


AVALIAÇÃO DO RECALQUE DE ATERRO SIMULADO COM DIFERENTES TIPOS DE COBERTURAS NAS CONDIÇÕES DE AÇAILÂNDIA – MA

 <https://doi.org/10.56238/arev6n4-180>

Data de submissão: 12/11/2024

Data de publicação: 12/12/2024

Welliton de Sousa Cardoso

Graduado em Tecnologia em Gestão Ambiental
Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão - UEMASUL
E-mail: wellitoncardoso.20180000926@uemasul.edu.br
ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-4967-2778>
LATTES: <http://lattes.cnpq.br/9708685539475901>

Hemily da Silva Soares

Graduada em Tecnologia em Gestão Ambiental
Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão - UEMASUL
E-mail: hemilysoares.20190006487@uemasul.edu.br
ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-3856-9734>
LATTES: <https://lattes.cnpq.br/2948437702814256>

Valéria Melo Costa Simões

Mestra em Agricultura e Ambiente
Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão - UEMASUL
E-mail: valeriam.costaa@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6563-1370>
LATTES: <http://lattes.cnpq.br/2096699379083656>

Bruno Lucio Meneses Nascimento

Doutor em Engenharia Civil - Saneamento Ambiental
Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão - UEMASUL
E-mail: bruno.nascimento@uemasul.edu.br
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7196-6502>
LATTES: <http://lattes.cnpq.br/6356823714550238>

RESUMO

Os recalques são definidos como deslocamentos verticais descendentes absolutos ou relativos do solo. Podem comprometer a estabilidade do aterro, afetam sua operação e respectivamente, aumentam os riscos de falhas podendo causar danos ao meio ambiente e a saúde pública. Estudar esse parâmetro permite desenvolver estratégias de monitoramento e diagnósticos para o gerenciamento efetivo visando a gestão do tempo de operação de cada área receptora de resíduos. Diante disto, o presente trabalho tem como objetivo avaliar os recalques de um aterro sanitário simulado com diferentes tipos de cobertura. Desta maneira, esta pesquisa foi realizada na Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão UEMASUL - Campus Açailândia. Para tanto, preparou-se a área do experimento com nivelamento do terreno e instalação da sobreposição de três manilhas de concreto armado de 0,46 m e com altura total de 1,40 m, a área total com 10 m² dispondo de 9 (nove) células experimentais com diferentes camadas de coberturas (asfalto, fibra de coco, Ipê amarelo, rejeitos de construção civil (RCC), gesso, poda triturada e solo argiloso). Em linhas gerais, verificou-se através dos monitoramentos decorridos em 210 dias que os lisímetros tiveram alterações tanto pelo fator tempo,

sazonalidade e degradação de material orgânico. Desse modo, observou-se que as coberturas de material fresado (asfalto) e cobertura de resíduos da construção de demolição (RCC) mantiveram ocorrência de recalque para todos os períodos de monitoramento. Dessa forma, as avaliações de células experimentais e a influência dos diferentes tipos de camada de cobertura são de suma importância para o entendimento dos comportamentos dos aterros sanitários.

Palavras-chave: Adensamento. Lisímetros. Matéria Orgânica.

1 INTRODUÇÃO

O crescente fluxo da produção de resíduos e o depósito de lixo em locais inadequados constituem uma potente questão de saúde pública e ambiental (Ferreira *et al.*, 2019). O aumento significativo na produção de resíduos sólidos (RS), decorrente do acréscimo populacional e dos hábitos de consumo característicos do modelo capitalista, provoca questões socioambientais quando não é gerenciado corretamente.

Essas problemáticas englobam a poluição da água, do solo e do ar, a disseminação de vetores, problemas de saúde, dificuldades no saneamento básico e o aparecimento de enfermidades (Gouveia, 2020). Cerca de 66% dos resíduos sólidos urbanos (RSU) são direcionados a aterros sanitários e aterros controlados no Brasil. Em sua grande maioria, esses aterros recebem esses resíduos sem passar por um processo de triagem ou pré-tratamento dos mesmos (Brasil, 2019). Grande parte dos municípios no Brasil adotam essa estratégia, encaminhando seus resíduos sólidos urbanos para um único ponto de descarte ao ar livre, caracterizado como lixão (ABRELPE, 2016).

