



## Métodos geoeletricos no estudo da contaminação subterrânea na área do Cemitério Municipal de Rio Claro - SP

Walter Malagutti Filho, Depto. de Geologia Aplicada – IGCE-Unesp, Campus de Rio Claro, SP.

César Augusto Moreira, Universidade Federal do Pampa, Campus de Caçapava do Sul, RS.

Copyright 2011, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation during the 12<sup>th</sup> 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 12<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 paper presents and discusses the applying results of electrical resistivity method, using the techniques of vertical electric sounding (VES) and 2D electrical profiling (EP), in the groundwater contamination surveying in the municipal cemetery in Rio Claro - SP, by the necrochorume. This effluent can cause soil and groundwater contamination due to the presence of elements such as nitrate, dissolved metals, viruses and bacteria, with inherent risks to human health. Such contaminant presence in the geological environment has often resulted in lower resistivity values when compared to a non-impacted area. The given characteristic allowed the application of the geophysical techniques proposed for the area, whose results allow the definition of three bands which could be seen in the resistivity profiling sections, leading to the identification of uncontaminated areas - high resistivity - areas with residual contamination - intermediate values - and probably contaminated areas - low resistivity. The groundwater flow direction definition through VES has demonstrated the concomitant migration (necrochorume) to E / NE. The geophysical result has shown correlation with the spatial and temporal cemetery occupation evolution throughout its history, once the low and high resistivity values have been respectively associated to the most ancient and most recent built regions in the cemetery area.

### Introdução

A principal causa de poluição subsuperficial em áreas de cemitérios é a percolação do necrochorume, efluente gerado a partir da decomposição dos corpos. Em termos físico-químicos esse efluente apresenta, na sua composição, 60% de água, 30% de sais minerais e 10% de substâncias orgânicas.

Historicamente, a localização dos cemitérios privilegia áreas afastadas dos centros urbanos. No entanto, com o intenso e, muitas vezes, desordenado processo de urbanização, é comum encontrar atualmente cemitérios integrados à malha urbana, até mesmo em áreas centrais, como é o caso do Cemitério Municipal da Cidade de Rio Claro – SP. Neste contexto, a realização de estudos para detecção de eventuais contaminantes, monitoramento e formas de remediação destes poluentes é extremamente importante, diante dos riscos às

populações residentes nas adjacências de cemitérios. Métodos geofísicos têm sido amplamente aplicados na caracterização do meio físico subsuperficial na detecção de contaminantes orgânicos, inorgânicos e metais, provenientes de fontes diversas de contaminação, como aterros sanitários, tanques enterrados, oleodutos, descarte de resíduos de processos industriais, vazamento em áreas de estocagem de produtos químicos, entre outros. Optou-se nesse estudo pelo uso do método da eletrorresistividade, uma vez que a o necrochorume é rico em elementos inorgânicos, cuja presença no solo e água subterrânea é caracterizada pela redução nos valores de resistividade elétrica quando comparados aos valores naturais locais. Esse método apresenta adicionalmente a vantagem da versatilidade operacional quando utilizado em meio urbano, no qual se inserem a maioria dos cemitérios em operação. Foram usadas nesse estudo, especificamente as técnicas da sondagem elétrica vertical e do imageamento elétrico. O emprego da sondagem elétrica visou à elaboração do mapa potenciométrico da área para fins de determinação do comportamento do fluxo da água subterrânea. O imageamento elétrico foi executado com vistas à detecção de contrastes de valores que permitam associações com eventuais plumas de contaminação gerada no cemitério e sua possível expansão condicionada pelo fluxo.

### Métodos

A sondagem elétrica vertical – SEV com o emprego do arranjo Schlumberger consiste basicamente, na análise da variação da resistividade obtida a partir de medidas efetuadas na superfície do terreno, investigando, de maneira pontual, sua variação em profundidade. A finalidade da interpretação de uma SEV é, portanto: (1) determinar a distribuição espacial dos parâmetros geoeletricos medidos no subsolo, partindo dos dados das curvas de campo observados na superfície do terreno, e (2) buscar o significado geológico de tais parâmetros. Foram executadas 11 sondagens elétricas verticais, com aberturas espaçamentos máximos de AB de 200m. Essas sondagens foram executadas, com o intuito principal de elaborar o mapa potenciométrico da área, que reflete o fluxo da água subterrânea.

