



22º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental

14 a 19 de Setembro 2003 - Joinville - Santa Catarina

III-091 - AVALIAÇÃO DA VARIAÇÃO TEMPORAL DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA EM RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

Paulo Augusto Cunha Libânio⁽¹⁾

Engenheiro Civil (UFMG, 1999). Mestre em Engenharia Sanitária e Ambiental (UFMG, 2002). Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos (DESA/UFMG).

Bruno Maia Pyramo Costa

Engenheiro Civil (UFMG, 1999). Mestre em Engenharia Sanitária e Ambiental (UFMG, 2002).

Ilka Soares Cintra

Engenheira Civil (UFMG, 1979). Mestre em Engenharia Sanitária e Ambiental (UFMG, 1994). Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos (DESA/UFMG). Professora Assistente do Departamento de Cartografia do Instituto de Geociências da UFMG.

Carlos Augusto de Lemos Chernicharo

Engenheiro Civil e Sanitarista. Doutor em Engenharia Ambiental pela Universidade de Newcastle upon Tyne – UK, Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFMG.

Endereço⁽¹⁾: Rua Peru, 33/101 – Bairro Sion - Belo Horizonte - MG - CEP: 30320-040 - Brasil - Tel: (31) 3285-4373
- E-mail: calemos@desa.ufmg.br

RESUMO

A obtenção de parâmetros geotécnicos referentes à disposição final de resíduos sólidos urbanos, consideradas a elevada heterogeneidade dos resíduos e a sua susceptibilidade à degradação microbiana, mostra-se um dos atuais desafios da Geotecnia Ambiental. Neste sentido, o presente estudo procurou avaliar a variação temporal da permeabilidade em uma massa de resíduos sólidos urbanos confinada no interior de uma coluna de teste (permeâmetro), a qual foi submetida a determinações periódicas através do método de carga variável. Verificou-se, transcorridos 360 dias do início dos ensaios, um significativo incremento do coeficiente de permeabilidade, inicialmente da ordem de 5×10^{-4} cm/s e, ao término do monitoramento, aproximadamente igual a $2,5 \times 10^{-3}$ cm/s.

PALAVRAS-CHAVE: Geotecnia Ambiental, Permeabilidade, Biodegradação, Resíduos Sólidos Urbanos..

INTRODUÇÃO

O monitoramento geotécnico em aterros permite o acompanhamento e a avaliação da evolução temporal do comportamento mecânico da massa de resíduos aterrados, tornando possível a observação do desenvolvimento de tensões e deformações excessivas, superiores às condições aceitáveis, e a identificação de situações potenciais de risco de ruptura. Tais informações, quando disponibilizadas, possibilitam a adoção de medidas corretivas para prevenção de acidentes, evitando-se, assim, maiores prejuízos. Além disso, os dados obtidos no monitoramento geotécnico de aterros possibilitam o aprimoramento dos modelos teóricos e de cálculo existentes e, por conseguinte, uma maior confiabilidade dos parâmetros e critérios de projeto.

Entretanto, o monitoramento geotécnico em aterros sanitários é ainda incipiente no Brasil, havendo poucos aterros com planos e redes de monitoramento mais consolidados, tais como a Central de Tratamento de Resíduos Sólidos Urbanos (CTRS) de Belo Horizonte (MG), Aterro da Muribeca (PE), Sítio São João e Aterro Bandeirantes (SP), Camaçari (BA), Aterro Sanitário Norte de Porto Alegre (RS), Aterro de Gramacho (RJ) (Oliveira e Mahler, 1998; Simões et al., 2002).

Ademais, vários desafios se põem à Geotecnia Ambiental quando da obtenção de parâmetros geotécnicos confiáveis para obras de disposição final de resíduos. Tais informações mostram-se necessárias a uma avaliação mais acurada da adequação dos métodos de execução, dos elementos estruturais e materiais de construção empregados na engenharia de aterros, buscando-se a otimização de funções de custo e de segurança.

Primeiramente, pode-se citar as dificuldades de amostragem dos resíduos aterrados, e de execução dos procedimentos e ensaios laboratoriais convencionalmente empregados. A elevada heterogeneidade da massa de resíduos sólidos urbanos ao longo da área e do perfil vertical de aterros, associada às grandes dimensões de alguns de seus constituintes, quase sempre mostram-se impeditivos à obtenção de amostras representativas para ensaios laboratoriais ou à aplicação de muitos dos métodos e instrumentos usuais, adequados às análises em solos e rochas.

