

III-130 – INVESTIGAÇÃO DE UM ATERRO SANITÁRIO DE PEQUENO PORTE DO ESTADO DE SÃO PAULO E ASPECTOS NORMATIVOS

Rodrigo A. Bellezoni⁽¹⁾

Ecólogo pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN. Mestrando em Engenharia Civil e Ambiental pela Faculdade de Engenharia de Bauru - UNESP.

Cristiano Kenji Iwai

Engenheiro Civil pela Faculdade de Engenharia de Bauru, UNESP, mestrado em Engenharia Industrial pela Faculdade de Engenharia de Bauru – UNESP, doutorando em Saúde Pública pela Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo – USP.

Vagner Elis

Geólogo, Professor Adjunto do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, USP-São Paulo. Mestrado e doutorado pelo Instituto de Geociências e Ciências Exatas da UNESP, Campus de Rio Claro. Consultor, especialista em investigações geofísicas aplicadas a problemas de contaminação do solo.

Wanderley da Silva Paganini

Engenheiro Civil pela UNESP, mestrado e doutorado em Saúde Pública pela Faculdade de Saúde Pública Universidade de São Paulo. Professor Associado da Universidade de São Paulo e Superintendente de Gestão Ambiental da Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo.

Jorge Hamada

Engenheiro Civil, Professor Titular do Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia – Campus UNESP de Bauru. Engenheiro civil, mestrado e doutorado em hidráulica e saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos - USP, consultor na área ambiental especialmente para manejo de resíduos sólidos.

Endereço⁽¹⁾: Av. Eng. Luiz Edmundo Carrijo Coube, 14-01, 176 – Vargem Limpa - Bauru - SP - CEP: 17.033-360 - Brasil - Tel: 55 (14) 3103-6112 - e-mail: rbelezas@hotmail.com

RESUMO

O adequado gerenciamento dos resíduos sólidos gerados nos municípios, sejam estes de pequeno ou grande porte, representa um dos principais desafios a ser enfrentado pela administração pública. A busca de soluções para a destinação final dos resíduos tem se constituído em grande desafio, sobretudo no que concerne à poluição dos solos, do ar e dos recursos hídricos. Constata-se que 70,1 % dos municípios geram menos de 10 t/dia de resíduos (CETESB, 2011) e neste grupo encontram-se o maior número de aterros de resíduos em condições Inadequadas, evidenciando que estes merecem especial atenção do poder público.

Nos municípios considerados como pequenos geradores é possível considerar sistemas de disposição final simplificados, como a operação em valas. Os aterros sanitários de pequeno porte (ASPP) são instalações bastante específicas pela possibilidade da operação manual e pela simplicidade em relação a instalações de grande porte, bem mais onerosas e complexas.

O objetivo deste trabalho é abordar os critérios de projeto existentes para aterros de resíduos sólidos domiciliares de pequeno porte, com foco na NBR 15849:2010, realizar comparações entre as tecnologias simplificadas de disposição final existentes, além de contribuir com observações em campo e resultados geofísicos de um ASPP do Estado de São Paulo.

Embora a Norma objetive a simplificação da tecnologia de disposição final de resíduos sólidos, esta apresentou alguns pontos questionados no meio científico, quanto aos padrões de proteção de águas subterrâneas; à necessidade ou não de impermeabilização; à dispensa do monitoramento de águas subterrâneas, mesmo quando a impermeabilização não for julgada necessária e por não prever o uso futuro da área do aterro como integrante da paisagem urbana.

Através do acompanhamento *in loco* das atividades do aterro em estudo, verificou-se que não há grandes dificuldades quanto à operação deste empreendimento em relação à Norma em questão.

Ensaio geofísicos evidenciaram que a zona saturada do aterro encontra-se abaixo de 15m de profundidade e que, baixos valores de resistividade elétrica foram encontrados à profundidade máxima de aproximadamente 9m na vala mais recente, delimitando uma possível influência do chorume até este ponto, o que pode caracterizar a viabilidade dessa tecnologia simplificada na área.

PALAVRAS-CHAVE: NBR 15849:2010, Análise geofísica, Qualidade de solos e água subterrânea, Aterros sanitários em valas.

