

III-398 - TECNOLOGIA DE BAIXO CUSTO PARA DISPOSIÇÃO FINAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS EM COMUNIDADES DE PEQUENO PORTE: ATERROS SANITÁRIOS EM VALAS

Cristiano Kenji Iwai⁽¹⁾

Engenheiro Civil pela Faculdade de Engenharia de Bauru, UNESP, Mestre em Engenharia Industrial pela Faculdade de Engenharia de Bauru – UNESP, Doutor em Saúde Pública pela Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo – USP. Gerente da Divisão de Apoio ao Controle da Poluição da CETESB.

Wanderley da Silva Paganini⁽²⁾

Engenheiro Civil pela UNESP, Mestre e Doutor 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 - SABESP.

Jorge Hamada⁽³⁾

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

Rodrigo A. Bellezoni⁽⁴⁾

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

Vagner Elis⁽⁵⁾

Geólogo, Professor Adjunto do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, USP-São Paulo. Mestre e Doutor 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.

Endereço⁽¹⁾: Av. Prof. Frederico Hermann Junior nº 345, Alto de Pinheiros – São Paulo – SP – CEP 05459-900 – Brasil – Tel.: 55 (11) 3133 3263 – e-mail: ciwai@sp.gov.br

RESUMO

A grande quantidade de resíduos sólidos gerados no Brasil não é compatível com as políticas públicas, com o desenvolvimento tecnológico e com investimentos para o setor (Castilhos Jr, 2003). Em pequenos municípios, é típica a falta de conhecimentos técnicos e a ausência de condições financeiras para a destinação adequada de resíduos, ocasionando a ocorrência de inúmeros lixões. Neste contexto, no Brasil, vêm sendo adotadas soluções simplificadas e economicamente viáveis, com a implantação dos aterros sanitários de pequeno porte - ASPP.

Estes empreendimentos são instalações que simplificam a operação e reduzem custos, atendendo a capacidade técnica e econômica destes municípios, sem prejuízos ao meio ambiente e à saúde pública. Atualmente, essa técnica é regulamentada em nível federal, contudo, tem sido questionada quanto ao seu potencial de contaminação do solo e águas subterrâneas, por não empregar sistemas de impermeabilização. Desta forma, o presente trabalho avaliou a eficácia deste método, por meio de estudo de caso, efetuando a investigação de três áreas distintas. Essas áreas, em operação há mais de 8 (oito) anos, foram designadas para receber os resíduos sólidos urbanos na forma de Aterro em Vala, de acordo com os condicionantes estabelecidos no Estado de São Paulo - Brasil. Para tanto foram realizados ensaios geofísicos pelo método da eletrorresistividade, amostragens e análises físico-químicas do solo e das águas subterrâneas.

Os resultados indicam que, para os condicionantes das áreas estudadas, considerando as taxas de aplicação de resíduos, variando de 8.000 a 15.000 t/ha, os solos locais têm sido capazes de promover a atenuação natural dos contaminantes. Aspectos relacionados ao meio físico, como características do solo e profundidade do nível d'água são fundamentais na escolha de áreas para implantação destes aterros, visando à minimização dos riscos de contaminação ambiental. Em linhas gerais, consideram-se pouco relevantes as alterações observadas.

Conclui-se que, apesar de simplificado, o método utilizado mostra-se uma alternativa viável para a disposição final de resíduos sólidos urbanos em pequenos municípios, principalmente em países em desenvolvimento.

PALAVRAS-CHAVE: Resíduos Sólidos Urbanos, Destinação Final, Aterros Sanitários de Pequeno Porte.

INTRODUÇÃO

A busca de soluções adequadas para a destinação final dos resíduos sólidos urbanos - RSU em pequenas comunidades, situadas em países em desenvolvimento, tem se constituído em grande desafio, sobretudo no que concerne à proteção da saúde pública e a garantia da qualidade ambiental.

Segundo a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico - PNSB (IBGE, 2010), os 5.564 municípios brasileiros produziram diariamente cerca de 183 mil toneladas de resíduos sólidos no ano de 2008. Destes municípios, 89,8% possuíam até 50.000 habitantes. Os dados relativos às formas de disposição final de resíduos sólidos, distribuídos de acordo com a população dos municípios, indicam que 50,8% dos municípios brasileiros depositam seus resíduos sólidos em “lixões”, somente 27,7% informam que utilizam aterros sanitários e 22,5% dispõem seus resíduos em aterros controlados (PNSB – IBGE, 2010). Verifica-se também que a destinação final mais utilizada na maioria dos municípios com população inferior a 50.000 habitantes, ainda é o depósito de resíduos sólidos a céu aberto, correspondendo a cerca de 53% dos municípios.

Assim, observa-se que a utilização dos Aterros em Valas possui significativo potencial de expansão no Brasil, bem como, em outros países em desenvolvimento. Devem ser considerados, ainda, os dados constantes da versão preliminar do Plano Nacional de Resíduos Sólidos (MMA, 2011), que evidenciam a existência de 2.906 lixões no Brasil, distribuídos em 2.810 municípios e que precisam ser erradicados. Salienta-se que 98% dos lixões existentes concentram-se em municípios de pequeno porte.

Neste contexto, alguns Estados brasileiros adotam soluções simplificadas e economicamente viáveis à realidade destes municípios, com destaque para o Estado de São Paulo que, por meio de um programa de governo, fomenta a implantação dos denominados Aterros em Valas desde o ano de 1999.

