

# APLICAÇÃO DE TÉCNICAS GEOFÍSICAS NO ESTUDO DE ÁREA DE DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS URBANOS

The application of geophysic techniques in an area that was used for urban wastes disposal

VAGNER ROBERTO ELIS\*

LÁZARO VALENTIM ZUQUETTE\*\*

**RESUMO** - Este trabalho apresenta os resultados obtidos por meio de estudos realizados em uma área de disposição de resíduos desactivada na cidade de Ribeirão Preto, estado de São Paulo, Brasil, e a importância das técnicas geofísicas de sondagem eléctrica vertical e caminhamento eléctrico no mapeamento (vertical e horizontal) da pluma de contaminação e na determinação da direcção do fluxo dos líquidos percolados. As técnicas geofísicas utilizadas mostraram-se uma ferramenta eficiente para ser aplicada em áreas de disposição de resíduos, trazendo informações importantes em termos de direccionar o monitoramento e dimensionar estudos mais detalhados, no sentido de melhor caracterizar o local e áreas próximas. Ressalta-se que no Brasil há milhares de sítios que foram utilizados para disposição de resíduos urbanos, dos quais não se conhece nada além da localização básica.

**SYNOPSIS** - This paper presents the results obtained in geophysical studies developed in an area used for waste disposal from 1974 to 1990, in the Ribeirão Preto city, Northeast of São Paulo state, Brazil. Electrical Vertical Sounding and Dipolo-Dipolo Electrical Profiling were used in this study. They presented good results to define and delimit the water level depth and the direction of the groundwater flow and plume of contamination, as well as the dimensions of the waste portion. The results of the geophysical techniques applied produced allowed planning more adequately the monitoring and choice of proper clean up procedures for each site. In Brazil, these geophysical techniques can be applied in thousand of sites where wastes have been disposed.

## 1 - INTRODUÇÃO

Actualmente existe uma tendência mundial das populações concentrarem-se cada vez mais em áreas urbanas. Essa concentração populacional e o conseqüente aumento da produção de resíduos domésticos e industriais, vêm gerando muitos problemas relacionados à forma de disposição desses resíduos e conseqüentemente em relação à contaminação de solos e águas subterrâneas. Essa situação, por sua vez, estimula os profissionais ligados às Ciências da Terra a pesquisar novos caminhos para estudar, avaliar e procurar novas soluções que possam minimizar os efeitos danosos causados pela disposição de resíduos em interacção directa com o meio físico. Dentre esses caminhos pode ser enquadrado o uso de técnicas geofísicas.

A natureza dos métodos geofísicos, aliados ao baixo custo operacional e rapidez e facilidade de aplicação dos ensaios, torna-os particularmente adequados para aplicação no estudo de tais problemas. Uma justificativa ainda mais forte para a aplicação da geofísica, além das citadas acima, é que algumas técnicas fornecem dados contínuos sobre o local

---

\* Geociências e Meio Ambiente, IGCE-UNESP, Rio Claro (SP)

\*\* Escola de Engenharia de São Carlos, USP, São Carlos (SP)

estudado, podendo, portanto, reduzir muito a necessidade de dados directos e específicos, assim como permitem uma análise temporal e espacial mais detalhada.

Uma técnica que vem se mostrando favorável aos estudos de áreas de disposição de resíduos urbanos é o caminhamento eléctrico dipolo-dipolo, que permite investigar de forma contínua vários níveis do local, fornecendo como resultado secções de resistividade aparente, e quando desenvolvida uma malha de ensaios, a técnica pode, ainda, fornecer mapas de resistividade aparente para várias profundidades investigadas.

A aplicação dessa técnica torna-se adequada devido ao fato dos locais de disposição de resíduos domésticos gerarem o chorume, que interage com o sistema de águas subsuperficiais diminuindo a resistividade eléctrica a níveis que os métodos eléctricos e electromagnéticos conseguem detectar (McNeil, 1990; Barber et al, 1991a; Buselli et al, 1992).

A Tabela 1, compilada de Whiteley & Jewell (1992), apresenta valores de resistividade obtidos para materiais e chorumes de aterros sanitários. Ao comparar esses valores com os citados por Orellana (1972) para areias ( $10$  a  $10^4$  ohm.m), arenitos ( $10^2$  a  $10^8$  ohm.m) e basaltos ( $10^2$  a  $10^5$  ohm.m), pode-se observar que os valores de resistividade do conjunto de resíduos e líquidos percolados são muito inferiores em relação aos valores de conjuntos de materiais geológicos.

Tabela 1 - Valores de Resistividade Eléctrica de materiais associados a Aterros Sanitários e líquidos gerados (compilada de Whiteley & Jewell, 1992).

| Material                                                | Resistividade Eléctrica (ohm.m) | Local                      | Referência                   |
|---------------------------------------------------------|---------------------------------|----------------------------|------------------------------|
| Resíduo sólido doméstico, substrato contaminado         | 3,7 – 17,5                      | Lucas Heights, (Austrália) | Knight <i>et al.</i> (1978)  |
| Resíduo sólido doméstico em antiga pedreira de calcário | 10 – 15                         | Bexar County (Texas, EUA)  | Laine <i>et al.</i> (1982)   |
| Resíduo sólido, Chorume                                 | 1,5 – 10                        | Vários locais nos EUA      | Everett <i>et al.</i> (1984) |

Dessa forma, o presente trabalho busca mostrar que as técnicas de sondagem eléctrica vertical e caminhamento eléctrico dipolo-dipolo, se aplicadas criteriosamente, respeitando suas limitações, podem fornecer informações importantes relacionadas à áreas de disposição de resíduos e contaminação de solos e águas subsuperficiais, como por exemplo sentido do fluxo, variação vertical do perfil do aterro e formato e extensão (horizontal e vertical) da porção mais afectada pelos líquidos percolados pela massa de resíduos.

Ensaios de sondagem eléctrica vertical e caminhamento eléctrico dipolo-dipolo foram executados na área de um depósito de resíduos (lixreira) desactivado na cidade de Ribeirão Preto (SP), e os resultados obtidos têm caracterizado essas técnicas como bastante adequadas ao estudo de áreas contaminadas em decorrência da disposição de resíduos urbanos.

2 - METODOLOGIA E PRINCÍPIOS BÁSICOS

A aplicação das técnicas de sondagem eléctrica vertical e caminhamento eléctrico dipolo-dipolo permite a aquisição de uma grande quantidade de dados que se complementam, permitindo assim que a interpretação seja feita com maior segurança. Convém salientar que, evidentemente, dados de métodos directos de investigação, como poços tubulares, sondagens, e outros, se disponíveis no local de estudo, não devem ser desprezados no processo de interpretação geofísica, pois permitem um maior refinamento do modelo.

A resistividade eléctrica (e seu inverso, a condutividade eléctrica) de solos e rochas é afectada principalmente pôr quatro factores:

- composição mineralógica;
- porosidade;
- teor em água;
- quantidade de sais (iões) dissolvidos e adsorvidos.

Dentre esses factores, os mais importantes são, sem dúvida, a quantidade de água contida e a salinidade dessa água. O aumento do valor desses factores, teor de umidade e quantidade de sais dissolvidos, leva a uma diminuição dos valores de resistividade. Dessa forma, devido à constituição química do lixo urbano e do chorume, que possuem uma alta quantidade de sais dissolvidos, que é possível a aplicação deste método em estudos de áreas de disposição de resíduos.

