

Imageamento elétrico 2-D e polarização induzida na detecção de pluma de contaminação no aterro sanitário de Itajaí-SC

Rodoilton Stevanato (LPGA/UFPR), Francisco José Fonseca Ferreira (LPGA/UFPR), Mario Pegoraro (Engepasa Ambiental Ltda) e Fernando Salles Tavares (Fundema-Joinville).

Copyright 2003, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation at the 8th International Congress of The Brazilian Geophysical Society held in Rio de Janeiro, Brazil, 14-18 September 2003.

Contents of this paper was reviewed by The Technical Committee of The 8th International Congress of The Brazilian Geophysical Society and does not necessarily represents 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 reports the delineation of a contamination plume from an induced polarization and 2-D electrical imaging survey at the garbage depot of Itajaí, a city in the State of Santa Catarina, southern Brazil. Apparent resistivity (ρ_a) and apparent chargeability (M_a) data were collected along five profiling lines (a total of 1,900 m profiled). The dipole-dipole array was used, with a spacing of 20 m and 10 m between current and potential electrodes, respectively. Six investigation levels were investigated. Depth models obtained from inversion of ρ_a e M_a data clearly define a contamination plume of low ρ ($< 150 \Omega.m$) and M ($< 7.5 mV/V$) values up to a depth of 20 m. The non-contaminated area, in turn, is delineated by high ρ ($> 300 \Omega.m$) and M ($\leq 10 mV/V$) values, which reflects both lateral and vertical contrasts in the physical properties studied. Chemical analysis of water from 12 monitoring wells evenly distributed over contaminated and non-contaminated areas confirms the geophysical interpretation of the plume.

Introdução

Recentemente os métodos elétricos tem sido bastante utilizados em áreas de disposição de resíduos sólidos e líquidos, com o intuito de contribuir com a implantação e monitoramento de aterros sanitários. Tais métodos são bastante eficientes, não invasivos, e de baixo custo, visando delinear em subsuperfície as plumas de contaminação, aproveitando-se de suas características químicas, as quais se refletem em incrementos da condutividade (e.g. Góis *et al.*, 1997; Elis e Zuquette, 2002). Neste sentido, o presente trabalho mostra os resultados obtidos através da aplicação de imageamento elétrico 2-D e polarização induzida no delineamento de áreas contaminadas no aterro sanitário de Itajaí-SC.

Área de estudo

A área objeto do levantamento geofísico situa-se entre as cidades de Itajaí e Balneário Camboriú, estado de Santa Catarina. No total foram levantadas cinco linhas geofísicas abrangendo uma parte do aterro sanitário em operação, como também uma área adjacente situada a

norte e que se destinará à implantação do futuro aterro sanitário, o qual atenderá as duas cidades (Figura 1).

Geologicamente a área situa-se sobre metassedimentos do Grupo Brusque com idades atribuídas ao Proterozóico Médio, constituídos por micaxistos e cálcioxistos intensamente deformados e dispostos segundo a direção geral NE-SW (Caldasso *et al.*, 1995). Localmente ocorrem sedimentos aluviais recentes, constituídos por argila, silte e areia, os quais estão distribuídos em pacotes horizontais e inconsolidados.