Desta forma, o presente trabalho tem por objetivo descrever a experiência do Estado de São Paulo, Brasil, na utilização dos Aterros Sanitários de Pequeno Porte em Valas ou simplesmente Aterro em Valas, que são adotados em municípios que geram até 10 (dez) toneladas por dia de RSU.

São descritos os critérios adotados na concepção, implantação e operação deste método de disposição final de RSU e respectivos estudos de avaliação dos impactos ambientais no solo e na água subterrânea.

DESCRIÇÃO DOS ATERROS SANITÁRIOS DE PEQUENO PORTE – ATERROS EM VALAS

O Aterro Sanitário em Valas consiste no preenchimento de valas escavadas com dimensões apropriadas, onde os resíduos são depositados sem compactação e a cobertura com solo é realizada manualmente. Os equipamentos são, portanto, imprescindíveis apenas na fase de abertura das valas (SMA, 2005).

À medida que se faz a escavação das valas, o solo é armazenado em uma das laterais, sobre uma vala já finalizada, para ajudar na compactação da mesma, além de ser utilizado como material de cobertura da vala em operação, conforme mostrado na Figura 1.

Na fase de implantação devem ser previstas a instalação de estruturas auxiliares como uma portaria e cercas para isolamento do terreno, de modo a evitar a entrada de catadores ou animais, e ainda, evitar o arraste de materiais leves pelo vento, para fora da área.

Durante a operação, a disposição dos resíduos na vala aberta é iniciada pelo mesmo lado que a vala começou a ser escavada, com o caminhão coletor sendo posicionado de ré, perpendicularmente ao maior lado (sentido longitudinal) da vala. O coletor ou caminhão de transporte de resíduos deve se aproximar ao máximo da vala, de maneira a garantir o lançamento diretamente em seu interior, evitando o espalhamento em outros locais, conforme mostrado na Figura 2.

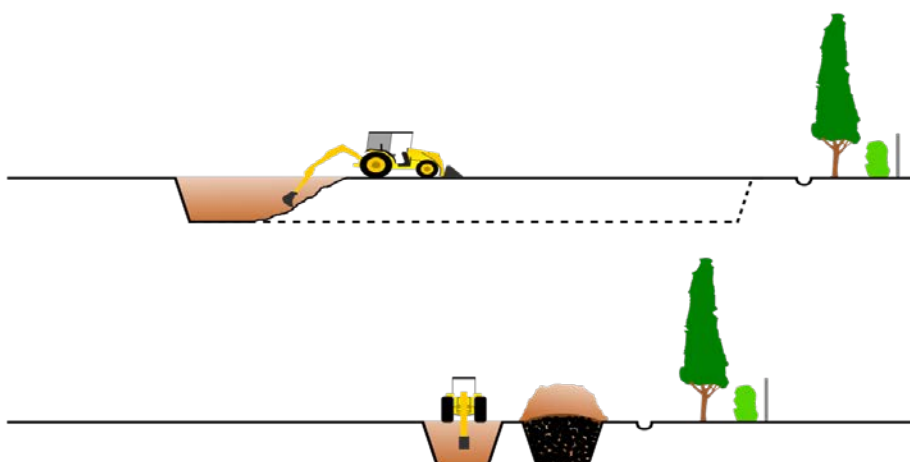


Figura 1: Perfil e corte esquemático da abertura das valas. Fonte: CETESB, 2010

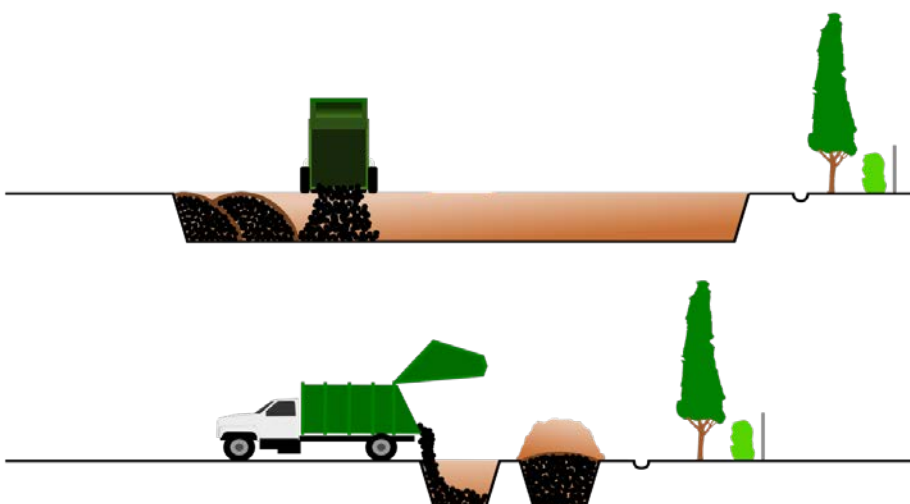


Figura 2: Perfil e corte esquemático da disposição de resíduos nas valas. Fonte: CETESB, 2010

Imediatamente após a descarga, deve-se proceder a varrição de todos os resíduos que possam eventualmente ter se desprendido, além do imediato cobrimento sanitário dos resíduos recém-lançados, com solo.