A técnica de sondagem eléctrica caracteriza-se pôr uma série de determinações de resistividade aparente, efetuadas com o mesmo tipo de dispositivo electrónico e separação crescente entre os eléctrodos de emissão e recepção. Esse procedimento permite a observação dos valores de resistividade aparente, em um ponto fixo, a profundidades cada vez maiores. O dispositivo electrónico aqui utilizado é o arranjo Schlumberger, cuja principal característica é que a distância MN deve ser bastante pequena em relação a AB, procurando sempre satisfazer a relação  $MN \leq AB/5$  (Figura 1).

A técnica de caminhamento eléctrico consiste em obter a variação lateral de resistividade a profundidades aproximadamente constantes. Isso é obtido fixando-se um espaçamento de eléctrodos e caminhando-se com os mesmos ao longo de perfis efetuando as medidas de resistividade aparente. Com o dispositivo electrónico dipolo-dipolo, os eléctrodos AB de injeção de corrente e MN de potencial são dispostos segundo um mesmo perfil e o arranjo é definido pelos espaçamentos  $X=AB=MN$ . A profundidade de investigação cresce com o espaçamento (E), e teoricamente corresponde a  $E/2$  (Figura 2). Normalmente, as medidas são efectuadas em várias profundidades de investigação, permitindo assim a construção de uma seção de resistividade aparente (IPT, 1988).

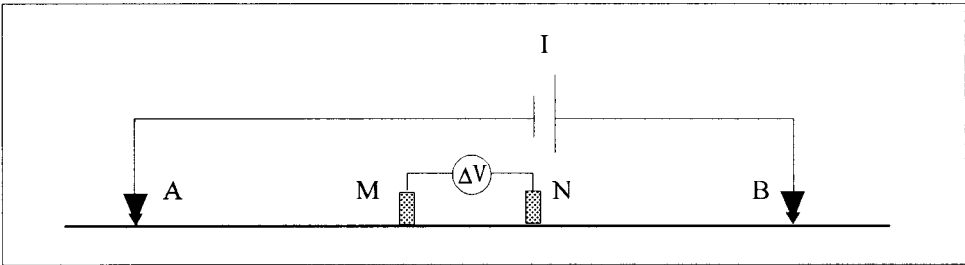


Figura 1 - Esquema simplificado de sondagem eléctrica vertical com arranjo Schlumberger

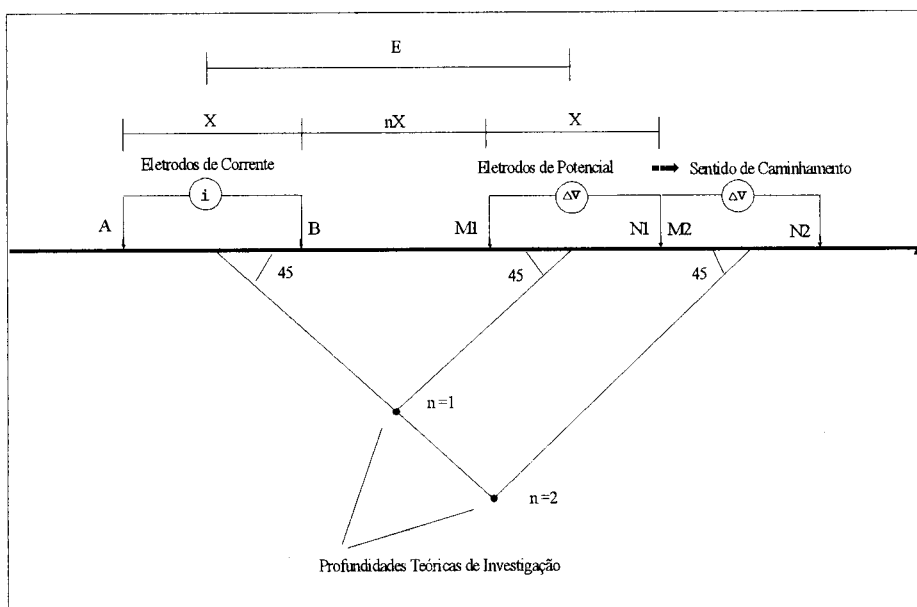


Figura 2 - Técnica de caminhamento elétrico dipolo-dipolo

Nesse trabalho, foram realizados dez ensaios de sondagem elétrica vertical, com espaçamentos AB entre 200 e 400 metros, e sete ensaios de caminhamento elétrico variando de comprimento entre 100 e 500 metros, investigando as profundidades teóricas de 10, 15, 20, 25 e 30 metros. O equipamento utilizado para realização dos ensaios foi um resistivímetro de marca Bison modelo 2390 Signal Earth Resistivity System.

### 3 - CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICA

A lixeira desactivada onde foram realizados os ensaios elétricos está situada a sudeste da cidade de Ribeirão Preto, às margens da rodovia que liga Ribeirão Preto a Serrana (Figura 3). Neste local foram dispostos resíduos sólidos comuns e de serviços de saúde produzidos pela cidade de Ribeirão Preto entre 1974 e 1990, totalizando cerca de 600.000 m<sup>3</sup> de rejeitos dispostos inadequadamente (Zuquette *et al.* 1990).

A área caracteriza-se como um divisor de águas superficiais tendo como substrato rochoso os arenitos não silicificados da Formação Botucatu e recobertos por materiais inconsolidados constituídos na parte inferior por residuais dos arenitos e na superior enriquecida por materiais argilosos retrabalhados e oriundos das áreas mais elevadas topograficamente, constituídas pelos magmatitos (basaltos) da Formação Serra Geral. Quanto ao coeficiente de permeabilidade os materiais inconsolidados da porção superior apresentam valores da ordem de 10<sup>-5</sup> a 10<sup>-6</sup> m/s e da inferior de 10<sup>-4</sup> m/s; o nível de água está em profundidades em torno de 20 metros (Pejon e Zuquette, 1991). Na Figura 4 observa-se os perfis geológico-geotécnicos da área, onde nota-se as relações entre os diversos tipos de materiais geológicos presentes e os resíduos dispostos.

Considerando as características geológico-geotécnicas utilizadas por Zuquette *et al.* (1994) para classificação de áreas quanto à adequabilidade para depósitos de resíduos, pode-se relacionar alguns atributos da área em questão que a classificam como restritiva:

| Atributo                                                | Característica no local | Característica adequada                                                                |
|---------------------------------------------------------|-------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|
| Profundidade da zona saturada (sob a base dos resíduos) | 7 a 10 metros           | > 15 metros                                                                            |
| Capacidade de troca catiônica (CTC)                     | 5 a 7 meq/100g          | > 15 meq/100g (valores entre 5 e 15 meq/100g são considerados moderadamente adequados) |
| Divisor topográfico                                     | Sim                     | Não                                                                                    |
| Área de recarga                                         | Sim                     | Não                                                                                    |

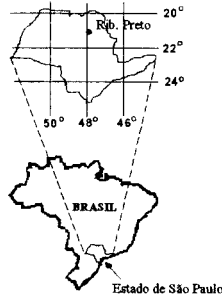
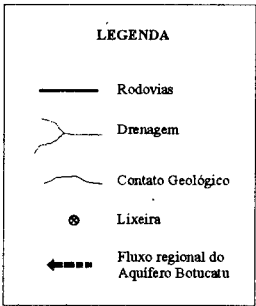
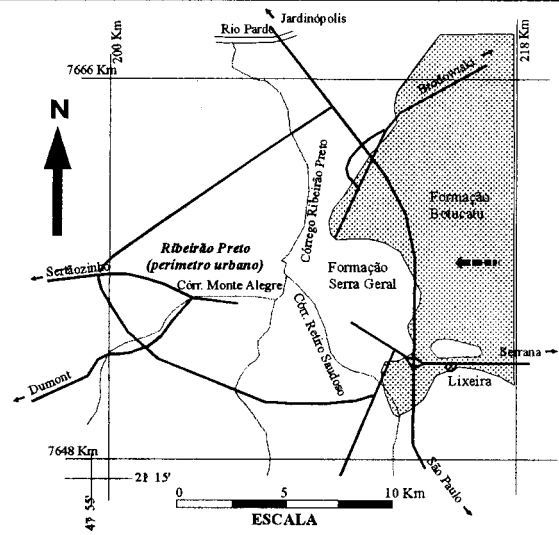


Figura 3 - Mapa de localização e do substrato rochoso (modificado de Pejon & Zuquette, 1991).

