



DIAGNÓSTICO AMBIENTAL DE SUBSUPERFÍCIE DO CEMITÉRIO MUNICIPAL DE RIO CLARO-SP POR MEIO DE MÉTODOS ELÉTRICOS E ELETROMAGNÉTICOS

Walter Malagutti Filho, Depto de Geologia Aplicada – IGCE/UNESP – Rio Claro, SP;
Fernanda Vieira Xavier, Doutoranda em Geociências e Meio Ambiente – IGCE/UNESP – Rio Claro, SP;
César Augusto Moreira, Depto de Geologia Aplicada – IGCE/UNESP – Rio Claro, SP;
Antônio Celso de Oliveira Braga, Depto de Geologia Aplicada - IGCE/UNESP – Rio Claro, SP.

Copyright 2013, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation during the 13th International Congress of the Brazilian Geophysical Society held in Rio de Janeiro, Brazil, August 26-29, 2013.

Contents of this paper were reviewed by the Technical Committee of the 13th 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

In areas of cemetery, a major cause of subsurface pollution is the percolation of necrochorume, effluent from the decomposition of the bodies. Particularly in Brazil, the location of cemeteries occurs most often, fully in urban areas, leaving a risk to public health. The necrochorume 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 some geophysical techniques 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. Therefore, this paper presents and discusses the applying results of electromagnetic profiling (using Geonics EM-34 system) and electrical resistivity method, using the techniques of vertical electric sounding (Schlumberger and Gradiente array) and 2D electrical profiling (EP). The groundwater flow direction definition through VES has demonstrated the concomitant migration (necrochorume) from NE to SW. The geophysical results has shown good 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 contaminação de águas subterrâneas pode ocorrer a partir de infiltração de fossas sépticas, disposição final de resíduos sólidos como lixões, vazamentos de tanques de armazenamento de produtos tóxicos como derivados de petróleo (combustíveis diversos), de necrochorume em áreas de cemitérios, dentre outros não menos importantes. A última – cemitérios é pouco conhecida, uma vez que existe uma pequena quantidade de estudos realizados e trabalhos publicados talvez pela simples aversão que o tema comumente produz. O certo é que a

necessidade de estudos mais aprofundados é notória, principalmente após a resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. O texto dispõe sobre a obrigatoriedade do licenciamento ambiental de cemitérios no território nacional (CONAMA, 2003), já que os mesmos são fontes de contaminação localizada, mas de grande periculosidade, devido à elevada carga de patógenos que pode estar presente.

Em áreas de cemitério, a principal causa de poluição subsuperficial 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. Porém, a relação entre cemitério e meio ambiente, nunca foi incluída na lista das prioridades sobre questões de possíveis formas tradicionais de contaminação do solo e da água.

O corpo humano enquanto vivo, existe em equilíbrio com o meio ambiente, e com os agentes etiológicos. Depois de morto, o corpo se transforma e passa a ser um ecossistema de bactérias, microorganismos patogênicos, artrópodes dentre outros que passam a ser um risco à saúde pública e ao meio ambiente.

A localização de cemitérios, no Brasil, ocorre em grande parte, em áreas urbanas. Com o crescimento desordenado das cidades, é comum encontrar cemitérios totalmente integrados à malha urbana, até mesmo em suas áreas mais centrais. É o que acontece com o cemitério São João Batista, na cidade de Rio Claro, São Paulo, o principal da cidade. O mesmo teve seus primeiros sepultamentos a partir de 1875, de forma irregular, e nessa época, sua localização era afastada da região do vilarejo. Porém, com o crescimento da cidade e a ocupação ao redor, hoje o cemitério se encontra totalmente integrado à malha urbana, e em área central. Atualmente, a capacidade deste cemitério, está esgotada, e os sepultamentos ocorrem apenas em jazigos familiares e após dois anos do último sepultamento.

A geofísica tem sido amplamente utilizada em diversas áreas de conhecimento e planejamento, porém, nos últimos anos, os estudos ambientais estão entre os que mais ocupam as ferramentas geofísicas a fim de melhor planejar e remediar áreas afetadas antropicamente ou não. A aplicação dos métodos geofísicos em estudos ambientais dessa natureza apresenta diversas vantagens, principalmente pela característica investigativa indireta e não invasiva, na determinação da profundidade da zona saturada, identificação do fluxo de água subterrâneo, e plumas de contaminação. Deste

modo, constitui-se numa boa ferramenta para utilização em cemitérios, sem riscos para construções presentes como jazigos, lápides, mausoléus, dentre outros.