Com isto, qualquer método de gerenciamento dos resíduos sólidos deve ser começado mediante um estudo a fim de se conhecer as características, fundamentalmente a massa de resíduos gerada e sua composição gravimétrica. Para se obter esses parâmetros, é realizado o estudo denominado caracterização física dos resíduos. Este estudo se demonstra como uma importante ferramenta na gestão dos RSU, permitindo a caracterização das melhores ações e a viabilização da iniciação de novas tecnologias para o tratamento e disposição desse material, como intuito na sustentabilidade ambiental para um melhor gerenciamento socioeconômico (Feam, 2019).

Segundo a (ABNT NBR 6122:2019) os recalques são definidos como deslocamentos verticais descendentes absolutos ou relativos do solo. A medição dos deslocamentos verticais e horizontais e o cálculo da velocidade característica de recalque são algumas das ferramentas para estimativa de estabilidade de aterro de resíduos, as medições também são úteis para se conhecer e avaliar os processos mecânicos e de biodegradação da massa de resíduos (Fayer *et al.*, 2019).

Em consenso com Ferreira *et al.* (2022) a camada de cobertura nos aterros sanitários exerce uma significativa importância na administração adequada dos resíduos sólidos urbanos, tendo como objetivo principal minimizar os efeitos ambientais e mitigar os riscos para a saúde pública que podem surgir da exposição dos resíduos ao ambiente que está presente em nosso entorno.

Essas camadas desempenham funções essenciais, englobando a prevenção da infiltração de água pluvial nos resíduos, evitando a formação de lixiviado em excesso e a emissão de gases poluentes, evitando também o arraste dos resíduos por conta da ação do vento. A pesquisa sobre recalques em aterros sanitários é fundamental para garantir a segurança e eficácia dessas estruturas.

Os recalques podem comprometer a estabilidade do aterro, afetando sua operação e aumentando os riscos de falhas que podem causar danos ao meio ambiente e a saúde pública. Estudar esses parâmetros permite desenvolver estratégias de monitoramento e diagnósticos para o gerenciamento efetivo visando a gestão do tempo de operação de cada área receptora de resíduos.

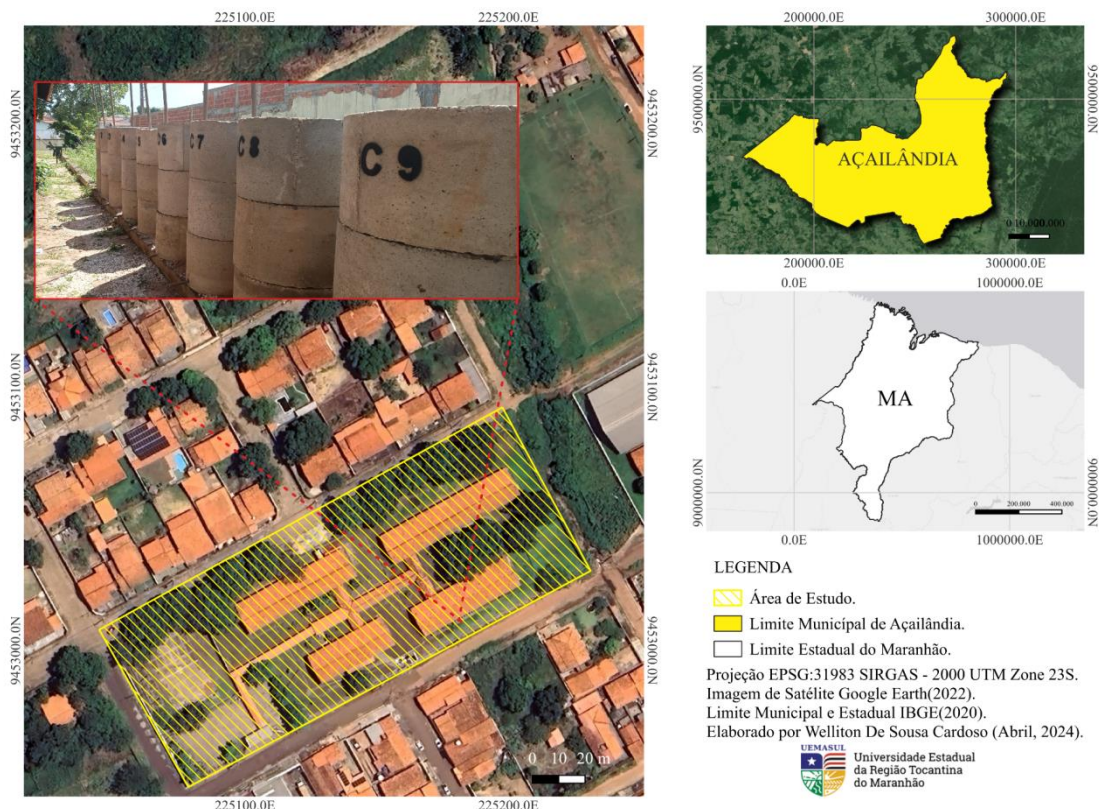
No estado do Maranhão, o município de Açailândia, embora seja a quarta maior cidade com PIB do estado, segundo o IBGE (2019), ainda dispõe de seus resíduos sólidos urbanos em lixões. Portanto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar os recalques do aterro sanitário simulado com diferentes tipos de cobertura por meio de células experimentais estabelecidas nas condições da cidade de Açailândia-MA.