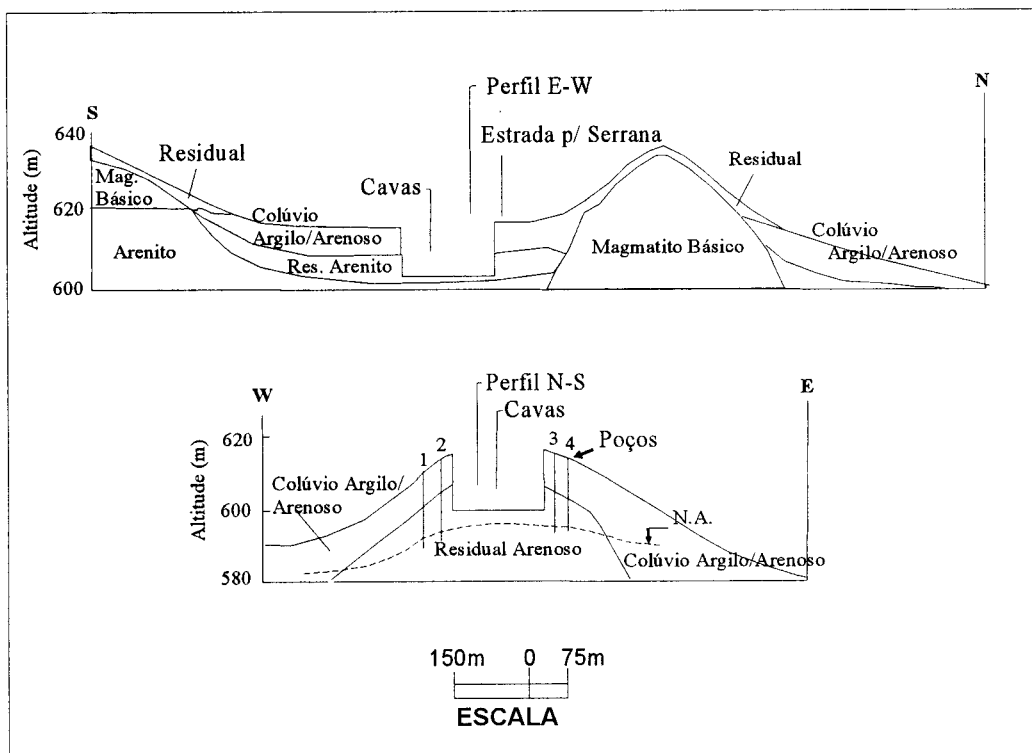


Figura 4 - Perfis geológico-geotécnicos da área. (Pejon & Zuquette, 1991).

#### 4 - ENSAIOS REALIZADOS E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Para caracterizar o fluxo subterrâneo e mapear a zona contaminada, além de obter informações sobre a camada de resíduos e perfil do solo, foram realizados 10 ensaios de sondagem eléctrica vertical (SEV), arranjo Schlumberger, e 7 linhas de caminhamento eléctrico dipolo-dipolo, totalizando 2000 metros de caminhamento na área (Figura 5).

Os ensaios de SEV permitiram individualizar as diversas camadas de solo, a profundidade da zona saturada, e nos ensaios realizados no centro das cavas, a espessura das camadas de resíduos (as Figuras 6 e 7 mostram os resultados de SEVs realizadas na área, fora da zona contaminada e dentro de uma das cavas). A partir do conjunto de SEVs interpretadas, foi elaborado o mapa de direção do fluxo da água subterrânea apresentado na Figura 8.

Os ensaios de caminhamento eléctrico permitiram detectar a zona de contaminação em 5 profundidades diferentes. Os resultados obtidos mostram claramente a posição do lixo e a zona contaminada, definidos pelos valores mais baixos de resistividade. Os perfis de resistividade aparente da Figura 9 mostram seções obtidas nos sentidos longitudinal (N-S) e transversal (E-W) às cavas. A repetição dos ensaios de caminhamento eléctrico em diferentes períodos climáticos possibilitou uma análise do comportamento da área preenchida com resíduos em função de variação no regime pluviométrico. Na Figura 10, onde são apresentadas as seções da linha C4 executadas em três épocas diferentes, pode-se observar a influência das chuvas nos valores de resistividade aparente nas cavas preenchidas com

resíduos. Nas épocas de maior precipitação, os valores de resistividade são menores (esse fato pode ser observado através das variações da curva de resistividade aparente de 5 ohm.m), indicando que nos periodos chuvosos ocorre uma produção muito maior de líquidos percolados, o que é esperado em teoria.

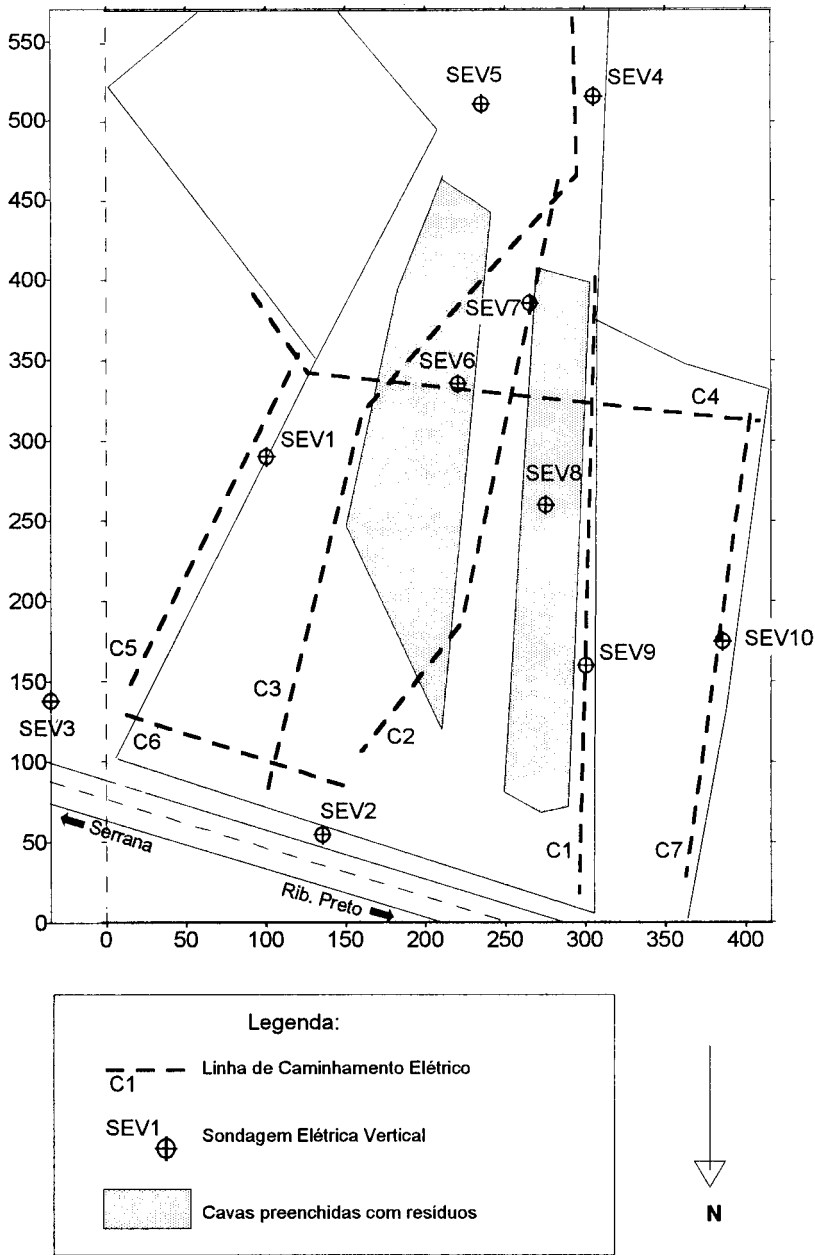
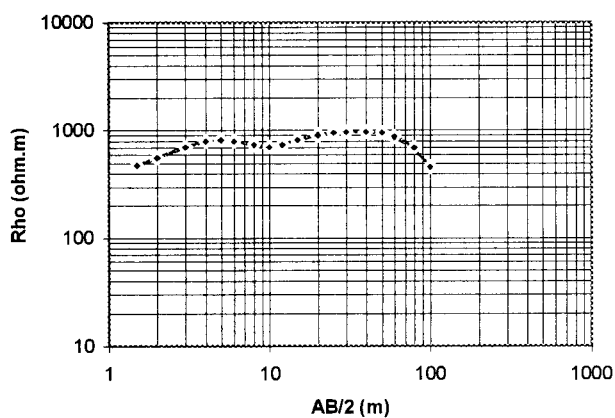