INTRODUÇÃO

O adequado gerenciamento dos resíduos sólidos gerados nos municípios, sejam estes de pequeno ou grande porte, representa um dos principais desafios a ser enfrentado pela administração pública. A busca de soluções para a destinação final dos resíduos tem se constituído em grande desafio, sobretudo no que concerne à poluição dos solos, do ar e dos recursos hídricos, bem como à compreensão dos mecanismos de biodegradação da massa de resíduos e sua influência no comportamento dos aterros sanitários. Esta abordagem permite o desenvolvimento de técnicas mais eficientes para o tratamento da massa de resíduos, dos efluentes líquidos e gasosos, além de promover melhor aproveitamento das áreas disponíveis para destinação final dos resíduos sólidos.

Segundo a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (PNSB), realizada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) em 2008, dos 5.564 municípios brasileiros, 81% (4.511) têm população inferior a 50.000 habitantes. Nesses municípios, 53% (2.413) dos resíduos gerados são dispostos em locais inadequados (IBGE, 2008). Em muitos desses municípios faltam recursos humanos especializados e critérios técnicos, econômicos e sociais para tratar a questão dos resíduos sólidos. Este fato tem conduzido a sérios problemas ambientais e de saúde pública, além de ineficiência administrativa. Contudo, a disposição dos resíduos nos denominados aterros controlados, mesmo que lentamente, é crescente nesses municípios e representou 22,5% (1005 municípios) em 2008, contra 22,3 % no ano 2000 e 9,6% em 1989. Ainda considerando a destinação final dos resíduos sólidos, os vazadouros a céu aberto (lixões) constituíram o destino final dos resíduos em 50,8% dos municípios brasileiros e os aterros sanitários em 27,7% (PNSB; IBGE, 2008).

A avaliação dos dados relativos aos Índices de Qualidade de Resíduos – IQR, elaborados conforme levantamentos realizados pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo – CETESB, onde são consideradas características locais, estruturais e operacionais, por meio da avaliação técnica, demonstrou que os municípios em situação Inadequada, na sua grande maioria constituídos por uma população inferior a 25.000 habitantes, geram menos que 10 toneladas de resíduos por dia, acarretando graves consequências ambientais e de saúde pública (CETESB, 2011).

Da análise dos resultados desde 1997 até 2010, conforme mostrado na Figura 1, pode ser verificado um crescimento significativo no número de municípios que dispõem seus resíduos de forma Adequada, passando de 27 em 1997, para 432 em 2010, sendo que estes respondem pela geração de 88,7 % dos resíduos no Estado (CETESB, 2011). Verifica-se, porém que 24 municípios, equivalente a 3,7 % dos municípios do Estado, ainda dispõem seus resíduos de forma Inadequada, porém isto corresponde a apenas 1,2 % do total de resíduos gerados no Estado.

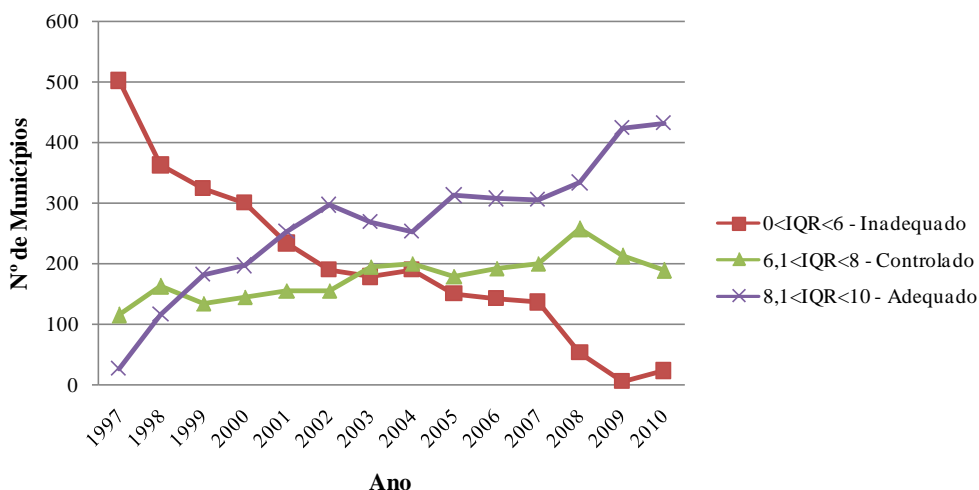


Figura 1: Situação Geral do Estado de São Paulo, quanto ao número de municípios e o seu enquadramento no IQR - índice de Qualidade de Aterros de Resíduos (CETESB, 2011).

