

ÁREA TEMÁTICA: GESTÃO AMBIENTAL

**ANÁLISE DOS DESLOCAMENTOS VERTICAIS OCORRIDOS EM UM
ATERRO SANITÁRIO EM FASE DE OPERAÇÃO**

Cláudio Luis de Araújo Neto^{1,2} (claudioluisneto@gmail.com), Renan Ítalo Leite Gurjão¹ (renan.ilg@gmail.com), Jefferson Honório Gomes da Silva¹ (jefferson389@hotmail.com), João Keverson Lima de Oliveira² (joaokeverson@gmail.com), Jefferson Rocha Trindade¹ (jeffersonrchtrindade@gmail.com), William de Paiva³ (wili123@ig.com.br)

1 Universidade Federal de Campina Grande - UFCG

2 Centro Universitário Maurício de Nassau - UNNINASSAU

3 Universidade Estadual da Paraíba - UEPB

RESUMO

O monitoramento dos deslocamentos verticais é um relevante instrumento balizador nas diversas atividades envolvidas no projeto, planejamento e operação de um aterro sanitário. Analisados de forma conjunta a outros fatores, os deslocamentos verticais, possibilitam a avaliação contínua das condições de estabilidade, direcionando diversas atividades e medidas preventivas e corretivas para manutenção do aterro sanitário. O objetivo desse trabalho foi avaliar os deslocamentos verticais ocorridos entre agosto e dezembro de 2018 no aterro sanitário em Campina Grande – PB. O monitoramento dos deslocamentos foi realizado por meio de medições topográficas, com leituras semanais da posição dos marcos superficiais em relação aos marcos fixos. Verificou-se um aumento gradativo dos deslocamentos verticais da Célula do Aterro Sanitário ao longo do tempo, com deslocamento cumulativo total máximo de 361 mm, deformação máxima de 8,7% e velocidade de deslocamento máxima de 6,36 mm. dia⁻¹. Conclui-se que o aterro sanitário segue com recalques uniformes e com velocidades estáveis de deformação, não ultrapassando os níveis de alerta.

Palavras-chave: Resíduos sólidos urbanos; aterro sanitário; recalque.

**ANALYSIS OF SETTLEMENT OCCURRED IN A OPERATIONAL
LANDFIELD**

ABSTRACT

The settlement monitoring is a relevant auxiliary for the various activities involved in the design, planning and operation of a landfill. Settlement analysis makes possible the continuous evaluation of stability conditions, coordinating several activities such as preventive and corrective measures to maintain the landfill operational. This study's main objective was to evaluate the settlements occurred in the year of 2018 between August and December in the sanitary landfill of Campina Grande - PB. The settlement measuring was performed by survey instrumentation, with weekly readings of the position of landmarks installed on the landfill. There was a gradual increase of settlement in the Landfill over time, with a maximum cumulative total displacement of 361 mm, maximum deformation of 8.7% and maximum displacement velocity of 6.36 mm. day⁻¹. It can be concluded that the landfill continues with uniform settlements and with stable velocities of deformation, not exceeding the alert levels.

Keywords: Municipal solid waste; landfill; settlement.

1. INTRODUÇÃO

O deslocamento vertical ou recalque é a diferença entre os valores da cota atual e da inicial (recalque total) ou entre os valores da cota atual e a da última leitura (recalque parcial). A velocidade

dos deslocamentos corresponde a razão entre um deslocamento parcial e o número de dias transcorridos entre as duas leituras (BOSCOV, 2008).

O monitoramento dos deslocamentos verticais é um relevante instrumento balizador nas diversas atividades envolvidas no projeto, planejamento e operação de um aterro sanitário, na estimativa e controle da vida útil, no projeto dos sistemas de drenagem interna e de superfície e no plano de utilização da área após o fechamento do aterro (KAIMOTO et al., 1999).

A interpretação dos registros de monitoramento dos deslocamentos verticais, quando realizadas de forma conjunta a outros parâmetros, possibilita a avaliação contínua das condições de estabilidade, permitindo a identificação, em tempo hábil, de alterações no padrão de desempenho previsto e a proposição de medidas preventivas e corretivas, orientando os trabalhos de conservação e manutenção do aterro (Jorge et al, 2004).

