

## **RESÍDUOS SÓLIDOS**

### **ESTUDO DE RECALQUES EM LISÍMETRO EXPERIMENTAL.**

**Eduarda da Conceição Oliveira** – eduarda.ambiental@gmail.com  
Universidade Federal de Mato Grosso - UFMT

**Harumy Sales Noguchi** – harumynoguchi@hotmail.com  
Universidade Federal de Mato Grosso - UFMT

**Débora Aparecida Souza Guedes** – deboraap.guedes@gmail.com  
Universidade Federal de Mato Grosso - UFMT

**João Gabriel Carvalho Callejas** – joao\_carvalho@hotmail.com  
Universidade Federal de Mato Grosso - UFMT

**Aldecy de Almeida Santos** – aldecy\_almeida@yahoo.com.br  
Universidade Federal de Mato Grosso - UFMT

**Eleonora Andrade de Almeida** – eleonor Alvarenga@yahoo.com.br  
Universidade Federal de Mato Grosso - UFMT

**Welitom Ttatom Pereira da Silva** – wttatom@terra.com.br  
Universidade Federal de Mato Grosso - UFMT

**Resumo:** Os fatores que definem as deformações em aterros sanitários são muito complexos uma vez que os resíduos sólidos são formados por materiais naturais e/ou artificiais de várias categorias. Esses materiais variam em forma e volume de acordo com as suas propriedades de degradação e deformação. As deformações, chamadas de recalque, repercutem tanto nos aspectos estruturais da obra, quanto no aproveitamento do volume e podem gerar instabilidade na massa de resíduos. Neste contexto, o objetivo deste estudo foi avaliar os recalques ocorridos em um lisímetro experimental, considerando a influência das condições climáticas e da composição dos resíduos. Para isso, foi construída uma célula experimental em formato cilíndrico, com um volume interno de aproximadamente  $0,565 \text{ m}^3$ , no Centro Experimental da Hidráulica e Saneamento Ambiental, localizado no *Campus* da UFMT. O lisímetro foi preenchido com resíduos sólidos urbanos do município de Cuiabá. Os recalques foram medidos utilizando-se placas instaladas (P1: superior e P2: inferior) entre a massa de RSU e as camadas de solo na superfície e também na zona intermediária. Os resultados obtidos mostram que a velocidade de recalque nos 15 primeiros dias para a Placa 1 foi de  $0,046 \text{ cm/dia}$  e  $0,02 \text{ cm/dia}$  para a Placa 2. Entre 30 e 90 dias de monitoramento a velocidade de recalque da placa 1 foi de  $0,48 \text{ cm/dia}$  e da placa 2 foi de  $0,35 \text{ cm/dia}$ . Verificou-se que a

maior deformação ocorreu após uma intensa precipitação, com registro de 126,3 mm, com uma deformação de 13,73 cm.

**Palavras-chave:** Recalque, Aterro sanitário, Resíduos Sólidos, Lisímetros.

## 1. INTRODUÇÃO E OBJETIVOS

Os resíduos sólidos são formados por materiais naturais ou artificiais de várias categorias, formas e tamanhos, podendo apresentar enormes variações nas suas propriedades de deformação, degradabilidade e tenacidade. Sendo assim, os mecanismos que governam as deformações em aterros são muito complexos e envolvem aspectos físicos e bioquímicos, o que torna difícil a estimativa dos recalques da massa de resíduos (ALCÂNTARA, 2007).

Espinace *et al.* (1999) *apud* Monteiro (2003) define recalque como deslocamentos verticais descendentes da superfície do aterro sanitário, sendo o ritmo de produção variável com a idade e as velocidades diminuem com o tempo, mas sempre perceptível durante os anos de um aterro sanitário.