2 METODOLOGIA

2.1 ÁREA DE ESTUDO E COLETA DE AMOSTRAS

O presente estudo foi desenvolvido na Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão - UEMASUL, no município de Açailândia no Maranhão. Conforme a (figura 1) a seguir.

Figura 01 - Área de estudo do lisímetro experimental em Açailândia - MA.



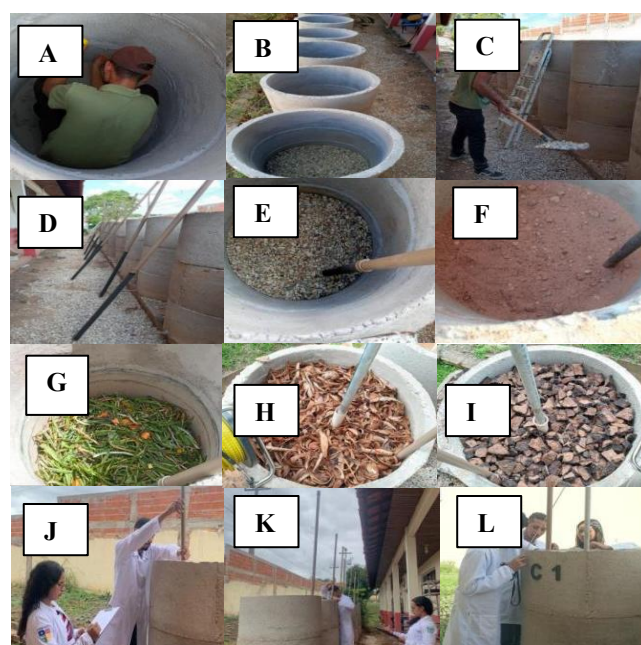
Fonte: Autoria Própria, 2024.

O procedimento de construção do lisímetro foi realizado em cinco etapas. A primeira etapa iniciou-se com o mapeamento da área. Em seguida, preparou-se a área do experimento com nivelamento do terreno e instalação da sobreposição de três manilhas de concreto armado de 0,46 m e com altura total de 1,40 m. Posteriormente, foi realizado o processo de vedação e instalação dos tubos de dreno para o escoamento do chorume.

A terceira etapa, desenvolveu-se no preenchimento das camadas bases que se deu por meio de 20 cm de camada de solo e 20 cm de camada de brita. A quarta etapa desenvolveu-se na instalação dos equipamentos de monitoramento da célula experimental, constituindo-se na implementação do piezômetro, placas de recalque, e os tubos de dreno para a coleta do chorume. O preenchimento do lisímetro foi desenvolvido através da adição dos materiais sólidos, composto pela adição de 30 cm de material orgânico e camada superior de 40 cm de solo além de 20 cm de diferentes camadas de coberturas (asfalto, fibra de coco, mudas de Ipê amarelo, rejeitos de construção civil (RCC), gesso, poda triturada e solo argiloso (branco) dispostos na tabela 1.

Para o preenchimento dos 30 cm de material orgânico, foram adicionados aproximadamente 180 kg de resíduos orgânicos (com palha de feijão, folhas de milho, cascas de abacaxi, abóboras e outras frutas e vegetais, Além de, inseridos resíduos de poda e folhas). Adquiridas na feira municipal de Açailândia, conforme descritos na (figura 2).

Figura 2 - A; Medição de 20 cm para camadas do lisímetro. B; Células experimentais. C; Preenchimento da célula experimental com camada de brita. D; Instalação dos piezômetros. E; Camada de brita. F; Camada de solo. G; Camada estruturante de matéria orgânica. H; Camada de cobertura de fibra de coco. I; Camada de cobertura de asfalto. J, K e L; Verificação dos equipamentos instalados.



