

**XI SILUBESA*****Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental***

28/03 a 02/04/2004 - Natal - Rio Grande do Norte - Brasil

III-054 – RECALQUES EM RESÍDUOS SÓLIDOS DISPOSTOS NO ATERRO SANITÁRIO DE BELO HORIZONTE

Gustavo Ferreira Simões ⁽¹⁾

Eng. Civil, Doutor em Engenharia Civil pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Prof. Adjunto do Depto. de Engenharia de Transportes e Geotecnia da UFMG, Belo Horizonte, MG, Brasil.

Cícero Antônio Antunes Catapreta

Eng. Civil, Mestre em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela UFMG, Engenheiro Sanitarista da Secretaria Municipal de Limpeza Urbana de Belo Horizonte

Henrique Lembi Martins

Eng. Civil, Especialista em Engenharia Sanitária e Ambiental pela UFMG

Heuder Pascele Batista

Eng. Civil, Especialista em Engenharia Sanitária e Ambiental pela UFMG, Gerente de Tratamento e Disposição Final de Resíduos Sólidos da Secretaria Municipal de Limpeza Urbana de Belo Horizonte

Endereço⁽¹⁾: Escola de Engenharia da UFMG – Av. do Contorno, 842 - 6º andar - Sala 608 - Centro - Belo Horizonte - Minas Gerais - CEP: 30.110-060 - Brasil - Tel: +55 (31) 3238-1792 - Fax: +55 (31) 3238-1793

gfsimoes@etg.ufmg.br

RESUMO

O monitoramento ambiental de aterros sanitários de grande e médio porte deve, necessariamente, envolver o monitoramento geotécnico, por meio do qual procura-se monitorar a sua estabilidade e conhecer o comportamento da massa de resíduos disposta. Dentro deste contexto, o monitoramento dos recalques, ocasionados por mecanismos físicos, químicos e biológicos, torna-se importante, já que permite inferir os parâmetros geotécnicos envolvidos e auxiliar na estimativa da vida útil dos aterros sanitários. O presente trabalho tem como objetivo apresentar a metodologia empregada e a análise dos resultados que vêm sendo obtidos no monitoramento de recalques superficiais no Aterro Sanitário da Central de Tratamento de Resíduos Sólidos (CTRS) da BR-040 em Belo Horizonte. Os resultados são analisados considerando principalmente a relação entre idade e altura inicial dos resíduos e as deformações específicas observadas.

PALAVRAS-CHAVE: Aterros Sanitários, recalques, monitoramento ambiental, monitoramento geotécnico.

INTRODUÇÃO

Os mecanismos responsáveis pelo desenvolvimento de recalques em aterros de disposição de resíduos sólidos urbanos (ADRSU) é complexo, podendo ser ocasionado por processos físicos, químicos e biológicos, devidos à degradação da matéria orgânica e dissipação das poro-pressões de líquidos e gases, bem como devido à adição de novas camadas de lixo ou cobertura de solo e à compressibilidade de suas frações constituintes (Simões, 1998).

A idade e a composição dos resíduos sólidos urbanos (RSU) dispostos nos aterros são de fundamental importância para a avaliação dos potenciais recalques, podendo-se afirmar que aterros mais antigos possuem um menor potencial de

recalque que os aterros mais recentes (Jucá, 1999). A magnitude dos recalques também é afetada por vários fatores destacando-se densidade e o índice de vazios iniciais, composição gravimétrica, com destaque para o teor de matéria orgânica, altura, nível de líquidos no interior do aterro, sistema de drenagem de líquidos e gases e condições geoambientais.

Segundo Sowers (1973), os aterros de resíduos sólidos urbanos podem sofrer grandes recalques, podendo chegar à ordem de 30% de sua altura inicial. Em revisão bibliográfica realizada por Mariano & Jucá (1999), observou-se que nos aterros de resíduos sólidos urbanos podem ocorrer recalques totais na ordem de 25% a 50% da altura inicial. Com isso, o seu volume diminui e sua capacidade de armazenamento aumenta.