Constata-se, também, que 70,1 % dos municípios geram menos de 10 t/dia de resíduos (CETESB, 2011). Neste grupo encontra-se o maior número de aterros de resíduos em condições Inadequadas, demonstrando que estes merecem uma atenção maior do poder público.

Nos municípios de pequeno porte, em razão da pequena quantidade de resíduos gerados diariamente, é possível considerar sistemas de disposição final simplificados, como a operação em valas. Os aterros sanitários de pequeno porte (ASPP) são instalações bastante específicas pela possibilidade da operação manual e pela simplicidade em relação a instalações de grande porte, bem mais onerosas e complexas. Em diversas regiões brasileiras experiências práticas têm sido desenvolvidas, tornando possível a sua incorporação nos procedimentos para implantação e operação dos ASPP (ABNT). Esta tecnologia simplificada é aceita e indicada por órgãos ambientais, por compatibilizar o projeto, a operação, os requisitos ambientais às potencialidades locais, minimizando os impactos ao meio ambiente e à saúde pública.

No entanto, existe a necessidade da execução de pesquisas, com respostas claras e diretas para as questões referentes à sustentabilidade e verificação se os critérios simplificados adotados para os ASPP são adequados, ou ainda, se podem ser melhorados, garantindo assim, a qualidade de vida da população principalmente em municípios de pequeno porte, pois fica evidenciado que estes municípios apresentam maiores dificuldades na gestão dos resíduos.

Neste sentido, há o desenvolvimento de várias tecnologias como as propostas pela CONDER (2000), CETESB (1997), PROSAB (2003) e CEPIS/OMS (1991) que primam pela simplicidade de implantação e operação de aterros de disposição ou que buscam tratar por processo biológico anaeróbio a fração orgânica dos resíduos aterrados, sem prejuízo para o meio ambiente ou à saúde pública. Devido às particularidades de concepção de cada uma delas é importante analisá-las sob a perspectiva das características ambientais da região onde podem ser implantadas.

O presente trabalho objetiva abordar os critérios de projeto existentes para aterros de resíduos sólidos domiciliares de pequeno porte, com foco na NBR 15849:2010, realizar comparações entre as tecnologias simplificadas de disposição final existentes, além de contribuir com observações em campo e resultados geofísicos de um ASPP (Metodologia de Aterro em Valas do Estado de São Paulo). Contribuições aos procedimentos da Norma Técnica estudada serão incorporadas, quando cabíveis.

MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa em que se baseia o presente trabalho considerou os procedimentos metodológicos que seguem.

- Estudo da recente norma, da legislação e critérios atualmente disponíveis. A escolha do ASPP, correspondeu à um modelo com grande proximidade aos critérios estabelecidos pela CETESB/SMA do Estado de São Paulo.
- Avaliação *in loco* do ASPP do município de Angatuba/SP, incluiu a observação da operação e manutenção do aterro, por servidores da prefeitura do município, verificando-se a adequação das atividades aos procedimentos estabelecidos em Norma Técnica.
- Estudos preliminares com métodos geofísicos. Para a realização da sondagem geofísica foi empregada a técnica da Sondagem Elétrica Vertical (SEV), que consiste em uma sucessão de medidas de um parâmetro físico, a resistividade aparente (método da eletroresistividade). Aplicou-se também a técnica de Caminhamento Elétrico (CE) - Arranjo Dipolo-Dipolo, onde as investigações são realizadas ao longo de perfis e os resultados obtidos relacionam-se entre si através, ou de um estudo em mapas a uma ou mais profundidades determinadas ou de seções com vários níveis de investigação. A localização dos ensaios é apresentada na Figura 2.