A aplicação de técnicas geofísicas constitui-se ainda num desafio, no que diz respeito à sua prática em áreas urbanas devido às limitações logísticas e metodológicas, sobretudo em áreas de cemitérios, que são associadas a um ambiente sagrado pela cultura ocidental. Com base nessa premissa, o presente trabalho, apresenta resultados preliminares, de um estudo em andamento, com o objetivo principal de testar diferentes técnicas geofísicas no diagnóstico ambiental do cemitério de Rio Claro-SP.

Métodos

Na intenção de promover um diagnóstico ambiental, em uma área de cemitério, considerando ser a condutividade elétrica o principal parâmetro de associação com uma eventual contaminação, foram escolhidos alguns métodos geolétricos como ferramentas para este objeto de estudo, empregando as seguintes técnicas:

a) Sondagem Elétrica Vertical - SEV

A Sondagem Elétrica Vertical consiste basicamente, na análise da variação da resistividade obtida a partir de medidas efetuadas na superfície do terreno, investigando, de maneira pontual, sua mudança em profundidade. Para a realização das SEV's, foi utilizado o resistivímetro *Terrameater SAS4000*, empregando-se o arranjo Schumberger. O processamento inicial foi feito através do método comparativo pelo qual se realizou uma interpretação preliminar dos dados, observando a morfologia das curvas de campo – análise qualitativa, estabelecendo dessa forma, um modelo geolétrico inicial para cada sondagem realizada. Estes modelos iniciais foram editados e ajustados pelo *software Interpex 1X1D*, através do qual, foi obtido um modelo final calculado, ajustado à curva de campo e finalmente esse modelo foi correlacionado ao modelo geológico/geotécnico e hidrogeológico ideal para a área.. Foram realizadas 27 sondagens dentro dos limites do cemitério e 2 sondagens externas, com espaçamento entre os eletrodos de emissão de corrente de até 400 metros. Buscou-se identificar o nível freático nos pontos ensaiados, para posterior elaboração de um mapa potenciômetro. Este mapa foi calculado pelo programa *Surfer 9.0* utilizando-se o método de interpolação geoestatística da Mínima Curvatura, que se trata de um método suavizador (*spline*), que melhor representa as linhas equipotenciais do terreno.

b) Imageamento Elétrico – Arranjo Gradiente

Para o Imageamento Elétrico (IE) – Arranjo Gradiente, a aquisição de dados consistiu na investigação de 6 (seis) grades com 5 (cinco) linhas de 30 metros cada, paralelas entre si com 100 metros de distância entre os eletrodos de corrente A e B, e 3 metros entre os eletrodos de potencial M e N. Somente estes últimos eletrodos são deslocados ao longo das linhas estudadas (Figura 1) Pela estrutura do arranjo, foram estudados 50.000 m² do total de 80.000 m² do cemitério. Os dados de campo foram processados no *software RES2DINV*, através da

inversão 2D dos dados de campo, resultando nas seções geolétricas, calculadas pelo método dos mínimos quadrados. Para aquisição, foi utilizado o resistivímetro *Terrameater SAS4000*.

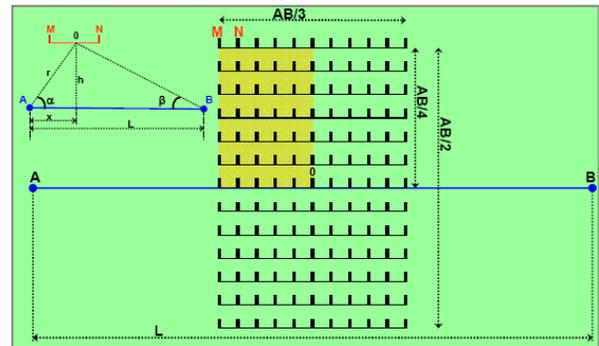


Figura 1: Arranjo Gradiente – somente os eletrodos de corrente são deslocados ao longo das linhas.