Figura 5 – Mapa de localização dos ensaios geofísicos.

### Sondagem Elétrica RP 5

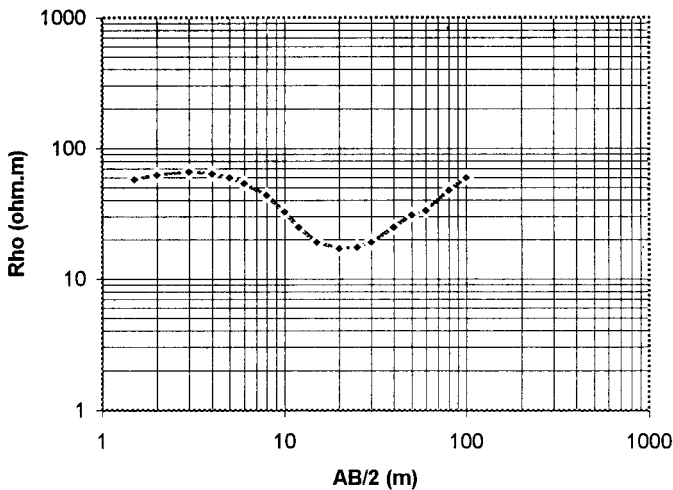


| Modelo Geoeletrico Interpretado |               |                       |                                           |
|---------------------------------|---------------|-----------------------|-------------------------------------------|
| Camada                          | Espessura (m) | Resistividade (ohm.m) | Interpretação                             |
| 1                               | 0,75          | 314,4                 | Solo superficial (Colúvio argilo-arenoso) |
| 2                               | 1,70          | 1723,9                | Solo seco (Colúvio argilo-arenoso)        |
| 3                               | 2,58          | 224,2                 | Solo seco (Colúvio argilo-arenoso)        |
| 4                               | 16,9          | 2328,6                | Solo residual arenoso                     |
| 5                               | 1,2           | 908,0                 | Solo residual acima da zona saturada      |
| 6                               | -             | 88,21                 | zona saturada                             |

Figura 6 - Sondagem elétrica realizada fora da zona contaminada.



Sondagem Elétrica RP 6



| Modelo Geoelétrico Interpretado |               |                       |                                 |
|---------------------------------|---------------|-----------------------|---------------------------------|
| Camada                          | Espessura (m) | Resistividade (ohm.m) | Interpretação                   |
| 1                               | 1,24          | 57,5                  | Cobertura do aterro             |
| 2                               | 2,55          | 86,2                  | Cobertura + lixo seco           |
| 3                               | 10,19         | 7,2                   | Lixo + chorume                  |
| 4                               | -             | 367,1                 | Base da cava (residual arenoso) |

Figura 7 - Sondagem elétrica realizada em cava preenchida com resíduos.

A partir dos dados obtidos pelos ensaios de caminhamento elétrico, foram elaborados mapas de resistividade aparente dos níveis 10, 20 e 30 metros, que permitiram a análise do comportamento da pluma de contaminação, para um período de chuvas (Verão de 1995).

O mapa referente ao nível 10 metros (Figura 11) mostra o formato da zona contaminada acima do nível de água. Os valores de resistividade aparente inferiores a 200 ohm.m podem ser considerados como representativos de contaminação, pois tem-se em geral nas zonas fora do Lixão valores de “background” sempre superiores, chegando até a 2000 ohm.m. Desta forma, pode-se observar que a contaminação, em geral, fica restrita a área das cavas, excepto no sentido oeste, onde aparece uma zona com valores entre 100 e 200 ohm.m, que pode representar contaminação.

No mapa do nível 20 metros, mostrado na Figura 12, pode-se notar com clareza uma diminuição da área com valores inferiores a 50 ohm.m, porém um aumento da área com valores entre 50 e 200 ohm.m, desenvolvendo-se no sentido norte-nordeste. Esse intervalo de valores aparece ainda a oeste das cavas, porém mostra uma diminuição em relação ao mapa-nível 10 metros. Essa disposição sugere que a contaminação começa a atingir o nível de água,

e a pluma se desenvolve principalmente no sentido norte-nordeste e alguma contaminação ainda é presente a oeste da área de disposição de resíduos.

O mapa-nível 30 metros mostra uma diminuição da área com valores de resistividade aparente inferiores a 50 ohm.m em relação aos níveis 10 e 20 metros e a zona contaminada (valores até 200 ohm.m) se desenvolvendo ainda no sentido norte-nordeste (Figura 13). A disposição dos valores de resistividade aparente para esse nível, sugere, então, que não existem mais resíduos enterrados a essa profundidade, porém ocorre migração vertical da carga contaminante (líquidos percolados). Essa situação também é sugerida na seção da linha C4 (vide Figura 9), bem como fica caracterizada nas sondagens eléctricas executadas directamente sobre o lixo (a Figura 7 apresenta um exemplo de SEV realizada dentro de cava preenchida com resíduos). Assim, a contaminação atinge a zona saturada, e como no nível 20 metros, mostra a pluma se desenvolvendo principalmente no sentido norte-nordeste. A influência dessa pluma no lado oeste da cava diminui sensivelmente em relação ao nível 20, com os valores de resistividade aparente crescendo de 200 para 500 ohm.m. Dessa forma, pode-se definir o sentido principal da pluma como norte-nordeste.