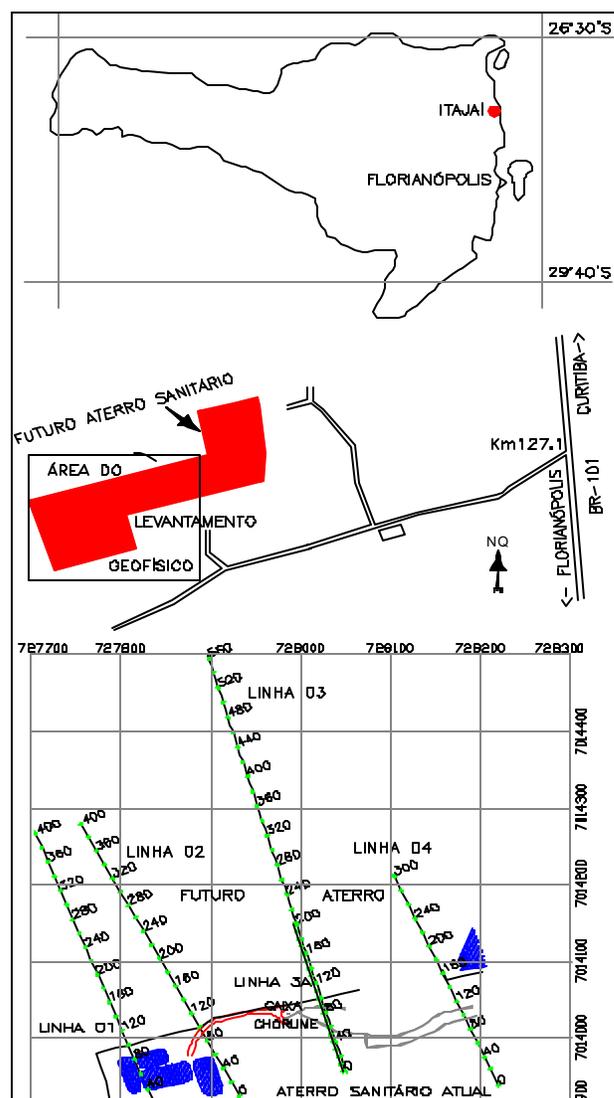


Figura 1 – Mapa de localização do aterro sanitário de Itajaí-SC indicando a área do levantamento geofísico.

Métodos

Os dados geofísicos de resistividade e cargabilidade foram tomados ao longo de cinco linhas com extensões de 400 metros (Linhas 1 e 2), 560 metros (Linha 3) e 300 metros (Linha 4). Em todas elas foi aplicado o arranjo dipolo-dipolo, espaçamento entre os eletrodos de corrente (AB) e de potencial (MN) de 20 metros. Nas cinco linhas foram utilizados seis níveis de investigação que possibilitou mapear a coluna geofísica até 35 metros nas pseudoseções aparentes e até 70 metros nas seções modeladas. Na Linha 3a o espaçamento entre os dipolos foi de 10 m, entre as estações 0 e 160 da Linha 3, permitindo investigar um maior detalhe lateral, em detrimento de uma menor profundidade de investigação.

Os equipamentos utilizados na pesquisa incluem um sistema completo de polarização induzida e resistividade, de fabricação da *Iris Instruments* e é composto dos seguintes módulos: um transmissor de alta potência VIP3000W, alimentado por um gerador Honda EM5000S e um receptor multicanal/espectral ELREC 10.

O processamento dos dados geofísicos foi realizado através dos *software Oasis Montaj™* e *Zonge 2D Inversion for Interactiv™ IP* da *Geosoft/Interpex*.

Resultados geofísicos

As pseudo-seções de resistividade e cargabilidade aparentes, assim como os modelos de profundidade correspondentes, obtidos por inversão, serão sucintamente descritos a seguir:

As pseudo-seções de resistividade aparente mostradas nas Figuras 2 e 4 (Linha 1 e Linha 2, respectivamente) apresentam baixos valores na porção esquerda (tonalidades vermelhas), indicando um meio mais condutivo, enquanto na porção direita os valores são mais altos e, conseqüentemente, mais resistivos. As seções de resistividade modelada determinam com clareza a área contaminada, através de baixos valores de resistividade ($< 150 \text{ Ohm.m}$), delineando o limite entre a área contaminada e não contaminada (estação 160 da Linha 1 e estação 120 da Linha 2), como também a profundidade em torno de 20 metros nas Linhas 1 e 2). O outro limite da pluma não foi investigado em função da falta de prolongamento da linha naquela direção.

A cargabilidade aparente (Figuras 3 e 5) mostra comportamento inverso da resistividade, indicando um meio mais polarizável na parte direita (tonalidades vermelhas) e menos na parte esquerda (tonalidades azuis). Da mesma forma que a resistividade, a cargabilidade também demonstrou eficiência na identificação da pluma de contaminação, pois as cargabilidades muito baixas, isto é, $< 5 \text{ mV/V}$, delimita com precisão a área contaminada da não contaminada (Linha 1 e Linha 2, Figuras 3 e 5, respectivamente).