Desta forma, o monitoramento das movimentações verticais em ADRSU é de extrema importância, pois permite a estimativa da vida útil do aterro, fato de extrema importância nos dias atuais, principalmente nos grandes centros, onde é cada vez mais escassa a existência de áreas adequadas à implantação de novos aterros. Além disso, o acompanhamento sistemático da evolução dos recalques com o tempo fornece elementos para a avaliação da degradação dos resíduos e, quando associada ao monitoramento de movimentações horizontais, possibilita a identificação de possíveis problemas de instabilidade dos taludes dos ADRSU.

O presente trabalho tem como objetivo apresentar a metodologia empregada e a análise dos resultados que vêm sendo obtidos no monitoramento de recalques no Aterro Sanitário da Central de Tratamento de Resíduos Sólidos (CTRS) da BR-040 em Belo Horizonte.

METODOLOGIA

Área monitorada

O estudo vem sendo desenvolvido no Aterro Sanitário de Belo Horizonte – MG, que integra a CTRS da BR-040 e está em operação desde 1975. A CTRS ocupa uma área de 132,00 hectares e se localiza na região Noroeste do município de Belo Horizonte. A Figura 1 apresenta o Lay-Out Geral da CTRS da BR-040 previsto em projeto e a Figura 2 mostra uma vista geral do talude das Células AC-03, AC-04 e AC-05.

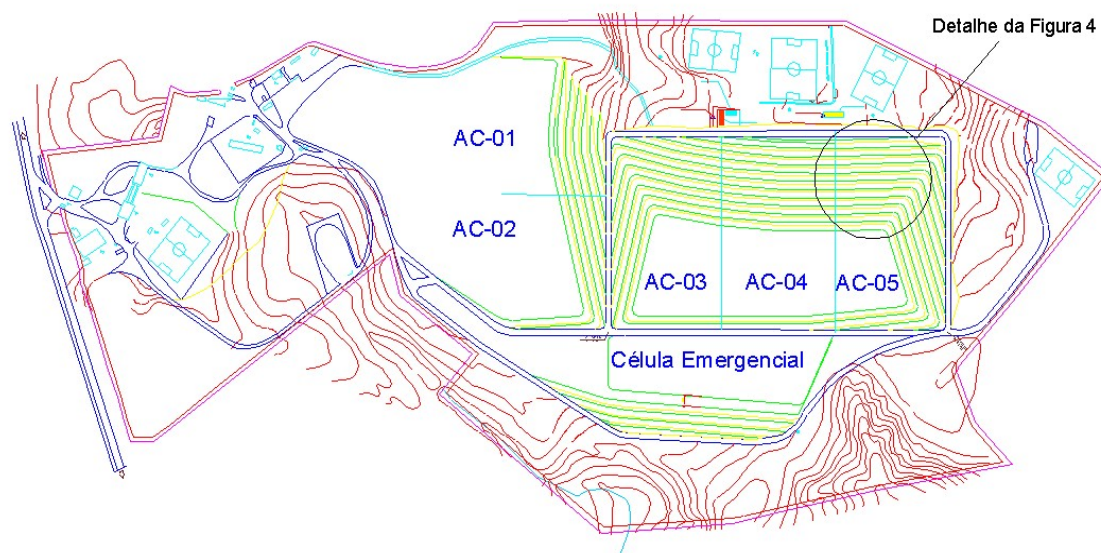


Figura 1 – Lay-Out geral da CTRS da BR-040



Figura 2 – Visão geral dos taludes das Células AC-03, AC-04 e AC-05

Durante quatorze anos, o aterro sanitário funcionou como um aterro controlado, passando para energético, com aproveitamento dos gases em 1989. Em 1995 passou-se a adotar a técnica de biorremediação como forma de tratar a massa de resíduos aterrada. Atualmente, o aterro é operado de forma convencional e recebe cerca de 4.200 tf/dia de RSU, que são gerados por uma população estimada em 2,5 milhões de habitantes.

