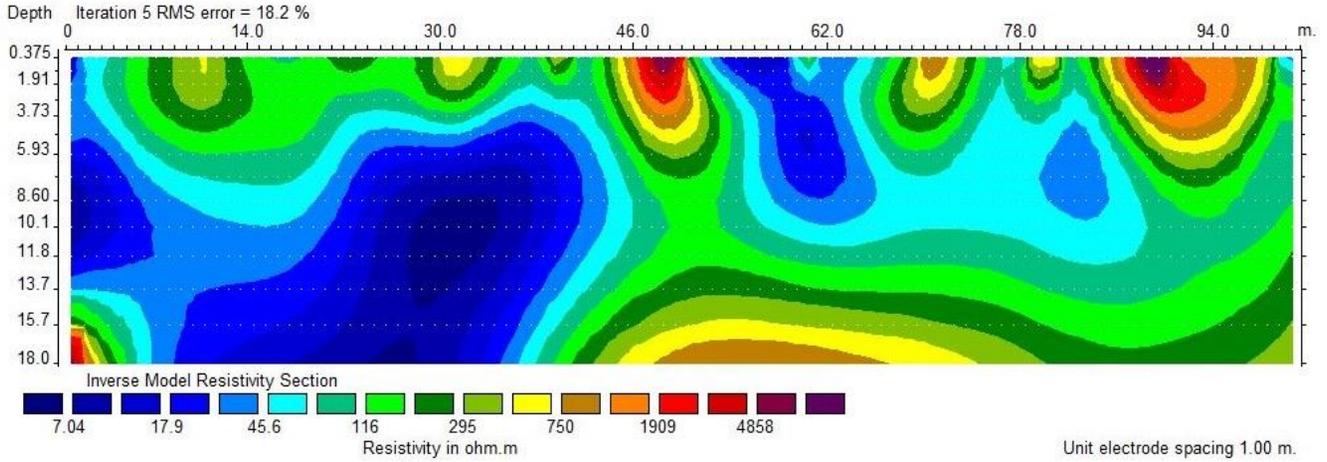


Figura 6 – Seção geolétrica de resistividade da linha 04 (Y = 75 m).

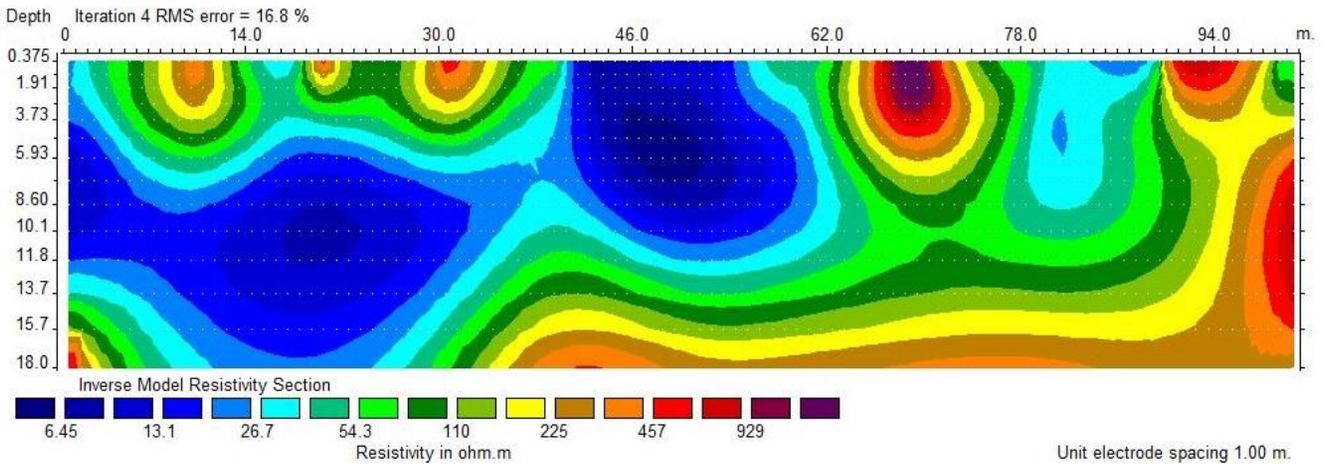


Figura 7 – Seção geolétrica de resistividade da linha 05 (Y = 100 m).