A Linha 3 (Figuras 6 e 7) foi executada com uma extensão de 560 metros e visou determinar, além da interface contaminada/não contaminada a assinatura geofísica dos terrenos onde será implantado o futuro

aterro sanitário. Na tentativa de melhor precisar o comportamento da pluma de contaminação e os seus limites, o segmento esquerdo, entre as estações 0 e 160 foi refeita com espaçamento entre os eletrodos de corrente e de potencial de 10 metros (Figuras 8 e 9, Linha 3A). A resistividade aparente da Figura 6 mostra claramente o contraste entre a área do depósito de lixo, denotada por baixos valores de resistividade (tonalidade lilás), em contraposição ao restante da seção, caracterizada por altos valores de resistividade (tonalidades amarela e azul). Entretanto valores intermediários, da ordem de 500 ohm.m , foram constatados no extremo direito da seção, coincidindo com valores baixos de cargabilidade aparente (tonalidades azuis). No restante da última seção observam-se valores médios a altos, principalmente nos níveis mais profundos (tonalidades vermelhas). Finalmente, as Figuras 8 e 9 refinam o comportamento geoeletrico do segmento entre as estações 0 e 160 metros, confirmando o contraste das propriedades físicas envolvidas.

As seções de resistividade e cargabilidade modeladas (Figura 6 e 7, Linha 3) permitiu mapear com precisão o limite do depósito de lixo (estação 90), como também sua extensão em profundidade (cota -30 m). Estes limites são caracterizados por índices de resistividade menores que 150 Ohm.m . O restante da seção é caracterizado por altos valores de resistividade ($> 300 \text{ Ohm.m}$), ressaltando-se as camadas mais superficiais, cujos valores são ainda maiores ($> 1000 \text{ Ohm.m}$). Estes índices determinam a assinatura geoeletrica da área não contaminada pela pluma de contaminação ou pelo depósito de lixo. As variações de resistividade verificadas na área não contaminada são devidas, provavelmente, a diferenças litológicas, como por exemplo, na região delimitada pelas estações 360 e 520, cujos valores de resistividade variam de 300 a 500 Ohm.m e as cargabilidades são menores do que 15 mV/V . No restante da seção de cargabilidade modelada observou-se altos índices de polarizabilidade ($> 20 \text{ mV/V}$), com exceção das camadas bem superficiais que são menos polarizáveis ($< 20 \text{ mV/V}$).

As seções de resistividade e de cargabilidades modeladas (Figuras 8 e 9, Linha 3A) amostrou com maior detalhe o depósito de lixo e o seu contato com o meio adjacente não contaminado. Este fato é bastante visível nas seções mencionadas. De acordo com a Figura 8, o limite de 150 Ohm.m discrimina claramente o lixo depositado desde a estação 0 até a 95 e a área contígua livre de contaminação ($> 300 \text{ Ohm.m}$). Na Figura 9, nota-se elevados valores de cargabilidade deste parâmetro ($> 30 \text{ mV/V}$), relacionado a altos índices de resistividade ($> 500 \text{ Ohm.m}$), na área não contaminada.

Todas as pseudo-seções de resistividade sintética mostram muita semelhança com as pseudo-seções de resistividade aparente, o que demonstra que o modelo de profundidade obtido por inversão satisfaz os dados originais das pseudo-seções aparentes.

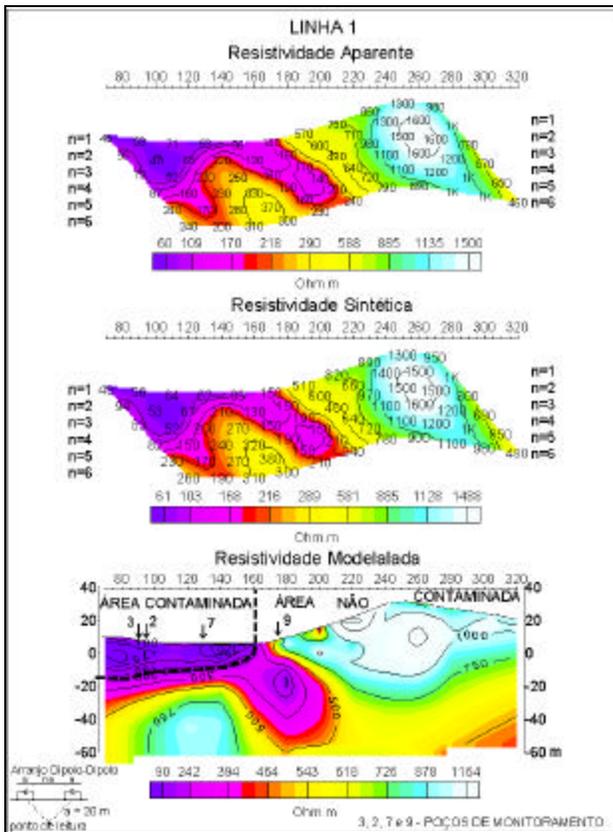


Figura 2 – Pseudo-seções de resistividade aparente e sintética e o modelo de profundidade correspondente.