Entretanto, a instrumentação de aterros sanitários quando em fase de operação, encontra dificuldades em função da condução das atividades decorrentes da disposição dos resíduos, e por isso o monitoramento é realizado apenas após o fechamento da célula com camada de cobertura, fato que contribui para a perda de dados de deslocamentos imediatos à disposição dos resíduos. A medição desses deslocamentos também pode ser interrompida devido a mudanças de projeto ou fases de operação.

As maiores deformações ocorridas em aterros sanitários sucedem, segundo Ling *et al.* (1998), após a disposição dos resíduos, e embora que continuem a ocorrer por um longo período de tempo, passam a apresentar menores valores, chegando a promover redução de 30 a 40% da espessura inicial do aterro.

Para Melo (2003), os recalques dos maciços de RSU são considerados um dos principais problemas operativos, pois estes repercutem nos aspectos estruturais da obra e no aproveitamento do volume, sendo de extrema importância compreender a evolução dos deslocamentos diferenciais, uma vez que estes podem causar problemas na estrutura do aterro.

2. OBJETIVO

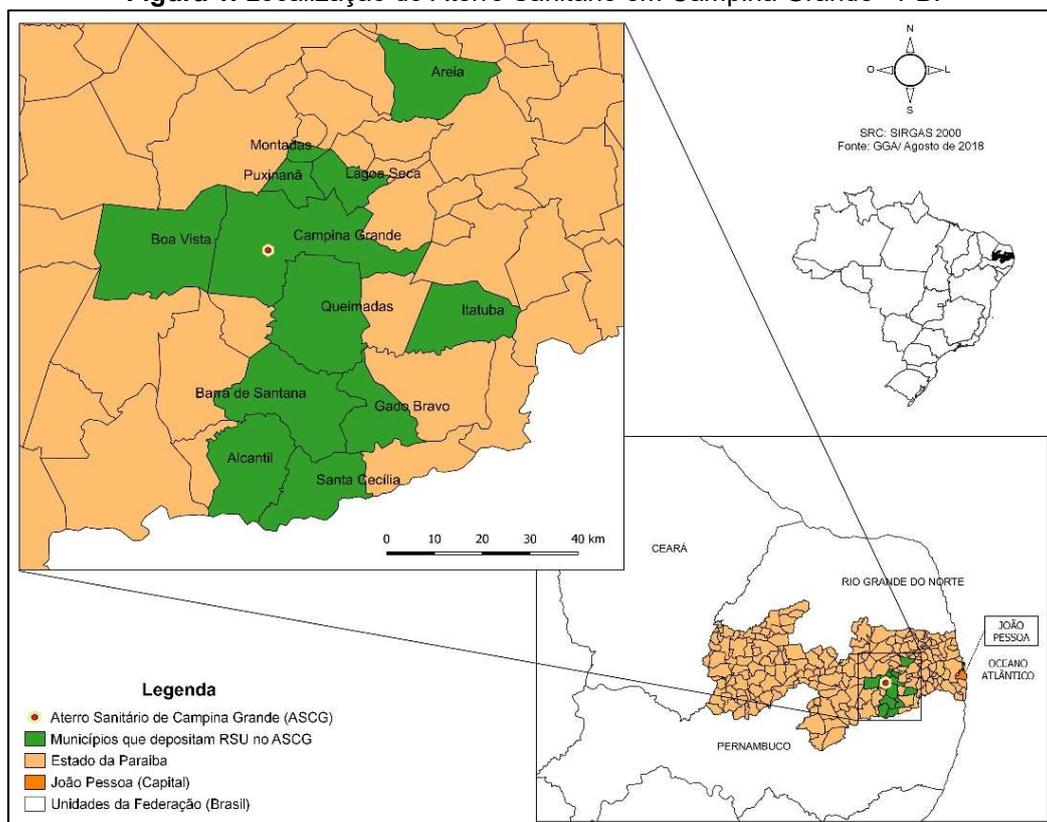
Avaliar os deslocamentos verticais de um Aterro Sanitário em Campina Grande-PB.