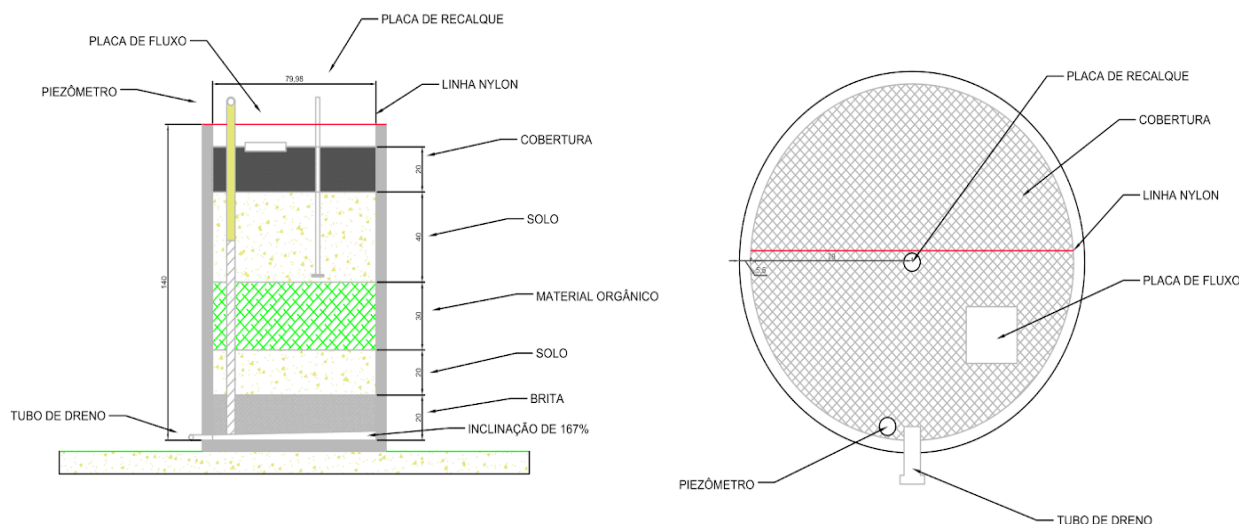
Fonte: Autoria própria, 2024.

O sistema do lisímetro foi composto por diferentes instrumentos de monitoramento, tais como; Piezômetros de tubo aberto, detector de quatro gases modelo MTK-2526, placa de fluxo, placas de recalque e termômetro tipo espeto modelo-GULterm 180°C. Dessa maneira, o piezômetro foi instalado verticalmente contendo uma altura de 2 m, sendo inserido na base inferior do lisímetro com diâmetro que percorre toda a extensão da célula experimental, sendo que o piezômetro é um importante instrumento para monitoramento de líquidos gerados em aterros sanitários (figura 3).

Os recalques instalados neste estudo são constituídos por uma barra de aço inox galvanizado de 1,80 m de altura e 10x10 cm de base, tendo como finalidade de monitoramento os adensamentos superiores gerados pelas variáveis externas e internas do lisímetro.

O monitoramento geotécnico foi realizado periodicamente, as partes monitoradas nesse estudo, constituíram os monitoramento de recalques, gases e níveis de líquidos, foram monitoradas a temperatura e as variabilidades climáticas. O monitoramento de recalque foi realizado em um tempo médio de 15 min, observando as variações entre a linha nylon fixada no topo da base da manilha e o raste do recalque verticalmente. Os monitoramentos desenvolveram-se durante o período de janeiro a agosto de 2024. Os dados Pluviométricos foram obtidos através de informações fornecidas pela CPTEC/INPE.

Figura 3 - Desenho Esquemático da célula experimental.



Fonte: Autoria própria, 2024.

Para as análises dos dados, elaborou-se a equação de decaimento de recalque (%) representada na (equação 1).

$$\text{Equação (1)} \quad \left[\frac{M2-M1}{M1} \right] \times 100$$

Onde:

M1: cm inicial do recalque.

M2: cm final do decaimento.

Para análise de velocidade de recalque foram utilizados a seguinte equação.

$$\text{Equação (2)} \quad v = \frac{\Delta f}{\Delta t}$$

Onde:

Δf : Recalque final.

Δt : Tempo em dias.

Tabela 1: Relação dos tratamentos empregados nos lisímetros.