Particularmente quanto à permeabilidade de resíduos, sua determinação depende significativamente da idade e da composição dos resíduos amostrados. Tal assertiva é certamente verdadeira no caso de resíduos sólidos urbanos, dada a susceptibilidade de muitos de seus constituintes à ação de microrganismos decompositores, responsáveis pela estabilização da fração orgânica putrescível e de parte daqueles materiais pouco ou mais lentamente biodegradáveis.

A biodegradação da fração orgânica resulta na solubilização de matéria orgânica particulada, observando-se a produção de gases (metano, dióxido de carbono) e a geração de líquidos lixiviados. Estes processos traduzem-se no consumo de água e perda de massa de resíduos, computados no balanço hídrico e de massa, respectivamente, implicando, assim, na variação temporal da condutividade hidráulica da massa de resíduos sólidos confinados no aterro, dentre outras diversas propriedades geotécnicas.

Por sua vez, as taxas nas quais se processam os fenômenos bioquímicos de estabilização da fração orgânica de resíduos, podem ser significativamente alteradas em função dos procedimentos operacionais adotados. Dentre os fatores operacionais mais relevantes, destaca-se a técnica de recirculação dos líquidos lixiviados drenados em aterros sanitários, capaz de promover uma aceleração das sucessivas etapas de biodigestão anaeróbia dos resíduos aterrados (Palma et al., 2000; Libânio, 2002).

Adicionalmente, sabe-se que quanto maior for a compactação dos resíduos, menor será a capacidade de infiltração e a permeabilidade, reduzindo-se consideravelmente a produção de chorume e a livre drenagem de líquidos lixiviados.

A determinação do parâmetro de permeabilidade faz-se especialmente importante no dimensionamento das estruturas hidráulicas componentes dos sistemas de contenção e drenagem de líquidos lixiviados, bem como no projeto das unidades de tratamento destes efluentes.

MATERIAL E MÉTODOS

Primeiramente, procedeu-se à amostragem dos resíduos sólidos urbanos no aterro sanitário de Belo Horizonte, observando-se os procedimentos descritos por Tchobanoglous et al. (1993), que consideram a carga total de um caminhão em um dia típico de coleta, uma amostra representativa do lixo urbano residencial. O autor justifica tal proposição citando estudos nos quais aferiram-se variações não significativas entre amostras de 90 kg até 770 kg (200 a 1700 libras).

Desta forma, a amostragem dos resíduos sólidos urbanos se deu a partir do volume total transportado por caminhão "tipo compactador" até o aterro municipal, após sua coleta em distrito da divisão de limpeza pública da Regional Noroeste (DV-LPNO), na 4ª feira, dia 13 de dezembro de 2000.

Após seguidas etapas de espalhamento, quarteamento, descarte dos quartos vis a vis e homogeneização da metade restante, foi obtida uma massa final de cerca de 100 kg, necessária à caracterização dos resíduos amostrados e ao preenchimento da coluna de teste (permeâmetro). A Tabela 1 apresenta os percentuais em peso úmido das diversas categorias de materiais constituintes do lixo urbano amostrado.

Tabela 1: Composição gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos amostrados

Categoria	Peso Úmido (%)	Categoria	Peso Úmido (%)
Matéria Orgânica Putrescível ⁽¹⁾	49,82	Metal	2,44
Papel ⁽²⁾	19,27	Plástico duro e PET	2,05
Plástico fino	10,1	Ossos	1,85
Outros	4,95	Vidro	1,84
Material Particulado	3,02	Entulho	1,03
Tecidos e Espuma	2,64	Madeira	0,98

(1) - Incluindo a categoria "podas";

(2) - Referente às categorias "papel reciclável", "não reciclável", "papelão" e "tetra pak";

(3) - Todos outros materiais não inclusos nas demais categorias;

(4) - Material finamente particulado de difícil identificação.