3. METODOLOGIA

3.1 Área de estudo

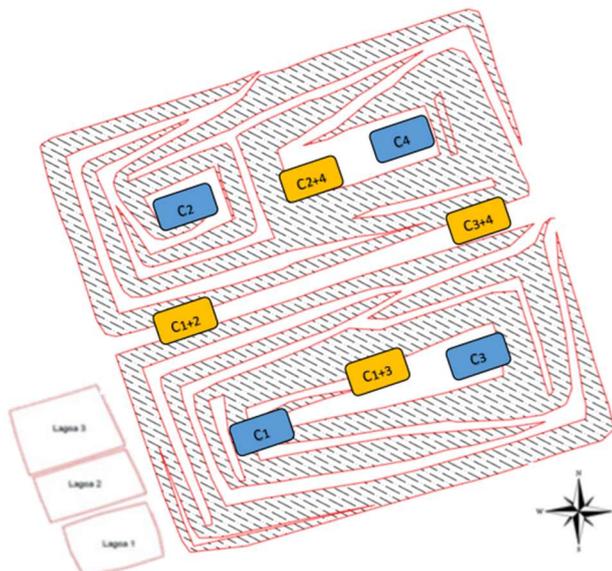
A área de estudo deste trabalho compreende o Aterro Sanitário de Campina Grande – PB (ASCG). O aterro possui uma área de 64 ha, dos quais 40 ha são destinados para a construção das células de RSU, e encontra-se localizado no Distrito de Catolé de Boa Vista, nas seguintes coordenadas geográficas: Latitude de 7°16'44,4" S, Longitude de 36°00'44,0" W. Localizado na região do Agreste Paraibano e inserido no Semiárido Brasileiro. O ASCG se encontra em operação desde julho de 2015, e foi projetado para ter uma vida útil de 25 anos, sendo operacionalizado pela empresa privada ECOSOLO GESTÃO AMBIENTAL DE RESÍDUOS LTDA. O preenchimento das células ocorre por meio de depósito de 500 t/dia de resíduos, sendo 95% desses resíduos oriundos da cidade de Campina Grande – PB e os 5% restantes provenientes de mais 11 cidades paraibanas, Boa Vista, Barra de Santana, Puxinanã, Montadas, Lagoa Seca, Areia, Gado Bravo, Itatuba, Santa Cecília, Alcantil e Queimadas, conforme ilustra Figura 1.

Figura 1. Localização do Aterro Sanitário em Campina Grande - PB.



Desde o início da operação do Aterro Sanitário em Campina Grande (ASCG) - PB, julho de 2015, foram implantadas 4 Células, denominadas de Células 1 (C₁), 2 (C₂), 3 (C₃) e 4 (C₄). Além disso, foram também dispostos RSU entre as Células 1 e 3, sendo esta área de disposição denominada de 1+3 (C₁₊₃), entre as Células 2 e 4 (C₂₊₄), e atualmente, estão sendo dispostos RSU entre as Células 3 e 4 (C₃₊₄) e entre as Células 1 e 2 (C₁₊₂), com o intuito de unificar as quatro células (C₁, C₂, C₃ e C₄) formando uma única célula (Figura 2).

Figura 2. Células do Aterro Sanitário em Campina Grande - PB.