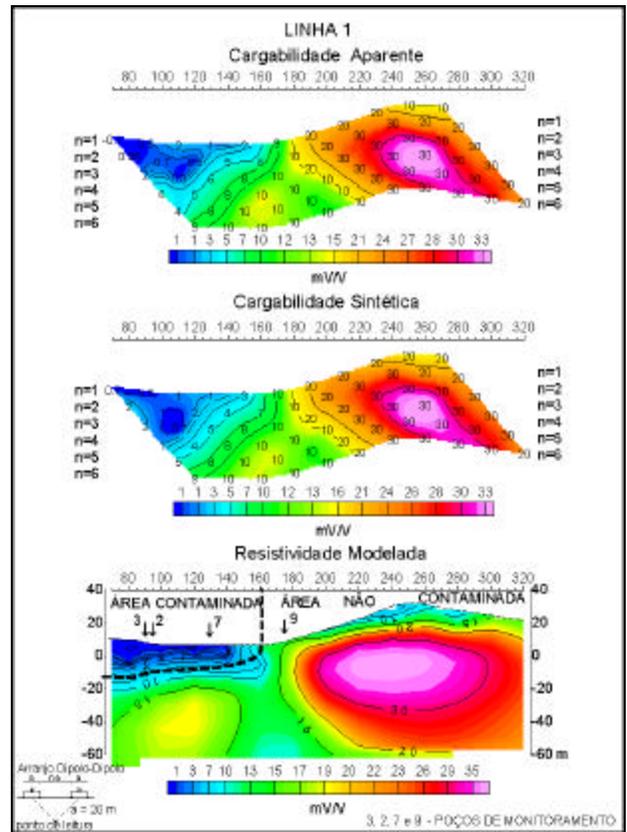


Figura 3 – Pseudo-seções de cargabilidade aparente e sintética e o modelo de profundidade correspondente.

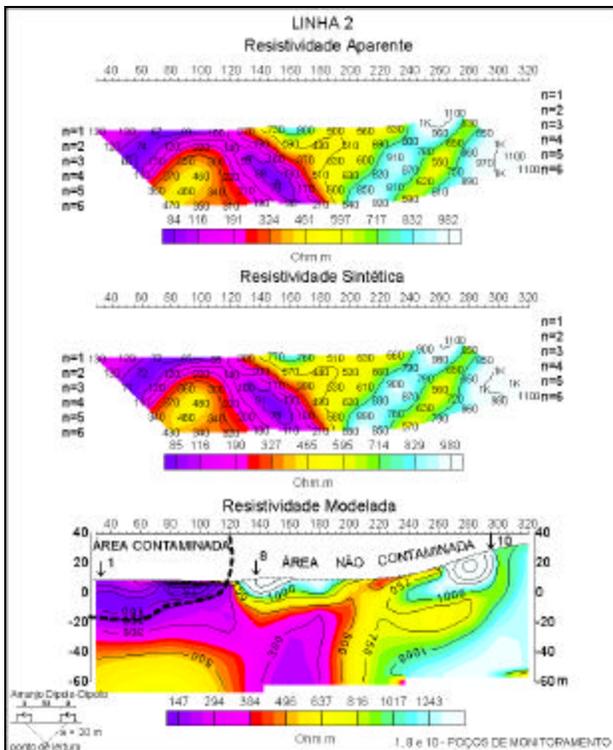


Figura 4 – Pseudo-seções de resistividade aparente e sintética e o modelo de profundidade correspondente.