Nesse trabalho, na modelagem dos dados de SEV, a espessura e a resistividade das camadas foram calculadas, a partir do *software IX1D v.3, da Interpex, Inc.* O imageamento elétrico – IE se baseia na análise e interpretação do significado das variações de um parâmetro geoeletrico, obtido a partir de medidas efetuadas na superfície do terreno, ao longo de um perfil, a uma ou mais profundidades determinadas. Os resultados obtidos se relacionam entre si através de

mapas (a uma ou mais profundidades determinadas), ou de seções (com várias profundidades de investigação).

No presente trabalho, foi empregado o arranjo dipolo-dipolo no qual, podem-se utilizar, simultaneamente, vários dipolos de recepção dispostos ao longo da linha a ser levantada (Ward, 1990). Os ensaios foram executados em quatro linhas paralelas entre si no sentido longitudinal do cemitério, com 380 metros de comprimento cada; e em quatro linhas – também paralelas – no sentido transversal. Foram realizados também ensaios em uma linha de 115 metros localizada nas imediações do cemitério, mas fora de sua área de influência cujos resultados serviram como referência para as interpretações. O espaçamento entre os eletrodos foi de 10m entre eletrodos e a amostragem foi feita em leituras em 5 níveis de profundidade.

Os resultados foram processados e modelados através da inversão pelo software *Res2dinv V. 3.5 - 2D Resistivity and IP Inversion, Geotomo Software – Malasia*. Esse programa executa um imageamento bidimensional do terreno, empregando a técnica da inversão, com o método dos mínimos quadrados com uma “suavização compelida” (*smoothness-constrained*), (Loke & Barker, 1995) considerando a variação dos valores da resistividade aparente.

### Caracterização da área de estudos

O cemitério municipal São João Batista está localizado na Avenida da Saudade, Bairro do Estádio, município de Rio Claro - SP. Trata-se do primeiro cemitério da cidade, com 130 anos de utilização e área total de 80.000 m<sup>2</sup>. Atualmente sua capacidade está esgotada, ocorrendo sepultamentos apenas em jazigos familiares e após dois anos do último sepultamento. Em termos geológicos está localizado sobre litotipos pertencentes à Formação Rio Claro unidade pertencente à Bacia Sedimentar do Paraná (Zaine, 1994).

A Figura 1 mostra a localização dos ensaios dentro da área do estudo. É notável nessa figura a forte inserção urbana e a alta densidade de ocupação do cemitério, fator que dificultou a execução dos ensaios.

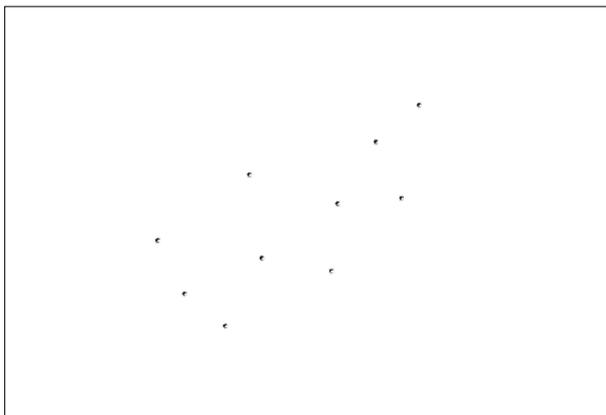
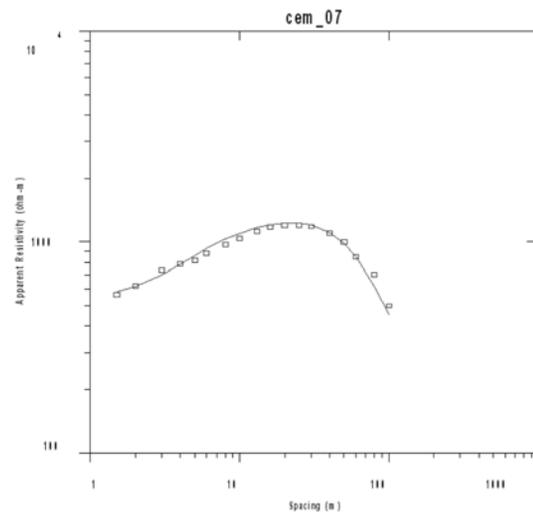