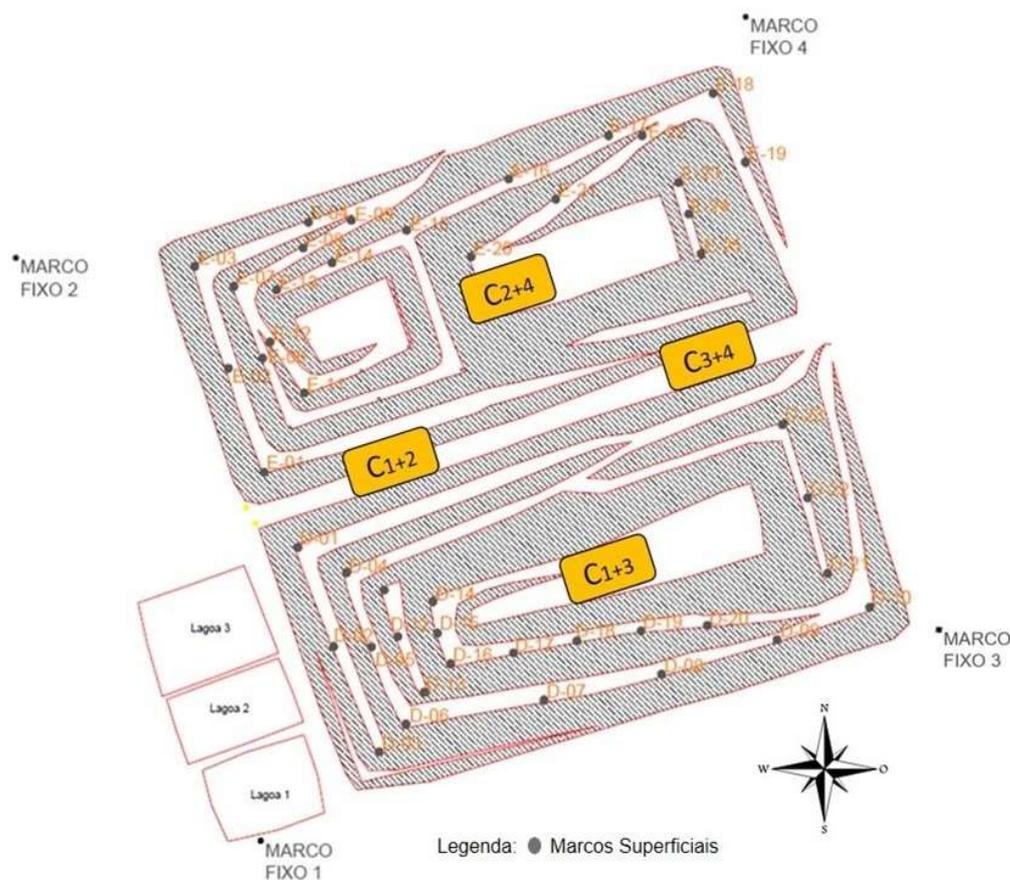
Os resultados apresentados nesse estudo correspondem ao monitoramento realizado a partir da operação de junção das células. As células antes do processo das junções já haviam sofrido deslocamentos verticais e horizontais que não serão contabilizados nesse estudo, tendo em vista que a célula assumiu uma nova geometria e toda a instrumentação foi reposicionada. Araújo Neto et al. (2018) verificou, antes da operação de junção das células, deslocamentos verticais de aproximadamente 30 cm para a Célula 1 e 60 cm para a Célula 2 do aterro sanitário em estudo.

3.2 Monitoramento dos deslocamentos verticais e horizontais

O monitoramento dos deslocamentos superficiais horizontais e verticais das Células baseia-se na NBR 11682 (ABNT, 2009). A medição dos deslocamentos é realizada por meio de levantamento topográfico utilizando-se de Estação Total, marcos superficiais e marcos fixos. A estação total realiza leituras de deslocamentos absolutos entre os marcos superficiais e os marcos fixos correspondentes, que não sofrem deslocamentos. Por meio da comparação entre as leituras realizadas semanalmente pode-se determinar as velocidades e direção dos deslocamentos dos marcos e, conseqüentemente, compreender a movimentação global do maciço.

Na Figura 3, pode-se observar a distribuição espacial de todos os marcos superficiais e dos marcos fixos na área de estudo.

Figura 3. Localização dos marcos superficiais e dos marcos fixos na área de estudo.



Os marcos superficiais, instalados no Aterro Sanitário, possuem uma altura de 0,30 m e diâmetro de 0,15 m, com um pino metálico no centro da face superior do marco (Figura 4). O monitoramento dos deslocamentos horizontais da massa de resíduos em Aterros Sanitários, por meio dos marcos superficiais, possibilita avaliar a segurança dos taludes com base nos deslocamentos medidos.

Figura 4. Marco topográfico para o monitoramento dos deslocamentos.



Com a estação total se faz leituras semanais das distâncias horizontais e verticais e o ângulo entre os marcos superficiais instalados na célula e os marcos fixos inseridos em locais que não há movimentação. Em seguida se faz a diferença da leitura inicial com as subsequentes, permitindo a medição dos deslocamentos.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Deslocamentos Verticais

As Figuras 5 e 6 apresentam o comportamento dos deslocamentos verticais da massa de resíduos da célula do ASCG e suas velocidades, respectivamente, ao longo do tempo.