Conforme Monteiro (2003, p 47),

*A importância de se prever recalques e sua velocidade em aterros sanitários pode-se resumir em: determinar com maior precisão a capacidade volumétrica do aterro, prever recalques diferenciais que podem provocar rupturas nos sistemas de coberturas e prever o momento no qual os recalques cessarão. Isto facilita a estimativa da vida útil do aterro com maior precisão, estimativa do momento adequado de realizar as obras de cobertura, com menor risco de falhas devido a recalques diferenciais. Uma outra finalidade de se prever recalques, bem como medir sua velocidade é entender o processo de decomposição dos resíduos ao longo do tempo e profundidade, baseando-se na magnitude e velocidade deles e medindo-os nos aterros ou estimando-os através de modelos de previsão de recalques.*

De acordo com Manassero *et al.* (1996), o ritmo de produção dos recalques é afetado por vários fatores, dentre eles: densidade e índice de vazios inicial; compactação, composição, idade e altura do aterro; teor de matéria orgânica; história de tensões; nível do chorume e sua flutuação; sistema de drenagem de líquidos e gases, bem como fatores ambientais (umidade, temperatura, gases presentes ou gerados no aterro).

Lisímetros são biorreatores que representam uma célula de RSU de um aterro sanitário em escala reduzida, constituídos por sistemas de drenagem de líquidos e gases, tubos de coletas de amostras, medidores de recalque, níveis de pressão e de água, temperatura e fluxo de gases, permitindo a obtenção de dados para estudo e construção de aterros reais (ALCÂNTARA, 2007).

Os lisímetros se apresentam como uma boa ferramenta para avaliar o comportamento biodegradativo e para o desenvolvimento de parâmetros de projetos de aterros sanitários. Desta forma, pesquisa tem por objetivo quantificar os recalques em função do tempo e clima, da sobrecarga e do processo biodegradativo dos resíduos dispostos em um lisímetro experimental, simulando aterros sanitários.

## 2. METODOLOGIA

### 2.1. Área de estudo

O experimento foi realizado no Centro Experimental de Hidráulica e Saneamento Ambiental (CEHISA), localizado nas coordenadas 15°36'33,18" S e 56°4'3,39" O da Universidade Federal de Mato Grosso, município de Cuiabá/MT.

### 2.2. Construção da célula experimental

O aterro simulado foi construído com a superposição de duas manilhas de concreto armado, com uma altura total de 2 metros, diâmetro interno de 0,6 metros e volume aproximado de 0,565 m<sup>3</sup>, com uma camada de base. A Figura 1 ilustra o corte vertical e planta baixa do experimento.

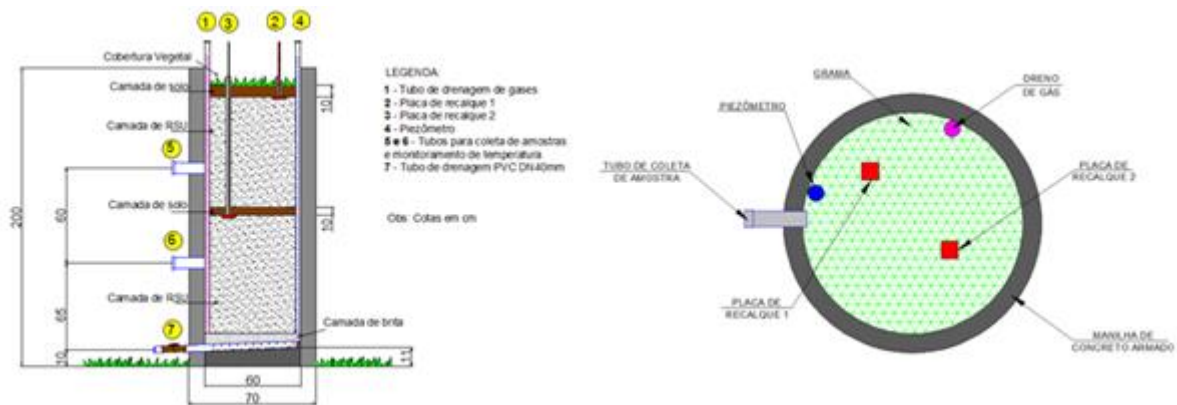


Figura 1 – Corte vertical e planta do aterro experimental

De acordo com Meira (2009), a estrutura com seção transversal circular facilita a distribuição e compactação dos resíduos no interior, dando uniformidade na distribuição das pressões laterais, evitando assim caminhos preferenciais de percolação do lixiviado e reduzindo a área de superfície lateral interna entre o lixo e a parede interna.

A camada de base é composta de concreto com traço 1:2,5:5 (cimento/areia/brita). A impermeabilização de base foi realizada com produto *vedacit* de baixo fator água/cimento. A inclinação é de 1,67% para o centro da manilha.