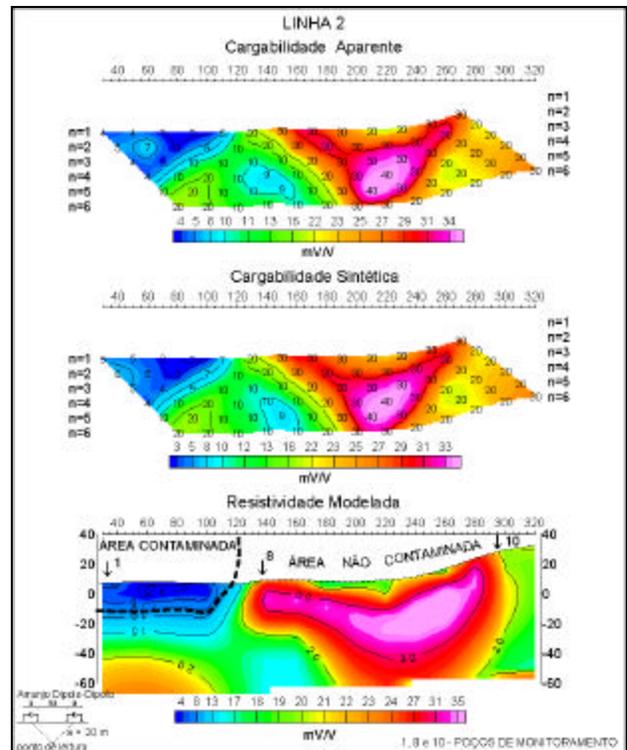


Figura 5 – Pseudo-seções de cargabilidade aparente e sintética e o modelo de profundidade correspondente.

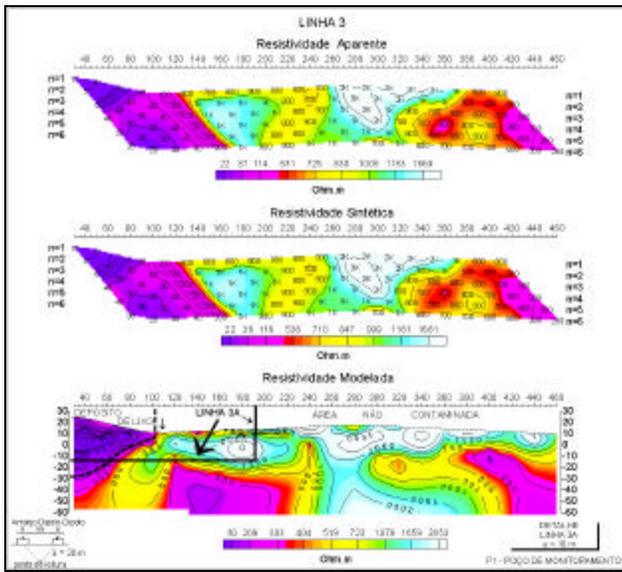


Figura 6 – Pseudo-seções de resistividade aparente e sintética e o modelo de profundidade correspondente.

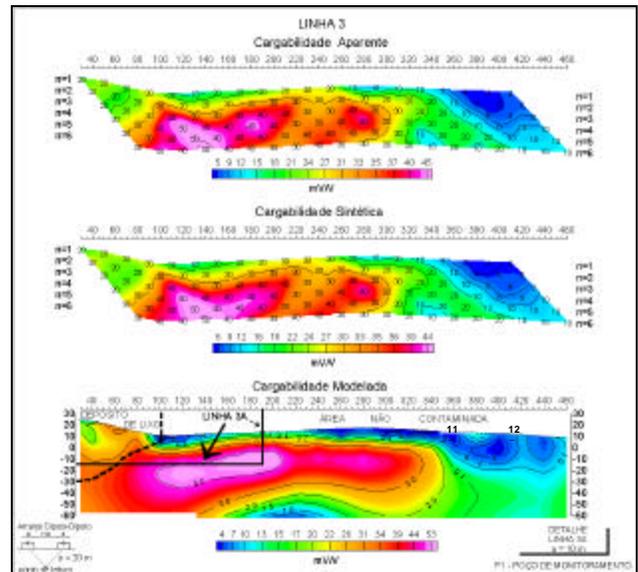


Figura 7 – Pseudo-seções de cargabilidade aparente e sintética e o modelo de profundidade correspondente.