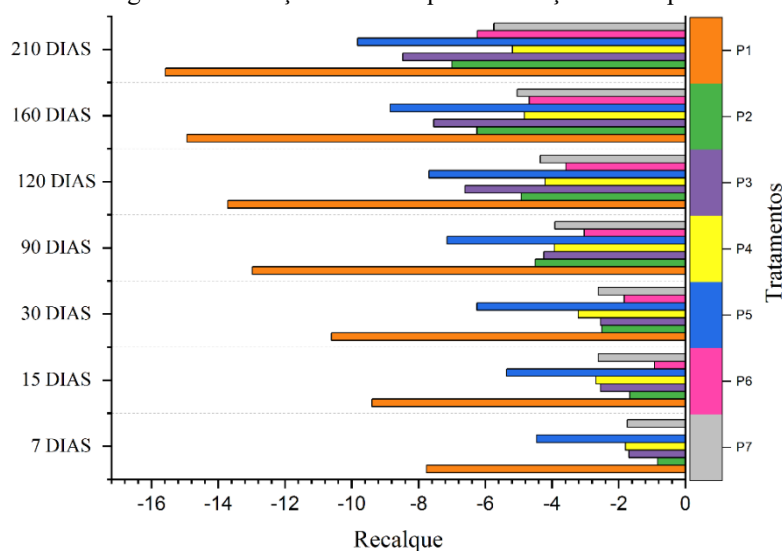
Tratamento	Cobertura
P1	Asfalto
P2	Fibra de coco
P3	Ipê amarelo
P4	Resíduo de gesso
P5	Resíduo de construção civil
P6	Poda triturada
P7	Solo argiloso (Branco)

Fonte: Autoria própria, 2024.

3 RESULTADOS

Foram avaliados neste estudo os adensamentos decorridos no período de 210 dias. De acordo com a figura 4, as variações de recalque em função do tempo relataram os maiores valores de recalque P1 (15,59%), P5 (9,82%) e P3 (8,47%). Para esse estudo, todas as placas foram avaliadas pelo mesmo período em dias e submetidas às mesmas condições climáticas.

Figura 4 - Evolução dos recalques em função do tempo.



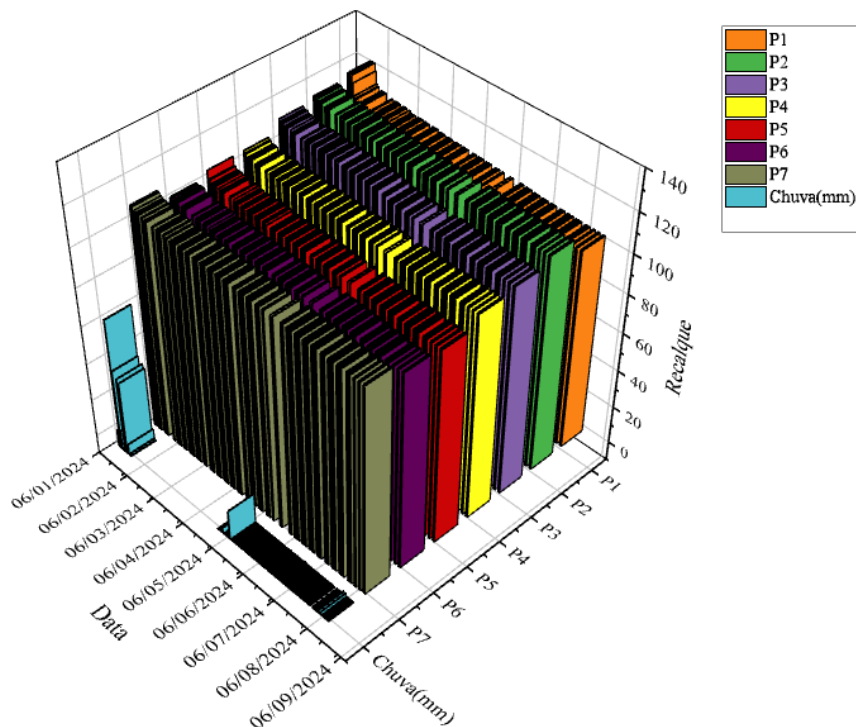
Fonte: Autoria própria, 2024.

Observa-se na (Figura 4) que os maiores valores de adensamento ocorridos, foram para as placas P1(camada de asfalto), P3(camada de Ipê) e P5(camada de resíduos de construção civil - RCC). As camadas de coberturas com maior grau de densidade P1 e P5, podendo exercer um grau de compactação imediata.