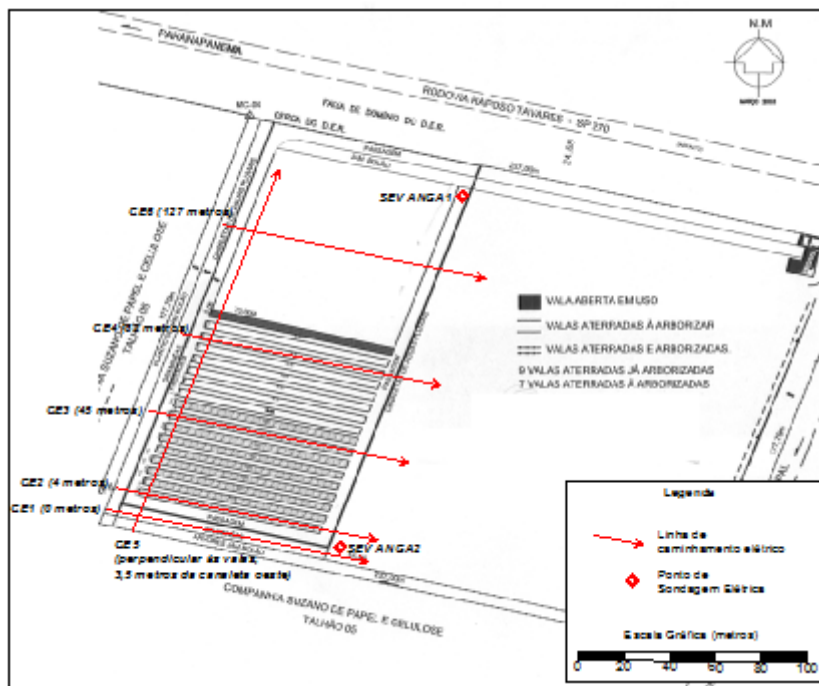


Figura 2 – Localização dos ensaios geofísicos.

RESULTADOS

A Norma ABNT 15849:2010 especifica os requisitos mínimos para localização, projeto, implantação, operação e encerramento de ASPP, para a disposição final de resíduos sólidos urbanos. Estabelece também as condições para a simplificação das instalações de pequeno porte, além de determinar condições para a proteção dos corpos hídricos superficiais e subterrâneos no local de implantação, bem como a proteção da saúde e do bem estar das populações vizinhas.

Deve-se ressaltar a amplitude de aplicação desta Norma, pois segundo os critérios estabelecidos, os ASPP podem ser adotados para disposição até 20 toneladas por dia. Se tomarmos como base o Inventário Estadual de Resíduos Sólidos Domiciliares, referente ao ano de 2010, elaborado pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo – CETESB, observa-se que somente no Estado de São Paulo, 528 municípios (81,9%), se enquadram nesta faixa de geração de resíduos.

Cabe salientar que estes métodos simplificados de disposição de resíduos ainda sofrem rejeição pela falta de estudos científicos que demonstrem sua eficiência e eficácia na proteção ambiental, porém, deve-se considerar o contexto nacional de destinação dos resíduos sólidos, que mostram condições muitas vezes mais críticas e ambientalmente inadequadas, prevalecendo à disposição em vazadouros, principalmente nos municípios menores e com menos recursos, e não se vislumbrando uma solução mesmo que passando a uma situação não considerada ideal, mas temporária, com vistas a uma evolução progressiva na qualidade e preservação ambiental. Neste contexto a aceitação de métodos simplificados, desde que resguardados os critérios técnicos mínimos, pode ser considerada uma solução transitória adequada para os aterros de pequeno porte, porém, todo o rigor técnico deverá continuar sendo aplicado nos empreendimentos de relevância ambiental, seja em função do porte, da localização ou dos resíduos recebidos.

Uma das principais inovações apresentadas na Norma ABNT 15849:2010 é a definição de critérios para a dispensa da impermeabilização complementar, tendo como variáveis o coeficiente de permeabilidade, o excedente hídrico, a fração orgânica dos resíduos e a profundidade do freático. Justamente este ponto que causa diversos questionamentos e que necessita de estudos técnicos detalhados, visando verificar se as premissas consideradas para a definição desses critérios são comprovadas na prática. De outro pólo, também se teria embasamento técnico para estabelecer a necessidade, ou não, do monitoramento das águas subterrâneas. A aplicabilidade dos critérios de operação citados na Norma em questão foi verificada in loco através do sistema de operação do ASPP do município de Angatuba/SP, que dispõe seus resíduos em valas.

Dentre as tecnologias existentes, o aterro sanitário simplificado (CONDER, 2002) e o aterro em valas (CETESB, 1997), podem ser considerados os mais simples, dispensando sistemas de drenagem de gases e lixiviados e, na maioria dos casos, dispensam barreira impermeabilizante e usam somente a capacidade de atenuação natural do solo. Por sua vez, o aterro sustentável (PROSAB, 2003) apresenta vários sistemas de proteção ambiental, tais como, barreiras de fundo e lateral, sistemas de drenagem de gases e lixiviados ou mesmo o uso de técnicas como a recirculação do lixiviado, sendo considerado o mais complexo. Uma síntese das tecnologias simplificadas existentes encontra-se na Tabela. Observam-se vários pontos em comuns, tais como, escavação de valas ou trincheiras, uso de equipamentos de baixo custo, uso de cobertura diária dos resíduos, entre outras.