À medida que são depositados, os resíduos são nivelados e cobertos manualmente, utilizando-se o solo acumulado ao lado da vala, conforme mostrado na Figura 3, para evitar a proliferação de vetores e emissão de odores.

Ao longo do período de operação, efetua-se a execução de sistemas e dispositivos de drenagem superficial, objetivando manter a área do aterro sanitário em condições normais de operação, além de se evitar o acúmulo excessivo de águas e o aumento na geração de lixiviados. Este sistema de drenagem compõe-se de canaletas triangulares de grama, canaletas de concreto, caixas de passagem, tubulação em concreto e dissipadores em pedra ou rachão.

Assim que o primeiro trecho da vala estiver totalmente preenchido, passa-se para outro, repetindo-se as mesmas operações. O nivelamento final da vala é efetuado em cota superior à do terreno, prevendo-se prováveis recalques (Figura 4).

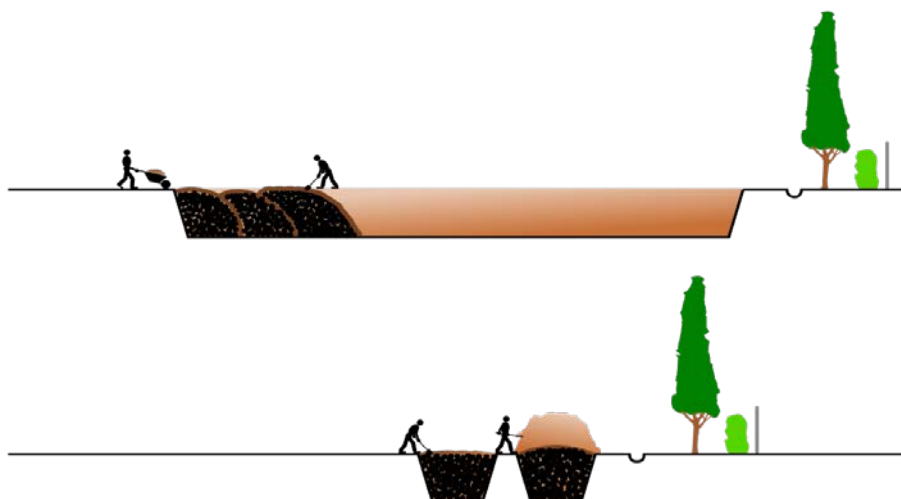


Figura 3: Perfil e corte esquemático da cobertura diária dos resíduos. Fonte: CETESB, 2010

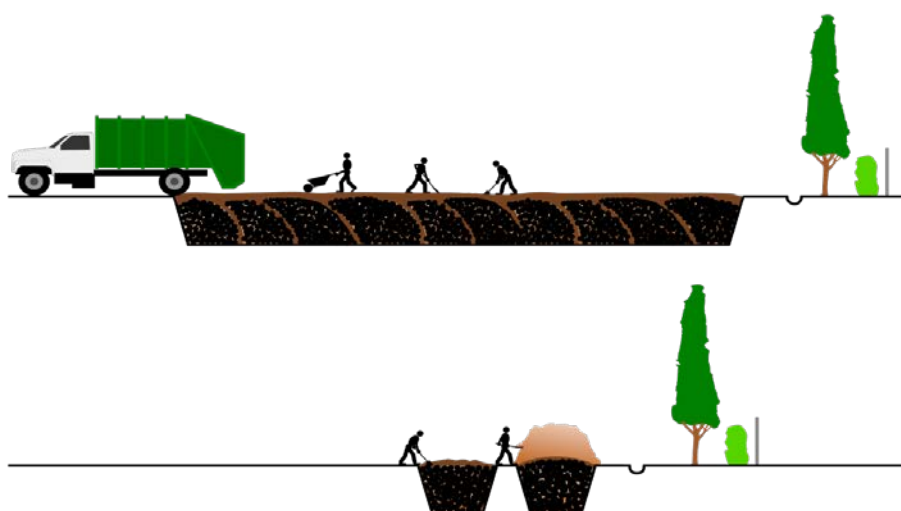


Figura 4: Perfil e corte esquemático da cobertura final dos resíduos Fonte: CETESB, 2010

Após a finalização da disposição de resíduos no local, deve-se prever uma rotina de manutenção de modo a corrigir eventuais recalques, desobstruir e manter o adequado funcionamento dos sistemas de drenagem de águas pluviais e aparo da grama. Apresenta-se na Figura 5 o detalhe do aterro em valas finalizado.



Figura 5: Perfil e corte esquemático do aterro em valas finalizado. Fonte: CETESB, 2010

Quanto ao uso futuro da área, indica-se o plantio de vegetação que não apresente raízes profundas. Visando finalidades econômicas ou de subsistência, devem ser evitados cultivos de alimentos que mantenham contato direto com o solo, ou que sejam consumidos in natura. Isto facilita a reintegração do mesmo à paisagem

regional, reduzindo os custos do aterro e evitando a manutenção de estruturas de isolamento e proteção do local. Porém, recomenda-se que tais procedimentos venham a ser analisados previamente por um Engenheiro Agrônomo (SMA, 2005).

Recentemente, o conceito de Aterro em Valas se expandiu como Norma Federal, por meio da NBR 15849:2010, da Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT. Esta norma especifica os requisitos mínimos para localização, projeto, implantação, operação e encerramento de Aterros Sanitários de Pequeno Porte - ASPP, visando à disposição final de RSU. São estabelecidos critérios para a simplificação das instalações de pequeno porte, além das 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.