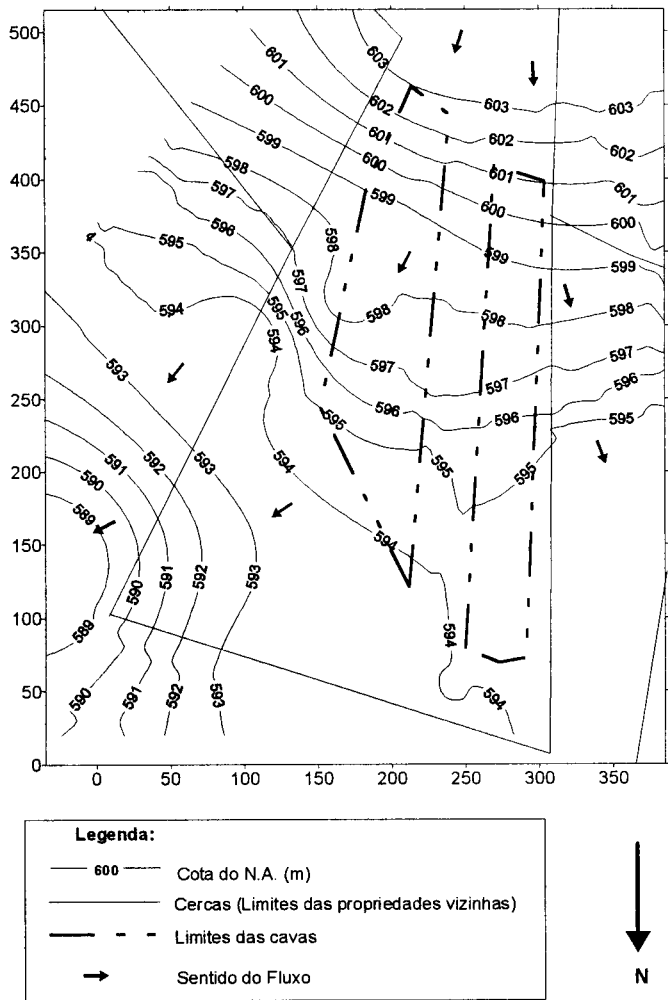


Figura 8 - Mapa de fluxo subterrâneo local, definido através de SEVs.

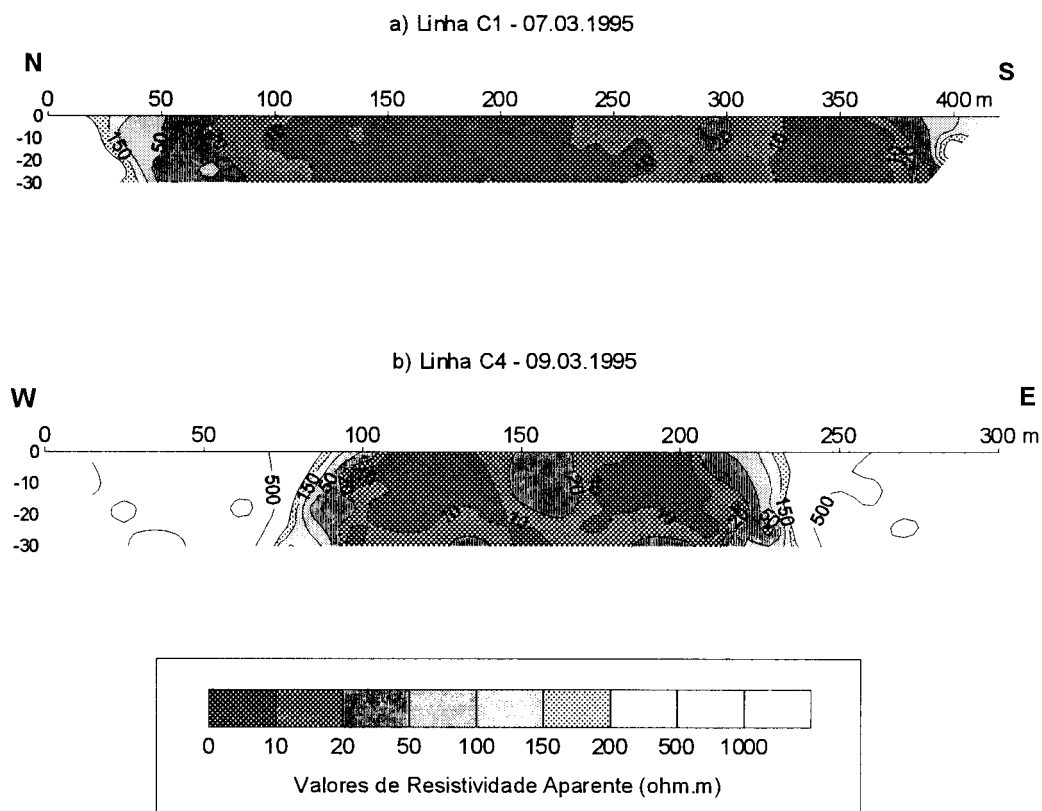


Figura 9 - Secções de resistividade aparente obtidas na Lixeira de Ribeirão Preto.  
a) no sentido longitudinal das cavas  
b) no sentido transversal às cavas

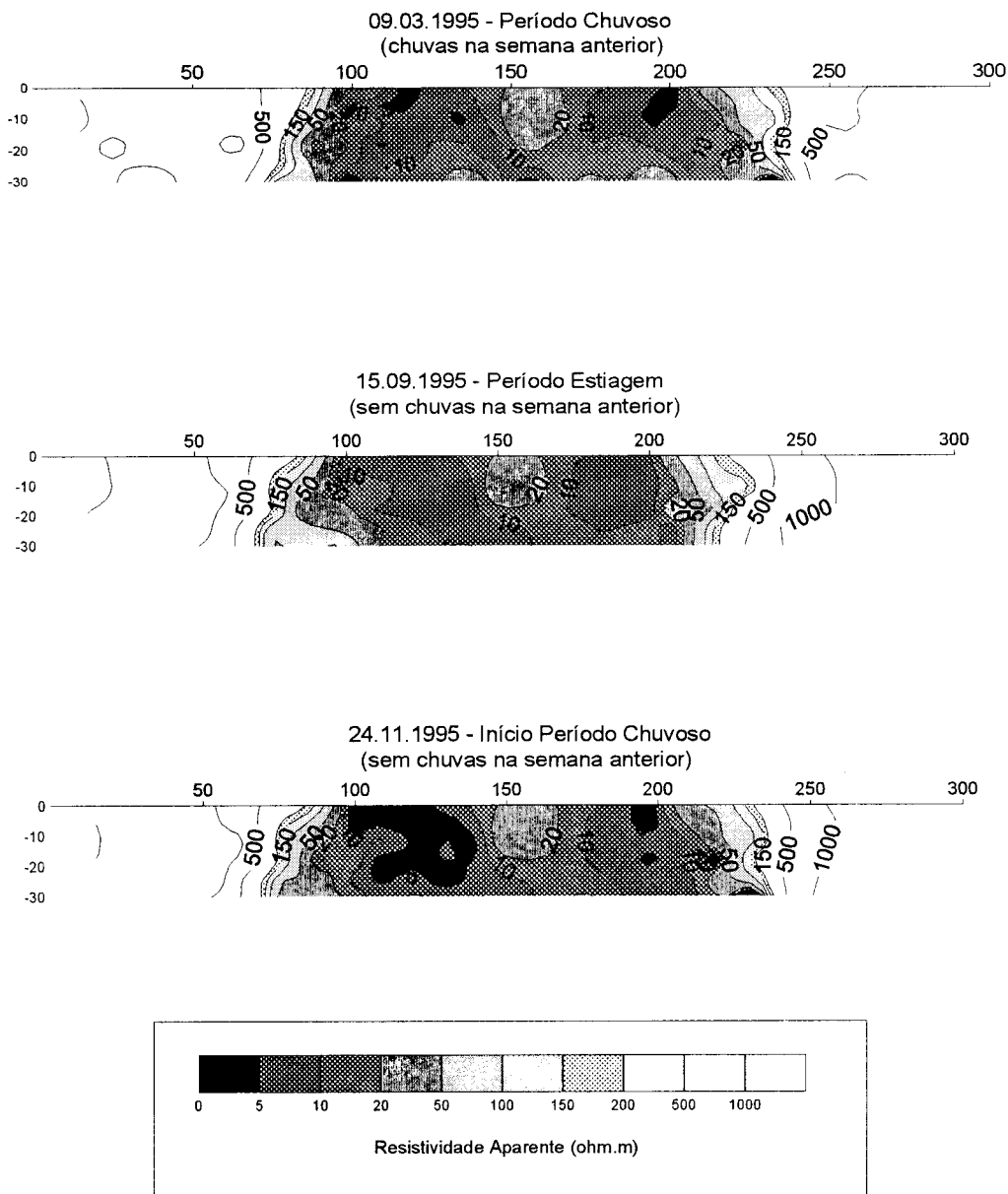


Figura 10 - Ensaio de caminhamento eléctrico executados na linha C4 em quatro épocas diferentes, mostrando a relação entre a variação de resistividade e a pluviosidade.