Fonte: Braga, (2007)

Imageamento Elétrico – Arranjo Dipolo-Dipolo

Os ensaios de Imageamento Elétrico (IE) constaram da realização de 13 seções, empregando-se o arranjo dipolo-dipolo, com comprimento variando de 200m a 400 m de extensão, dentro dos limites do cemitério, e 1 externa, com extensão de 150 m como referência (*background*). Todas as seções tiveram um espaçamento entre os eletrodos de 10 m e 8 níveis de investigação em profundidade. O *software* escolhido para o processamento dos dados dos IE foi o RES2DINV, o qual foi concebido para efetuar a inversão de dados de resistividade e de cargabilidade. O método iterativo de inversão utilizado pelo RES2DINV foi o *smoothness-constrained least-squares method*, ou o método de mínimos quadrados com vínculo de suavidade. As pseudo-seções do IE foram processadas através da inversão 2D dos dados de campo, para obtenção de uma seção geolétrica real.

c) Imageamento Eletromagnético – IEM

O método Eletromagnético Indutivo baseia-se no princípio de indução eletromagnética para medir a condutividade elétrica (σ) em subsuperfície. Esse parâmetro físico que indica a facilidade que um determinado material possui para transmitir uma corrente elétrica. Este procedimento consiste em se fazer circular uma corrente elétrica alternada por uma bobina transmissora (Tx) resultando em um campo eletromagnético primário (H_p). A propagação deste campo no subsolo – meio condutor assumido como homogêneo – induz correntes elétricas secundárias, que produzem um campo eletromagnético secundário (H_s) proporcional à corrente induzida. Uma parte desse campo secundário induz correntes elétricas em uma bobina receptora (Rx), posicionada dentro da área de influência dos campos primário e secundário. A diferença de potencial ocasionada pela passagem de correntes elétricas na bobina receptora é diretamente proporcional à condutividade elétrica do terreno. Conhecendo-se as diferenças de intensidade, direção e/ou fase entre os dois campos eletromagnéticos é possível saber se existem corpos condutores em subsuperfície.

Os dados de condutividade elétrica aparente foram adquiridos pelo equipamento condutivímetro Geonics EM 34-3, modelo XL, com espaçamento entre as bobinas de 10 metros no modo dipolo magnético horizontal o que permitiu uma leitura de 7,5 metros e no modo dipolo vertical, com uma leitura de 15 metros de profundidade de exploração. Foram realizados 730 pontos de leituras aparentes para cada uma das profundidades máximas de investigação dentro dos limites do cemitério. O resultado final são mapas de isovalores da condutividade obtidos pelo SURFER, versão 9.0.

Caracterização da Área de Estudo

O município de Rio Claro está localizado na porção centro-leste do estado de São Paulo, distando 175 km da capital paulista. O cemitério Municipal São João Batista está localizado na Avenida da Saudade, Bairro do Estádio (Figura 2). Trata-se do primeiro cemitério da cidade, com mais de 130 anos de operação ocupando uma área total de 80.000 m². 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).

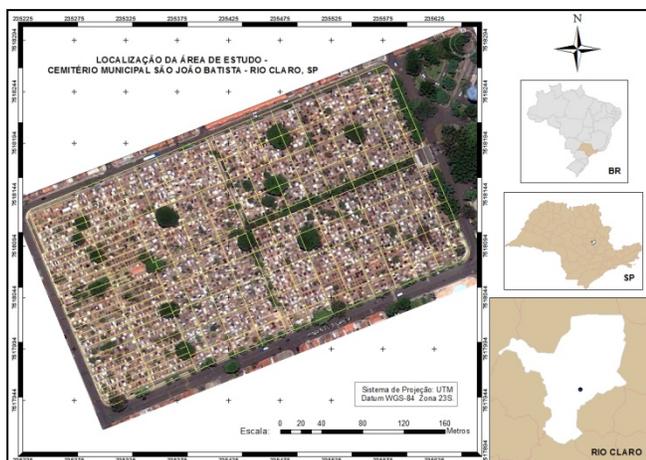


Figura 2: Localização da área de estudo – Cemitério Municipal de Rio claro. Atualmente, se encontra totalmente urbanizado.

Tais litotipos, capeiam os grandes divisores de águas aplainados da região, sobre a qual está assentada, em sua maior parte, a ocupação urbana do município e em termos regionais está inserida na Bacia Sedimentar do Paraná. Seus sedimentos são predominantemente arenosos, esbranquiçados, amarelados e róseos, mal consolidado, com solo bastante desenvolvido nos altos (Zaine, 1994). O intervalo basal é marcado por um nível conglomerático, que grada para um arenito argiloso a conglomerático sentido à base. Apresenta contato basal discordante com a Formação Corumbataí, constituído por seixos de quartzo, fragmentos de siltito, argilito e sílex.