Tabela 1: Algumas características de várias tecnologias simplificadas para disposição de resíduos sólidos

Elementos	Aterro em valas ¹	Aterro sanitário simplificado ²	Aterro Manual ³	Aterro sustentável ⁴
População máxima a ser atendida	25.000 hab.	20.000 hab.	30.000 hab.	20.000 hab.
Peso máximo de resíduos depositado por dia	10 t/d	20 t/d	15 t/d	20 t/d
Método construtivo para o confinamento	Valas	Trincheiras e aterramento celular	Área e Trincheiras	Trincheiras
Profundidade do aterro	≅ 3m	p ≤ 4m	2 a 4m	2 a 3m
Sistema de drenagem de gás	Não existente	Não existente	Existente	Existente
Sistema de drenagem de chorume	Não existente	Não existente	Existente	Existente
Forma de compactação dos resíduos sólidos	Manual	Manual	Uso de equipamentos manuais	Uso de equipamentos manuais
Grau de compactação	500kg/m ³	400kg/m ³	400-500kg/m ³	* 500kg/m ³
Tipo de solo recomendado para se implantar o aterro	Argila	Argila	Argila	Argila

Obs: (1) CETESB (1997); (2) CONDER (2000); (3) CEPIS/OMS (1991) (4) PROSAB, 2003

(*) Dados referentes ao aterro sustentável implantado em Catas Alta/MG (Fonte: PROSAB, 2003)

Para os ensaios geofísicos, podem ser destacadas as linhas denominadas CE2, CE3 e CE4, que contemplam as valas 1 (mais antiga), 8 e 15 (mais recente), respectivamente, e podem ser analisadas em conjunto (Figuras 1, 2 e 3). As valas mais recentes (8 e 15) apresentam claramente baixa resistividade elétrica devido aos resíduos novos. Na vala 1, mais antiga, essa zona é bem menos desenvolvida indicando claramente que a influência dos resíduos já decompostos é mais baixa e o subsolo aproxima-se de um solo natural. Pode-se inferir, com base nesse parâmetro, que a atenuação natural tenha ocorrido no intervalo de tempo considerado entre a execução das valas 1 e 15.

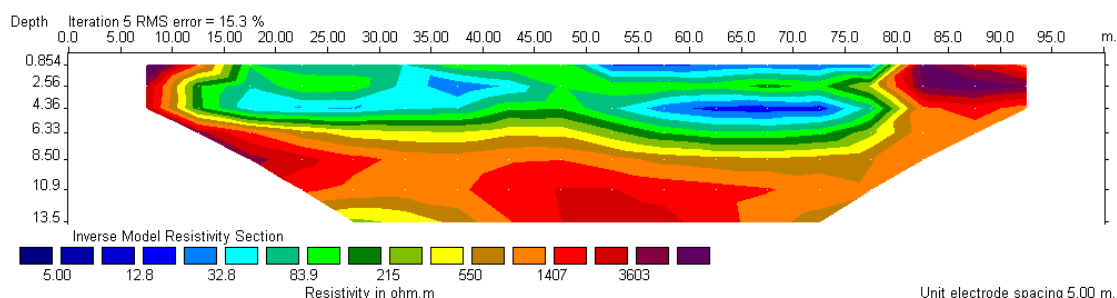


Figura 1 – Linha CE2, sobre a vala 1.

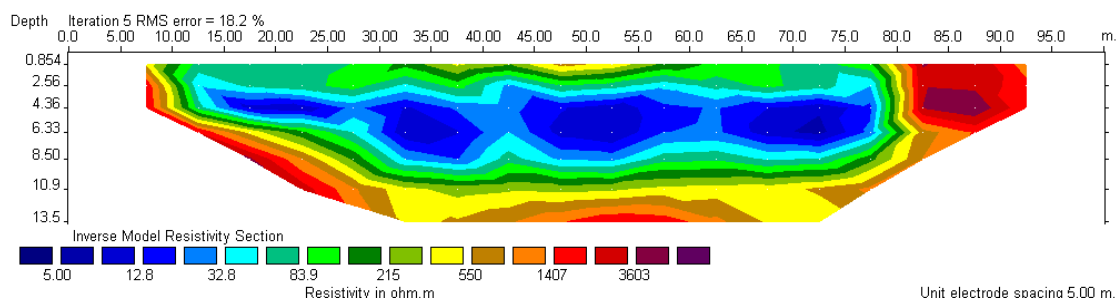


Figura 2 – Linha CE3, sobre a vala 8.