Figura 1 – Localização dos ensaios geofísicos

### Resultados

O modelo geoeletrico interpretado pode ser assim resumido: (1) estrato superior caracterizado por valores relativamente mais baixos de resistividade, indicativo de um solo areno-argiloso, levemente úmido devido à ausência de processos de evapotranspiração pela presença de calçamento na área. Este intervalo está acima da fonte da contaminação, englobando a porção basal dos jazigos, com profundidade em torno de 1,5m. (2) estratos intermediários, com valores crescentes de resistividade no sentido basal, revelam um intervalo seco ou pouco úmido e susceptível a percolação do necrochorume. Os elevados valores de resistividade sugerem uma litofácies mais arenosa e seca nesse intervalo, que facilitaria a percolação do eventual contaminante; (3) o último estrato geoeletrico define o nível freático, sustentado na área por litotipos argilosos da Formação Corumbataí bastante impermeáveis e pouco resistivos. Uma curva de SEV típica na área do cemitério é mostrada na Figura 2.

A posição do nível freático foi representada sob a forma de mapa potenciométrico, com isolinhas da sua cota e indicação das direções preferenciais do fluxo d'água. (Figura 3). Observa-se que o nível freático no cemitério varia de 24m a 31m, com fluxo d'água sentido E-NE.



Figur

a 2 - Curva de sondagem elétrica típica da área.

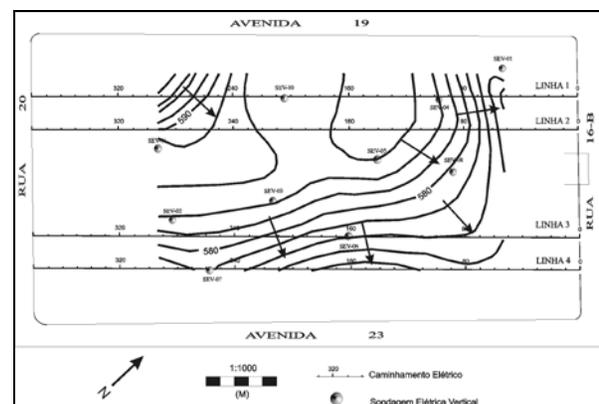


Figura 3 – Mapa potenciométrico - obtido com as SEVs

Com relação aos ensaios do Imageamento Elétrico, de forma geral, considerando simultaneamente os resultados das oito seções (Figura 3) e comparando-se

seus resultados com a seção de referência (Figura 4) é possível a delimitação:

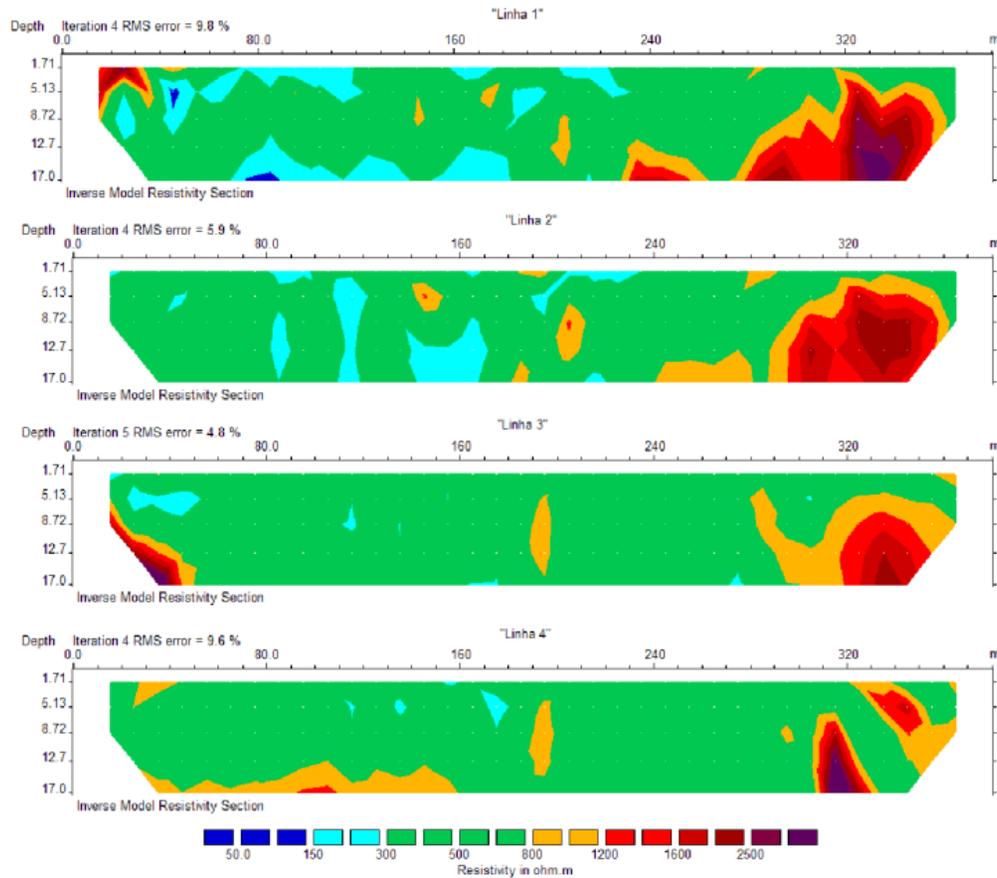


Figura 3 – Seções típicas do imageamento elétrico, dentro da área do cemitério – sentido longitudinal.

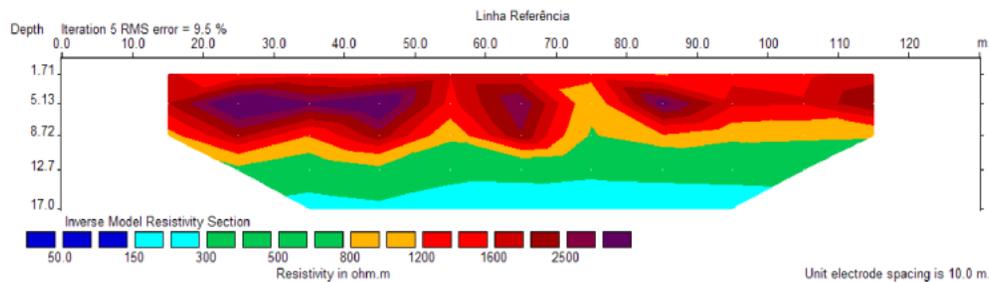


Figura 4 – Seção de imageamento elétrico, localizada fora da área do cemitério.

- da região do cemitério que não estaria sujeita à contaminação; nesse trabalho, associam-se de forma qualitativa a essas regiões àquelas cujos valores da resistividade elétrica são maiores do que  $800\Omega\text{m}$ , que seriam os valores correspondentes aos arenitos insaturados da Fm. Rio Claro;
- da região do cemitério que apresenta provavelmente a contaminação pelo necrochorume - valores inferiores a  $300\Omega\text{m}$ ;

- áreas com valores intermediários entre esses extremos – entre  $300\Omega\text{m}$  a  $800\Omega\text{m}$  seriam consideradas uma zona de transição, já sob a influência do necrochorume. Ainda considerando o conjunto dos resultados, observa-se que as seções das linhas 01 e 02 apresentam valores menores, relativamente em sua metade inicial, aproximadamente até 160 metros. A partir desse ponto é possível concluir que os materiais de sub-superfície estariam menos sujeitos à ação do necrochorume e que

o terço final da seção apresenta valores correlacionáveis ao terreno natural.

Já as seções das linhas 03 e 04 apresentam valores relativamente baixos de resistividade por praticamente toda a sua extensão, com exceção das porções finais a partir de 280 metros. O alcance em profundidade das anomalias que refletem a contaminação é de forma geral em torno de 12 a 15 metros, portanto, sem atingir o lençol freático na área.

Os mapas que representam a variação da resistividade nos diferentes níveis de profundidade, mostrados na Figura 5 ilustram o comportamento da contaminação em diferentes profundidades.