Figura 5. Deslocamentos Verticais da célula do ASCG

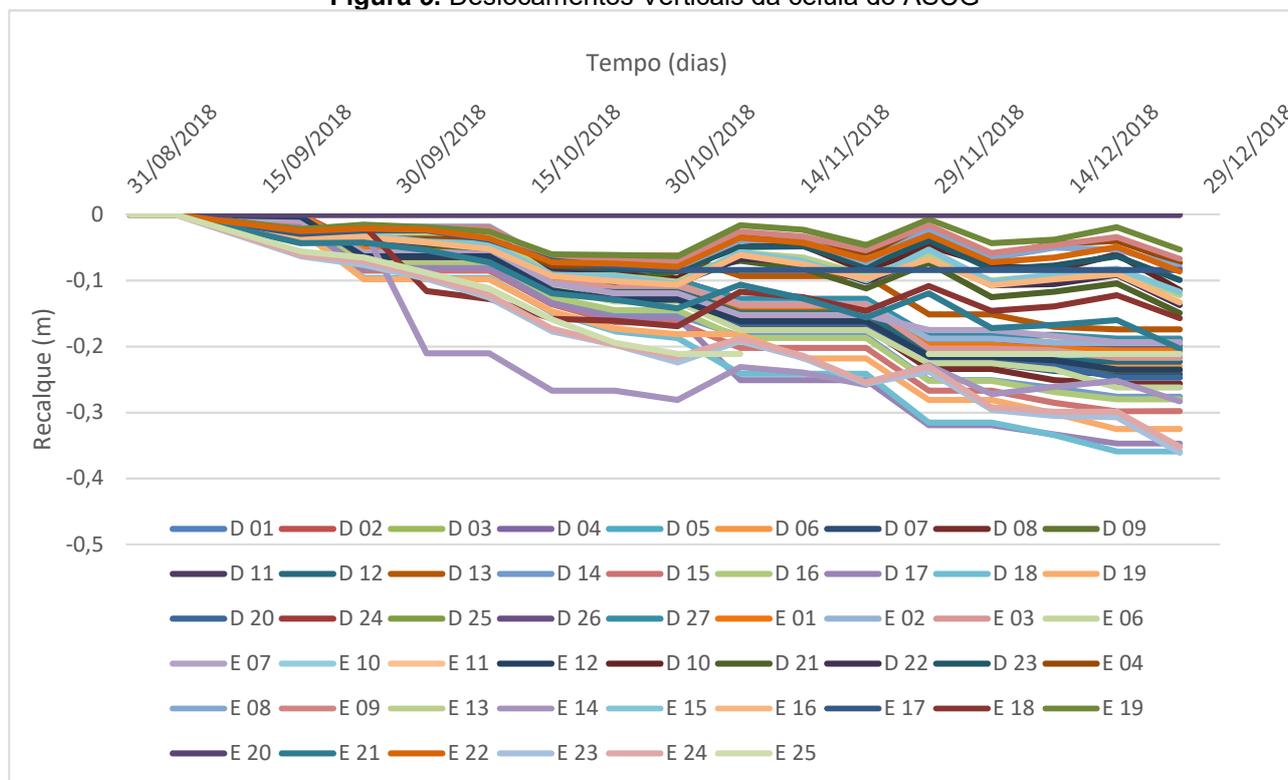
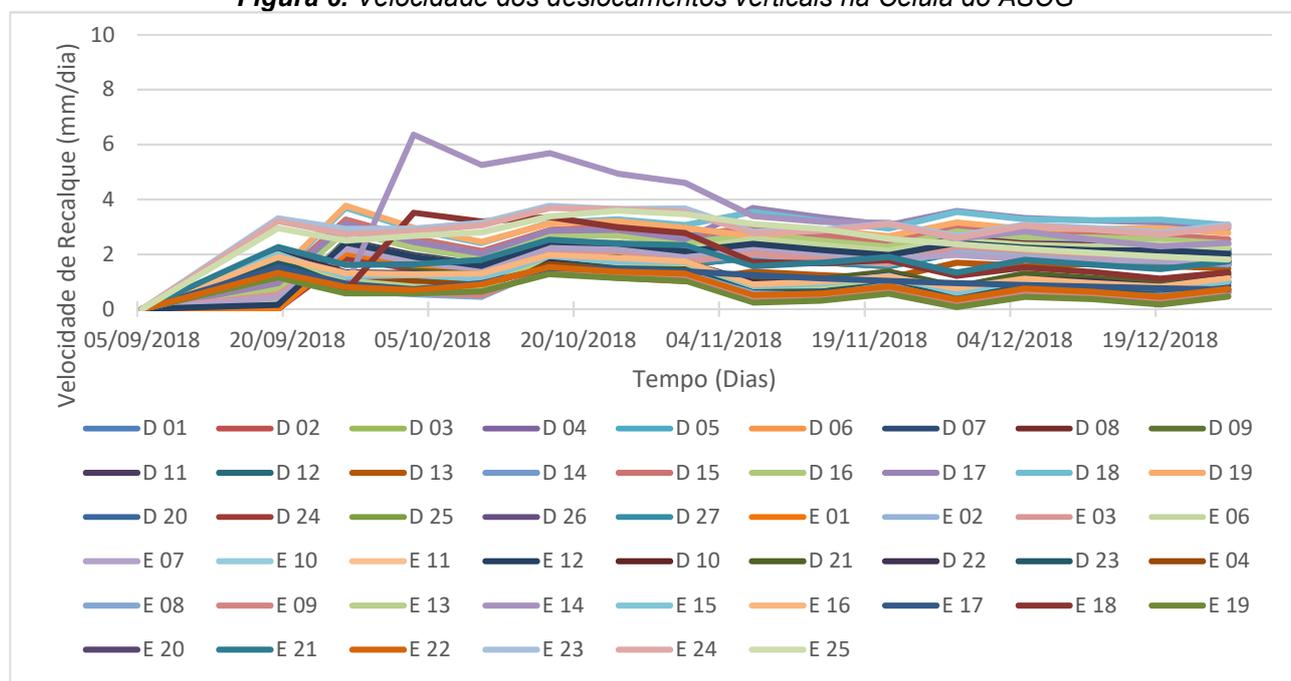