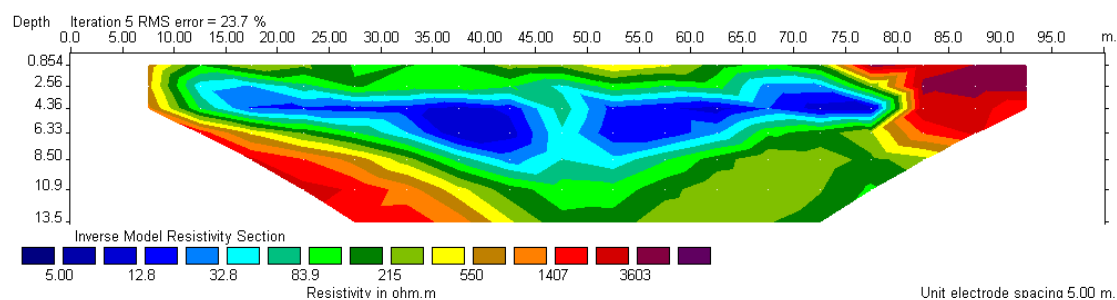


Figura 3 – Linha CE4, sobre a vala 15.

A Linha CE1 foi realizada a montante das valas, em área sem resíduos. Como pode ser observado na Figura 4, apresenta altos valores de resistividade (na parte superior acima de 5000 ohm.m). Uma zona de resistividade relativamente mais baixa (80 ohm.m) pode ser resultado da proximidade com a primeira vala.

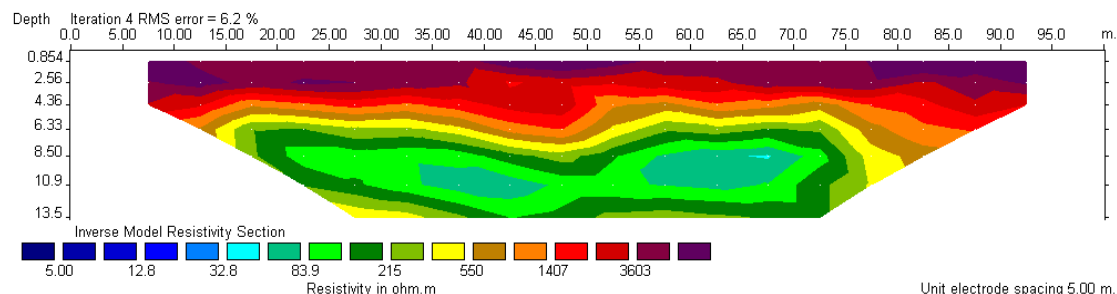


Figura 4 – Linha CE1, montante das valas.

A Linha CE5 foi realizada de forma a atravessar todas as valas. Foi executada em seu flanco oeste, próxima da extremidade das valas, por não ser possível ser executada na parte central devido às espécies vegetais plantadas entre as valas. Essa linha permite visualizar principalmente a zonas de influência dos resíduos sobre as valas (Figura 5). Considerando que a última vala com resíduos está aproximadamente até 120 metros, observa-se que a zona de influência dos resíduos vai até cerca de 10 metros a frente. Em profundidade, essa zona de influência tende a ficar até 8,5 metros, porém existem zonas de resistividade relativamente mais baixas em profundidade entre as posições 45 e 65 metros e 105 e 125 metros. Essas feições podem caracterizar variações litológicas ou influência dos contaminantes em profundidades maiores. Porém essa questão não pode ser resolvida pelos resultados geofísicos.

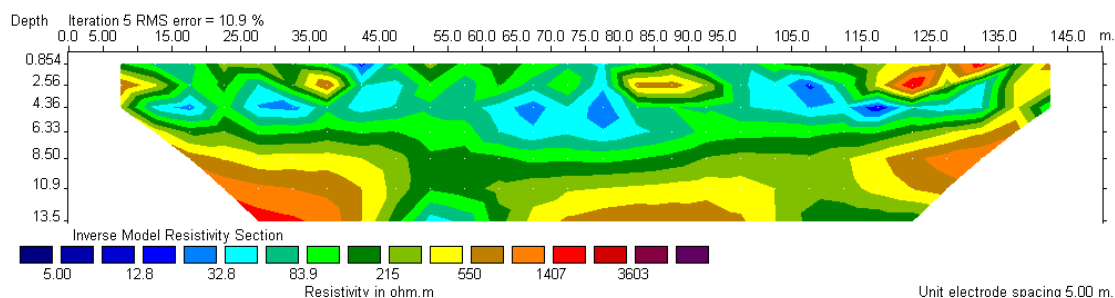


Figura 5 – Linha CE5, perpendicular às valas.