Uma das principais inovações apresentadas na Norma NBR 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 aquífero freático, conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1: Critérios para a dispensa de impermeabilização complementar. Fonte: ABNT, 2010.

Coeficiente de Permeabilidade do Solo Local k [cm/s]	Fração Orgânica dos Resíduos < 30%				Fração Orgânica dos Resíduos >30%			
	Profundidade do Freático [m]				Profundidade do Freático [m]			
	1,50 < n < 3	3 < n < 6	6 < n < 9	n > 9	1,50 < n < 3	3 < n < 6	6 < n < 9	n > 9
Limites Máximos do Excedente Hídrico ^a [EH, mm/ano] para Dispensa da Impermeabilização Complementar ^b								
$k < 1 \times 10^{-6}$	250	500	1000	1500	188	375	750	1125
$1 \times 10^{-6} < k < 1 \times 10^{-5}$	200	400	800	1200	150	300	600	900
$1 \times 10^{-5} < k < 1 \times 10^{-4}$	150	300	600	900	113	225	450	675

a. O excedente hídrico é a quantidade de água [em mm/ano] que percola através da camada de cobertura do aterro sanitário, atingindo a massa de resíduos e posteriormente chegando até a base do aterro. Para seu cálculo devem ser utilizadas séries anuais de precipitações médias, de temperaturas [que servem para estimar a evapotranspiração utilizando equações como Thornthwaite] e o coeficiente de escoamento superficial. O coeficiente de escoamento superficial deve ser adotado em função das características de permeabilidade do solo da camada de cobertura.

b. Para superar características desfavoráveis da área, o projetista poderá propor métodos construtivos, operacionais ou de gestão atendendo diretrizes estabelecidas pelo órgão de meio ambiente.

Além da simplificação técnica, os Aterros Sanitários de Pequeno Porte, com disposição diária de até 20 t (vinte toneladas) de RSU, contam com procedimentos simplificados de licenciamento ambiental, dispensando a elaboração do Estudo de Impacto Ambiental e Relatório de Impacto do Meio Ambiente – EIA/RIMA, conforme estabelecido na Resolução do Conselho Nacional de Meio Ambiente - CONAMA nº 404 (MMA, 2008).

Apesar da Norma NBR 15849:2010 e da Resolução CONAMA 404/2008, considerarem que os Aterros Sanitários de Pequeno Porte podem receber até 20 t/dia, e ainda, que podem ser executados em valas, trincheiras, encosta ou área (acima da cota do terreno natural), no Estado de São Paulo somente é aceita a disposição em valas, com limite de 10 t/dia. Esta restrição deve-se ao fato de que o confinamento dos resíduos sem compactação limita o aproveitamento da área, tornando o método não recomendado para comunidades com produção de resíduos superior a 10 t/dia. Quantidades diárias maiores implicariam na abertura constante de valas, o que torna esta alternativa inviável técnica e economicamente.

Ressalta-se, porém, que estes sistemas simplificados usualmente não dispõem de todos os dispositivos de proteção ambiental utilizados em aterros sanitários convencionais, como sistemas de impermeabilização e drenagem de gases e lixiviados. Os principais critérios de utilização destes aterros estão relacionados à escolha de áreas adequadas em relação ao meio físico. Tais áreas devem fornecer naturalmente condições favoráveis à implantação do empreendimento, sem o uso de sistemas de impermeabilização, utilizando desta forma, a capacidade de atenuação natural de contaminantes no solo.

Assim, justifica-se a preocupação em verificar o comportamento da percolação dos lixiviados, a capacidade de atenuação natural de contaminantes no solo e, finalmente, as implicações sobre a qualidade das águas subterrâneas no local e no entorno destes empreendimentos.

Desta forma, no presente trabalho, avaliou-se a eficácia deste método, por meio de estudo de caso, efetuando-se a investigação de três áreas distintas. Essas áreas, em operação há mais de 8 (oito) anos, foram designadas para receber os resíduos sólidos urbanos na forma de Aterro em Vala, de acordo com os condicionantes estabelecidos no Estado de São Paulo - Brasil. Para tanto foram realizados ensaios geofísicos pelo método da eletrorresistividade, amostragens e análises físico-químicas do solo e das águas subterrâneas.

MATERIAIS E MÉTODOS

Este estudo envolveu o levantamento de informações preliminares sobre os aterros em valas selecionados, a execução de ensaios geofísicos (sondagens elétricas verticais e caminhamento elétrico) e a amostragem de solo e águas subterrâneas, visando efetuar um estudo detalhado dessas áreas, seguindo-se os procedimentos para o gerenciamento de áreas contaminadas, estabelecidos pelo órgão ambiental do Estado de São Paulo, CETESB.

Áreas de Estudos

O aterro de Angatuba está localizado no Km 222 da Rodovia Raposo Tavares (SP-270), no Sudeste do Estado de São Paulo, Brasil. O município possui população de 22.210 habitantes (IBGE, 2011), com geração de resíduos sólidos urbanos de aproximadamente 9 t/dia. O empreendimento está localizado na Formação Serra Alta, composta por siltitos e argilitos não betuminosos, de coloração cinza escuro. Estes estão dispostos em camadas tabulares maciças ou em laminação plano paralela (PERROTA et. al., 2004).