A camada de cobertura e intermediária foi realizada com solo provindo de um aterro industrial, localizado no município de Cuiabá. A altura de cada camada foi de 10 cm e ocupou um volume total de 56,55 litros. A cobertura final da estrutura é formada por grama.

### 2.3. Instrumentação do lisímetro experimental

O lisímetro foi dotado de tubos de drenagem, piezômetro para medição do nível de líquidos e placas de recalque (superfície e profundidade).

O piezômetro consiste por um tubo de PVC 50 mm com furos nas paredes do tubo, envolvido com nylon para evitar obstruções. Seu princípio de funcionamento foi baseado nos vasos comunicantes, onde independente do formato e dimensão do recipiente o líquido tende a atingir a mesma cota.

As placas de recalque são de seção transversal quadrada de 0,10m x 0,10m e 2 mm de espessura sendo instaladas entre a massa de RSU e as camadas de solo na superfície e também na zona intermediária, com intuito de obtenção de dados mais precisos e uma comparação mais adequada. A finalidade das placas é de verificar os deslocamentos verticais que são provocados por cargas externas, pelo resíduo depositado e pelo processo de biodegradação.

#### **2.4. Preenchimento do lisímetro**

Os resíduos foram coletados dos bairros Morada do Ouro I e II (Classe Média Alta), Centro Político Administrativo I e II (Classe Média Baixa), e Bairro Centro América (Classe Baixa). A coleta nos bairros é realizada três vezes na semana com um volume médio de 60 ton/semana.

A coleta foi realizada no período matutino conforme roteiro de coleta diária. A determinação da composição gravimétrica foi realizada no Centro Experimental de Hidráulica e Saneamento Ambiental (CEHISA) da Universidade Federal de Mato Grosso, de acordo com a metodologia utilizada por Barros (2012) denominada Quarteamento.

#### **2.5. Monitoramento do lisímetro experimental**

O lisímetro foi monitorado conforme instruções para monitoramento de aterro sanitário, consistindo em um sistema de medições de campo e ensaios de laboratório durante a fase de operação. O período de monitoramento foi de 26 de novembro de 2014 a 31 de julho de 2015, com um total de 246 dias.

O monitoramento geotécnico foi realizado pela instrumentação na célula experimental com a realização de leituras e observações de variações das grandezas de interesse, com intervalos de leitura de acordo com cada situação (risco e probabilidade de ruptura).

#### **2.6. Dados Climatológicos**

Os dados climatológicos, como temperatura Máxima e Mínima do ar, umidade relativa do ar e precipitação foram obtidos na Estação Climatológica Mestre Bombled localizada no *Campus* da UFMT e no INMET/Cuiabá.

#### **2.7. Determinação da temperatura no interior do lisímetro experimental**

As medições de temperatura foram realizadas através de um termômetro digital tipo espeto. O termômetro era inserido no interior do lisímetro por intermédio de orifícios na superfície e na parte intermediária. O controle de temperatura superficial e intermediária foi realizado diariamente durante o período de monitoramento.

#### **2.8. Determinação Recalque**

Através das placas instaladas utilizou-se como nível de referência um tubo de PVC de 40 mm que envolve a barra vertical das placas de recalque até a superfície. Assim, mediui-se o recalque do nível de referência até uma marcação feita por fita isolante na barra vertical.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

#### 3.1. Composição gravimétrica dos resíduos

Após segregação e pesagem dos resíduos coletados para preenchimento do lisímetro, observou-se que 45,8% (aproximadamente 97 kg) da massa de resíduos era composta de matéria orgânica.

Os materiais recicláveis apresentaram participação 36,25% na composição (aproximadamente 76,77 kg) da amostra que preencheu o lisímetro, possuindo maior quantidade de papel/papelão (15,4%) e plásticos (14,07%), resultando em 31,4 e 28,63 kg, respectivamente. O peso específico dos resíduos foi de aproximadamente 0,44 t/m<sup>3</sup>.

#### 3.2. Temperatura

Inicialmente as temperaturas registradas foram superiores à temperatura ambiente. Durante o período de monitoramento foram registradas temperaturas máximas em torno de 40°C com oscilações, variando de 25°C a 37°.