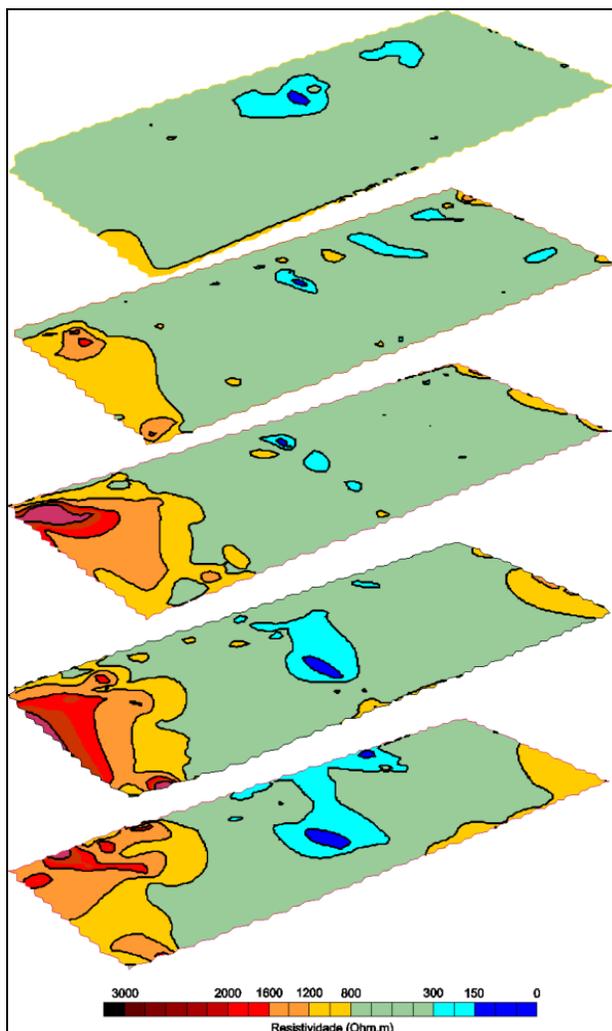


Figura 5 – Representação da variação da resistividade na área do cemitério em diferentes profundidades.

### Conclusões

O comportamento das anomalias condutivas que poderiam se associar à contaminação devida ao

necrochorume está bastante coerente com dois aspectos histórico (1) e físico (2) relativos ao cemitério, pois:

1. uma vez que a ocupação do cemitério teve início a partir da sua entrada – distâncias menores - (Gimenes, 2006), é coerente que essa região esteja mais contaminada, pois a produção e percolação do necrochorume foi relativamente maior devido a constante renovação da fonte contaminadora por sucessivos sepultamentos num período maior. O padrão resistivo predominante na parte final das seções indica restrição da fonte contaminante, possivelmente resultado de um número menor de sepultamentos - por se tratar de jazigos mais recentes. Outro fator importante são as condições de preservação do acabamento interno dos jazigos, confeccionados por reboco de cimento. O acabamento interno mais preservado retarda a percolação de necrochorume no solo, e dependendo da resolução do arranjo ou técnica geofísica aplicada, tais intervalos podem se mostrar aparentemente não contaminados.

2. observa-se que a pluma de contaminação ocorre de forma mais homogênea e em praticamente toda a extensão das linhas 3 e 4. Esse fato justifica-se uma vez que essas linhas estão localizadas à jusante do fluxo da água subterrânea sob a área do cemitério (fluxo para E-NE) sugerindo que o necrochorume que vem sendo gerado ao longo do tempo da história está sendo carreado na direção dessas linhas. O material subsuperficial sob as linhas 1 e 2 está menos contaminado, pois encontra-se a montante do fluxo.

Em todas as seções geoeletricas observa-se entre as distâncias 170 a 210 metros uma anomalia vertical de resistividade de caráter restrito – alto valor relativo – cuja ocorrência seria devido a uma eventual estrutura construtiva ligada à expansão do cemitério, uma vez que essa distância coincide aproximadamente com seu limite inicial, não tendo, portanto, nenhuma conotação geológica ou ambiental, a priori.

### Referências bibliográficas

- Gimenes, D. 2006. Outro olhar sobre Rio Claro – a edificação do cemitério São João Batista – 188p, (no prelo).
- Loke, M.H.; Barker, R.D.-1995. Least-squares deconvolution of apparent resistivity pseudosections. *Geophysics*, 60(6), pp. 1682-1690.
- Ward, S.H. 1990. Resistivity and polarization methods. *Geotechnical and environmental geophysics*. Tulsa, OK. Ed. SEG, v.1, pp. 147-189.
- Zaine, J.E. 1994. Geologia da Formação Rio Claro na folha de Rio Claro (SP). Dissertação (Mestrado em Geociências). Instituto de Geociências e Ciências Exatas. Universidade Estadual Paulista, 134p.