O aterro de Jaci está localizado próximo à Rodovia João Joaquim Telles Filho, Km 04, no Noroeste do Estado de São Paulo, Brasil. O município possui população de 5.557 habitantes (IBGE, 2011), com geração de resíduos sólidos urbanos de aproximadamente de 3 t/dia. O empreendimento está localizado na Formação São José do Rio Preto, composta por arenito fino a muito fino marrom claro a bege, moderadamente, mal selecionado, pouco maduro, conglomerático exibindo clastos de lamito, argilito, sílica, fragmentos de ossos e carapaças, ambiente continental desértico (PERROTA et. al., 2004).

O aterro de Luiz Antônio está localizado próximo à Estrada Municipal LAN 244, no Nordeste do Estado de São Paulo, Brasil. O município possui população de 11.286 habitantes (IBGE, 2011), com geração de resíduos sólidos urbanos de aproximadamente 4,5 t/dia. O empreendimento está localizado na formação Serra Geral, composta por basalto com arenito intertrapeado e diques de diabásio (PERROTA et. al., 2004).

Ensaio Geofísicos

Os ensaios geofísicos foram efetuados com a aplicação do método da eletrorresistividade - Caminhamento Elétrico – CE, utilizando o arranjo dipolo-dipolo com espaçamento de 5 metros e 9 níveis de investigação. Assim, estudou-se a possível zona de influência do lixiviado até a profundidade de 14 m, ou seja, mais de 10 m de solo natural abaixo das valas.

Em Angatuba, foram realizadas 6 linhas de CE, sendo 3 linhas executadas imediatamente acima das valas de resíduos, 2 linhas localizadas à montante e à jusante das valas e 1 linha cortando transversalmente as valas. No aterro de Jaci foram executadas 5 linhas de CE, sendo 3 sobre a área de disposição, 1 a jusante e 1 cortando transversalmente a área. E, finalmente, no aterro de Luiz Antônio foram executadas realizadas 5 linhas de CE, sendo 2 linhas executadas imediatamente acima das valas de resíduos, 2 linhas localizadas à montante e à jusante das valas e 1 linha cortando transversalmente as valas.

Para a coleta dos dados foram utilizados o transmissor IRIS Syscal R2 Plus 800 volts de saída e o receptor IRIS Elrec Pro 10 canais. O transmissor pode proporcionar uma corrente de até 1200 mA, voltagem de até 800 V com precisão de medida de corrente de 0,5%. O receptor tem impedância de 10 MΩ e precisão de medida de tensão de 0,5%. Utilizou-se reversão da polaridade da corrente emitida em intervalo de tempo de 2 segundos

e empilhamento de mínimo de 5 medidas. Os dados foram processados no software de modelagem res2dinv (Loke, 2003).

Sondagens e Amostragem de Solo e Águas Subterrâneas

As sondagens foram efetuadas empregando-se o método de perfuração a trado helicoidal oco (Hollow stem auger), associado à amostragem de solo, executadas pelo método da cravação contínua (Direct-push) e a instalação dos poços de monitoramento. As amostras de solo foram obtidas com amostradores liner (44 mm) descartáveis.

As amostragens de águas subterrâneas foram realizadas pelo método de purga de baixa vazão. Observa-se que no aterro de Luiz Antônio foram executadas sondagens até a profundidade de 26 metros, não sendo detectado o nível d'água, desta forma não foram instalados poços de monitoramento neste aterro.

Destaca-se que, em Angatuba e Jaci, efetuou-se uma perfuração, com amostragem de solo e instalação de um poço de monitoramento, sobre a vala mais antiga, sendo que para isso, previamente, efetuou-se a remoção dos resíduos anteriormente depositados.

No aterro de Angatuba foram coletadas 11 amostras de solo em diferentes profundidades, sendo instalados 5 poços de monitoramento, sendo 1 multinível. Em Jaci foram coletadas 10 amostras de solo e instalados 4 poços de monitoramento e em Luiz Antônio foram coletadas 10 amostras de solo.

Análises Geotécnicas e Físico-químicas

As amostras de solo foram caracterizadas no laboratório de geotecnia da Faculdade de Engenharia de Bauru, na Universidade Estadual Júlio de Mesquita Filho (FEB-UNESP) e abrangeram essencialmente: Massa Específica do solo; Granulometria; Condutividade Hidráulica (k) e Classificação.

As análises físico-químicas no solo foram efetuadas em laboratórios acreditados pelo INMETRO - Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia, para os seguintes parâmetros: Cloreto, Fluoreto, Sulfato, Nitrato, Nitrito, Alcalinidade Total, Potencial Redox, Alumínio, Arsênio, Bário, Cádmio, Chumbo, Cobre, Cromo, Fenóis Totais, Ferro, Manganês, Mercúrio, Níquel, Nitrogênio Kjeldahl Total, pH, Selênio, Sódio, Zinco, Carbono Orgânico Total – COT; Varredura de Compostos Orgânicos Voláteis – COV's (50 compostos) e Hidrocarbonetos Aromáticos Polinucleares – PAH's (15 compostos). Para as águas subterrâneas, foram analisados os mesmo parâmetros, acrescidos de: Oxigênio Dissolvido, Condutividade, Cor aparente, Turbidez, Dureza e Carbono Orgânico Dissolvido.