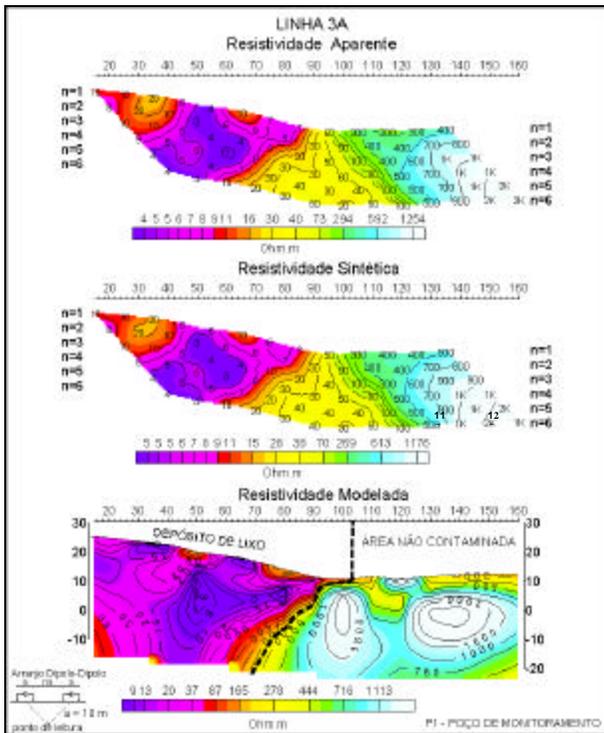


Figura 8 – Pseudo-seções de resistividade aparente e sintética e o modelo de profundidade correspondente.

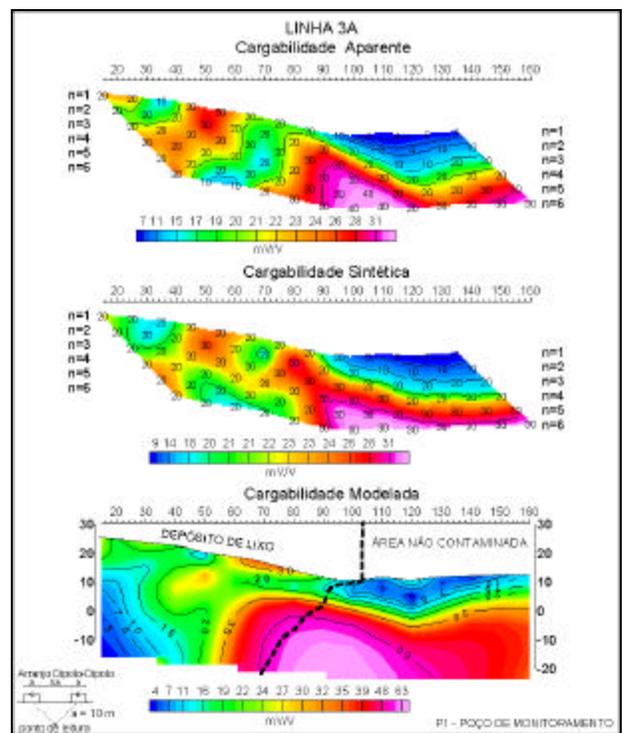


Figura 9 – Pseudo-seções de cargabilidade aparente e sintética e o modelo de profundidade correspondente.

Poços de monitoramento

Na área ocupada pelo depósito de lixo atual e em parte da área do futuro aterro sanitário, foram implantados 12 poços de monitoramento, sendo sete contaminados e localizados em torno das lagoas de decantação e cinco dispostos ao longo da área não contaminada onde será

implantado o futuro aterro sanitário (Figura 11). A Figura 10 indica as seções litológicas dos poços 1, 2 e 3, bem como a profundidade do nível de água (NA). Em todos eles a água do lençol freático está contaminada (Tabela 1).