Características dos Resíduos

Os tipos de resíduos encaminhados ao Aterro Sanitário de Belo Horizonte, segundo a origem são apresentados na Tabela 1, enquanto que na Tabela 2 é apresentada a composição gravimétrica dos resíduos domiciliares. Destaca-se a significativa quantidade de resíduos da construção civil (entulhos) que vem sendo disposta no aterro.

Tabela 1 - Resíduos encaminhados para aterramento segundo a origem (SMLU, 2003)

Origem	% em massa
Domiciliar e comercial	54,50
Construção civil	25,06
Unidades de saúde	1,21
Público (capina, varrição, poda)	14,50
Outros	4,73
Total	100,00

Tabela 2 – Composição gravimétrica dos resíduos sólidos domiciliares (SLU, 1995)

Componente	% em massa
Matéria orgânica	65,46
Papel	10,11
Plástico	11,27
Metal	2,65
Vidros	2,39
Rejeitos	8,12
Total	100,00

Programa de Monitoramento Geotécnico

Em 1998 foi implantado um Programa de Monitoramento Geotécnico na CTRS. Este programa, descrito em Simões e outros (2002 e 2003), tem como principal objetivo desenvolver atividades que permitam acompanhar e avaliar o comportamento geotécnico e a estabilidade dos maciços de resíduos da CTRS, contribuindo, desta forma, para o melhor entendimento do complexo comportamento dos RSU.

Ressalta-se que esse programa de monitoramento vem sendo implementado durante a operação do aterro, o que dificulta tanto a instalação e manutenção dos instrumentos e a realização das leituras, quanto a interpretação dos registros.

O Programa de Monitoramento Geotécnico da CTRS inclui:

- Medidas de poro-pressões nos diques e no interior das células, utilizando piezômetros e medidores de nível de líquidos;
- Medidas de recalques superficiais e em profundidade, utilizando marcos superficiais e medidores em profundidade;
- Medidas de permeabilidade, com a realização de ensaios de campo e de laboratório nos resíduos e materiais de construção;
- Medidas de movimentações superficiais, utilizando marcos superficiais;
- Medidas de movimentações internas, utilizando inclinômetros;
- Medidas de tensões totais, por meio de células de pressão total;
- Controle tecnológico dos materiais geotécnicos utilizados;
- Realização de Provas de carga, para avaliação da resistência dos RSU;
- Controle da densidade dos resíduos aterrados, por meio do acompanhamento diário das pesagens dos resíduos e do registro topográfico do avanço da frente de serviços;
- Inspeções de campo;
- Registro de dados pluviométricos e de vazão de líquidos percolados.

O programa de Monitoramento Geotécnico se insere em um plano mais amplo que inclui o monitoramento de águas subterrâneas, qualidade do ar, líquidos percolados/lixiviados e gases.

Monitoramento de Recalques Superficiais

Os recalques superficiais são mensurados por meio de leituras realizadas em medidores específicos, os quais são constituídos de base quadrada de 0,50m, confeccionada em concreto, e haste metálica de tubos de ferro galvanizado (altura de 1,50 m) providos de rosca na parte superior para possibilitar o encaixe de novas hastes, se necessário. A distribuição das referidas placas ocorreu de modo que se observassem os recalques em quase todas as células do aterro.

Os medidores são instalados a uma profundidade aproximada de 50 cm da superfície dos taludes. Desta forma, minimiza-se a interferência das constantes movimentações de terra que acontecem no topo das bermas nos registros. Ressalta-se que o monitoramento vem sendo realizado com o aterro em operação, o que implica na constante execução de obras de terraplenagem e drenagem em toda a área.

Atualmente encontram-se instalados 66 medidores permanentes, distribuídos nas células do aterro, principalmente nas bermas dos taludes que já se encontram nas cotas finais de projeto. Nas Figuras 3 e 4, pode ser observado um detalhe do medidor de recalques superficiais utilizado na CTRS da BR 040.