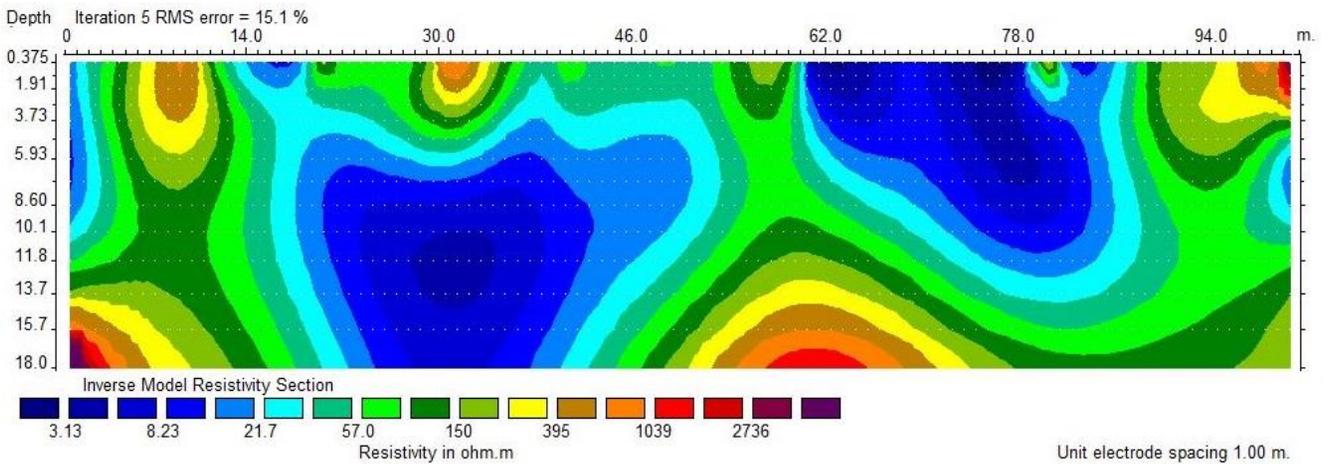


Figura 8 – Seção geolétrica de resistividade da linha 06 (Y = 125 m).