Inserido na área urbana de Rio Claro, o cemitério, apresenta características geológico-geotécnicas marcantes: fraca litificação e profunda alteração pedogenética, espesso solo arenoso e domínio de

litotipos arenosos, esbranquiçados amarelados e avermelhados, variando de areia fina a grossa, com intercalação de camadas de conglomerados e de sedimentos argilosos. A espessura máxima é da ordem de 40 m, predominando valores entre 25 e 30 m.

Resultados preliminares

Os resultados preliminares relacionados aos modelos iniciais das SEVs podem ser assim descritos: (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 de contaminação, englobando a porção basal dos jazigos, com profundidade em torno de 1,5 m, para onde fluem os líquidos produzidos durante o processo de decomposição de corpos – necrochorume; (2) estratos intermediários, com valores crescentes de resistividade no sentido basal, revelam um intervalo seco ou pouco úmido e suscetível 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 – ou penúltimo - estrato geoeletrico define o nível freático sustentado na área por litotipos argilosos da Formação Corumbataí, bastante impermeáveis e pouco resistivos, que no caso de algumas SEVs, constitui-se no último estrato geoeletrico amostrado.

Conhecidas as altitudes de cada SEV, por meio do levantamento com DGPS, e a profundidade da superfície do nível d'água, foi possível determinar a cota do lençol freático sob cada SEV. Dessa forma foi possível a elaboração do mapa potenciométrico e indicações referentes às orientações preferenciais do fluxo d'água. (Figura 3). O nível freático no cemitério variou entre 9m a 12m. O terreno do cemitério é relativamente plano, e a superfície do lençol freático (NA) está situada entre as cotas 580m e 594m, com fluxo das águas subterrâneas orientado a partir das cotas altas (região Nordeste) para as cotas baixas (região Sudoeste), condizente com a tendência regional da área determinada por Oliva, 2006.

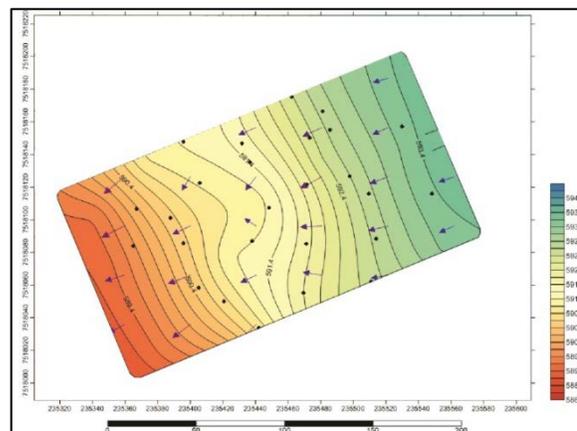


Figura 3: Mapa Potenciométrico – O fluxo varia no sentido NE – SW, ou seja, da porção mais antiga do cemitério para a mais nova.

Para a interpretação dos valores das resistividades aparente no Imageamento Elétrico – arranjo Gradiente (Figura 4), foram consideradas as seguintes faixas de variação:

- 50 a 150 ohm.m: provável contaminante – concentração elevada
- 150 a 300 ohm.m: provável contaminante – baixa concentração
- Maior que 300 ohm.m: sedimentos não contaminados - não saturados

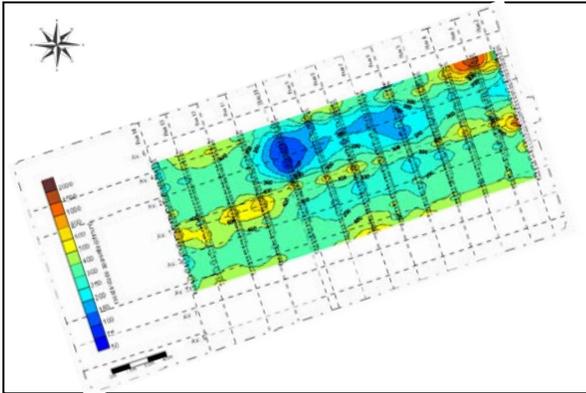


Figura 4: Mapa preliminar do Arranjo Gradiente. A estrutura do arranjo permitiu ensaiar 50 dos 80.000 m² da área total.