RESULTADOS

Os resultados estão divididos segundo as etapas de investigação, ou seja, iniciando-se pelos ensaios geofísicos, seguido da caracterização física das amostras de solo e análises físico-químicas das amostras de solo águas subterrâneas.

Estudos Geofísicos

No aterro de Angatuba, observou-se que a zona de influência dos resíduos, decorrente da infiltração de lixiviados vai até cerca de 10 metros no plano horizontal. Em profundidade, essa zona de influência tende a ficar até 8,5 metros, conforme mostrado na Figura 6, relativa à linha de caminhamento elétrico – CE, executada de forma a atravessar todas as valas. Na vala mais antiga, essa zona é bem menos desenvolvida indicando claramente que a geração de lixiviado diminui ao longo do tempo.

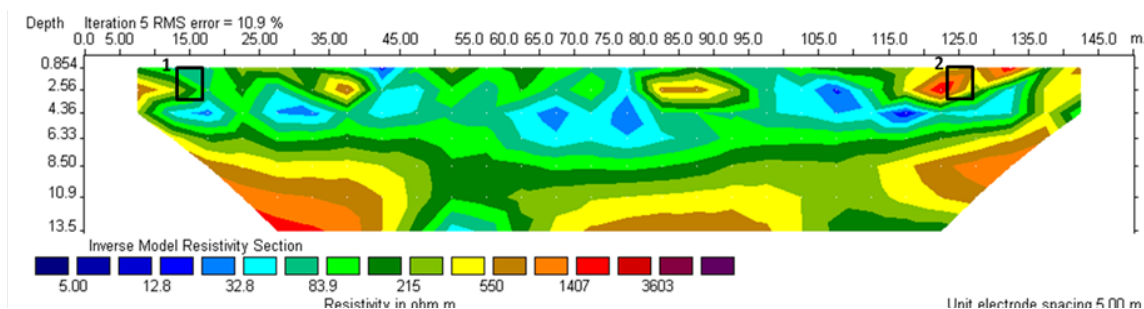


Figura 6: Caminhamento elétrico perpendicular às valas de resíduos no ASPP de Angatuba. 1) vala mais recente; 2) vala mais antiga.

Os resultados obtidos nos ensaios geofísicos executados no aterro de Jaci demonstram que a configuração das valas não seguiu o projeto, sendo executadas com dimensões e posições aleatórias, porém, com profundidades inferiores ao previsto, ocasionando o sub aproveitamento da área. Assim, as linhas de CE foram executadas de forma a tentar interceptar e entender as posições das valas, bem como avaliar possível alteração da qualidade do solo.

A Linha de CE realizada na porção central da área e como pode ser observado na Figura 7, apresenta locais com baixos valores de resistividade (na parte superior abaixo de 50 ohm.m^{-1}), que possivelmente indicam posições de valas. Anomalias de baixa resistividade em profundidades de até 6,5 metros sugerem a infiltração de lixiviados. O solo natural não alterado pode ser caracterizado pelos valores de resistividade superiores a 500 ohm.m^{-1} . A zona de resistividade baixa mais profunda indica um maior teor de umidade, devido a proximidade com a zona saturada.

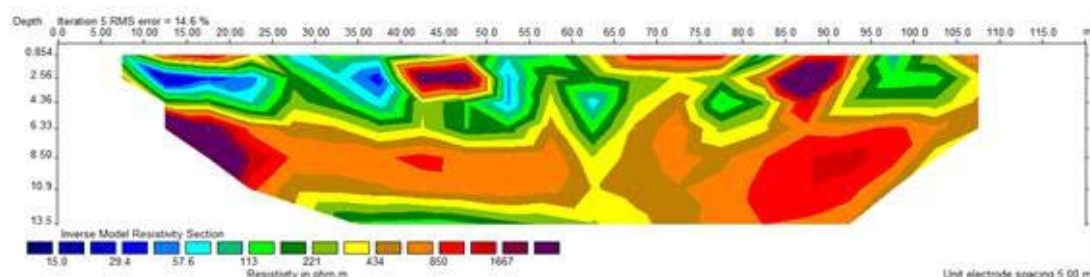


Figura 7: Perfil de eletrorresistividade, cruzando a região central do ASPP de Jaci.

No aterro de Luiz Antônio, nos ensaios realizados de forma a cruzar perpendicularmente as valas (Figura 8), podem ser observadas anomalias de baixa resistividade geradas pelas 3 (três) valas interceptadas. Especialmente a vala central sugere infiltração de lixiviados até 14 metros de profundidade.

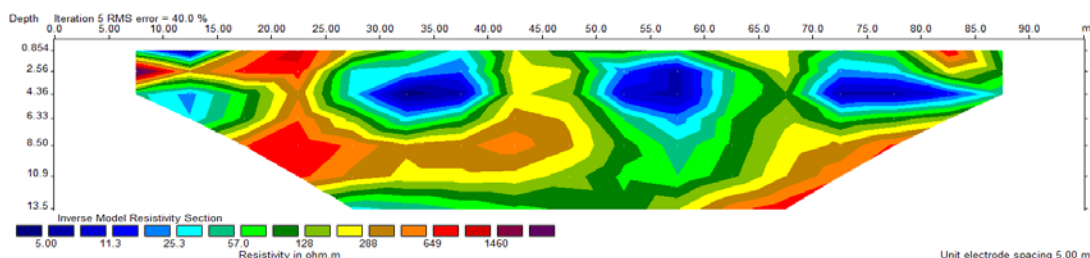


Figura 8: Perfil de eletrorresistividade, cruzando perpendicularmente as valas do ASPP de Luiz Antônio.