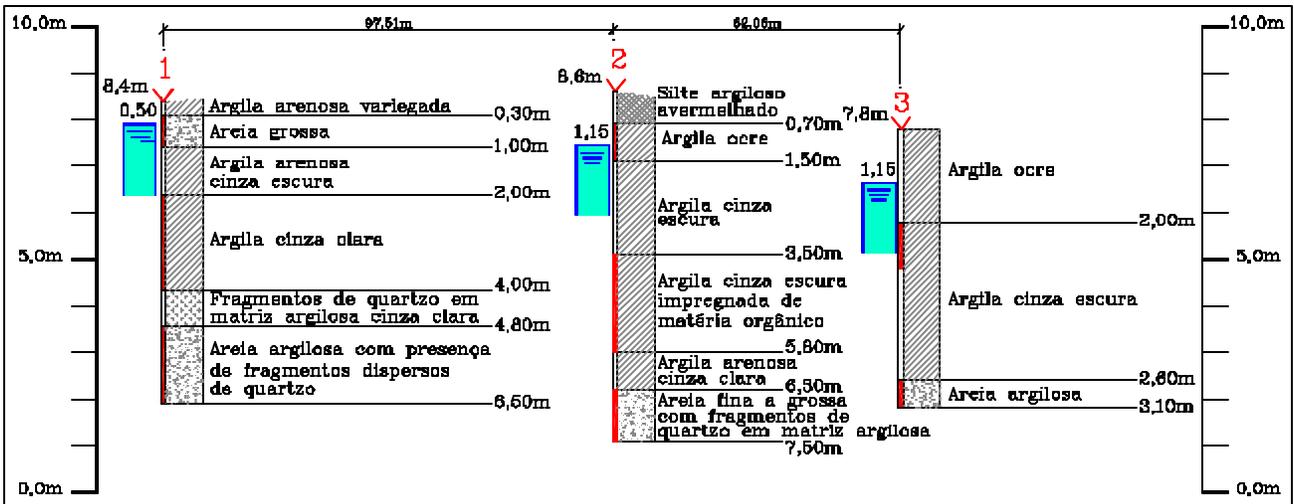


Figura 10 – Seções litológicas dos poços de monitoramento 1, 2 e 3 da área contaminada, indicando os níveis de água (NA).

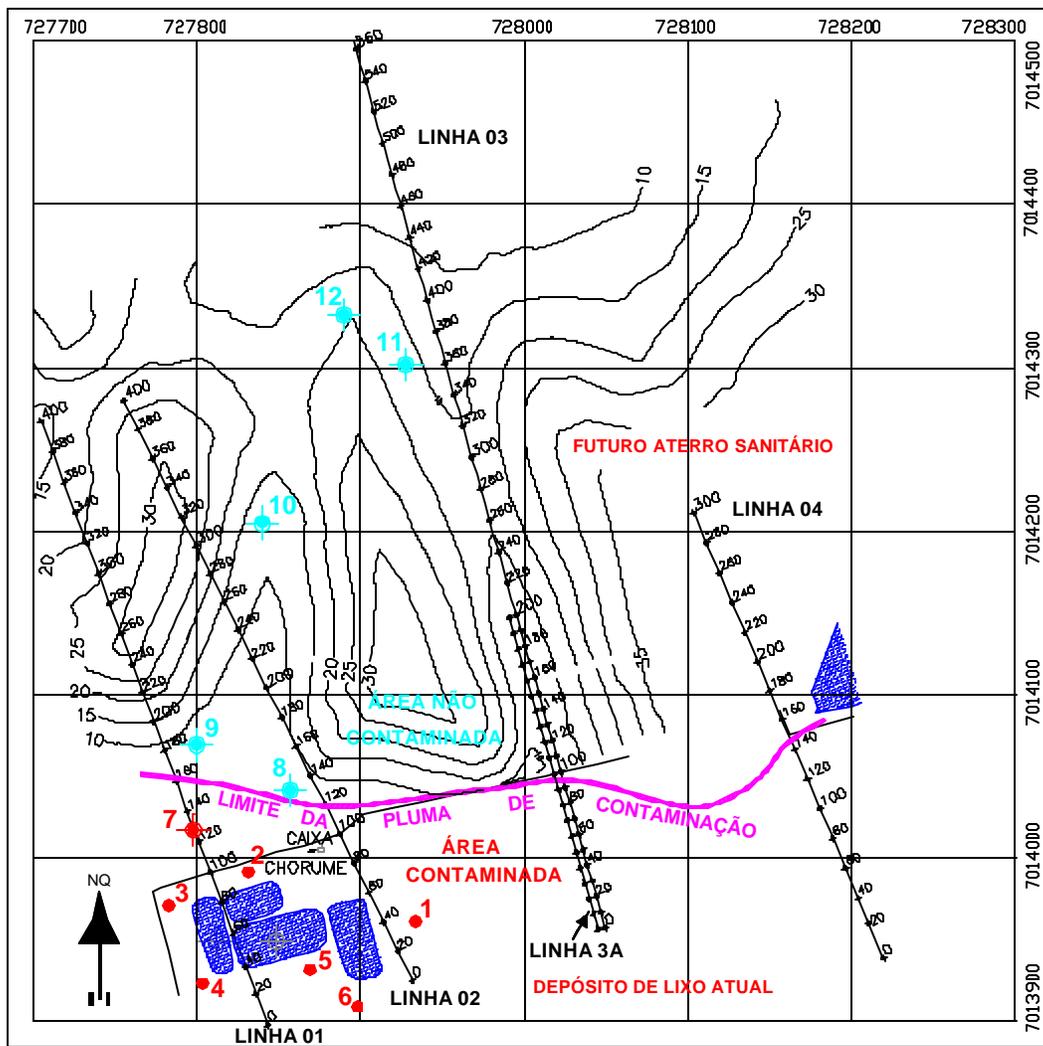


Figura 11 – Mapa indicativo do limite da pluma de contaminação e os poços de monitoramento.