O recalque total de uma camada de solo é composto por três componentes: o recalque não drenado, ou recalque imediato, que está relacionado às deformações elásticas cisalhantes a volume constante. Logo após a aplicação da carga, o recalque por adensamento primário, que geralmente representa a maior parte do recalque total, e o recalque por compressão secundária, que se refere às deformações observadas ao final do processo de adensamento primário (Pereira *et al.*, 2019).

Além de outros fatores internos e externos, tais como temperatura interna das composições das camadas, precipitação e umidade podem contribuir decisivamente para ocorrências de recalques. Para a placa P3 essa alteração expressiva possivelmente, deve-se à contribuição da camada de cobertura de Ipê, dados pelo crescimento das raízes provocando movimentações e acarretando recalques, além de fatores internos e externos mencionados anteriormente.

Figura 5 - Recalque em função da chuva (mm).



Fonte: Autoria própria, 2024.

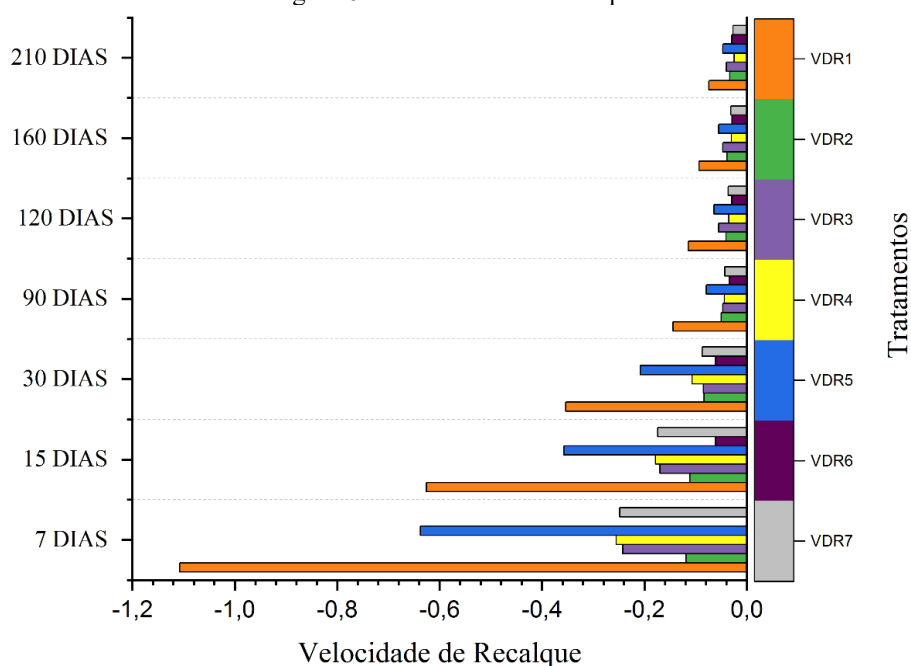
Nota-se que um dos elementos que influenciam os recalques é o fator chuva, é evidente na (figura 5) o alto volume de chuva registrado no dia 3 de monitoramento, totalizando 70,2 milímetros de chuva. Isso indica uma aceleração do ritmo de decaimento das placas.

4 DISCUSSÃO

Percebe-se que o monitoramento de recalque no período de 7 dias, onde foi verificado os maiores adensamentos obtidos nas placas (P1, P4 e P5). Em contraste, esperava-se que a placa P4 (camada de gesso) apresentasse essa mesma progressão por se tratar de um material com carga de densidade relativamente elevada em comparação às outras camadas. Seu tempo de velocidade de recalque foi menor em relação às placas (P1, P3 e P5). Verificou-se na (figura 6) que a velocidade média de recalque (VDR) para placa P4 (VDR4) foi de 0,26 cm/dia. Em contraste a placa P1 apresentou velocidade de 1,11cm/dia (VDR1) e a placa P5 com 0,64 cm/dia (VDR5).

Para as análises de 15 dias de monitoramento, observou-se uma progressão das velocidades de recalque para as placas (P1, P4 e P5) em que foram os maiores valores desse período. Já a placa (P1) verificou o maior decaimento nos primeiros 15 dias, para essa célula o material de cobertura sobreposto no lisímetros foi de (camada de asfalto), sendo um componente de alto grau de carga em comparação às demais cobertura de estudo. Além disso, com a intensa chuva nesse período em paralelo ao peso das camadas, contribuíram significativamente para o acarreamento do recalque, o que justifica o declínio intenso nos adensamentos observados na (Figura 6).

