

III-320 – ESTUDO EM CAMPO DA COMPACTAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS EM PLANOS HORIZONTAIS

Cícero Antonio Antunes Catapreta⁽¹⁾

Eng. Civil (PUC-MG), Mestre e Doutor em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos (UFMG), Engenheiro Sanitarista da Superintendência de Limpeza Urbana de Belo Horizonte/MG, Professor Adjunto do Instituto UNA/MG de Tecnologia (UNATEC), Brasil.

Gustavo Ferreira Simões

Eng. Civil (UFMG), Mestre e Doutor em Engenharia Civil (PUC-Rio), Professor Associado do Departamento de Engenharia de Transportes e Geotecnia da UFMG, Belo Horizonte, MG, Brasil.

Jéssica Sangiorgi Ricardo

Estudante de Graduação do curso de Engenharia Ambiental da UFMG.

Roberta Ferreira Rodrigues

Estudante de Graduação do curso de Engenharia Química do Centro Universitário UNA/MG.

Endereço⁽¹⁾: Superintendência de Limpeza Urbana de Belo Horizonte – SLU/BH. Departamento de Tratamento e Disposição Final de Resíduos. Rodovia BR 040 – Km 531 – Jardim Filadélfia - Belo Horizonte – MG, Brasil - Tel: (31) 3277-9808 – e-mail: catapret@pbh.gov.br.

RESUMO

Os objetivos do presente estudo foram avaliar os resultados obtidos com a compactação horizontal de resíduos sólidos urbanos, utilizando tratores compactadores de esteiras com lâminas, e comparar os resultados obtidos com dados obtidos para a compactação em planos inclinados. Os resultados indicaram que a compactação de RSU em planos horizontais não é adequada para os resíduos com elevado teor de resíduos orgânicos, como os brasileiros. Os pesos específicos dos RSU observados nesse estudo foram bem inferiores àqueles relatados na literatura para planos inclinados. O aumento do número de passadas do equipamento não causou variação nos valores dos pesos específicos, para os resíduos sendo compactados em um plano horizontal. Considerando o reduzido número de amostras e as condições específicas de realização dos experimentos, principalmente as características dos resíduos e dos equipamentos e a espessura das camadas, os resultados apresentados devem ser vistos como apenas como uma referência.

PALAVRAS-CHAVE: Aterro Sanitário, Compactação, Lixo, Resíduos Sólidos, Resíduos Sólidos Urbanos.

INTRODUÇÃO

A compactação de resíduos sólidos urbanos (RSU) em aterros sanitários tem sido bastante enfatizada, uma vez que esta tem como principal objetivo a otimização da disposição, a melhoria de propriedades geomecânicas dos resíduos, provendo um melhor aproveitamento da área e aumentando a vida útil dos aterros sanitários. No caso de aterros que possuem altura elevada, a garantia de sua estabilidade é uma dos principais objetivos da compactação dos RSU (Catapreta & Simões, 2009).

Nesse sentido destaca-se que a compactação dos RSU realizada pelo tráfego de equipamentos de transporte e espalhamento (tratores de lâmina etc.) e/ou por equipamentos específicos para este fim (rolos compactadores), representa o processo mais usual para densificação dos resíduos empregado em aterros sanitários (Marques, 2001).

Entretanto, para se conseguir uma boa compactação de RSU nos aterros sanitários, alguns fatores devem ser observados, dentre eles: a espessura da camada de resíduos; tipo, peso e número de passadas do equipamento compactador; inclinação da rampa de compactação; sentido de compactação; composição e umidade dos RSU (Boskov & Abreu, 2000 e Caterpillar, 2001). Destes fatores, destacam-se dois: tipo de equipamento e a forma de compactação.

O principal equipamento empregado na compactação dos resíduos, no Brasil, é o trator de esteiras com lâmina (Figura 1), o qual é considerado ideal, para as condições brasileiras, em que os resíduos são constituídos de

uma grande fração de resíduos orgânicos. Em muitos países desenvolvidos, são utilizados equipamentos compactadores sem esteiras (Figura 2), projetados especificamente para esta finalidade (Marques, 2001), uma vez que, como seus resíduos possuem baixo teor de umidade (menor quantidade de matéria orgânica), as rodas metálicas com gomos se mostram mais eficientes que as esteiras. O custo de investimento na aquisição e manutenção desses equipamentos, também limita a sua utilização.

Quanto à forma de operação, no Brasil, para se conseguir uma melhor eficiência na compactação, tem-se sugerido, para os tratores de esteiras, que a compactação ocorra em rampa (Suzuki *et al.*, 2010) em um plano inclinado, no sentido ascendente, com inclinação suficiente para impor uma distribuição de cargas na base das esteiras de maneira a propiciar concentração do peso do equipamento na parte traseira do sistema de esteiras, fazendo com que o volume de resíduos seja reduzido de forma mais eficiente e garantindo desempenho e produção adequados, compatível com a velocidade de descarga dos resíduos.



Fonte: Caterpillar, 2012

Figura 1 - Compactação de resíduos com trator de esteiras



Fonte: Caterpillar, 2012

Figura 2 - Compactação de resíduos sem trator de esteiras

Geralmente a inclinação de 1:3 (horizontal: vertical) tem sido recomendada e indicada pela literatura e pela experiência de técnicos que atuam na área e possuem conhecimento do equipamento utilizado. Outras inclinações também são relatadas na literatura: 1V:1H, 1V:2H, 1V:2,5H e 1V:4H (Tchobanoglous *et al.*, 1993; Caterpillar, 2001).

A compactação horizontal de RSU em aterros sanitários brasileiros, com tratores de esteiras com lâmina, tem sido pouco empregada, entretanto, alguns aterros sanitários no Brasil, vêm adotando sistematicamente esta forma de compactação, contradizendo o citado pela literatura. Na Tabela 1 são descritas algumas características da compactação horizontal e daquela realizada em um plano inclinado.

Tabela 1 – Compactação em rampa x compactação horizontal - características

Plano inclinado e sentido ascendente	Plano horizontal
<ul style="list-style-type: none"> Melhor controle no espalhamento/distribuição dos resíduos; Obtenção de bons resultados de peso específico ($>9 \text{ kN/m}^3$); Apresenta maior consumo de combustível; Maior esforço mecânico do equipamento compactador. 	<ul style="list-style-type: none"> Não apresenta bons resultados de peso específico ($< 9 \text{ kN/m}^3$); Menor esforço mecânico do equipamento; Menor consumo de combustível.

Considerando isso, o presente trabalho teve como objetivo apresentar, discutir e avaliar os resultados obtidos com a compactação horizontal de resíduos sólidos urbanos, utilizando tratores compactadores de esteiras com lâminas, e comparar os resultados obtidos com dados obtidos para a compactação em planos inclinados, em rampa.

MATERIAL E MÉTODOS

CONSTRUÇÃO DOS EXPERIMENTOS

Para a realização dos trabalhos, foram construídos seis experimentos, cada um medindo 7 x 15 m, com camadas de RSU com espessura média de 0,50 m. Na Figura 3 podem ser observadas algumas etapas da construção e execução dos experimentos.

Foi avaliado o número de passadas do equipamento compactador, por meio da sua variação em 3, 5 e 7 ciclos de passadas. O ciclo de passada foi considerado como a ida e volta do trator de esteiras.



(a) Parcela preparada para receber resíduos



(b) Descarga de resíduos



(c) Preparação das parcelas de RSU



(d) Parcela pronta para compactação



(e) Compactação dos resíduos

Figura 3 – Execução das parcelas de RSU

CARACTERÍSTICAS DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

Na Tabela 2 é apresentada a composição gravimétrica dos RSU empregados no experimento. Destaca-se o alto teor de matéria orgânica presente (62%), o qual propicia uma umidade em torno de 60%, em base úmida.

EQUIPAMENTOS EMPREGADOS NA COMPACTAÇÃO

Para a compactação dos resíduos, foi utilizado um trator de esteiras com lâmina, modelos Caterpillar D6N XL, que possui duas esteiras com largura de 70 cm e comprimento de 261,11 cm, que resulta em uma área de contato de 3,18 m², por esteira. O peso operacional do trator é de 16.633 kg e a pressão das esteiras sobre os resíduos são da ordem de 5.230 kg/m².

Tabela 2 - Composição gravimétrica média de RSU de Belo Horizonte (SMLU, 2003)

Componentes	(%)	Componentes	(%)
Matéria Orgânica	61,59	Madeira, tecido, borracha, couro.	4,04
Papel / Papelão	9,53	Resíduo Perigoso Doméstico	0,18
Plástico	10,88	Resíduo de Serviço de Saúde	0,27
Metais	2,29	Automotivos	0,26
Vidros	2,85	Rejeitos	4,60
Entulho	2,85	Madeira, tecido, borracha, couro.	4,04
Espuma, isopor, cerâmica.	0,65	Resíduo Perigoso Doméstico	0,18

PESO ESPECÍFICO DOS RESÍDUOS

O peso específico dos resíduos aterrados foi avaliada por meio do controle topográfico da frente de operação, antes e após a compactação, e dos valores de pesagem de resíduos, realizadas nas balanças do aterro sanitário. Os valores foram calculados em base úmida.

RESULTADOS

Nas Tabelas 3 a 5, podem ser observados os valores obtidos para os pesos específicos dos RSU em função do número de ciclos de passadas dos equipamentos compactadores.

Tabela 3 - Teste de compactação de RSU – 3 ciclos

Amostra	Peso	Volume		Peso Específico		Redução
	RSU (t)	Solto (m ³)	Compactado (m ³)	RSU Soltos (kN/m ³)	RSU Compactado (kN/m ³)	Volume (%)
1	19,42	59,9	33,5	3,24	5,80	55,93
2	21,61	57,9	35,6	3,73	6,07	61,49

Tabela 4 - Teste de compactação de RSU – 5 ciclos

Amostra	Peso	Volume		Peso Específico		Redução
	RSU (t)	Solto (m ³)	Compactado (m ³)	RSU Soltos (kN/m ³)	RSU Compactado (kN/m ³)	Volume (%)
1	17,00	56,5	30,6	3,01	5,56	54,16
2	22,37	63,2	42,3	3,54	5,29	66,93

Tabela 5 - Teste de compactação de RSU – 7 ciclos

Amostra	Peso	Volume		Peso Específico		Redução
	RSU (t)	Solto (m ³)	Compactado (m ³)	RSU Soltos (kN/m ³)	RSU Compactado (kN/m ³)	Volume (%)
1	17,85	56,8	31,4	3,14	5,68	55,28
2	21,93	62,0	34,0	3,54	6,45	54,84

Pode ser observada uma redução do volume de aproximadamente 58%, em média, para todos os testes. Em estudo realizado por Catapreta (2008), em um aterro experimental, e por Catapreta & Simões (2006), no aterro sanitário de Belo Horizonte, a redução de volume foi da ordem de 72%.

Entretanto, deve-se considerar que a redução de volume é apenas uma comparação entre o volume dos resíduos soltos, após serem espalhados, e o volume dos resíduos compactados, configurando apenas como uma referência. A eficiência da compactação deve ser medida pelo peso específico final obtido.

No experimento realizado, os resíduos foram espalhados uniformemente, o que os tornavam mais soltos e, teoricamente, mais passíveis de sofrerem maiores reduções de volume, o que não foi observado, pela pouca eficiência da compactação dos resíduos nos planos horizontais.

De maneira inversa, nos aterros sanitários, geralmente, os resíduos são descarregados diretamente dos caminhões compactadores, onde já sofreram uma pré-compactação, ou seja, os resíduos já possuem um volume inicial menor (ou um peso específico inicial ou solto maior). Assim, poder-se-ia esperar uma menor redução de volume, mas como o processo em plano inclinado parece ser mais eficiente, a redução de volume é ainda maior, assim como o aumento do peso específico.

Assim, quando se avalia o peso específico final obtido, observa-se que os resultados do experimento indicam baixa eficiência da compactação em planos horizontais, sendo que o aumento do peso específico em relação ao estado solto foi inferior aos valores obtidos quando a compactação ocorre em plano inclinado.

Os resultados observados variaram entre 5,3 kN/m³ e 6,5 kN/m³, enquanto que para aterros operando em plano inclinado, utilizando o mesmo equipamento, espessura de camada de compactação, tipo de resíduos e número de passadas semelhante, os resultados obtidos por Catapreta & Simões (2007) e Catapreta (2008) situaram-se na faixa de 9 a 11 kN/m³.

Marques (2001) apresenta um detalhado estudo realizado em um aterro experimental executado no aterro sanitário Bandeirantes, em São Paulo. No experimento foram avaliados diversos fatores intervenientes no processo de compactação, com destaque para a espessura inicial da camada de resíduos, número de passadas e tipo do equipamento compactador e a inclinação da rampa de compactação. De uma forma geral, os pesos específicos obtidos com a compactação em planos horizontais, mantidas as outras condições, foram inferiores aos obtidos em planos inclinados. A tendência de obtenção de maiores pesos específicos, segundo Marques (2001), quando utilizado um plano de compactação inclinado, pode ser justificada pelas menores áreas de contato e pela translação do centro de massa do equipamento nesta situação, o que resulta na transferência de maiores tensões aos resíduos.

A análise das parcelas do experimento permite avaliar a influência do número de passadas no valor do peso específico obtido, já que ambas foram realizadas em plano horizontal. Os dados obtidos sugerem pouca variação no valor final dos pesos específicos quando o número de passadas passa de 3 para 5 e, deste, para 7 passadas. Isto indica que a operação com apenas 3 ciclos de passadas pode trazer uma economia no que se refere ao desgaste do equipamento compactador e custos operacionais.

Conforme descrito em Caterpillar (2001), mais do que 4 passadas não aumentam os valores dos pesos específicos dos resíduos de forma econômica. Por outro lado, Savage *et al.* (1998) cita que usualmente são realizadas de 4 a 6 passadas com equipamentos pesados de rodas que promovam um alto grau de compactação. Embora o número de passadas acima de 4 a 6 proporcione uma maior compactação, o ganho na compactação dos resíduos obtido para este número adicional de passadas diminui substancialmente acima de 6 passadas.

Outros itens que devem ser considerados na compactação dos RSU, são o peso do equipamento compactador e a espessura das camadas de resíduos a serem compactados. No presente trabalho, contudo, não foi realizada uma avaliação desses itens, devido ao fato de que, tanto o equipamento compactador quanto a espessura da camada de resíduos empregados no estudo, são, geralmente, os mesmos empregados na compactação de RSU no aterros sanitários brasileiros.

CONCLUSÕES

O trabalho apresentou os resultados dos experimentos de compactação de resíduos sólidos urbanos em planos horizontais, em escala real. De maneira geral os resultados sugerem que:

- A compactação horizontal de RSU não é adequada para os resíduos com elevado teor de resíduos orgânicos, como os brasileiros. Os pesos específicos dos RSU observados foram bem inferiores àqueles relatadas pela literatura, para planos inclinados;
- O número de passadas excessivas não demonstrou ganho de escala para os resíduos sendo compactados em um plano horizontal.

Considerando o reduzido número de amostras e as condições específicas de realização dos experimentos, principalmente as características dos resíduos e dos equipamentos e a espessura das camadas, os resultados apresentados devem ser vistos como apenas como uma referência, devendo-se serem realizados mais estudos para confirmar os resultados.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Superintendência de Limpeza Urbana de Belo Horizonte – SLU, pelo apoio na realização dos trabalhos; à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais – FAPEMIG, e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPQ, pelo contínuo apoio financeiro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BOSCOV, M. E. G., Abreu, R.C. Aterros sanitários previsão de desempenho x comportamento real. In: Associação Brasileira de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica / Núcleo Regional de São Paulo (Org.). Previsão de Desempenho x Comportamento Real. São Paulo: ABMS/NRSP, 2000.
2. CATAPRETA C. A. A.; SIMÕES, G. F.; MARTINS, H. L.. Avaliação da inclinação da rampa de compactação e da densidade dos RSU dispostos no aterro sanitário de Belo Horizonte, MG. In: Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 8, 2006, Fortaleza, CE. Anais Rio de Janeiro: ABES, 2006.
3. CATAPRETA, C. A. A., SIMÕES, G. F. Waste Compaction in Belo Horizonte Landfill, Brazil. In: 12 International Waste Management and Landfill Symposium, 2009, S. Margarita di Pula. Proceedings the 12 International Waste Management and Landfill Symposium. Padova: IWWG/CISA, 2009.
4. CATAPRETA, C. A. A.; SIMÕES, G.F. Procedimentos operacionais de aterros sanitários: análise de 6 anos de monitoramento do aterro sanitário de Belo Horizonte, MG In: Congresso Brasileiro de Geotecnia Ambiental, 6, 2007, Recife, PE. Anais... São Paulo: ABMS, 2007.
5. CATERPILAR. Manual de gerenciamento de resíduos (ref. APDS0227). Washington: Caterpillar, 2001.
6. MARQUES, A. C. M. Compactação e compressibilidade de resíduos sólidos urbanos. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo. São Paulo, 2001, 408p.
7. SUZUKI, D. K. ; BOSCOV, M. E. G. ; Schmidt, C. . Viabilidade técnica de verticalização de aterros sanitários por meio de alteamentos sucessivos com diques reforçados. In: COBRAMSEG 2010 - XV Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, 2010, Gramado. COBRAMSEG 2010 - XV Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, 2010. v. CD-ROM. p. 1-8.
8. TCHOBANOGLIOUS, G., THIESEN, H., VIGIL, S. A. Integrated solid waste management - engineering principles and management issues. New York: McGraw-Hill International Editions, 1993, 978p.
9. www.caterpillar.com.br (acesso em 30/09/2012).