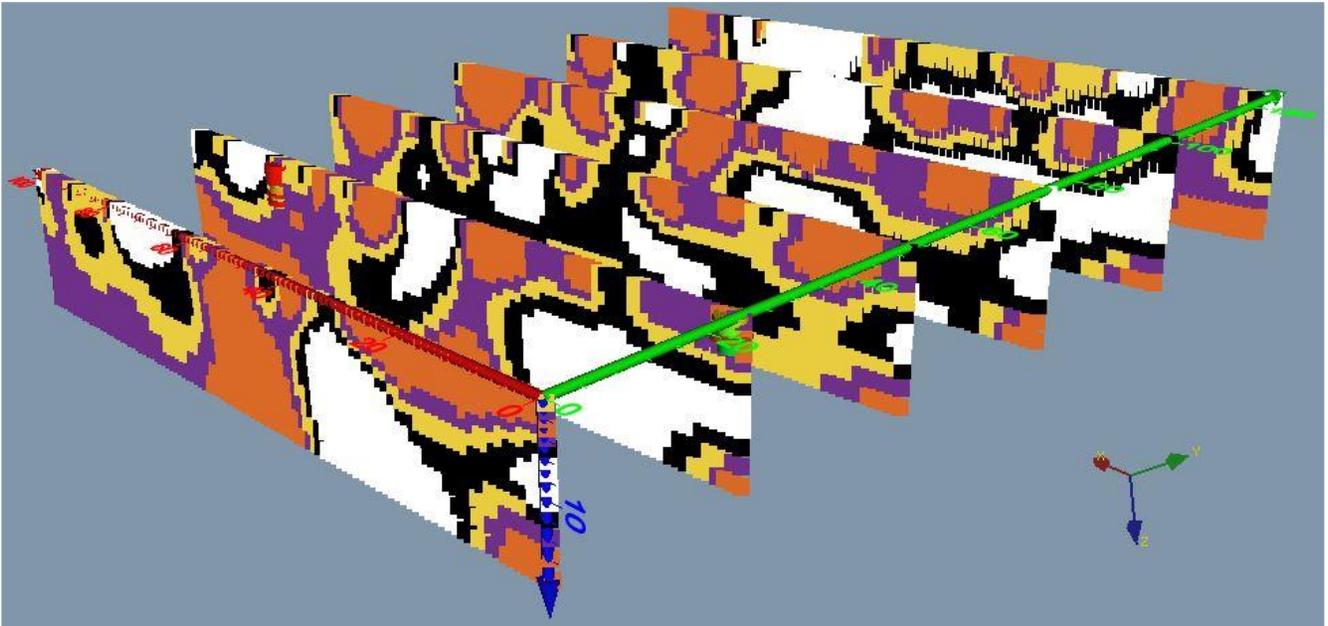


Figura 9 – Conjunto de seções geoeletricas visualizadas no software utilizado para interpolação.

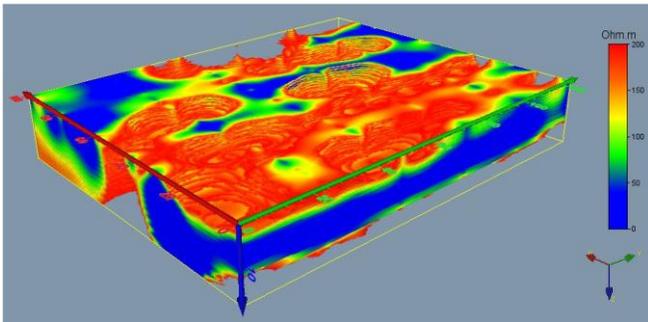


Figura 10 – Modelo 3D de resistividade elétrica da área de estudo.

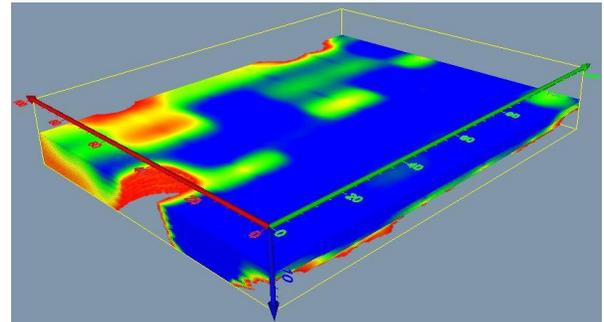


Figura 11 – Corte do modelo 3D de resistividade elétrica na profundidade de 10 m.

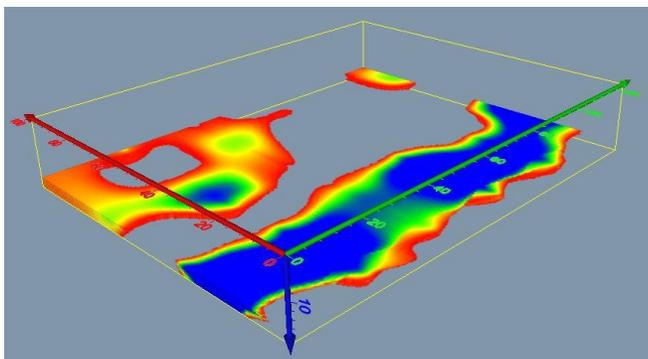


Figura 12 – Corte do modelo 3D de resistividade elétrica na profundidade de 17 m.

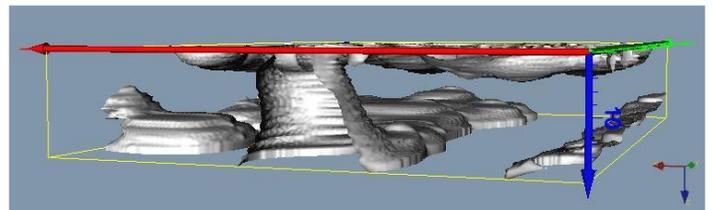


Figura 13 – Superfícies de resistividade elétrica maiores que 200 ohm.m. Nesta figura observa-se o paleocanal claramente indicado na parte inferior direita, o topo do embasamento à esquerda e à direita do paleocanal e a zona resistiva superficial que corresponde à zona acima do nível d'água.