Posteriormente, os resíduos foram despejados no interior da coluna de teste sobre uma camada drenante de brita nº2 disposta no fundo da mesma, no intuito de se evitar a obstrução dos dispositivos de saída. Considerando-se as dimensões reduzidas da coluna, fez-se necessário a desagregação parcial de alguns materiais de maior porte em frações menores (pré-tratamento), entre estes recipientes plásticos e de vidro.

Durante o preenchimento da coluna, procedeu-se à compactação manual dos resíduos já inseridos, desferindo-se golpes com um soquete de haste longa em toda a sua superfície exposta, a fim de se garantir uma adequada compactação ao longo de todo perfil do permeâmetro. Ao término do preenchimento com a massa total de resíduos amostrada, observado o volume ocupado pelos mesmos, pôde-se aferir o peso específico inicial dos resíduos compactados, aproximadamente igual a 6,70 kN/m³.

Finalmente, após o fechamento com camada final de brita, objetivando-se evitar a perda materiais de peso específico inferior ao da água, iniciou-se uma série de determinações periódicas do coeficiente de permeabilidade, em ensaios de carga hidráulica variável e em condições saturadas.

Os ensaios foram conduzidos no Laboratório de Instalações Piloto do DESA/UFGM, em uma coluna de acrílico de 15 cm de diâmetro e 2,50 m de altura útil, envolta por manta plástica opaca, simulando-se as condições de campo, correspondentes à total ausência de luminosidade no interior das células de aterramento (Figura 1).

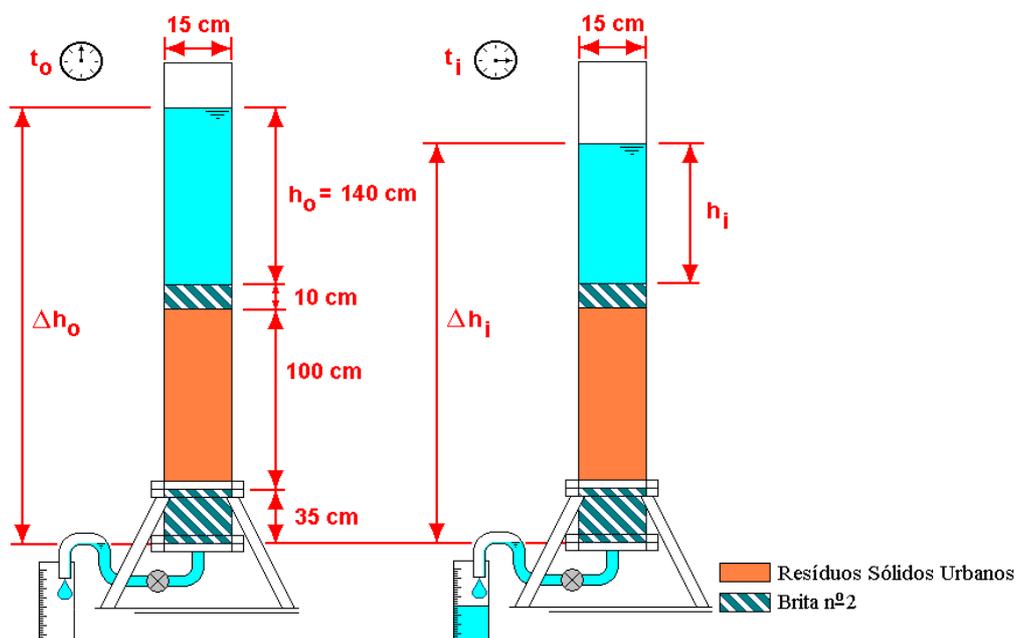


Figura 1: Esquema simplificado do aparato experimental.

Considerando-se a lei de Darcy para o escoamento laminar de um fluido em meio poroso, foram calculados os coeficientes de permeabilidade a partir da regressão linear dos pontos amostrais, referentes às velocidades de escoamento e gradiente hidráulico experimentalmente determinados.

Assim, a determinação do coeficiente de permeabilidade em cada momento do experimento, se deu pelo valor médio de três aferições consecutivas, observando-se sempre o atendimento à premissa de escoamento laminar ($Re < 2000$) e o ajuste do modelo linear aos pares de valores observados. Ao longo de todo o período de realização dos ensaios, os resíduos foram mantidos completamente saturados, com uma lâmina d'água equivalente a 140 cm de altura sobre a superfície da camada superior de brita.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após transcorridos 360 dias do preenchimento da coluna de teste, pôde-se aferir a magnitude da variação temporal do coeficiente de permeabilidade da massa de resíduos sólidos urbanos confinados. O gráfico da Figura 2 apresenta a série temporal de valores amostrais de permeabilidade determinados.