Essa faixa de variação foi baseada nos valores de resistividade das zonas de distribuição de água nos solos da Formação Rio Claro (Braga,1997), considerando principalmente a zona de capilar, que se apresenta saturada. Numa interpretação ainda preliminar, observa-se no mapa duas prováveis plumas de contaminação (em tons de azul), com resistividades inferiores a 300 ohm.m. Uma na porção do terreno com extensão aproximada 210 metros englobando uma região com resistividades inferiores a 150 ohm.m. A outra com extensão aproximada de 117 metros e resistividade variando entre 300 ohm.m a 200 ohm.m. A porção maior da provável pluma de contaminante com 210 metros pode estar relacionada com o histórico de ocupação do cemitério, pois se localiza na porção mais antiga do mesmo, onde ocorreram sepultamentos mais frequentes ao longo dos anos. Estas zonas que apresentaram resistividade muito baixa, inferiores a 300 ohm.m, não podem ser associadas com a litologia da área, que possuem resistividade entre 377 a 532 ohm.m em zonas saturadas. Dessa forma, na presença dessas anomalias pouco resistivas, acredita-se haver algum tipo de contaminação presente no cemitério.

No que se refere aos resultados preliminares do Imageamento Elétrico, arranjo Dipolo – Dipolo, Com relação aos ensaios do Imageamento Elétrico, de forma geral, considerando simultaneamente os resultados das oito seções (Figura 5) e comparando-se seus resultados com a seção de referência (Figura 6) é possível a delimitação:

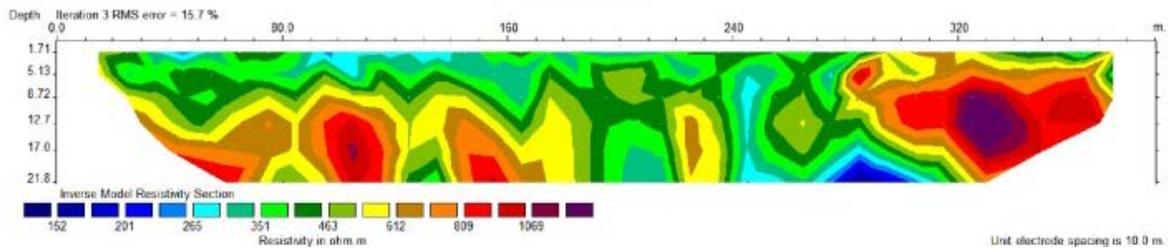


Figura 5 – Seção típica do imageamento elétrico, dentro da área do cemitério – sentido longitudinal.

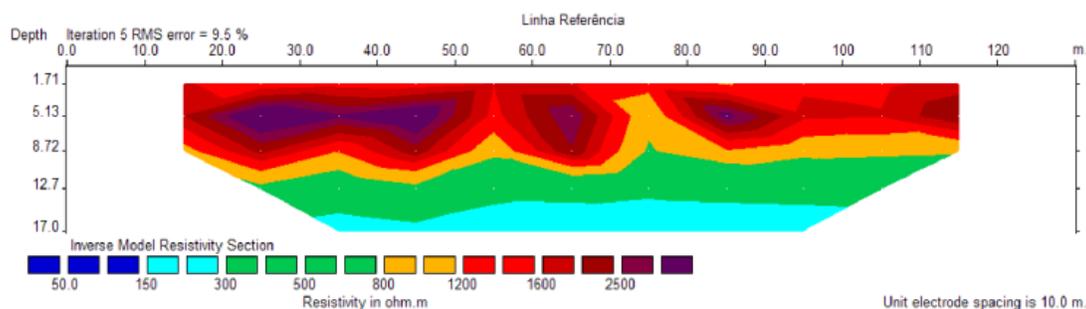


Figura 6 – Seção de imageamento elétrico, localizada fora da área do cemitério.

•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 Ω m, que seriam os valores correspondentes aos arenitos insaturados da Formação Rio Claro;

•da região do cemitério que apresenta provavelmente a contaminação pelo necrochorume - valores inferiores a 300 Ω m;

•áreas com valores intermediários entre esses extremos – entre 300 a 800 Ω m seriam consideradas uma zona de transição, já sob a influência do necrochorume.