A média dos valores de temperatura ficou dentro de uma faixa de limites aceitável, que mostra que a degradação microbiana dos resíduos sólidos ocorre normalmente, ficando a maioria dentro da faixa mesofílica (30° a 35°). A temperatura no interior de aterros influencia na deflagração e evolução dos processos de degradação dos RSU, sendo assim é um importante indicador das reações químicas que ocorrem no interior da massa de resíduo, em função da degradação da matéria orgânica.

#### 3.3. Umidade

A Figura 2 apresenta a variação do teor de umidade durante a fase de monitoramento. A umidade inicial foi de 45%, apresentando-se acima de 40% nos primeiros 150 dias.

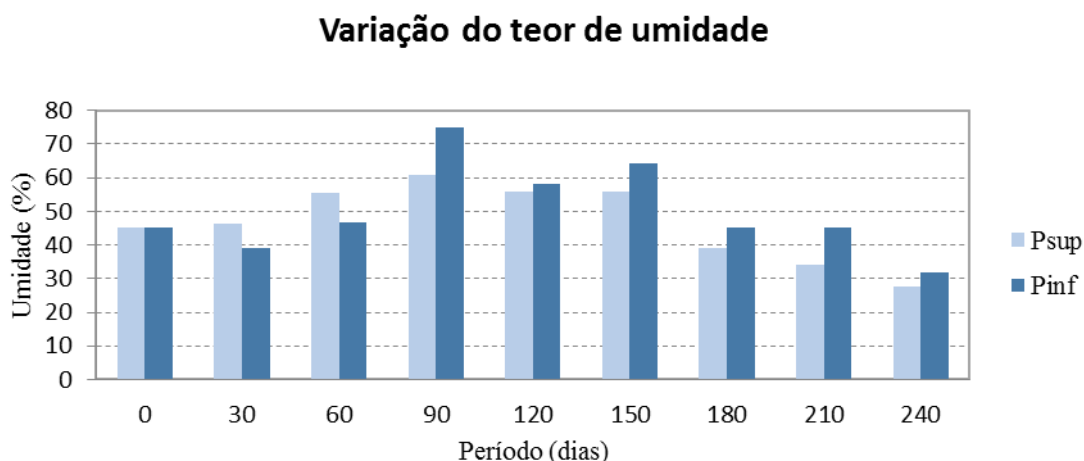


Figura 2 - Variação do teor de umidade

A umidade no interior do lisímetro esteve acima de 40% até o 150° dia para a amostra superior e até 216° dia para a amostra superior, essa redução pode ser justificada devido à perda de água por evaporação.

Segundo Junqueira (2000), o acúmulo excessivo de líquidos no interior da massa de lixo afeta os níveis de recalques em função de suas propriedades hidrostáticas, a qual distribui as tensões recebidas de modo igual em todas as direções.

Os valores de umidade para as amostras superiores nos primeiros 90 dias de monitoramento são maiores. Isso ocorre pelo fato de as precipitações serem maiores nesse período, tendo assim infiltração de água na camada superior.

Após 90 dias de monitoramento, as amostras inferiores possuíam maior teor de umidade devido à tendência de acúmulos de líquidos na parte inferior. Meira (2009) explica que quando o período de chuva reduz ou cessa, a quantidade de umidade será maior no extrato inferior já que a compactação não permite facilmente a saída deste líquido já infiltrado, isso foi verificado no interior do lisímetro em estudo.

Alcântara (2007), em seus estudos indicou que a faixa de umidade mais adequada ao processo de degradação nos aterros simulados está entre 53% a 58%.

### 3.4. Recalques

Inicialmente, a evolução do recalque foi baixa, como pode ser observado na Figura 3. Após 30 dias de monitoramento houve grande deformação em ambas as placas, apresentando recalque imediato e primário. A Placa 1 apresentou maior deformidade decorrente de ter maior compactação e por sofrer influencias das precipitações. De acordo com Melo (2003), inicialmente os recalques são mais acentuados pelo fato de a célula de resíduos apresentar grande teor de matéria orgânica, maior carga. Quando acontece a degradação dessa matéria, conseqüentemente espaços vazios vão surgindo e se expandem até um determinado limite, até suportarem a carga imposta pelo lixo.