A Linha CE6 foi realizada a jusante das valas, a cerca de 10 metros da última vala preenchida. Não apresenta nenhuma feição anômala que possa caracterizar influência de contaminantes, sendo a diminuição de resistividade em profundidade compatível com o aumento do teor de umidade no solo/sedimento (Figura 6).

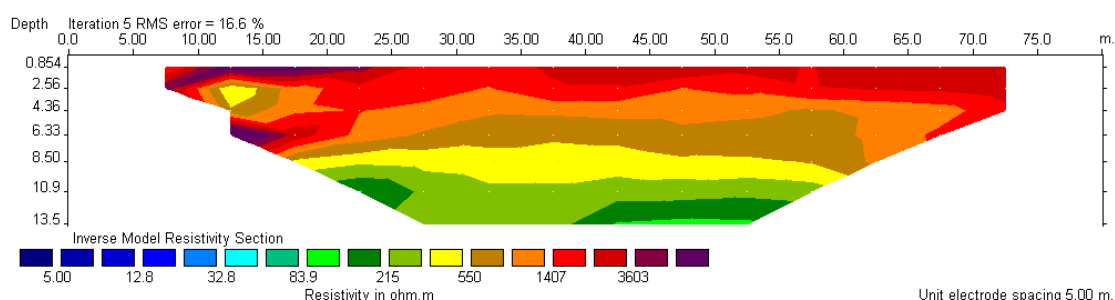


Figura 6 – Linha CE6, a jusante das valas.

A seguir, esquema detalhado da Linha CE2, sobre a vala 1, por ser de maior interesse para o prosseguimento dos trabalhos com sondagens e coleta de dados diretos. Por essa razão o modelo geoeletrico foi processado com um refinamento da malha de amostragem para melhorar a resolução na parte mais próxima da superfície, onde se encontra a vala. O resultado é apresentado na Figura 7, onde pode se observar mais claramente a vala e a área de influência da contaminação. A vala apresentou cerca de 70 metros de comprimento e 3 metros de profundidade, sendo a parte mais afetada pela contaminação localizada entre as posições 65 a 75 metros, entre 5 e 7 metros de profundidade.

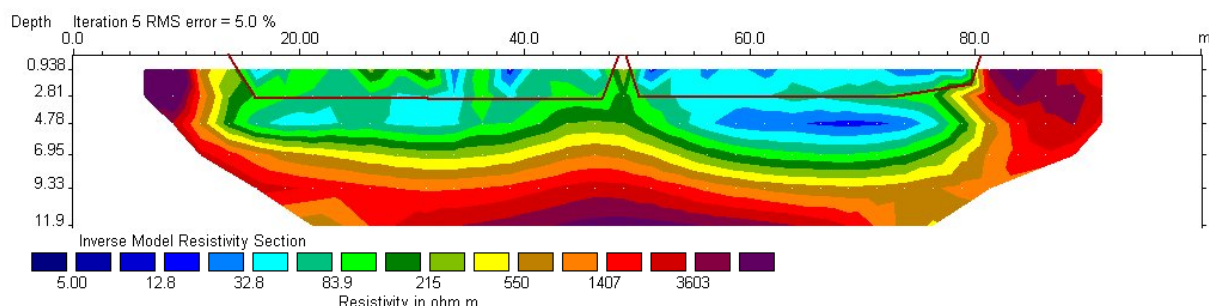


Figura 7 – Linha CE2, modelo interpretado para realçar as feições superficiais.

CONCLUSÕES

Embora a NBR 15849:2010 objetive a simplificação da tecnologia de disposição final de resíduos sólidos, esta apresentou alguns pontos questionados no meio científico, quanto à determinação das medidas a serem tomadas em algumas situações, como por exemplo, quanto aos padrões de proteção de águas subterrâneas; à necessidade ou não de impermeabilização; à dispensa do monitoramento de águas subterrâneas, mesmo quando a impermeabilização não for julgada necessária e por não prever o uso futuro da área do aterro como integrante da paisagem urbana.

