



Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgf>



Relação entre o comportamento de variáveis meteorológicas e os teores de umidade e sólidos voláteis contidos em resíduos aterrados

Patrícia Oliveira Silva¹, José Maria Brabo Alves², Emerson Mariano da Silva³

¹Ms. em Climatologia – Universidade Estadual de Ceará – Departamento de Geografia – Fortaleza, CE, Brasil patriciaps1716@gmail.com (autor correspondente), (<https://orcid.org/0009-0006-1605-1760>); ²Dr. em Recursos Hídricos – Professor Adjunto M, Universidade Estadual do Ceará (UECE) – Departamento de Física – Fortaleza, CE, Brasil, braboalves@gmail.com (<https://orcid.org/0000-0001-6541-9855>); ³Dr. em Recursos Hídricos – Professor Titular II, Universidade Estadual do Ceará (UECE) – Departamento de Física – Fortaleza, CE, Brasil, emerson.mariano@uece.br (<https://orcid.org/0000-0002-9131-9820>).

Artigo recebido em 07/02/2024 e aceito em 14/10/2024

RESUMO

O trabalho apresentado avalia a influência do comportamento de variáveis meteorológicas dos teores de umidade e dos sólidos voláteis contidos no Novo Aterro Sanitário de Oeste de Caucaia (ASMOC), localizado na Região Metropolitana de Fortaleza, capital do Estado do Ceará. Foram realizados quatro experimentos de campo, cada um contendo oito amostras, na coleta de material para posterior análise em laboratório, entre os meses de abril e julho de 2021. Além das coletas dos resíduos sólidos, foram usados dados meteorológicos disponibilizados pela Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME) e do Instituto de Nacional de Meteorologia (INMET). Os resultados apontaram aumento da umidade do solo nas três primeiras coletas, de 44,9% para 56,7% e diminuição parcial na quarta coleta (51,1%). Resultado semelhante encontrado para os sólidos voláteis, de 47,32% para 93,10%, com diminuição parcial na quarta coleta (59,2%). Assim, conclui-se que existe uma relação direta entre a precipitação pluvial (chuvas) medida em dois postos pluviométricos da região (Caucaia e Sítios Novos) e a umidade dos resíduos sólidos, até a profundidade de quatro metros, que apontaram a presença de resíduos novos e com alto potencial para degradação e geração de biogás na região.

Palavras-chave: Climatologia. Aterro Sanitário. Teor de Umidade. Teor de Sólidos Voláteis.

Relationship between the behavior of meteorological variables and the moisture and volatile solids contained in landed waste

ABSTRACT

The work presented evaluates the influence of the behavior of meteorological variables on the moisture content of volatile solids contained in the New Sanitary Landfill of West Caucaia (ASMOC), located in the Metropolitan Region of Fortaleza, capital of the State of Ceará. Four field experiments were carried out, each containing eight samples, to collect material for subsequent analysis in the laboratory, between the months of April and July 2021. In addition to collecting solid waste, meteorological data made available by the Fundação Cearense de Meteorologia were used. and Water Resources (FUNCEME) and the National Institute of Meteorology (INMET). The results showed an increase in soil moisture in the first three collections, from 44.9% to 56.7% and a partial decrease in the fourth collection (51.1%). A similar result was found for volatile solids, from 47.32% to 93.10%, with a partial decrease in the fourth collection (59.2%). Thus, it is concluded that there is a direct relationship between rainfall (rains) measured at two rain gauges in the region (Caucaia and Sítios Novos) and the humidity of solid waste, up to a depth of four meters, which indicated the presence of waste new and with high potential for degradation and generation of biogas in the region.

Keywords: Climatology. Solid Waste. Sanitary Landfill, Moisture Content. Volatile Solids Content.

Introdução

Os processos para a geração de energia com o uso do carvão, do petróleo, do gás natural podem ser considerados o começo de uma era marcada pelo crescimento da produção, consumo, geração de resíduos sólidos e consequentes modificações indesejadas no ambiente. Contudo,

esse modelo de consumo e descarte corrobora para exploração dos bens da natureza e por outro lado gera um passivo ambiental. Desse modo, um sistema ineficiente de gerenciamento de resíduos que envolve o descarte de resíduos em aterros sanitários leva à degradação de recursos terrestres

Silva, P. O.; Alves, J. M. B.; Silva, E. M.

valiosos e emite gás metano, que gera mais gás de efeito estufa do que o dióxido de carbono (Amara, 2023).