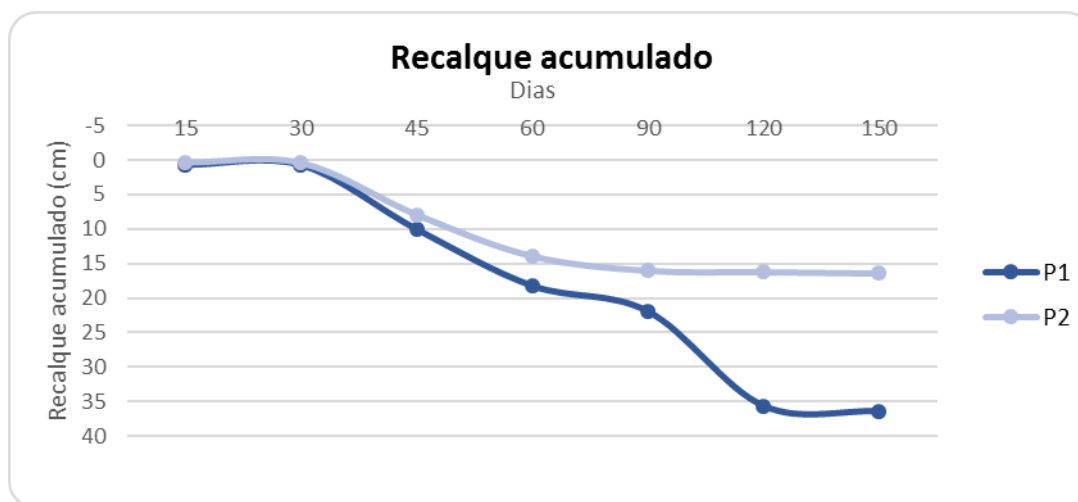


Figura 3 - Evolução temporal de recalque

A velocidade de recalque nos 15 primeiros dias para a Placa 1 (P1) foi de 0,046 cm/dia e 0,02 cm/dia para a Placa 2 (P2). No período de 30 a 90 dias de monitoramento a velocidade de recalque da placa 1 foi de 0,48 cm/dia e da placa 2 foi de 0,35 cm/dia. A maior velocidade registrada foi durante o monitoramento de 90 a 120 dias da placa 1, com 0,92 cm/dia.

Os resultados de recalque foram relacionados com os dados de precipitação na Figura 4 a seguir.

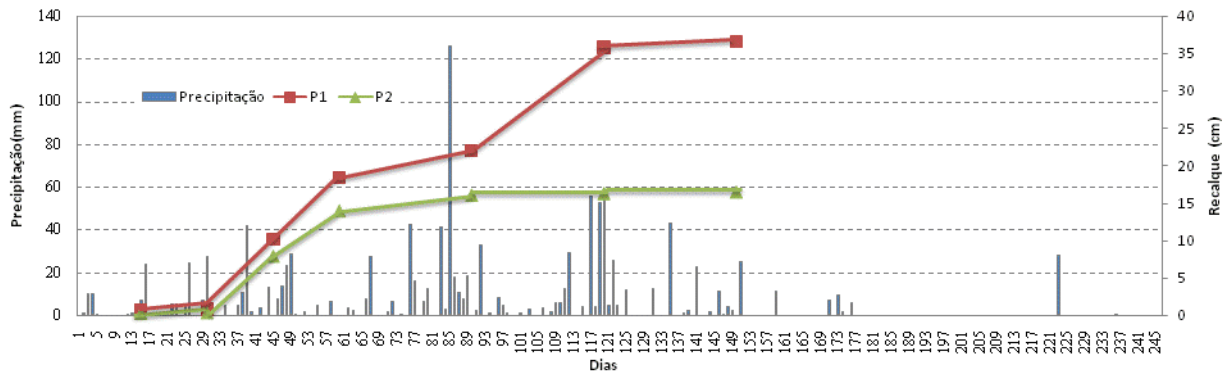


Figura 4 - Relação precipitação x recalque.

Verifica-se que a maior deformação ocorreu após uma intensa precipitação, com registro de 126,3 mm, e deformação de 13,73 cm. A precipitação ocupa os vazios na célula do lixo e na camada superior a drenagem é mais eficiente, abrindo novos espaços na camada superior. Os vazios formados não suportam a carga que estão impostos e sofrem colapso, acelerando o recalque.