Figura 6 - Velocidade dos recalques.



Fonte: Autoria própria, 2024.

Após os 30 dias de observação, notou-se que os maiores valores de recalque foram das placas (P1, P4 e P5). Percebe-se o aumento do recalque para placa P4 (VDR4) foi de 0,11 cm/dia. A maior atividade de recalque ocorreu nos primeiros 30 dias de monitoramento, resultados semelhantes foram observados no trabalho realizado por Oliveira *et al.* (2016), que avaliaram os recalques ocorridos em um lisímetro experimental, considerando a influência das condições climáticas e da composição dos resíduos. Os autores verificaram maiores valores de recalque no período de 30 a 90 dias de monitoramento, corroborando com o comportamento ocorrido no presente trabalho.

Observa-se que as placas (P4, P5 e P6) após o período de 60 dias no período seco, obtiveram uma breve estabilização. Por não sofrerem influência das massas de água, a estrutura dos lisímetros resistiu um tempo maior para as ocorrências de recalque, contribuindo decisivamente para essa estabilização.

Durante o período de 90 dias, marcado por um período de recalques primários, observou-se valores elevados nas placas (P1 e P5). Além disso, as placas (P2 e P3) também exibiram um ligeiro aumento de adensamento. Depois de 90 dias, a placa P2 apresentou recalques significativos de 4,50%, um comportamento que se manteve nos períodos subsequentes. Visto que, a temperatura é um fator primordial nas alterações dos processos anaeróbios da matéria orgânica, logo, podem exercer influência nos adensamentos dos lisímetros. O fator tempo favorece a degradação de resíduos em especial o orgânico passando da fase sólida para líquido e posteriormente a fase gasosa. Dessa forma, a dissipação das pressões neutras de líquidos e gases, ocasionam alterações nos níveis de recalques das células experimentais.

A degradação biológica dos resíduos sólidos nos aterros sanitários gera espaços vazios dentro da massa de resíduos, resultando em recalques. Esses recalques são caracterizados pelos deslocamentos verticais e horizontais que ocorrem na massa de resíduos (Van Elk *et al.*, 2018).

Seguindo os 120 dias de monitoramento, os maiores valores desse período foram das placas (P1, P3 e P5). A placa P3 (camada de Ipê), sua velocidade de recalque para o período de 120 dias foi de (VDR3) 0,06 cm/dia semelhantemente a (VDR5) com 0,06 cm/dia.

Para o período de 160 dias os maiores valores ocorreram das placas (P1, P3 e P5). Para a placa P2 (camada de fibra de coco) seu decaimento ocorreu de forma progressiva tendo um maior acréscimo nos períodos de precipitação. A velocidade média de recalque para essa placa ocorridos em período de chuva ocorrido na primeira semana de monitoramento foi de VDR2 0,12 cm/dia no período de 7 dias para o período de 160 dias VDR2 0,04 cm/dia.

Com 210 dias foram verificados os maiores valores para as placas (P1, P3 e P5). Foram registrados recalques expressivos para placa P6 (camada de poda triturada) após 210 dias de

monitoramento com 6,24% de recalque. Sua velocidade de recalque variou de (VDR6) 0,00 cm/dia, na primeira semana a (VDR6) 0,03 cm/dia após 210 dias.

Ademais, observou-se que para o monitoramento dos 210 dias a placa P4 (camada de gesso) registrou-se o menor valor de recalque (5,18%) das coberturas de estudo, sua velocidade de recalque foi de 0,26 cm/dia para primeira semana e após 210 teve registro de 0,02 cm/dia para os adensamentos. Em contrapartida, a Placa (P4) obteve alterações significativas no período chuvoso, para o período de estiagem o recalque tencionou para sua estabilização como foi observado na (figura 5).

Em paralelo, verificou-se o comportamento análogo para a placa P7 (Solo argiloso), em sua velocidade de recalque foi observado, que nas primeiras semanas 0,25 cm/dia, indicou maiores movimentações após 120 dias 0,04 cm/dia como recalques com 210 dias de (5,75%). Destaca-se um efeito contrário para P4, onde as movimentações foram expressivas nos primeiros meses de monitoramentos, por outro lado, no tratamento P7, verifica-se maiores deslocamentos nos últimos meses de monitoramento. Pode-se relacionar a distribuição da carga superficial, diferentemente das outras coberturas menos densas (poda triturada ou fibra de coco) o gesso forma uma cobertura mais homogênea e densa, que redistribui as pressões de forma mais eficiente.