Figura 6. Velocidade dos deslocamentos verticais na Célula do ASCG



Verifica-se na Figura 5 que há um aumento gradativo dos deslocamentos verticais da Célula ao longo do tempo. Os deslocamentos não apresentam a mesma magnitude podendo contribuir para ocorrência de recalques diferenciais. O maior deslocamento cumulativo total foi verificado no Marco E23 que corresponde a 361 mm.

Em estudo realizado por Araújo Neto et al. (2017), em uma célula experimental com RSU da cidade de Campina Grande, verificou-se valores de deslocamentos verticais de mesma magnitude, quando desconsiderados os recalques imediatos, para o período de 1,5 anos de aterramento de resíduos. Observa-se na Figura 6, que no período monitorado, a velocidade dos deslocamentos verticais manteve um valor médio de 1,5 mm.dia⁻¹, e máximo de 6,36 mm.dia⁻¹, não ultrapassando os limites dos critérios de atenção, alerta ou intervenção estabelecidos por Kaimoto (2008) para aterros sanitários (Tabela 1).

Tabela 1. Critérios gerais de ação para velocidades de deslocamento para aterros sanitários

Recalque		
Atenção	Alerta	Intervenção
20 < x < 40 mm/dia	40 < x < 100 mm/dia	x > 100 mm/dia

Fonte: Adaptado de Kaimoto (2008) *apud* Benvenuto (2011).

Teixeira e Vieira (2018) estudaram os deslocamentos de um período de 5 anos e meio de dois aterros no estado do Rio Grande do Sul, o Aterro Sanitário de Minas do Leão e de São Leopoldo, e verificaram, para os meses iniciais do monitoramento, velocidades de deformação entre 3,5 e 7 mm.dia⁻¹ para o aterro de Minas do Leão e entre 0,4 e 3,2 mm.dia⁻¹ para o aterro de São Leopoldo. O aterro de Minas do Leão apresentou velocidades de deformação superiores às monitoradas no aterro sanitário em Campina Grande. Já as velocidades de deformação do aterro de São Leopoldo foram semelhantes às registradas para o aterro em estudo. Vale ressaltar que, no estudo realizado por Teixeira e Vieira (2018), o monitoramento dos deslocamentos ocorreu depois de 6 e 4 anos do início da disposição de resíduos para os aterros de Minas do Leão e São Leopoldo, respectivamente.