Simões (2000) dentre vários outros autores, caracterizam o recalque dos aterros sanitários como um processo de três fases: compressão inicial, compressão primária e compressão secundária. A compressão inicial corresponde à deformação ocorrida quando um carregamento externo é aplicado ao aterro. Essa deformação está geralmente associada a uma redução dos vazios e dos tamanhos das partículas.

Segundo Sowers (1973) *apud* Denardin (2013) a compressão primária ocorre rapidamente, geralmente após 30 dias da aplicação do carregamento e corresponde ao recalque devido à dissipação de pressões neutras de líquidos percolados e gases. A compressão secundária acontece por processos de deformação lenta dos componentes dos resíduos e por degradação biológica da matéria orgânica. A maior parcela dos recalques que ocorrem em aterros de RSU é devido à compressão secundária, podendo atingir 25% da espessura total do maciço.

Através deste experimento pôde-se verificar também a relação entre a geração de lixiviado e as deformações nas placas. Nos primeiros 90 dias, as deformações produzidas nas placas aumentaram gradativamente. Aparentemente a geração de lixiviado seguiu esta proporção. Após 90 dias o recalque produzido na placa 2 foi praticamente constante enquanto que na placa 1 a deformação foi a maior registrada, já a geração de lixiviado nesse período sofreu redução. A precipitação ocorrida no período anterior influenciou no aumento da produção de lixiviado e do recalque da placa superficial, mas quando se teve o maior recalque produzido, a geração de lixiviado teve decréscimo. Apesar da baixa queda na geração de lixiviado, verifica-se que essa geração possui alguma influência com as deformações ocorridas na placa 1, pois a drenagem da água da chuva ocorrida na camada superior influencia no colapso dessa camada e conseqüentemente na geração de lixiviado.

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Percebe-se que as deformações verticais foram influenciadas em função da biodegradação dos resíduos e do tempo. O período de precipitações elevadas interferiu significativamente nas condições da biodegradação, nas deformações ocasionadas nas células e na geração de lixiviado. Após 30 dias de monitoramento houve grande deformação em

ambas as placas, apresentando recalque imediato e primário. A Placa 1 foi a que apresentou maior deformidade decorrente de ter maior compactação e por sofrer influências das precipitações.

A velocidade de recalque aumentou consideravelmente, sendo a maior registrada durante o monitoramento de 90 a 120 dias da placa 1, com 0,92 cm/dia e a maior deformação ocorreu após uma intensa precipitação, com registro de 126,3 mm, e deformação de 13,73 cm.

## **5. REFERÊNCIAS**

ALCÂNTARA, P. B. **Avaliação da Influência da Composição de Resíduos Sólidos Urbanos no Comportamento de Aterros Simulados**. 2007. 364p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Pernambuco. UFPE. Recife. 2007.

BARROS, R. T. V., 2012. **Elementos de Gestão de resíduos Sólidos**. Belo Horizonte: Tessitura Editora. 424 p.

DENARDIM, G. P. **Estudo dos recalques do aterro sanitário da central de resíduos do Recreio - Minas do Leão/RS**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Santa Maria, 2013.

JUNQUEIRA, F. F. **Análise do Comportamento de Resíduos Urbanos e Sistemas Dreno Filtrantes em Diferentes Escalas, com Referência ao Aterro do Jóquei Clube – DF**. Tese (Doutorado), Universidade de Brasília, 2000.

MANASSERO, M., VAN IMPE, W. F. BOUAZZA, A. “**Waste Disposal And Containment**”. Second International Congress on Environmental Geotechnics. State of the Art Reports. Vol. 1. pp. 193-242, 1996.

MEIRA, R. C. **Estudo biodegradativo dos resíduos sólidos urbanos da cidade de Campina Grande-PB em escala experimental**. Campina Grande, PB, 2009. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Campina Grande, 2009.

MELO, M. C., 2003. **Uma análise de recalques associada a biodegradação no aterro de resíduos sólidos da Muribeca**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Engenharia Civil, 2003. 127fl.

MONTEIRO, V.E.D. **Análises Físicas, Químicas e Biológicas no Estudo do Comportamento de Aterro da Muribeca**. Tese de Doutorado. UFPE. 2003.

SIMÕES, G.F. **Modelo para avaliação de recalques em aterros de disposição de resíduos sólidos urbanos**. Tese (Doutorado). Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 2000.