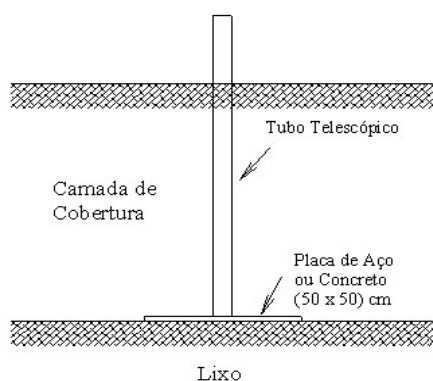


Figura 3 – Esquema do medidor de recalques superficiais



Figura 4 – Medidor de recalques superficiais instalado e identificado

Frequência das leituras

A frequência das leituras dos medidores instalados nas células AC-03, AC-04 e AC-05, que se encontram em contínuo processo de aterramento, é semanal, enquanto que na Célula Emergencial, onde os resíduos são mais antigos

e não vem sendo utilizada para aterramento, a frequência, que inicialmente era semanal, passou a ser quinzenal em função da pequena magnitude dos recalques observados.

As leituras são realizadas por equipe de topografia contratada pela SMLU e são executadas por Nivelamento Geométrico de Precisão, por meio de estação Total.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados apresentados a seguir referem-se somente aos recalques dos 21 medidores instalados nos taludes da Célula AC-05, cuja localização é apresentada, de forma esquemática, na Figura 5.

Trata-se da célula que apresenta o registro mais completo do histórico operacional, incluindo principalmente o avanço semanal da frente de serviço, o que permite, ainda que de forma aproximada, o levantamento da idade dos resíduos dispostos sob cada medidor. O conhecimento da idade e da altura inicial de resíduos sob cada medidor permite uma comparação mais adequada dos padrões observados nos recalques.

Após uma análise dos levantamentos topográficos referentes aos avanços da frente de serviços, observou-se que a ocupação das diversas células do aterro não se dá de forma uniforme. Isto porque o aterramento dos resíduos ocorre conforme previsto em projeto e observando aspectos operacionais, como mudança das frentes de operação, por ocasião de encerramento de alguma das plataformas de aterramento, e períodos de elevada pluviosidade, que resulta na deterioração do acesso às áreas de aterramento em operação, obrigando o fluxo de resíduos a ser direcionado para outra área no maciço de resíduos.

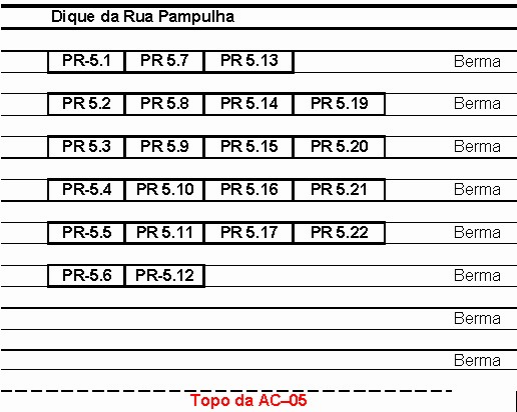


Figura 5 – Croquis de locação dos medidores (Célula AC-05)

Como forma de possibilitar as comparações foi calculada a idade média dos resíduos sob cada medidor, definida como a média ponderada das idades de cada camada aterrada, tendo como fator de ponderação as alturas correspondentes. A data final considerada neste trabalho foi o ultimo registro de cada medidor (31/12/2003).

A Tabela 3 mostra as características principais dos medidores (altura inicial de resíduos e idade média) e os valores das deformações específicas finais (relação entre a altura inicial dos resíduos sob cada medidor e os recalques observados) para o período monitorado.

Tabela 3 – Características dos medidores

Medidor	Altura Inicial (m)	Idade (anos)	Deformação Específica Final (%)	Período Monitorado (anos)
5.1	12,00	2,27	11,3%	1,24
5.2	19,30	2,23	11,5%	1,43
5.3	22,50	2,16	14,0%	1,43
5.4	26,70	2,15	14,1%	1,24
5.5	30,00	1,02	6,9%	0,32
5.6	34,00	1,97	10,1%	0,44
5.7	10,50	2,35	11,1%	1,24
5.8	17,70	2,33	11,6%	1,43
5.9	21,50	2,20	15,4%	1,43
5.10	25,80	1,60	12,6%	0,67
5.11	29,00	2,16	16,6%	1,43
5.12	34,20	2,11	10,1%	0,44
5.13	9,00	2,25	13,8%	1,24
5.14	16,70	2,28	12,9%	1,43
5.15	20,80	2,45	17,5%	1,43
5.16	24,20	2,36	14,2%	1,24
5.17	28,00	1,69	13,1%	0,82
5.19	15,70	2,67	13,7%	1,41
5.20	18,00	2,59	8,1%	1,41
5.21	21,50	2,53	5,8%	1,24
5.22	26,30	1,65	10,0%	0,65