Através do acompanhamento *in loco* das atividades do ASPP em estudo, verificou-se que não há grandes dificuldades quanto à operação deste empreendimento em consonância com a Norma em questão, pelo contrário, os procedimentos mostraram-se perfeitamente aplicáveis em campo.

Os ensaios geofísicos evidenciaram que a zona saturada encontra-se abaixo de 15m de profundidade e que, baixos valores de resistividade foram encontrados à profundidade máxima de aproximadamente 9m (vala 15, mais recente), delimitando a possível influência do chorume até este ponto, o que pode caracterizar a viabilidade dessa tecnologia simplificada na área.

Sondagens com amostragens de solo foram realizadas para posterior caracterização do subsolo e sua correlação com os dados geofísicos. Observou-se por ocasião da perfuração de poços de monitoramento que, durante o período de chuvas, tanto os poços à montante quanto à jusante das valas com resíduos, apresentaram seu Nível da Água (NA) inferiores à 10m de profundidade; aos 7,5m e 4,5m, respectivamente. Este fato pode ser explicado pela formação de aquíferos suspensos na região do aterro sanitário, possibilitados por uma composição litológica pouco permeável e que pode, portanto, ocasionar bolsões de água subterrânea, conectados ou não ao lençol freático. Ainda assim, a identificação da variação do NA no período chuvoso, não significa que o empreendimento ocasione contaminação do aquífero. Somente amostragens da água subterrânea poderão confirmar se ocorreu a migração (seletiva ou não) de contaminantes para o aquífero freático.

Tecnologias simplificadas constituem alternativas viáveis para disposição final dos resíduos sólidos urbanos em pequenos municípios, neste sentido é louvável a iniciativa da ABNT em criar uma NBR com critérios para estes empreendimentos. Ainda assim, ressalta-se a necessidade da análise rigorosa do local selecionado, verificando-se a topografia local e seus constituintes litológicos e hidrológicos, objetivando a compatibilidade das características da tecnologia escolhida com as necessidades e condições apropriadas para cada região.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15849: Resíduos sólidos urbanos - Aterros sanitários de pequeno porte. Rio de Janeiro, 2010.
2. COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO URBANO DO ESTADO DA BAHIA. Projeto, concepção e manual de operação de aterros sanitários manuais - modelo CONDER. Salvador, 2002.
3. COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB) – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. Aterros sanitários em valas, apostilas ambientais. São Paulo, 1997.
4. COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB) Inventário Estadual de Resíduos Sólidos Domiciliares: Relatório de 2010. Arquivo digital obtido em <http://www.cetesb.sp.gov.br>. 182p. São Paulo, 2011.
5. COSTA, E. R. H. Estudo de Polímeros Naturais como Auxiliares de Floculação com Base no Diagrama de Coagulação do Sulfato de Alumínio. São Carlos. 1992. Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos-Universidade de São Paulo 1992.
6. IBGE. *Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2008*. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaodevida/pnsb2008/PNSB_2008.pdf Acesso em: 10 out. 2010.
7. INTERPEX LIMITED – *RESIX-IP v. 2.0 – DC Resistivity and Induced Polarization Data Interpretation Software. User's Manual*. INTERPEX Limited, Golden, Colorado, U.S.A., “paginação irregular”, 1993.
8. PAIVA, I. E. P DE; ZANTA, V. M. Aterro sanitário em municípios de pequeno porte: estudo do potencial de aplicação de tecnologias simplificadas na região do semi-árido baiano. 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Campo Grande, 2005.
9. PERROTTA, M. M.; SALVADOR, E.D.; LOPES, R.C.; D'AGOSTINO, L.Z.; PERUFFO, N.; GOMES, S.D.; SACHS, L.L.B.; MEIRA, V.T.; GARCIA, M.G.M.; LACERDA FILHO, J.V. . Mapa Geológico do Estado de São Paulo, escala 1:750.000. Programa geologia do Brasil - PGB, CPRM, São Paulo. Cd-rom, 2005.
10. PROGRAMA DE PESQUISA EM SANEAMENTO BÁSICO (PROSAB). Resíduos Sólidos Urbanos: Aterro Sustentável para Municípios de Pequeno Porte. Rio de Janeiro: ABES, Rima, 2003.