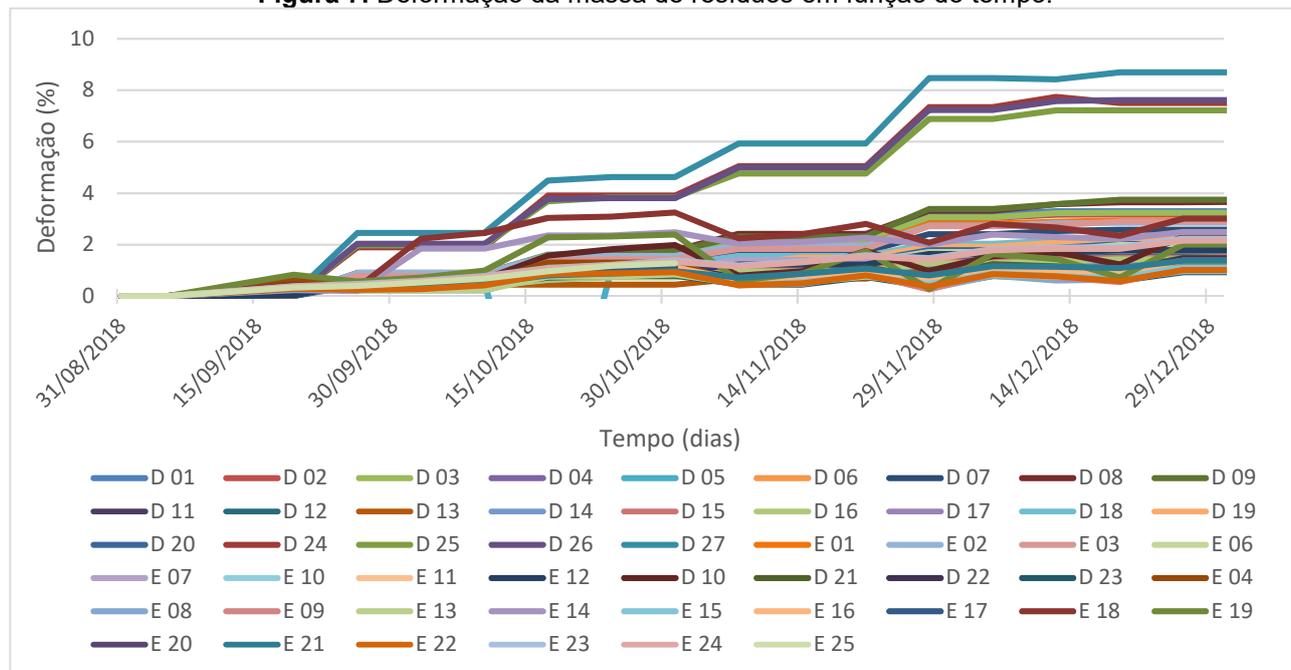
É comum que a instrumentação para monitoramento de deslocamentos em aterros sanitários geralmente ocorra após o término da operação da célula, por essa razão são poucos os estudos que abordam o comportamento dos deslocamentos de maciços sanitários durante a operação, ou até mesmo imediatamente após o término de sua operação, salvo os casos de estudo em escala piloto.

Tendo em vista que as velocidades dos deslocamentos de aterros sanitários são influenciadas pelas condições meteorológicas da região, operação e geometria das células, composição dos resíduos aterrados e idade do aterro, faz-se necessário maior tempo de monitoramento, sem interrupções, para análise do comportamento do maciço sanitário e determinação de níveis de alerta específicos para o ASCG.

4.2 Deformação da massa de resíduos em função do tempo

A Figura 8 mostra as deformações ocorridas pela massa de resíduos disposta na célula do ASCG no período de agosto a dezembro de 2018.

Figura 7. Deformação da massa de resíduos em função do tempo.



Verifica-se na Figura 8 que as deformações iniciais foram próximas a zero, indicando que já haviam ocorrido recalques imediatos, o que corresponde, conforme Joseph (2007), às variações volumétricas que o maciço sanitário sofre em curto intervalo de tempo devido a disposição dos resíduos e operação do aterro. Estas deformações geralmente são associadas a compactação e peso próprio dos resíduos. Araújo Neto (2016) verificou deformações iniciais de 10% em uma célula experimental com resíduos da cidade de Campina Grande – PB.