Os medidores 5, 10, 17 e 22 apresentam períodos de monitoramento menores, pois foram perdidos devido a problemas operacionais. Os medidores 19, 20, 21 e 22 estão localizados na extremidade da célula, em regiões menos confinadas do maciço.

As Figuras 6 e 7 mostram a evolução dos recalques e das deformações específicas nos medidores da Célula AC-05 ao longo do tempo. O trecho inicial das curvas não é apresentado e se refere ao intervalo entre a construção das células e o início do monitoramento. Cabe ressaltar que as cotas iniciais dos pontos onde foram instalados os medidores e o intervalo entre o final da construção e o início do monitoramento foram obtidas a partir do resgate dos registros topográficos dos avanços da frente de serviços, estando sujeitas a pequenas imprecisões.

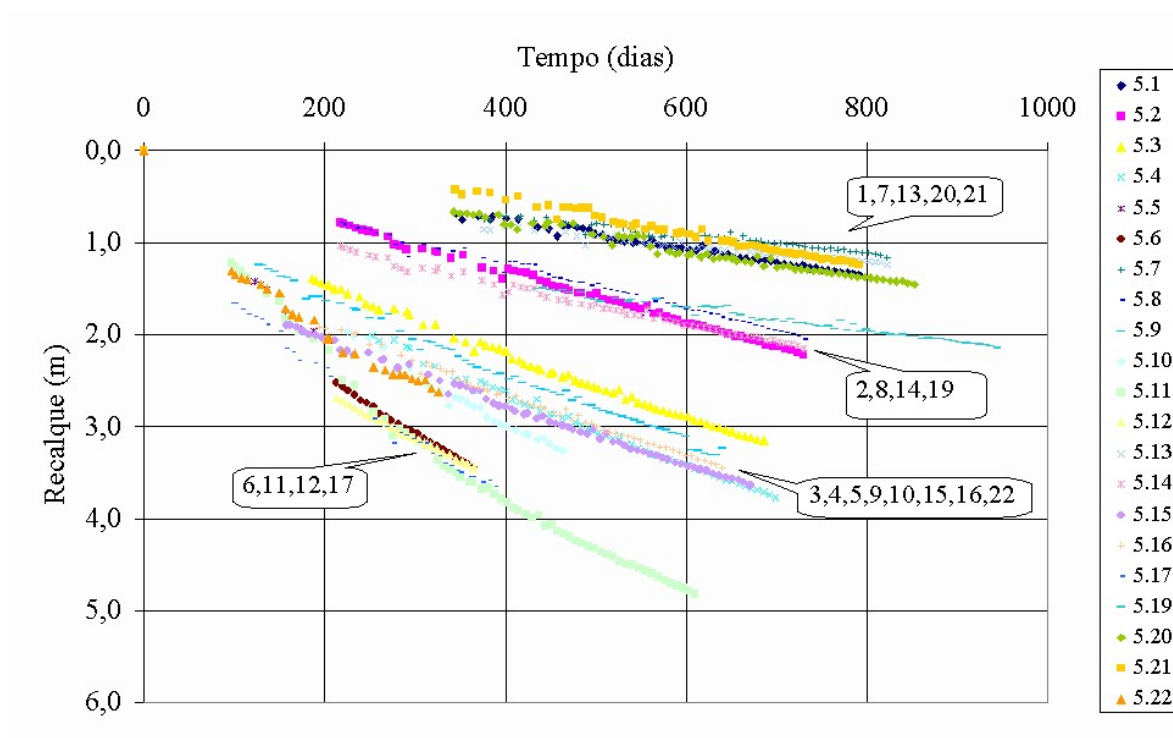


Figura 6 – Evolução dos recalques

Com relação aos recalques, observam-se quatro padrões de comportamento, também indicados na Figura 6, que correspondem, com algumas exceções, a conjuntos de medidores com mesma cota de projeto. Em linhas gerais, as leituras dos recalques indicaram valores que variaram de 100 cm a 480 cm e a deformações específicas, de 5,80 % a 17,5 %.