# Mapa de Resistividade Aparente - Nível 10 metros

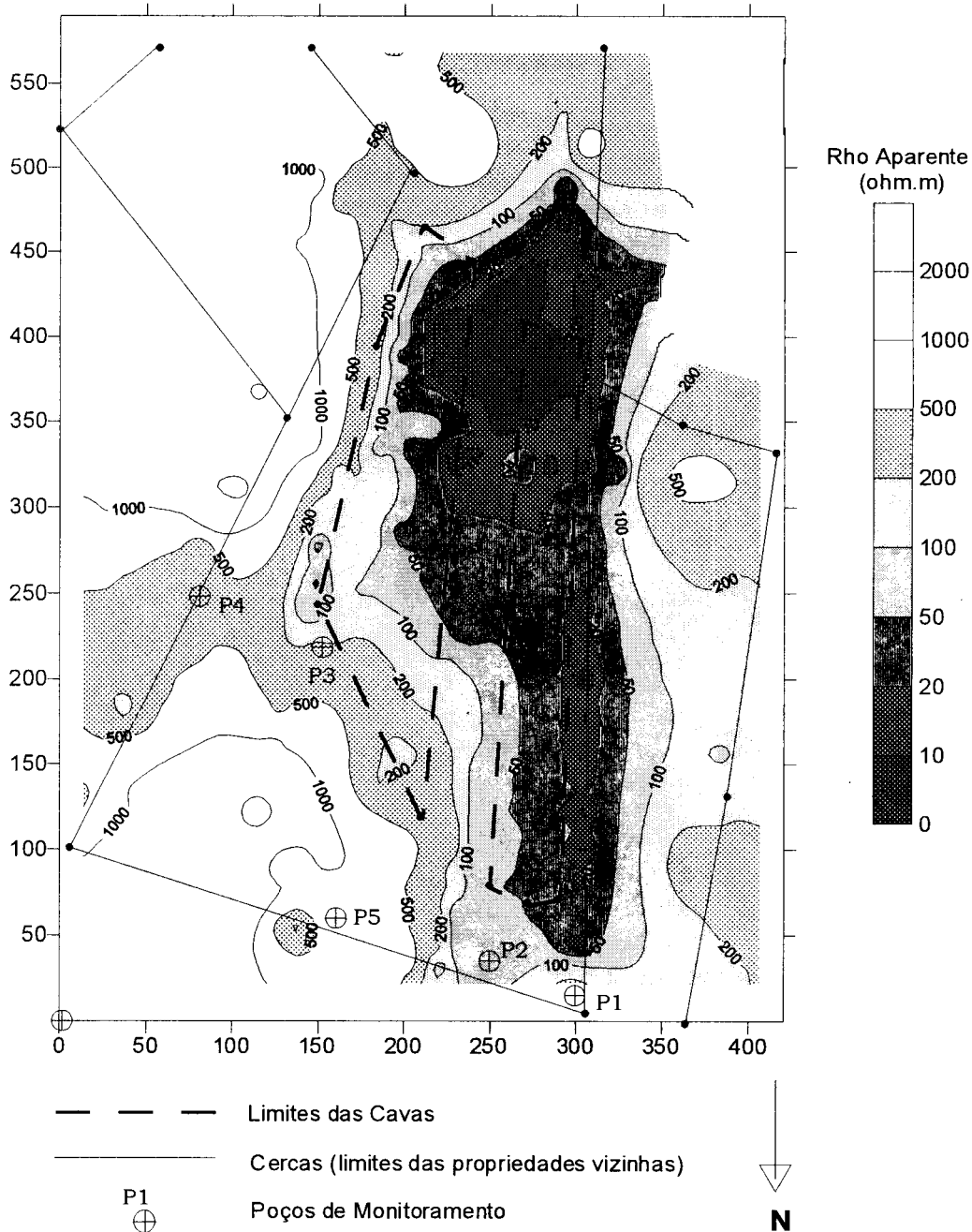


Figura 11 - Mapa de resistividade aparente para o nível 10 metros (Março/95).

# Mapa de Resistividade Aparente - Nível 20 metros

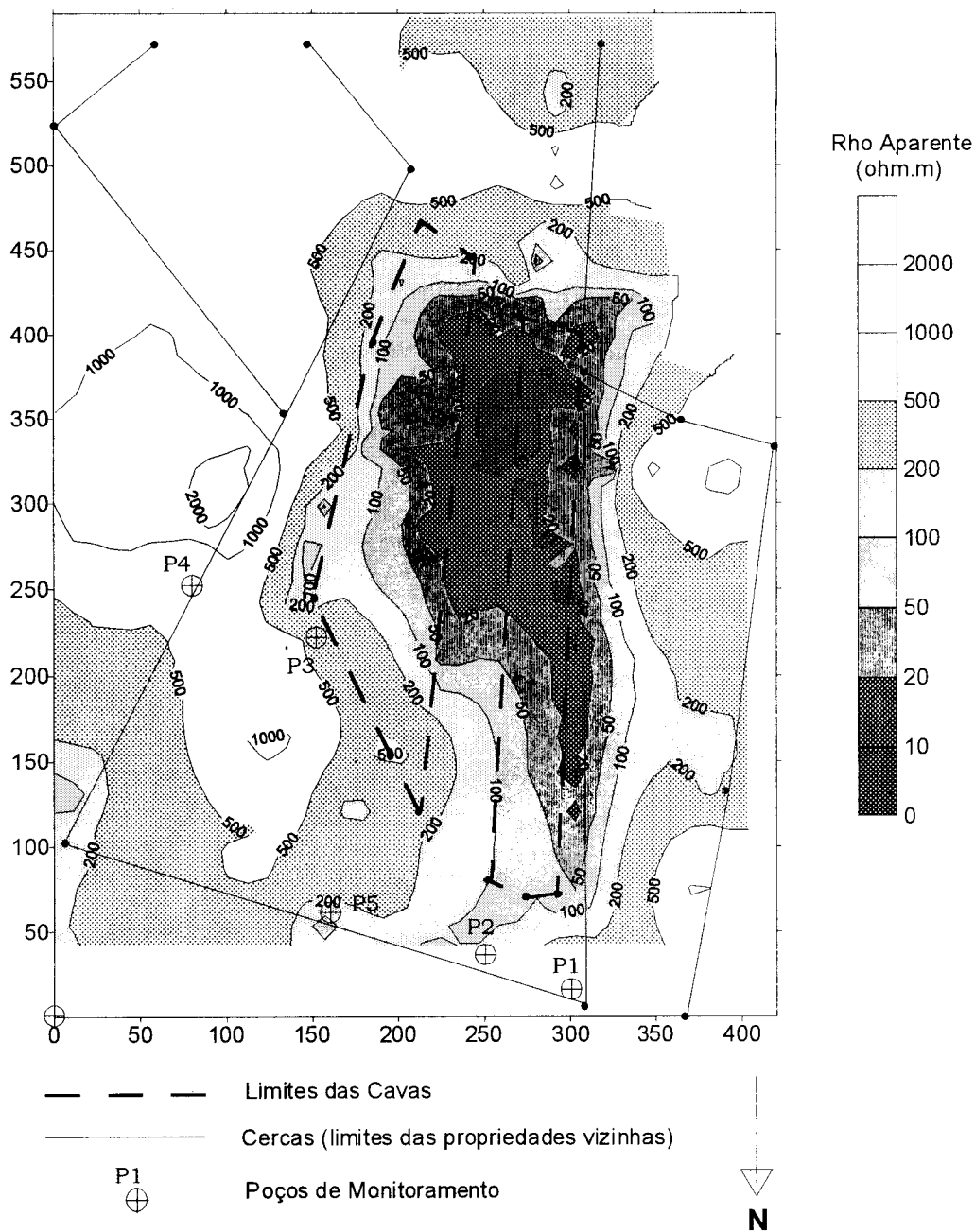


Figura 12 - Mapa de resistividade aparente para o nível 20 metros (Março/95).