Caracterização do solo e das águas subterrâneas

Ensaio de peneiramento e análise granulométrica conjunta das amostras caracterizam o solo da área do aterro de Angatuba como predominantemente argiloso (52% Argila; 25% Silte; 15% Areia Fina; 5% Areia Média e

3% Areia Grossa). Observa-se que, apesar da composição do solo local o aquífero livre possui uma condutividade hidráulica de média a elevada. Acredita-se que, mesmo sendo argiloso, este solo possui elevado teor de ferro e alumínio, estruturado em nódulos concrecionais, que conferem elevada permeabilidade. Ensaio de caracterização hidráulica realizados nos Poços de Monitoramento instalados no local apresentaram condutividade hidráulica (k) do aquífero interceptado na ordem de 1×10^{-4} cm/s. A profundidade do nível d'água nos pontos mais baixos da área, medida após o período chuvoso, foi de cerca de 3 metros.

Com relação às amostras de águas subterrâneas coletadas no aterro de Angatuba, mesmo considerando que foram excedidos os valores limites estabelecidos na legislação nacional (CETESB, 2005 e MMA, 2009) para algumas substâncias, principalmente os metais, as alterações são localizadas, não sendo observado até o momento, a migração vertical ou horizontal de contaminantes ou a formação de pluma. O único ponto considerado crítico está situado imediatamente abaixo da massa de resíduos. Assim, em um modelo conceitual, utilizado no gerenciamento de áreas contaminadas baseado no risco à saúde humana, os quais são calculados com base na concentração de contaminantes e nas vias de exposição dos receptores, não seriam identificadas vias de exposição à eventuais receptores. Desta forma, não haveria medidas de intervenção a serem implementadas, além daquelas relativas ao isolamento e restrições ao uso futuro da área, inerentes a atividade desenvolvida na área (aterro sanitário).

Ensaio de peneiramento e análise granulométrica conjunta das amostras caracterizam o solo da área do aterro de Jaci como areno argiloso (24% Argila; 11% Silte; 52% Areia Fina; 13% Areia Média e 0,1% Areia Grossa). A condutividade hidráulica (k) natural do solo local, segundo dados dos ensaios realizados por ocasião do licenciamento ambiental da área, foi estimada em 3×10^{-4} cm/s. A profundidade do nível d'água nos pontos mais baixos da área, medida após o período chuvoso, foi de cerca de 16 metros.

Para as amostras de solo analisadas, do aterro de Jaci, não foram excedidos os valores limites estabelecidos na legislação nacional para nenhum dos parâmetros avaliados (CETESB, 2005 e MMA, 2009), portanto, não indicando a existência de riscos potenciais diretos ou indiretos à saúde humana, considerando um cenário de exposição genérico.

A despeito da alta permeabilidade do solo verificado no aterro de Jaci, caracterizado como arenoso, verifica-se que em função da espessura elevada da camada de solo não saturado, com no mínimo 13,7 metros, não foram verificadas alterações na qualidade das águas subterrâneas, para os parâmetros que podem estar associados à disposição de resíduos no local.

Ensaio de peneiramento e análise granulométrica conjunta das amostras caracterizam o solo da área do aterro de Luiz Antônio como argilo arenoso (40% Argila; 16% Silte; 27% Areia Fina; 16,5% Areia Média e 0,5% Areia Grossa). A condutividade hidráulica (k) natural do solo local, segundo dados dos ensaios realizados por ocasião do licenciamento ambiental da área, foi estimada em 1×10^{-5} cm/s.

Quanto à profundidade do aquífero freático, destaca-se que quando da realização das sondagens, não foi detectado o nível d'água até 26 metros de profundidade. Nos estudos geofísicos executados, também não foi detectada a zona saturada, sendo a camada de solo não saturada estimada em, no mínimo, 34,4 metros sobre o basalto inalterado.

Para as amostras de solo analisadas, do aterro de Luiz Antônio, não foram excedidos, para nenhum dos parâmetros avaliados, os valores limites estabelecidos na legislação nacional (CETESB, 2005 e MMA, 2009), portanto não indicando a existência de riscos potenciais, diretos ou indiretos, à saúde humana, considerando um cenário de exposição genérico.

Os dados indicam que, para os condicionantes das áreas estudadas, considerando as taxas de aplicação de resíduos, variando de 8.000 a 15.000 t/ha, os solos locais têm sido capazes de promover a atenuação natural dos contaminantes. Verificou-se que esse fenômeno pode ser avaliado por meio do método geofísico da eletrorresistividade com variações ao longo do tempo e do espaço, caracterizando-se pela rapidez de execução e baixo custo, porém não devendo ser utilizada como ferramenta única de avaliação.

Não foram verificadas alterações significativas na qualidade do solo e das águas subterrâneas, em nenhum dos três casos avaliados, não oferecendo, até o momento, riscos ao meio ambiente ou à saúde humana, o que corrobora a adequação da concepção proposta para os Aterros Sanitários em Valas.