Observa-se na Figura 5 que pelo padrão de distribuição da resistividade, apenas a parte final da seção, a partir da distância de 280 metros, estaria refletindo a condição natural do terreno; até a distância de 160 metros, os baixos valores da resistividade, até a profundidade de 5 metros, indicaria uma provável influência do necrochorume na resposta elétrica do meio físico;

Com relação aos ensaios do Imageamento Eletromagnético, uma análise preliminar dos mapas de condutividade aparente (Figuras 7 e 8), permite a observação de anomalias condutivas na porção central/norte da área, em acordo com as anomalias condutivas também observadas no mapa da Figura 4. Essa região seria aquela onde se iniciaram as atividades de sepultamentos, a partir do final do século XIX.

Acredita-se que a detecção das anomalias condutivas foi possível devido à presença de compostos orgânicos, que são mais condutivos que o meio geológico em questão.

Nobes (1996) relata que a presença de contaminantes na zona saturada altera a condutância do meio, que resulta em contraste com o meio em redor não contaminado.

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 valores menos resistivos ocorrem de forma mais homogênea e em praticamente toda a extensão da seção mostrada na Figura 5, até a distância de 270 metros e prioritariamente acima de 5 metros de profundidade, mostrando um padrão que se repete nas demais seções levantadas.

O mapa potenciométrico mostrado na Figura 3 não indica nenhuma perturbação no fluxo das águas subterrâneas permitindo concluir que o mesmo acompanha a tendência regional.

Em todas as seções geolétricas e também nos mapas do imageamento elétrico-gradiente e imageamento eletromagnético, observa-se entre as distâncias 170 a 210 metros (porção central da área), 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.

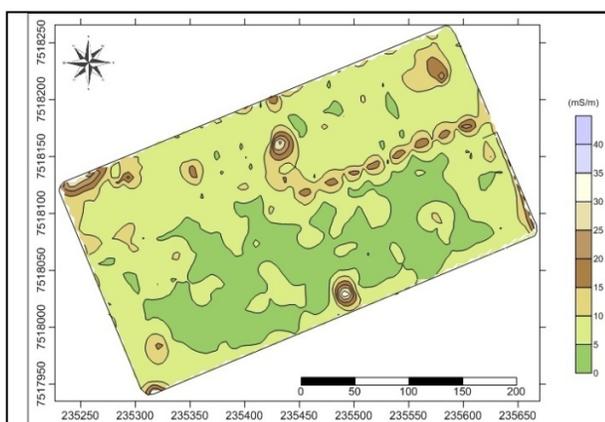
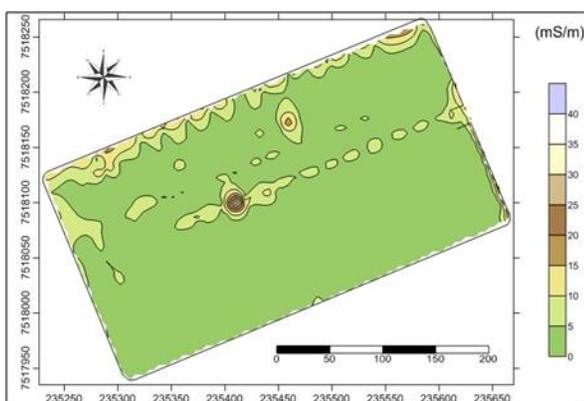
Agradecimentos

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, e à CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior pelo auxílio concedido.

Referências

BRAGA, A. C. O. 2007. Geofísica Aplicada Módulo: Métodos Geolétricos Aplicados nos Estudos de Captação e Contaminação das Águas Subterrâneas - Versão 4.0. (Material didático - Apostila) Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, SP.

GIMENES, D. 2006. Outro olhar sobre Rio Claro – a edificação do cemitério São João batista – 188p, (no prelo).



Figuras 7 e 8: Mapas preliminares de isocondutividade aparente – profundidade de até 7,5 m e 15 m respectivamente.

Conclusões

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

- McNEILL J. 1980a. Electromagnetic Terrain Conductivity Measurement at Low Induction Numbers. Technical Note TN, 6: 6-15.
- McNEILL J. 1980b. Electrical Conductivity of Soils and Rocks. Technical Note TN, 5: 21.
- NOBES DC. 1996. Troubled Waters: environmental applications of electrical and electromagnetic methods. Surveys in Geophysics, 17:393-454.
- OLIVA, A. 2006. Estudo hidrofaciológico do aquífero Rio Claro no Município de Rio Claro, SP. Tese de doutorado em geociências e Meio Ambiente – IGCE/UNESP – Rio Claro, SP.196p.
- SHERIFF, R.E. 1989. Geophysical Methods, Prentice Hall, New Jersey, pp. 175-201.
- 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.