# Mapa de Resistividade Aparente - Nível 30 metros

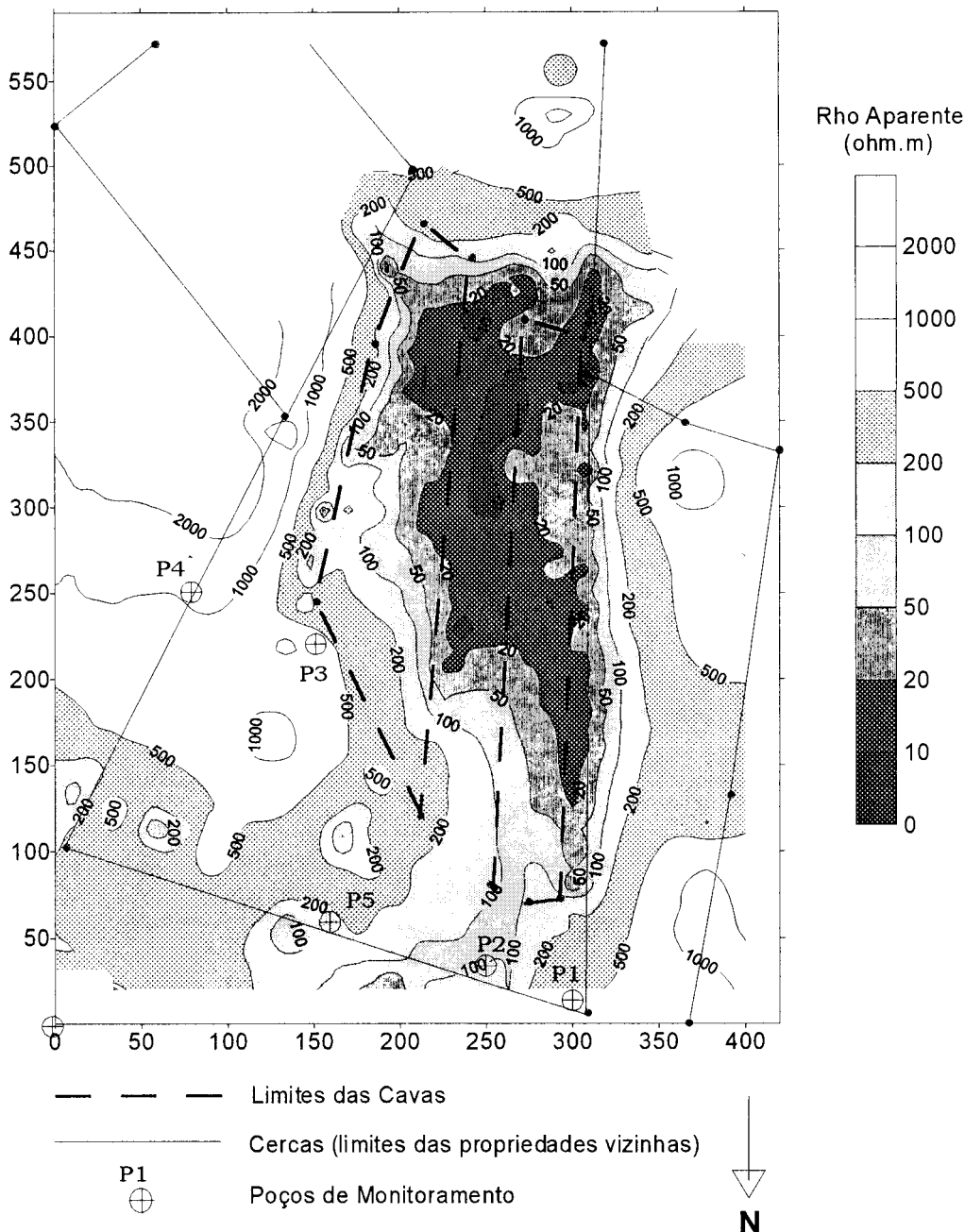


Figura 13 - Mapa de resistividade aparente para o nível 30 metros (Março/95).

Entretanto, apesar desses resultados obtidos pelas técnicas geofísicas, análises realizadas em águas colectadas em 1991 nos poços de monitoramento existentes (16 anos após a instalação da lixeira e 3 anos após sua desactivação) e localizados a norte e noroeste (poços n.º

1 e 2) e a leste (poços n.º 3 e 4) das cavas preenchidas com lixo não apresentaram variações nos parâmetros medidos que caracterizassem seguramente contaminação. Somente o poço n.º 2 apresentou valores anómalos em relação aos demais (inclusive ao poço n.º 5, com medidas anteriores à instalação da lixeira) quanto às concentrações dos iões  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cu}^{2+}$  e  $\text{Mn}^{++}$  (Tabela 2). Este poço está localizado em uma posição, que, segundo os dados geofísicos, estaria com algum efeito de contaminação (As localizações dos poços de monitoramento são apresentadas nas Figuras 10, 11, e 12). Se ensaios geofísicos fossem realizados de forma regular anteriormente a instalação desses poços, certamente estes seriam localizados mais racionalmente e a análise de suas águas poderia levar a outros resultados.

Tabela 2 - Dados da análise físico-química das águas dos poços da Lixeira de Ribeirão Preto .

| Parâmetros               | Poço n. 1            | Poço n. 2            | Poço n.3             | Poço n.4             | Poço n. 5*           |
|--------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| Temperatura (°C)         | 22,0                 | 22,5                 | 24,0                 | 20,0                 | 22,0                 |
| Condutividade (mho's/cm) | 3.3x10 <sup>-5</sup> | 6.9x10 <sup>-4</sup> | 1.5x10 <sup>-4</sup> | 7.2x10 <sup>-5</sup> | 3.3x10 <sup>-5</sup> |
| pH                       | 5.87                 | 5.14                 | 6.87                 | 6.44                 | 7.05                 |
| Ca <sup>2+</sup> (mg/l)  | 1.66                 | 3.49                 | 5.76                 | 1.48                 | 2.88                 |
| Mg <sup>2+</sup> (mg/l)  | 1.10                 | 5.56                 | 6.06                 | 1.78                 | 1.26                 |
| Na <sup>+</sup> (mg/l)   | 2.00                 | 70.00                | 3.00                 | 5.00                 | 1.00                 |
| K <sup>+</sup> (mg/l)    | 1.40                 | 2.75                 | 2.50                 | 1.50                 | 2.75                 |
| Zn <sup>2+</sup> (mg/l)  | 0.00                 | 0.00                 | 0.00                 | 0.00                 | 0.00                 |
| Cu <sup>++</sup> (mg/l)  | 0.00                 | 0.586                | 0.00                 | 0.00                 | 0.00                 |
| Cd <sup>++</sup> (mg/l)  | 0.00                 | 0.00                 | 0.00                 | 0.00                 | 0.00                 |
| Mn <sup>++</sup> (mg/l)  | 0.48                 | 12.50                | 0.00                 | 0.40                 | 0.01                 |
| Pb <sup>++</sup>         | 0.00                 | 0.00                 | 0.00                 | 0.00                 | 0.00                 |
| Cr <sup>+6</sup>         | 0.00                 | 0.00                 | 0.00                 | 0.00                 | 0.00                 |

\* Anterior à disposição dos resíduos

A secção apresentada na Figura 14, posicionada no sentido transversal (E-W) às duas cavas, foi montada a partir dos dados obtidos pelos ensaios geofísicos e mostra as relações entre o meio físico e o lixo depositado, onde pode-se observar as cavas preenchidas com lixo e seus efeitos no solo e no lençol freático. Os valores de resistividade eléctrica do material residual arenoso não saturado variam, fora da zona contaminada, de 6000 a 9600 ohm.m. Nas SEVs executadas na zona contaminada, os valores variam de 367 a 900 ohm.m, mostrando que os líquidos oriundos do pacote de resíduos está presente nesse pacote e migrando para a zona saturada.