O gesso possui efeito floculante no solo, reduzindo a dispersão das partículas de argila. Esse efeito é amplamente reconhecido em solos sódicos, mas também pode ser observado em solos ácidos. Resultados positivos do uso de gesso incluem a prevenção do encrostamento superficial e a redução do adensamento em camadas do subsolo (Martins, 2024).

Para esse tratamento, sugere-se avaliações posteriores afim de verificar as movimentações em períodos com maior duração, visto que, as alterações nos recalques podem permear por uma variação maior ao longo tempo.

5 CONCLUSÃO

Através dos monitoramentos realizados, pode-se verificar que os lisímetros tiveram alterações tanto pelo fator tempo, sazonalidade, quanto degradação de material orgânico. Desse modo, observou-se que as camadas experimentais de material fresado (asfalto) e de resíduos da construção de demolição (RCC) mantiveram ocorrência de recalque para todos os períodos de monitoramento. As camadas experimentais resíduos de gesso, resíduos da construção de demolição (RCC) e poda triturada após os 60 dias em período seco, obtiveram uma breve estabilização. Conforme a avaliação, verificou-se que as camadas experimentais de solo argiloso, Ipê Amarelo, tiveram recalques expressivos após 120 dias de monitoramento e a camada experimental feita com fibra de coco após 160 dias, e para a

camada experimental de poda triturada após os 210 dias de observação. Em contraste, observa-se que a camada de gesso registrou menor valor em relação as outras camadas de estudo.

Portanto, as avaliações com células experimentais, tornam-se de suma importância para o entendimento do comportamento dos aterros sanitários e a influências dos diferentes tipos de camada de cobertura. Assim, a coleta de dados como estes fornecerão subsídios para pesquisas futuras, a comunidade científica, o poder público e o setor privado.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a Universidade estadual da região tocantina do maranhão-UEMASUL - Campus Açailândia por oferecer as condições necessárias à realização do presente trabalho, à Fundação de Amparo à Pesquisa e ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Maranhão (FAPEMA) pelo apoio financeiro e ao fortalecimento do Grupo de Estudos e Pesquisas Multidisciplinar da Região Tocantina do maranhão – UEMASUL.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS (ABRELPE). Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (2019). NBR 6122. Projeto e execução de fundações. Rio de Janeiro.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos – 2017. Brasília: MDR. SNIS, 2019.

DA CONCEIÇÃO OLIVEIRA, Eduarda et al. Resíduos sólidos, estudo de recalques em lisímetro experimental. 2016.

FERREIRA, Robson Soares. Impactos socioambientais causados pelo descarte incorreto de resíduos sólidos urbanos. Rev. Eng. Ambiental. 2019. Disponível em: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-ambiental/descarte-incorreto>.

FERREIRA, R. P. de S.; JUCÁ, J. F. T.; MARIANO, M. O. H. .; OLIVEIRA JÚNIOR, A. I. Solid Waste Group: Covering layers of sanitary landfills. *Research, Society and Development*, [S. l.], v. 11, n. 11, p. e379111133742, 2022. DOI:10.33448/rsdv11i11.33742.

FAYER, Sarah Kirchmaier et al. Monitoramento de Deslocamento Vertical de Médio Prazo em Aterro de Resíduos Classe I. In: IX Congresso Brasileiro de Geotecnia Ambiental (REGEO 2019). p. 841-848.

GOUVEIA, N. Resíduos sólidos urbanos: impactos socioambientais e perspectiva de manejo sustentável com inclusão social. *Ciência & Saúde Coletiva*, 17(6):1503-1510, 2012.

MARTINS, Lorena Sperançolo; DA COSTA SILVA, Maria Eduarda; DA SILVA, Denise Vieira. O USO DE GESSO AGRÍCOLA NA PECUÁRIA. *Revista Multidisciplinar do Nordeste Mineiro*, v. 7, n. 1, 2024.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Cidades: Produto Interno Bruto dos Municípios.

PEREIRA., Rafael/Tonon, João Pedro/Yun, Alberto Solos Moles. A Utilização De Eps Em Aterros Leves /. São Paulo, 2019.

VAN ELK, A.G.H.P. Análise Dos Deslocamentos Verticais E Horizontais Do Vazadouro De Marambaia, Nova Iguaçu - Rj. In: Congresso Brasileiro De Mecânica Dos Solos E Engenharia Geotécnica Geotecnia E Desenvolvimento Urbano, 19, Salvador, 2018.