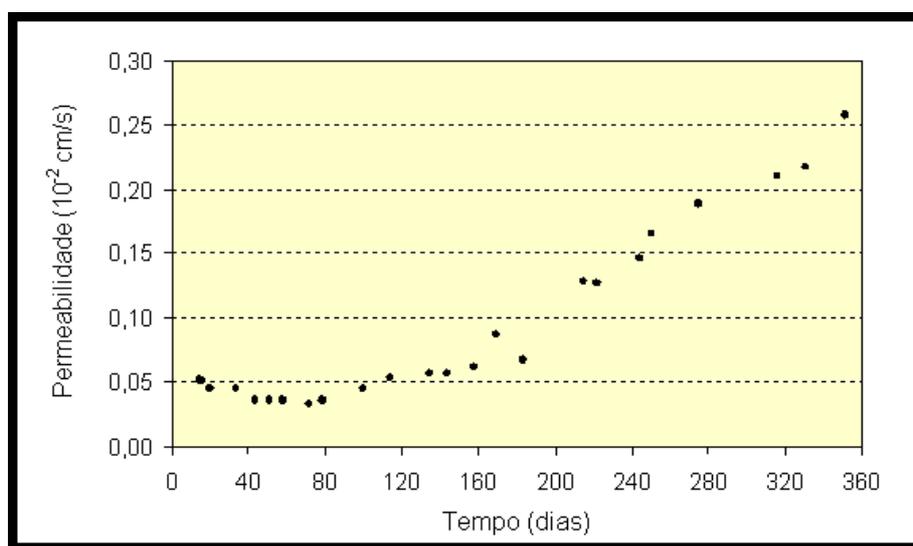


Figura 2: Evolução temporal da permeabilidade nos resíduos sólidos urbanos amostrados.

Observa-se um significativo incremento do coeficiente de permeabilidade da massa de resíduos confinada no interior da coluna de teste, notadamente após o 120º dia de teste, inicialmente de $(5,15 \pm 0,14) \times 10^{-4}$ cm/s e, após 360 dias, igual a $(2,57 \pm 0,17) \times 10^{-3}$ cm/s.

Os valores determinados mostram-se coerentes com o disposto por König e Jessberger (1997), os quais preconizam, como aproximação inicial, valores de permeabilidade da ordem de 10^{-3} cm/s para resíduos sólidos urbanos. Os mesmos autores alertam para a influência de inúmeros fatores intervenientes na aferição da condutividade hidráulica de resíduos – composição, idade, grau de compactação – sugerindo, por fim, sua determinação para as condições específicas de interesse. A Tabela 2 apresenta um resumo dos valores de condutividade hidráulica de resíduos domiciliares estimados em diferentes trabalhos, através de metodologias distintas.

Tabela 2: Determinação da condutividade hidráulica de resíduos domiciliares. Adaptada de Manassero et al. (1996) apud König e Jessberger (1997).

Referência	Peso Específico (kN/m ³)	Condutividade Hidráulica (cm/s)	Metodologia
Koriatas et al. (1983)	8,6	$5,10 \cdot 10^{-3}$ a $3,15 \cdot 10^{-3}$	Ensaio em laboratório
Gabr e Valero (1995)	-	10^{-5} a 10^{-3}	
(1) Brandl (1994)	9 a 12	10^{-4} a $5 \cdot 10^{-2}$	
Landva e Clark (1990)	10,1 a 14,4	10^{-3} a $4 \cdot 10^{-2}$	Ensaio de campo
Manassero (1990)	8 a 10	$1,5 \cdot 10^{-3}$ a $2,6 \cdot 10^{-2}$	
Blengino et al. (1996)	9 a 11	$3 \cdot 10^{-5}$ a $3 \cdot 10^{-4}$	

(1) - Resíduos pré-tratados.