### 5 - CONCLUSÕES

A aplicação das técnicas geofísicas de sondagem eléctrica e caminhamento eléctrico permitem a obtenção de uma grande quantidade de dados, que criteriosamente interpretados, levando-se em consideração a geologia local e observando-se as limitações das técnicas, fornecem uma gama de informações de grande importância no estudo de áreas contaminadas pela disposição de resíduos urbanos.



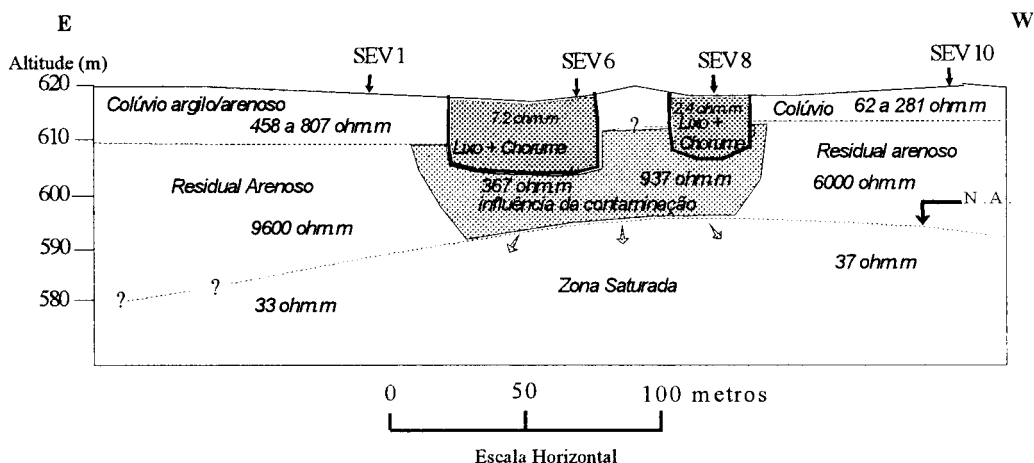


Figura 14 - Secção elaborada a partir dos resultados obtidos pelos ensaios geofísicos.

Os resultados obtidos neste trabalho mostram que:

- O sentido local do fluxo das águas subsuperficiais apresenta duas tendências: para norte-nordeste, principalmente, e para norte-noroeste (o sentido do fluxo regional do aquífero Botucatu é de leste para oeste, de acordo com Pejon & Zuquette, 1991). Essa disposição é confirmada pelos mapas de resistividade aparente, que mostram a pluma desenvolvendo-se principalmente no sentido norte-nordeste.
- A contaminação atinge a zona saturada, que está posicionada entre 7 e 10 metros abaixo da base das cavas (Figura 14). Essa situação, aliada ao fato do material do local ser residual arenoso e do fluxo ter duas direcções, é suficiente para classificar o local como inadequado para área de disposição de resíduos.
- Nos períodos chuvosos, os valores de resistividade para a zona contaminada decrescem sensivelmente, indicando que a maior quantidade de chuva causa um aumento na geração de chorume (vide Figura 10).
- Os mapas de resistividade aparente mostram o comportamento da pluma, e que os poços de monitoramento estão mal posicionados. Os dados da análise físico-química das águas desses poços mostram alteração apenas no poço de número 2, que de acordo com os dados geofísicos está localizado na área de influência da pluma. Esse fato vem fortalecer a ideia de que o posicionamento dos poços de monitoramento foi mal planejado.

O mapeamento da profundidade do nível de água, a definição do sentido do fluxo subterrâneo, a espessura da camada de rejeitos, a forma da pluma e sua influência no aquífero livre, além das variações no comportamento da zona contaminada frente às variações pluviométricas, foram as informações obtidas com a metodologia empregada, de uma forma simples, rápida e a baixos custos. Esses dados são de extrema importância na caracterização de áreas de disposição de resíduos. As informações obtidas pela geofísica mostraram que podem ser de grande valor também no sentido de racionalizar a locação e instalação de poços de monitoramento, que são indispensáveis à colecta de dados físico-químicos de águas subterrâneas para quantificar o nível de contaminação. As relações observadas entre a pluviosidade e resistividade mostram que os períodos chuvosos são mais críticos, pois o aumento da carga hidráulica dentro das cavas causa a formação de mais chorume e carrega

uma maior quantidade de contaminantes para a zona saturada. Esse panorama vem fortalecer as ideias defendidas por alguns pesquisadores, que chamam a atenção para a importância da impermeabilização não só da base, mas também da superfície de aterros sanitários.

## BIBLIOGRAFIA

- BARBER, C., DAVIS, G.B. & HEIGHT, M. - *Remote monitoring of groundwater pollution using geoelectric techniques in undulating sandy terrain*, Western Australia. *International Journal of Environment and Pollution* 1, pp. 97-112, 1991.
- BUSELLI, G.; DAVIS, G.B.; BARBER, C.; HEIGHT, M.I. & HOWARD, S.H.D. - *The application of electromagnetic and electrical methods to groundwater problems in urban environment*. *Exploration Geophysics* 23 (4), pp. 543-556, 1992.
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO - IPT - *Lixo Municipal. Manual de Gerenciamento Integrado*. IPT, São Paulo-SP, 278 p, 1995.
- MCNEIL, J.D. - *Use of electromagnetic methods for groundwater studies*. *Geotechnical and Environmental Geophysics, Vol I*, Publication of the Society of Exploration Geophysics, Arizona, USA, pp. 191-218, 1990.
- ORELLANA, E. - *Prospeccion Geoelectrica en Corriente Continua*. Ed. Paraninfo, Madrid, 523p, 1972.
- PEJON, O.J. & ZUQUETTE, L.V. - *Importância de estudos geológico-geotécnicos para a disposição de rejeitos urbanos*. II Simpósio sobre Barragens de Rejeitos e Disposição de Resíduos, CBGB, Rio de Janeiro - RJ, pp. 367-377, 1991.
- WHITELEY, R.J. & JEWEL, C. - *Geophysical techniques in contaminated land assessments - do they deliver?* *Exploration Geophysics* 23 (4), pp. 557-566, 1982.
- ZUQUETTE, L.V.; GANDOLFI, N. & PEJON, O.J. - *O mapeamento geotécnico na previsão e prevenção de riscos geológicos em áreas urbanas*. I Simpósio Latino Americano sobre Risco Geológico Urbano, São Paulo - SP, pp. 305-315, 1990.
- ZUQUETTE, L.V.; PEJON, O.J.; SINELLI, O. & GANDOLFI, N. - *Methodology of specific engineering geological mapping for selection of sites for waste disposal*. 7th International IAEG Congress, Lisboa, Portugal, pp. 2481-2489, 1994.