Observou-se também que para os medidores instalados nas extremidades da Célula, os valores de recalque observados foram menores, provavelmente pelo fato de a espessura de resíduos ser menor.

O padrão observado para os recalques não pode ser verificado com as deformações específicas. Apenas algumas tendências podem ser inferidas, como a ocorrência de deformações máximas nos medidores que possuem maiores alturas de resíduos sob os mesmos e deformações mínimas para os medidores localizados sobre camadas de resíduos menos espessas.

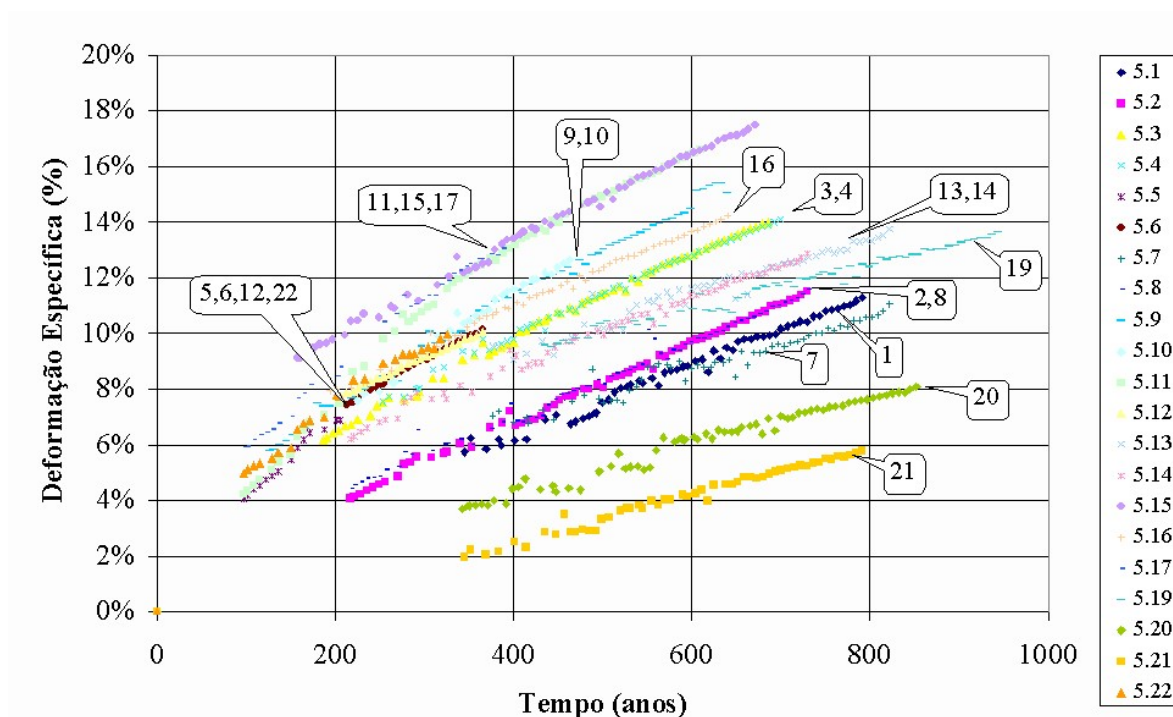


Figura 7 – Evolução das deformações específicas

A Figura 8 apresenta a relação entre as idades dos resíduos sob cada medidor e as deformações específicas máximas. Se o único mecanismo responsável pelo desenvolvimento dos recalques fosse mecânico (*creep* - deformações lentas sob estado de tensões constante), era de se esperar uma tendência de que resíduos de mesma idade apresentassem deformações específicas semelhantes, o que não foi observado. Isso confirma a grande complexidade do comportamento dos RSU e a necessidade de considerar outros mecanismos, principalmente os biológicos, na interpretação dos resultados.

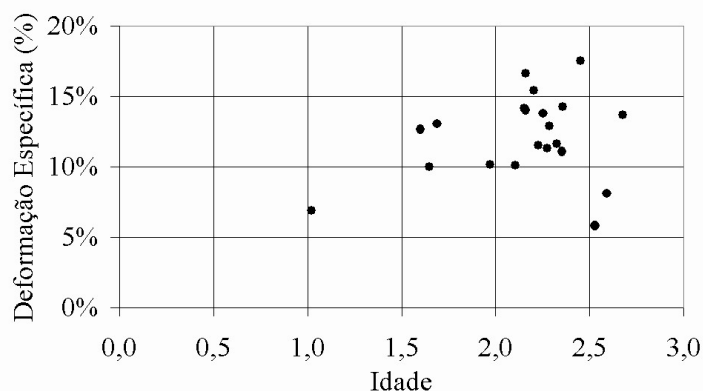


Figura 8 – Relação entre a idade dos resíduos e a deformação específica máxima

Uma análise mais detalhada, mas de difícil realização, deve incluir a influência de fatores, tais como composição gravimétrica, condições iniciais de compactação, geometria do problema e fluxo de umidade no interior das células.

A degradação dos resíduos, responsável por uma parcela significativa dos recalques, está diretamente ligada ao teor de umidade dos resíduos, o que por sua vez tem uma relação direta com a existência e eficiência do sistema interno de drenagem, que apresenta grandes diferenças no interior do maciço de resíduos, e ao próprio balanço hídrico do aterro. Essa heterogeneidade é esperada, tendo em vista que o balanço hídrico real deve ser avaliado considerando todo o

histórico de enchimento das células, que se dá em momentos distintos, com as superfícies das células expostas a eventos de precipitação diferentes.

Os demais medidores permanentes encontram-se instalados nas Células AC 03 (14 medidores), AC 04 (19 medidores) e Célula Emergencial (12 medidores). Outro conjunto de medidores temporários, totalizando 18 medidores, foi instalado no topo das células AC-03 e AC-04 e monitorado no período em que o aterramento não estava sendo realizado nessas células.

No período monitorado, para a Célula Emergencial, não foram observados recalques verticais significativos, o que se deve, provavelmente, à idade dos resíduos, superior a 5 anos. A magnitude desses recalques variou de 10 cm a 70 cm e as deformações específicas foram inferiores a 2 %, considerando um período de monitoramento de 2 anos.

Nas demais Células os resultados indicaram recalques variando de 5 cm a 130 cm (AC 03) e 8 cm a 140 cm (AC04) e as deformações específicas de 0,3 % a 3,2 % (AC 03) e 0,7 % a 3,7 % (AC04), considerando um período de monitoramento de 1 ano. Os mesmos padrões gerais observados na Célula AC-05 foram identificados nessas Células, com os medidores localizados sobre maiores espessuras de resíduos apresentando, em geral, as máximas deformações específicas.

CONCLUSÕES

O acompanhamento sistemático das movimentações ocorridas na massa de resíduos disposta nas células monitoradas permitiu avaliar com clareza os recalques nelas ocorridos. Apesar dos problemas encontrados, principalmente no que diz respeito às leituras em campo, os dados são consistentes de forma a confirmar a veracidade dos resultados obtidos. Muitos dos problemas identificados, refletem o fato de que o monitoramento vem sendo realizado com o aterro em operação, estando sujeito a inúmeros imprevistos.

Os resultados que vêm sendo obtidos no monitoramento de recalques do aterro sanitário da CTRS da BR-040 têm contribuído para o aprimoramento técnico e um melhor conhecimento das variáveis geotécnicas que influenciam o comportamento dos aterros de disposição de RSU.