No Brasil, a preocupação com o tema dos resíduos sólidos culminou com a publicação da Lei Federal nº12.305/2010 (Política Nacional de Resíduos Sólidos - PNRS), cujo conteúdo aborda os princípios, objetivos e instrumentos, bem como as diretrizes relativas à gestão integrada e ao gerenciamento dos resíduos sólidos, incluindo os perigosos e as responsabilidades dos geradores e do poder público (Brasil, 2010).

A PNRS prevê que todo rejeito seja enviado para disposição ambientalmente adequada, ou seja, sofra distribuição ordenada em aterros sanitários, mas esses empreendimentos não encerram os riscos inerentes aos resíduos, apenas mitigam parte dos efeitos da sua decomposição.

O volume de resíduos enviados ao aterro pode ser minimizado com a redução da geração e por outro lado com a reciclagem desses resíduos, já que a sua produção é inevitável. Assim, os resíduos sólidos e os aterros sanitários são importantes contribuintes das emissões de gases de efeito estufa. Silva (2022) diz que a heterogeneidade e o tempo de disposição dos resíduos no aterro ajudam no entendimento da geração de gases, uma vez que cada ponto apresenta uma emissão particular. Os gases, em particular, podem apresentar percentuais de metano extremamente danosos ao aquecimento global e efeito estufa, se lançados in natura na atmosfera. Investigações apontam para uma média de aquecimento entorno de 1,01 °C e as causas evidenciam a contribuição antropogênica (Silva et al, 2023).

Os Gases de Efeito Estufa (GEE) são compostos gasosos capazes de absorver radiação na frequência do infravermelho, aprisionando calor na atmosfera. Ao reter calor, os GEE causam a ampliação do efeito estufa, ocasionando o aquecimento global (USEPA, 2016). Ani *et al* (2024) constatou que o processo de enterramento de resíduos em aterros sanitários é o que tem maior efeito no aumento da emissão de GEE (850 kg de CO² por tonelada de resíduos), os autores concluem que dentro dos sistemas analisados, o processo de reciclagem implica na diminuição significativa da

produção de gases, dentre os sistemas de gerenciamento de resíduos.

Conforme o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) (2001), o metano, por exemplo, pode ser até 21 vezes mais prejudicial que o dióxido de carbono, justificando o crescimento do número de pesquisas sobre resíduos, aterros sanitários e seus gases de emissão em todo o mundo. Nesse sentido, estudar a qualidade dos resíduos sólidos é uma forma indireta de entender sua decomposição e a consequente geração e emissão de gases pelos aterros sanitários, contribuindo para o monitoramento ambiental e geotécnico dessas obras.

O presente estudo foi desenvolvido dentro do novo Aterro Sanitário de Caucaia, juntamente com pesquisa de dados meteorológicos da região. O estudo tem como objetivo geral analisar o comportamento dos teores de umidade e de sólidos voláteis com variáveis meteorológicas e a geração de gás de resíduos sólidos recém aterrados. Quanto aos objetivos específicos, o estudo visa determinar os teores de umidade e sólidos voláteis e relacionar com a pluviometria em áreas próximas ao aterro.

Material e métodos

A região em estudo está contida na região semiárida do Nordeste do Brasil (NEB), apresenta alta variabilidade interanual e intrasazonal da precipitação pluvial, com a influência térmica dos oceanos Pacífico e Atlântico Tropical. O clima da região caracteriza-se como semiárido, com dois períodos distintos, correspondendo um deles ao período seco, que se prolonga por sete a oito meses do ano, e outro chuvoso que em geral acontece de janeiro (pré-estação chuvosa) a maio de cada ano. O período chuvoso da região é curto e concentrado, refletindo-se no acúmulo de água na superfície, que escoa para os reservatórios hídricos da região (Alves; Servain; Campos, 2009).