Resultados hidroquímicos

As análises hidroquímicas realizadas nas águas dos poços de monitoramento, indicam que sete poços estão contaminados por algum parâmetro ou elemento químico. Os poços 2, 3 e 7 estão fortemente contaminados pelos parâmetros OD (oxigênio dissolvido), DBO (demanda bioquímica de oxigênio) e DQO (demanda química de oxigênio), além de nitrogênio (N), cloretos (CL), cobre (Cu), óleos e graxas (O/G) e coliformes fecais (CF), de acordo com a Tabela 1.

O poço 8 apresenta alguma contaminação com óleos e graxas, enquanto o poço 9 exibe alto nitrogênio. Os demais poços (10, 11 e 12) não mostram índices significativos de contaminação.

Do ponto de vista da condutividade elétrica o parâmetro cloreto (CL) é muito importante, já que as amostras dos poços 1 a 6 estão fortemente enriquecidas com este sais o que justifica a baixa resistividade neste área.

	OD	DBO	DQO	N	CL	O/G	Cu	CF
1	4,80	2,03	3,2	1,5	28,4	1,44	0,63	350
2	1,55	88,2	139,2	15,88	85,2	25	1,26	110
3	1,21	77,23	102,1	30,39	362,1	13	0,27	3000
4	4,11	4,12	9,28	1,35	35,22	1,24	<0,1	não
5	4,32	3,11	8,1	2,66	21,3	2,45	<0,1	13
6	4,77	1,21	5,35	0,85	29,4	4,6	0,29	não
7	4,60	156,3	400	0,31	7,43	62	<0,1	2,0
8	7,5	5,6	48	0,27	8,62	18,6	<0,1	2,0
9	5,6	1,3	16	9,73	6,09	6,2	<0,1	2,0
10	5,1	2,0	40	0,30	6,72	5,3	<0,1	2,0
11	6,0	1,35	40	0,25	5,79	4,3	<0,1	2,0
12	6,3	1,05	8,0	0,33	3,52	3,2	<0,1	4,0

Tabela 1 – Resultados hidroquímicos dos principais parâmetros analíticos dos poços de monitoramento. Os poços de números 1 a 7 estão contaminados e os de 8 a 10 situam-se na área não contaminada (OD = oxigênio dissolvido; DBO = demanda bioquímica de oxigênio; DQO = demanda química de oxigênio; N = nitrogênio; CL = cloretos; O/G = óleos e graxas; Cu = cobre; CF = coliformes fecais).

Considerações finais

A Figura 11 resume a principal conclusão dos ensaios geofísicos. Nela está representado o limite da pluma condutiva, separando a área contaminada da não contaminada. Por fim, a aplicação do método de imageamento elétrico 2-D, conjugado à polarização induzida, revelou-se extremamente eficaz no mapeamento da pluma contaminante, delineando seus limites laterais e verticais, em função da associação entre baixas resistividades (teores anômalos de cloretos) e baixas cargabilidades (argilas e areia saturadas por soluções salinas) na área contaminada.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Engepasa Ambiental Ltda pelo apoio financeiro e pela cessão dos dados geoquímicos.

Referências

- Caldasso, A. L. S., Krebs, A. S. J., Silva, M. A. S., Camozzato, E., Ramgrab, G. E.,** 1995. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil, Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, CPRM, Folha Botuverá (SG.22-Z-D-I-2), 1:50.000, Estado de Santa Catarina, Brasília,DF.
- Elis, V. R., e Zuquette, L. V.,** 2002. Caracterização geofísica de áreas utilizadas para disposição de resíduos sólidos urbanos. *Rev. Bras. Geoci.*, 32(1):119-134.
- Góis, J. R., Pinheiro Jr., V. Rigoti, A.,** 1997. Mapeamento geoeletrico do aterro sanitário da Lamenha Pequena. In: 5th International Congress of the Brazilian Geophysical Society, São Paulo, Vol 2, p 1216-1219.
- Stevanato, R, e Ferreira, F.J.F.,** 2003. Projeto imageamento elétrico 2-D e polarização induzida na detecção de pluma de contaminação no aterro sanitário de Itajaí-SC, Relatório Inédito, LPGA/UFPR, 29p.