Com relação aos critérios previstos na Norma ABNT 15.849:2010, para a dispensa da impermeabilização complementar, observa-se que, das três áreas avaliadas no presente estudo, a única que apresentou concentrações, para os parâmetros avaliados, acima dos padrões estabelecidos para a qualidade do solo e das águas subterrâneas, mesmo que não significativas, foi aquela que não atenderia às condicionantes estabelecidas na referida norma, desta forma, entende-se que esses critérios podem ser considerados adequados.

CONCLUSÕES

Os resultados obtidos demonstram que as condições mais favoráveis para a implantação dos aterros em valas são locais que possuam espessa camada de solo não saturado. Assim, a fim de minimizar os riscos de contaminação ambiental, a avaliação do ambiente físico, tais como as características do solo e nível de água subterrânea são essenciais na escolha de áreas para estes pequenos aterros.

Mesmo sem a presença de sistemas de impermeabilização, a mobilização de contaminantes observada pode ser considerada como pouco relevante nas áreas estudadas. Concentrações elevadas de compostos que podem ser associados à destinação final de resíduos, estão localizados imediatamente ao fundo de algumas valas. Deve-se considerar que neste ponto não há vias de exposição direta do solo ou águas subterrâneas à potenciais receptores, limitando assim qualquer risco para a saúde humana.

Desta forma, conclui-se que esta tecnologia mostra-se viável como alternativa transitória, considerando-se um processo de melhoria contínua, que visa inicialmente à erradicação dos lixões. Assim, podem ser consideradas boas as perspectivas de se alcançar o objetivo da disposição final ambientalmente adequada dos resíduos sólidos gerados nos municípios de pequeno porte, principalmente aqueles situados em países em desenvolvimento, por meio da utilização desses sistemas.

Finalmente, fica evidenciado que não é somente com o emprego de tecnologias altamente avançadas e dispendiosas que são conquistados ganhos ambientais e à saúde pública. Deve-se compreender e aceitar a progressividade das ações, visando atingir as metas destinadas a obter tais ganhos. Assim, é preciso viabilizar condições intermediárias para uma evolução sistemática e contínua na destinação final dos resíduos sólidos, almejando soluções adequadas e sustentáveis.

De qualquer forma, também não devem ser esquecidas as ações voltadas à redução, reutilização e reciclagem dos resíduos, investindo em ações de longo prazo, como a educação ambiental, seguindo os princípios e diretrizes estabelecidos na Política Nacional de Resíduos Sólidos, a qual prevê, também, que até o ano de 2014 todos os municípios deverão ter implantado sistemas de disposição final ambientalmente adequados dos rejeitos. Dessa forma, mantém-se a importância da viabilização de alternativas, principalmente para municípios de pequeno porte, com recursos técnicos e econômicos escassos.

AGRADECIMENTOS

À FAPESP – Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, pelos recursos que viabilizou a pesquisa desenvolvida.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABNT - Associação Brasileira De Normas Técnicas (2010). NBR 15849: Resíduos sólidos urbanos - Aterros sanitários de pequeno porte. Rio de Janeiro, Brasil.
2. CETESB – Companhia Ambiental Do Estado De São Paulo (2010). Manual de operação de aterro sanitário em valas. São Paulo, Brasil.

3. CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (2008). Procedimento de identificação de passivos ambientais causados por áreas de disposição de resíduos sólidos de origem urbana. São Paulo, Brasil. Não publicado.
4. CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (2007). Procedimento para Gerenciamento de Áreas Contaminadas. Decisão de Diretoria nº 103//2007/C/E, 40 p São Paulo, Brasil.
5. CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (2005). Valores orientadores para solos e águas subterrâneas no Estado de São Paulo. Decisão de Diretoria nº 195-2005-E, 4p São Paulo.
6. IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2011). Pesquisa Nacional de Saneamento Básico. Rio de Janeiro, Brasil.
7. Loke, M. H. (2003) RES2DINV - Rapid 2d Resistivity & Ip Inversion Using The Least-Square Method – Geoelectrical Imaging 2-D & 3d. Geotomo Software, Penang, Malaysia. 129p.
8. MMA - Ministério do Meio Ambiente. (2009) Resolução CONAMA nº 420 - Critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas. Diário Oficial da União, Brasília – DF, 30 de dezembro de 2009.
9. MMA - Ministério do Meio Ambiente. (2008) Resolução CONAMA nº 404 - Estabelece critérios e diretrizes para o licenciamento ambiental de aterro sanitário de pequeno porte de resíduos sólidos urbanos. Diário Oficial da União, Brasília – DF, 12 de novembro de 2008.
10. MMA - Ministério do Meio Ambiente (2011). Plano Nacional de Resíduos Sólidos – Versão Preliminar para Consulta Pública. Brasília – DF. Disponível em: <http://www.cnrh.gov.br/pnrs/index.php>. Acesso em: 24.09.2011.
11. Perrotta, M. M., Salvador, E. D., Lopes, R.C., D’agostino, L.Z., Peruffo, N., Gomes, S.D., Sachs, L. Ll .B., Meira, V .T., Garcia, M .G. M., Lacerda Filho, J .V. (2004) — Mapa geológico do Estado de São Paulo, escala 1:750.000 – CD-ROM. Programa Geologia do BRASIL - PGB, CPRM, São Paulo.
12. SMA – Secretaria de Estado de Meio Ambiente (2005). Procedimentos para Implantação de Aterros Sanitários em Valas. São Paulo, Brasil.