A deformação máxima monitorada no ASCG (Figura 8) foi de 8,7%, correspondente ao marco D 27. Outros marcos também apresentaram deformações próximas a 8%, como os marcos D 25 e D 26. Todos esses marcos representam as deformações ocorridas na primeira berma do ASCG e como eles estão a aproximadamente 5 m da base do aterro, já era esperado que eles apresentassem uma maior deformação inicial.

Já os marcos que estão próximos da crista do ASCG, apresentaram uma menor deformação inicial, isso porque seus deslocamentos verticais foram ínfimos em comparação a sua altura. Porém no decorrer do tempo espera-se que as deformações monitoradas na crista do aterro sejam superiores aqueles que ocorrem próximas à base. Para Wall e Zeiss (1995) estas deformações podem ocorrer

por um longo período de tempo, chegando a uma redução de 25 a 50% da espessura inicial do aterro.

5. CONCLUSÃO

O Aterro Sanitário de Campina Grande - PB não apresenta um histórico de dados de deslocamentos significativo para que haja conclusões substanciais. Para uma definição mais clara dos deslocamentos é necessário um histórico de dados maior, uma vez que o aterro é considerado jovem. No entanto, os dados de deformação vertical apresentados mostram que, com exceção de alguns pontos, o aterro sanitário segue com recalques uniformes e com velocidades estáveis de deformação, não ultrapassando os níveis de alerta.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, S. F. Samara Ferreira Andrade. **Aplicação da técnica de recirculação de chorume em aterros tropicais – Estudo de caso do Aterro Sanitário Metropolitano Centro (ASMC)**. 173 p., Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2014.

ARAÚJO NETO, C. L. **Análise do comportamento dos resíduos sólidos urbanos e desenvolvimento de modelos estatísticos para previsão das deformações de aterros sanitários**. 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental), Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, Paraíba, Brasil, 2016.

ARAUJO NETO, C. L.; NÓBREGA, B. M. A., SOUSA, R. B. A.; MELO, M. C.; PAIVA W.; MONTEIRO V. E. D. Statistical Modeling of Municipal Solid Waste Settlement from a Lysimeter. **SOILS AND ROCKS**, v. 40, n. 1, p. 51-59, 2017.

BENVENUTO, C. Monitoramento geotécnico e a estabilidade dos aterros sanitários. **Revista Limpeza Pública**, n. 77, p. 28-46, 2011.

BOSCOV, M. E. G. **Geotecnia ambiental**. Oficina de Textos, 2008.

JORGE, F. N., BAPTISTI, E., GONÇALVES, A. (2004) – Monitoramento em aterros sanitários nas fases de encerramento e de recuperação: desempenhos mecânico e ambiental. **Anais Sem. sobre Resíduos Sólidos**. São Paulo: ABGE.

KAIMOTO, L. S. A. **Curso de treinamento sobre Aterros Sanitários – Monitoramento geotécnico e ambiental de Aterros Sanitários** – de 14 a 16 de Outubro de 2008 e 27 a 29 de outubro de 2009. Associação Brasileira de Resíduos Sólidos e Limpeza Pública – ABLP.

LING, H. I.; LESHCHINSKY, D., MOHRI, Y.; KAWABATA, T. Estimation of municipal solid waste landfill settlement. **Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering**. v.124, p. 21-28, 1998.

MELO, Marcio Camargo De. **Uma análise de recalques associada a biodegradação no aterro de resíduos sólidos da Muribeca**. Dissertação de Mestrado Universidade Federal do Pernambuco. CTG. Engenharia Civil. Recife, xii 127 folhas. 2003.

SIMÕES, Gustavo Ferreira *et al.* Considerações sobre a Interpretação de Registros de Monitoramento de Recalques em Aterros Sanitários. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTÉCNICA, 2010, Gramado. **Anais [...]**. Rio Grande do Sul: ABMS, 201.

TEIXEIRA, Marília Coelho; PINHEIRO, Rinaldo José Barbosa. Avaliação e Previsão de Recalques nos Aterros Sanitários de Minas do Leão/RS e São Leopoldo/RS. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 23, n. 2, 2018.

WALL, D. K; ZEISS, C. Municipal Landfill Biodegradation and Settlement; **Journal of Environmental Engineering**, ASCE, V. 121, n. 3, March: 214-224, 1995.