Entretanto, é importante considerar que, devido ao fato dos resíduos encontrarem-se permanentemente saturados, a degradação microbiológica dos constituintes orgânicos possivelmente se processou de forma bem mais intensa que aquela observada nas condições usuais de operação de aterros sanitários.

Ademais, os resíduos analisados não foram submetidos à nenhuma carga de pressão externa, permanecendo confinados no mesmo volume inicialmente ocupado apesar da perda de massa, possivelmente pelo "efeito parede". Tal condição não condiz com a situação em escala real, na qual uma eventual perda de massa é acompanhada pelo adensamento dos resíduos em função do carregamento atuante, contínuo ou esporádico: peso das camadas de lixo superiores, movimentação de máquinas e outros.

A permeabilidade aferida neste estudo corresponde exclusivamente à condição de escoamento da água em uma massa compacta de resíduos sólidos urbanos, não sendo consideradas as camadas intermediárias de cobertura diária, nem os dispositivos dos sistemas de drenagem e contenção de líquidos lixiviados. Tal fato pode implicar em grandes diferenças quando da determinação *in situ* da permeabilidade resultante.

No monitoramento geotécnico do aterro municipal de Belo Horizonte, Simões et al. (2002) aferiram medidas de permeabilidade entre 10^{-3} e 10^{-5} cm/s nas camadas de cobertura (Permeâmetro de Guelph) e 10^{-7} cm/s nas camadas de impermeabilização das células de aterramento (ensaio de permeabilidade em laboratório, com utilização de amostras indeformadas). Os mesmos autores estimaram, através do controle topográfico da frente de serviço e das pesagens dos veículos, uma densidade dos resíduos sólidos urbanos aterrados na faixa de 7 a 11 kN/m³.

CONCLUSÕES

A determinação periódica do coeficiente de permeabilidade da amostra de resíduos sólidos confinada na coluna de teste, consideradas as condições específicas de realização dos ensaios, permitiu a constatação dos seguintes aspectos:

- O parâmetro de permeabilidade dos resíduos analisados foi significativamente majorado após 360 dias, aproximadamente 5 vezes maior que as determinações iniciais, aumentando de $(5,15 \pm 0,14) \times 10^{-4}$ cm/s para $(2,57 \pm 0,17) \times 10^{-3}$ cm/s;
- A faixa de amplitude dos valores aferidos mostraram-se coerentes com aqueles mencionados na literatura especializada, em média da ordem de 10^{-2} a 10^{-5} cm/s para condições usuais de peso específico determinadas em resíduos;
- O incremento da permeabilidade dos resíduos pode ser explicado, ainda que parcialmente, pela biodegradação de sua fração orgânica. A estabilização dos compostos orgânicos implicou na solubilização da matéria particulada e em sua perda junto ao efluente coletado (matéria orgânica solúvel). Assim, mantido constante o volume total ocupado, tal processo resultou no aumento do volume de vazios (índice de vazios, porosidade) e, por conseguinte, na redução da resistência oferecida pelo meio sólido à percolação da fase fluida.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à FINEP/PROSAB, ao CNPq e à FAPEMIG pelo financiamento da pesquisa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. König D. e Jessberger H.L. (1997). Report of the Technical Committee 5 (Environmental Geotechnics), Sub Committee 3 (Waste Mechanics). Int. Society of Soil Mechanics and Geotechnical Engineering.
2. Libânio, P.A.C. (2002). Avaliação da Eficiência e Aplicabilidade de um Sistema Integrado de Tratamento de Resíduos Sólidos Urbanos e de Chorume. Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da UFMG.
3. Palma J.H.G.; Valenzuela P.I.T. e Espinace R.H.A. (2000). Reducción de los Tiempos de Estabilización en Rellenos Sanitarios Operados con Recirculación de Lixiviados Tratados. Anais do XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental. Porto Alegre, 2000.
4. Oliveira, F.J.P. e Mahler, C.F. (1998). Proposta de monitoramento ambiental para operação de aterros sanitários. Anais do Congresso Brasileiro de Limpeza Pública.
5. Simões G.F., Catapreta C.A.A., Batista H.P. e Galvão T.C.B. (2002). Concepção de um Programa de Monitoramento Geotécnico para a Central de Tratamento de Resíduos Sólidos Urbanos da BR-040 em Belo Horizonte – MG. VI Simpósio Ítalo Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental.