

### III-150 - INFLUÊNCIA DO PROCESSO EVOLUTIVO DE DEGRADAÇÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS NA OCORRÊNCIA DE RECALQUES

**Raliny Mota de Souza Farias** <sup>(1)</sup>

Engenheira Civil pela Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). Mestre em Engenharia Civil e Ambiental pela Universidade Federal de Campina Grande. Doutoranda em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Integrante do Grupo de Resíduos Sólidos, UFPE.

**Rômulo de Medeiros Caribé** <sup>(2)</sup>

Químico Industrial pela Universidade Estadual da Paraíba (UEPB). Mestre em Engenharia Civil e Ambiental pela Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). Doutorando em Engenharia Química pela Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). Membro do Grupo de Geotecnia Ambiental da UFCG.

**Pablo da Silva Araújo** <sup>(3)</sup>

Engenheiro Civil pela Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). Mestrando em Engenharia Civil e Ambiental pela Universidade Federal de Campina Grande. Membro do Grupo de Geotecnia Ambiental da UFCG.

**Veruschka Escaríao Dessoles Monteiro** <sup>(4)</sup>

Professora da Unidade Acadêmica de Engenharia Civil da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). Engenheira Civil pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Mestre em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Pernambuco. Doutora em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Pernambuco. Coordenadora do grupo de pesquisa em Geotecnia Ambiental da UFCG.

**Marcio Camargo de Melo** <sup>(5)</sup>

Professor da Unidade Acadêmica de Saúde e Educação da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). Biólogo pela Universidade de Caxias do Sul/RS. Mestre em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Doutor em Ciências e Engenharia de Materiais pela Universidade Federal de Campina Grande. Membro do Grupo de Geotecnia Ambiental da UFCG.

**Endereço**<sup>(1)</sup>: Avenida Acadêmico Hélio Ramos, S/N, CTG-GRS – Cidade Universitária - Recife - PE - CEP: 50740-530 Brasil - Tel: (81) 21267215 - e-mail: [raliny.mota@gmail.com](mailto:raliny.mota@gmail.com)

#### RESUMO

Os recalques em aterros sanitários correspondem a redução do volume de resíduos através da expulsão descendente de líquidos percolantes e ascendente de gases gerados pela degradação. Eles representam, portanto, o somatório dos carregamentos ocorridos, tais como peso próprio dos resíduos, das camadas impermeabilizantes e dos maquinários essenciais ao funcionamento e operação do aterro, agregado a intensa degradação incidida nos resíduos. Compreender a abrangência dos recalques em aterros não é uma tarefa fácil, mas pode ser simplificada com o desenvolvimento de estudos em células experimentais que simulem, em escala reduzida, as mesmas condições de monitoramento e controle que é submetido um aterro sanitário em escala real. Diante disso, o objetivo desse trabalho é entender o comportamento dos recalques em uma célula experimental de aterro sanitário, a partir de seus aspectos geotécnicos e da evolução do processo biodegradativo dos resíduos sólidos. A metodologia realizada compreendeu várias etapas de execução, desde a construção da célula experimental, estudos geotécnicos, caracterização e monitoramento dos resíduos, medições in situ de recalques superficiais e em profundidade, para análise entre a degradação e a redução de volume vertical. Após a realização dos estudos, verificou-se que o comportamento dos recalques no tempo, foi influenciado pelas características físicas, geomecânicas e pelos processos biológicos de degradação dos resíduos, onde a velocidade das deformações decresceu com tempo, conforme o esperado pela literatura. Ao final do monitoramento, verificou-se um recalque total de aproximadamente 770 mm, aumentando a uma velocidade inferior a 1 mm/dia, o que significa que os resíduos deformaram 25% de sua altura inicial, e a Célula Experimental aproxima-se do final de sua vida útil.

**PALAVRAS-CHAVE:** Biodegradação, Recalques em Aterros, Resíduos Sólidos Urbanos, Composição Gravimétrica e Volumétrica.

## INTRODUÇÃO

Um dos fenômenos que melhor expressam o comportamento de aterros de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) ao longo do tempo é o recalque, que em aterros sanitários são resultantes do somatório dos carregamentos ocorridos, tais como peso próprio dos resíduos, das camadas impermeabilizantes e do funcionamento e operação do aterro, agregado a decomposição biológica dos RSU.

Segundo Hossain *et al.*, (2003) com o avanço da decomposição dos resíduos, as propriedades de compressibilidade, as taxas e a magnitude dos recalques também mudam, tornando a identificação dos mecanismos responsáveis pelo desenvolvimento de recalques, em aterros sanitários, de extrema importância para a interpretação do seu comportamento.

Grande parcela dos recalques está ligada a degradação dos resíduos, realizar estudos com análises dos resultados de monitoramento desses sistemas em escala real ou experimental é imprescindível para o entendimento do aterro. As células experimentais de pequenas dimensões, podem contribuir para a análise do comportamento dos RSU, possibilitando, para situações particulares, uma melhor avaliação de suas propriedades durante a evolução do processo de biodegradação (ALCANTARA, 2007).

Entender os recalques em um aterro torna-se menos complexo se estudos em escalas experimentais forem realizados. Considerando todos esses fatores e os resultados obtidos no presente trabalho, é possível determinar o comportamento dos recalques e verificar a contribuição dos diversos parâmetros para ocorrência deste fenômeno.

Neste contexto o objetivo do trabalho é entender o comportamento dos recalques em uma célula experimental de aterro sanitário, a partir de seus aspectos geotécnicos e da evolução do processo biodegradativo dos resíduos sólidos. Avaliando a composição gravimétrica e volumétrica, as características físicas e geomecânicas dos resíduos e compreendendo os recalques ocorridos, em uma célula experimental de aterro sanitário, ao longo do tempo.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Este trabalho foi realizado a partir da utilização de conhecimentos técnicos e científicos para reprodução de uma célula experimental de RSU simulando, em escala reduzida, as mesmas condições de um aterro sanitário. O desenvolvimento do estudo contou com várias etapas conforme apresentado na Figura 1.



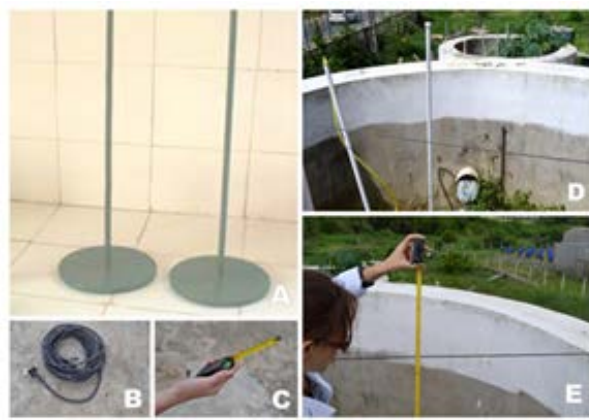
Figura 1- Fluxograma das etapas realizadas no estudo.

A construção foi realizada em um formato cilíndrico rígido com alvenaria de tijolos manuais. Para a impermeabilização da base e cobertura utilizou-se uma camada de solo com altura de 0,20m e 0,15m, respectivamente, compactado em sua umidade ótima e densidade máxima, com soquete manual.

Para obter amostras representativas dos RSU utilizou-se o procedimento recomendado pela norma NBR 10007 (ABNT, 2004). Onde, a partir da porção de RSU destinada a caracterização física, pela amostragem, realizou-se medições de peso e volume dos diferentes tipos de materiais presentes na amostra, para composição gravimétrica e volumétrica dos RSU. A caracterização e análise da degradabilidade dos resíduos, foi obtida a partir das composições e da realização de ensaios físicos e geomecânicos dos resíduos, tais como; Granulometria, Compactação, Massa específica e Umidade dos resíduos ao longo do tempo.

Após a execução das etapas iniciais de enchimento e caracterização dos resíduos, a Célula Experimental passou a ser monitorada, a partir de ensaios laboratoriais e *in Situ*, para controle da evolução dos parâmetros mecânicos, físicos, físico-químicos e microbiológicos dos RSU.

O monitoramento dos recalques ao longo do tempo, foi realizado através de medições *in situ* das deformações superficiais (Figura 2) e em profundidade (Figura 3) ocorridas na célula experimental.



**Figura 2 - A= Placas de recalque superficial; B= Corda utilizada para nível de referência; C= Trena utilizada na medição; D= Corda de referência fixada nas bordas da Célula Experimental e E= Aferição dos deslocamentos verticais das placas.**



**Figura 3 - A= Placa de recalque em profundidade; B= Mangueira graduada com sensor na ponta; C= Ohmímetro; D= Inserção do sensor magnético no tubo PVC e E= Identificação da profundidade da placa.**

## RESULTADOS

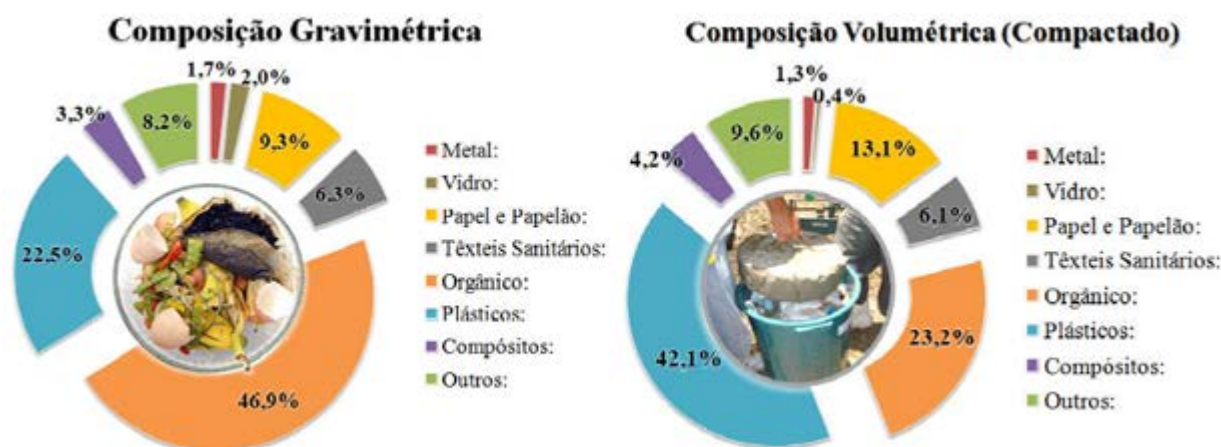
Para entender a ocorrência dos recalques em maciços sanitários, é preciso compreender, primeiramente, as características dos resíduos sólidos urbanos. Este estudo avaliou como essas propriedades influenciam a

degradação dos resíduos dispostos na célula experimental, e consequentemente a redução de sua massa ao longo do tempo.

**Composição gravimétrica e volumétrica:**

Na composição gravimétrica destacou-se a presença predominante de materiais putrescíveis. Encontrou-se 46,9% de matéria orgânica (Figura 2), que pode indicar elevado percentual de deformação da massa de RSU. Uma vez que, a presença de materiais putrescíveis favorece a aceleração da degradação dos resíduos, resultando em grandes recalques.

Esta realidade confronta-se com a dificuldade de decomposição encontrada pelos resíduos quando acompanhados dos demais materiais que o compõe. Desta forma, o percentual de componentes considerados recicláveis, como plástico (22,5%), papéis e papelões (9,3%) tiveram valores bastante significativos, que somados as pequenas porcentagens de compósitos (3,3%), vidros (2,0%) e metais (1,7%), podem ser responsáveis por retardar o processo degradativo, prolongando o tempo necessário para que o aterro atinja seu recalque final.



**Figura 4 - Resultados obtidos pela composição gravimétrica e volumétrica dos resíduos.**

No caso específico dos plásticos, a porcentagem em peso foi de apenas 22,5%, mas em termos de volume (Figura 2) esta porcentagem praticamente dobra, e o componente passa a ocupar 42,1% da quantidade total dos resíduos. Observando este e os demais materiais recicláveis presentes na Célula Experimental, constatou-se que em termos de volume a estrutura é ocupada por aproximadamente 80% de materiais de difícil degradação, por outro lado, a maioria deles apresenta boas características de deformabilidade.

Segundo Catapreta & Simões (2008), a grande quantidade de plásticos e papéis pode ser prejudicial do ponto de vista operacional para aterros sanitário, pois estes agem como um “colchão” na compactação, passando a falsa impressão de compactação. Fator confirmado, pela composição volumétrica, onde observa-se a tendência de redução em porcentagem dos RSU quando submetidos a compactação.

**Processo evolutivo das características físicas e geomecânicas dos RSU:**

O perfil granulométrico dos resíduos, caracterizado por uma curva bem graduada com forte presença de finos, favoreceu boas condições de compactação, degradabilidade e compressibilidade dos resíduos.

O grau de compactação alcançado para os resíduos no interior da célula experimental foi de 55,16%, o teor de vazios gerado sob essas condições foi favorável para que a acomodação das partículas acontecesse lentamente, ao longo do tempo de monitoramento, resultando no aumento dos recalques devido a fatores mecânicos.

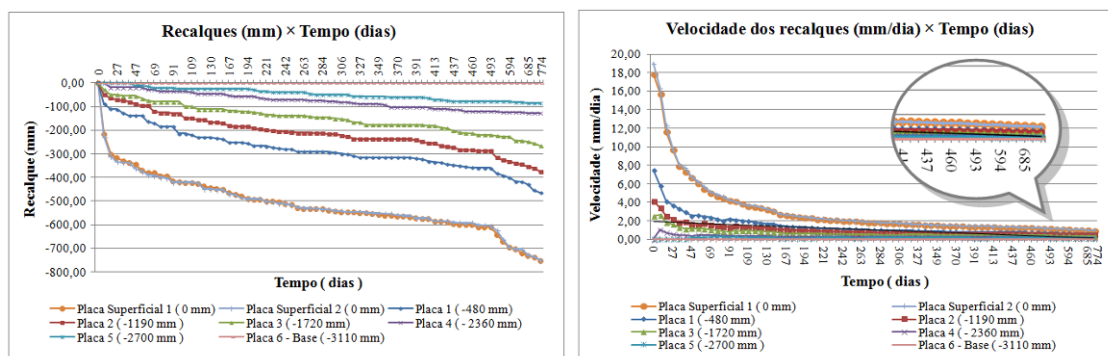
O teor de umidade interfere diretamente no processo de decomposição dos resíduos, pois a umidade estabelece condições favoráveis ou desfavoráveis para a biodegradação destes resíduos. A evolução da umidade dos resíduos depositados na célula experimental em estudo, tanto em profundidade como no tempo, propiciaram



boas condições ao desenvolvimento de microrganismos degradadores da matéria orgânica, proporcionando recalques expressivos em camadas com elevada umidade.

Recalques ao longo do tempo:

Observa-se que há um grande número de processos envolvidos nos mecanismos de recalque, onde a maior parcela dos recalques ao longo do tempo apresentados na Figura 5, expressam a ocorrência simultânea de recalques primários e secundários. Indicando que a deformação incidiu por meio de processos mecânicos e biológicos



**Figura 5 - Resultados dos recalques e da velocidade dos recalques em função do tempo.**

Nos primeiros dias de monitoramento pode-se verificar recalques elevados em todas as placas, fase característica da deformação mecânica. Exceto para as Placas 4 e 5, que por serem localizadas na região inferior da Célula Experimental, provavelmente receberam uma compactação mais eficiente durante o processo de enchimento, resultando em recalques discretos inicialmente.

Após passada esta fase, as deformações dos resíduos assumem as características biológicas, reduzindo gradativamente seu volume ao longo do tempo. Na fase final de monitoramento verificou-se, através das Placas superficiais, um recalque total de aproximadamente 770 mm.

Sabe-se que os dados resultantes do monitoramento geralmente apresentam velocidades médias iniciais muito elevadas e vão diminuindo com o tempo, inicialmente, de forma muito rápida e depois, mais lenta, até se manterem uniformes (COMPARIN, 2011). As maiores velocidades e taxas de recalques acontecem nos primeiros meses de disposição dos resíduos. As velocidades médias iniciais foram muito elevadas e diminuíram com o tempo até se manterem uniformes.

Conforme detalhe da Figura 5, na fase final de monitoramento observa-se a uniformidade nas velocidades, onde para as placas em profundidade as velocidades aproximam-se cada vez mais de 0 mm/dia, enquanto que as placas superficiais ainda deformam-se a velocidades em torno de 1 mm/dia.

No que se refere à deformação específica pode-se observar nos estudos, que os recalques ocorridos corroboram com a literatura, onde segundo Abreu (2000), os recalques finais em um aterro sanitário podem atingir de 10 a 30% da altura inicial, ao longo de sua vida útil. Nos resultados encontrados, verificou-se que a deformação total, representada pelos recalques ocorridos, alcançaram após pouco mais de 2 anos de monitoramento o valor de 25%. Esta porcentagem indica que a Célula Experimental, apesar de ainda sofrer recalques expressivos, devido à ação dos processos biodegradativos dos resíduos, já se aproxima da fase final de sua vida útil.

## CONCLUSÕES

O RSU estudado foi, em sua maioria, composto por materiais putrescíveis, matéria orgânica favorável a ser decomposta ao longo do tempo, a transformação de toda essa massa biodegradável em líquidos e gases resultou em recalques significativos durante o período de monitoramento. A gravimetria de materiais potencialmente recicláveis, como plásticos, papeis, papelão e compósitos, não foi tão expressiva quanto a

quantidade de orgânicos. Mas, em termos de volume, ocuparam uma porção elevada da célula de aterro estudada, cuja capacidade de deformação exerceu maior influência durante o período inicial de monitoramento dos recalques.

O comportamento dos recalques no tempo, foi influenciado positivamente pelas características físicas, geomecânicas e biológicas dos resíduos, onde os resultados sugerem que na célula experimental de aterro a degradação dos resíduos acontece mais rapidamente se comparado a aterros em escala real. A velocidade dos recalques mostrou-se mais acentuada nos primeiros dias de acondicionamento dos resíduos devido, principalmente, a aspectos mecânicos, com o passar dos dias os recalques superficiais e em profundidades apresentaram uma relação direta entre aspectos mecânicos e biodegradativos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). NBR 10007: Resíduos Sólidos – Amostragem de Resíduos. Rio de Janeiro, 2004. 21p.
2. ABREU, R. C. Compressibilidade de maciços sanitários. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica de São Paulo. São Paulo-SP, 2000.
3. ALCÂNTARA, P.B. Avaliação da Influência da Composição de Resíduos Sólidos Urbanos no Comportamento de Aterros Simulados. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Pernambuco. UFPE. Recife. 2007.
4. CATAPRETA, C. A. A. ; SIMÕES, G. F. . Caracterização Volumétrica de Resíduos Sólidos Urbanos Dispostos em um Aterro Sanitário Experimental. In: XXXI Congresso Interamericano de Engenharia Sanitaria y Ambiental, Santiago / Chile, 2008.
5. COMPARIN, I. Estudo do Comportamento de Resíduos Sólidos Urbanos em Lisímetro de Caráter Experimental. Trabalho de Conclusão de Curso para a obtenção do título de Engenheiro Ambiental. Universidade de Passo Fundo - UPF, Passo Fundo/RS, 2011.
6. HOSSAIN, M. S.; GABR, M. A.; BARLAZ, M. A. Relationship of compressibility parameters to municipal solid waste decomposition. In: Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, v. 129, n. 12, pp. 1251-1158, 2003.