Embora uma correlação direta entre os recalques e as diversas variáveis intervenientes nos processos ainda não possa ser obtida, a análise dos registros permite a definição de faixas de deformações esperadas, que podem contribuir para avaliação permanente da capacidade de armazenamento do aterro.

Os resultados que vêm sendo obtidos e as limitações impostas pela metodologia adotada indicam, em linhas gerais, a necessidade de:

- Adequar a instalação das placas e leituras dos recalques à rotina operacional do aterro sanitário, de forma a minimizar os impactos da mesma na obtenção dos dados;
- Melhorar o acompanhamento do aterramento dos resíduos, buscando estabelecer critérios que facilitem a identificação das idades dos resíduos dispostos, quando necessário;
- Correlacionar os recalques observados com outros parâmetros monitorados, como grau de compactação (peso específico) e parâmetros físico-químicos dos resíduos dispostos;
- Minimizar os impactos gerados pelas mudanças de equipe de topografia;
- Melhorar e, conseqüentemente, minimizar os erros de leituras durante a coleta de dados em campo;
- Resgatar com mais precisão o histórico de enchimento das células, possibilitando uma análise mais real dos dados;
- Utilizar ferramentas estatísticas que possibilitem análises mais detalhadas dos registros.

Por fim, destaca-se a importância do monitoramento contínuo da superfície dos taludes, por meio de inspeções visuais para observação de aparecimento de eventuais trincas e abatimentos que indiquem deslocamentos significativos, que podem conduzir a execução de um plano de monitoramento mais detalhado para a área, ou até mesmo a eventuais intervenções.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à SMLU – Secretaria Municipal de Limpeza Urbana de Belo Horizonte, e a todo o corpo de engenheiros, técnicos e funcionários da Central de Tratamento de Resíduos Sólidos da BR-040, sem os quais este trabalho não seria possível.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Jucá, J. F. T., Mariano, M. O. H., Melo, V. L. A. recalques e decomposição da matéria orgânica em aterros de resíduos sólidos na região metropolitana do Recife. [CD ROM]. Em: 20º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Rio de Janeiro: ABES, 1999.
2. Kaimoto L. S. A., Cepollina M., Abreu R. C. Alguns aspectos sobre recalques e deslocamentos horizontais em aterros sanitários .[CD ROM]. Em: 4º Congresso Brasileiro de Geotecnia Ambiental - REGEO'1999. São José dos Campos /SP: ABMS, 1999.
3. Mariano, M. O. H., Jucá, J. F. T., Recalques superficiais no aterro de resíduos sólidos da Muribeca - valores medidos e previstos. [CD ROM] Em: IX SILUBESA - Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Porto Seguro: ABES, 2000.
4. Simões, G. F., Catapreta, C.A.A., Batista, H. P., Galvão, T. C. B. Monitoramento Geotécnico de Aterros Sanitários – A Experiência da Central de Tratamento de Resíduos Sólidos da BR 040 em Belo Horizonte. [CD ROM]. Em: 5º Congresso Brasileiro de Geotecnia Ambiental - REGEO'2003. Porto Alegre/RS: ABMS, 2003.
5. Simões, G. F., Catapreta, C.A.A., Batista, H. P., Galvão, T.C.B. Concepção de um programa de monitoramento geotécnico para a central de tratamento de resíduos sólidos urbanos da BR 040 em Belo Horizonte – MG. [CD ROOM]. Em: 6º Simpósio Ítalo Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Vitória: ABES, 2002.
6. Simões, G. F., Campos, T.M.P. Modelos de previsão de recalques em aterros sanitários. Em: XI Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, Brasília, ABMS, v.3, pp.1679-1686.
7. SLU – Superintendência de Limpeza Urbana de Belo Horizonte. Perfil de geração de resíduos sólidos domiciliares no município de Belo Horizonte no ano de 1995. Belo Horizonte: SLU, 1995.
8. SMLU - Secretaria Municipal de Limpeza Urbana. Relatório de Atividades. Belo Horizonte: SMLU, outubro/2003.
9. Sowers, G. F., "Settlements of Waste Disposal Fills", Proceedings of 8th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Moscow, v. 4, pp. 207 – 210, 1973.