Para esta pesquisa foram coletas amostras de material no maciço do Novo Aterro Sanitário de Oeste de Caucaia (ASMOC), localizado na Região Metropolitana de Fortaleza, capital do Estado do Ceará distante (Figura 1).



Figura 1 - Localização do ASMOC.

O ASMOC começou a operar em dezembro de 2019 e foi projetado para receber os resíduos da cidade de Fortaleza e Caucaia com segurança por 16 anos desde que a operação seja feita de maneira correta seguindo o manual de operação, possui área total de 123 hectares de extensão. Atualmente recebe cerca de 4.500 toneladas de lixo diariamente.

Durante os trabalhos de campo, a primeira célula do aterro estava com 12 metros de altura. Diferentemente da área antiga, o novo aterro sanitário possui manta de PEAD no fundo das células, tratamento dos lixiviados por lagoas de estabilização e osmose reversa e drenagem de gases totalmente interligada com a planta da empresa de beneficiamento e purificação de gases.

De acordo com a norma brasileira NBR 8419/1992 da ABNT, os aterros sanitários são

obras de engenharia que observam normas operacionais específicas para evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança e que buscam minimizar impactos ambientais adversos.

Os trabalhos de coleta de amostras em campo foram realizados em 04 campanhas: 1ª (abril), 2ª (maio), 3ª (junho) e 4ª (julho) de 2021. Essa distribuição seguiu a disponibilidade dos técnicos no aterro sanitário. Em cada campanha foram realizadas escavações em 04 pontos do platô com uma retroescavadeira, conforme a distribuição física mostrada na Figura 2. Em cada ponto foram coletadas 02 amostras (1kg aproximadamente) de resíduos aterrados a 4,0m de profundidade, com o auxílio de uma retroescavadeira, totalizando 32 amostras. As amostras foram acondicionadas em sacos plásticos e levadas imediatamente para análises laboratoriais, (Figura 3).

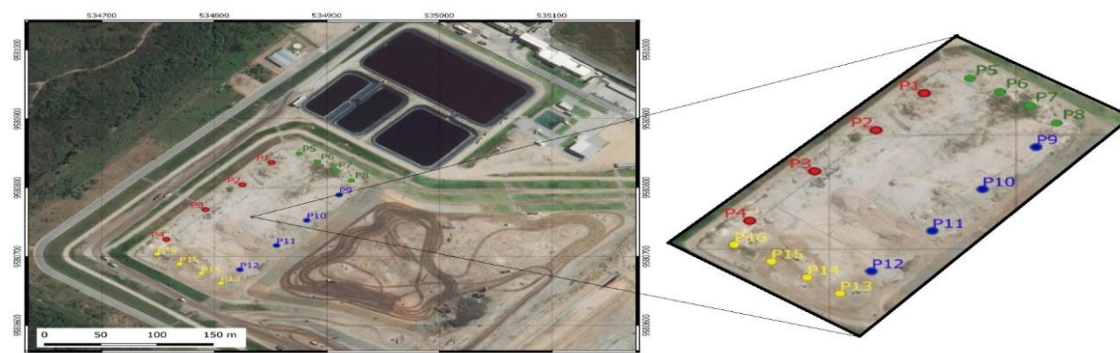


Figura 2 - Apresentação dos Pontos de Amostragem sobre o Platô do ASMOC.



Figura 3 – Escavação, retirada e acondicionamento de resíduos no ASMOC.

Os teores de umidade e de sólidos voláteis foram determinados no Laboratório de Mecânica dos Solos do Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental (DEHA), Universidade Federal do Ceará (UFC).

Para a umidade, as 32 amostras de 10g ficaram na estufa durante 48 horas a 60°C (período necessário para estabilização da massa nas pesagens), Figura 4. Todas as determinações seguiram o método da base úmida (AIRES, 2013). O cálculo do Teor de Umidade é demonstrado na Eq (1):

$$\%W_w = \frac{(\text{Massa Úmida} - \text{Massa Seca})}{(\text{Massa Seca} - \text{Massa do recipiente})} \times 100 \quad (1)$$



Figura 4 - Determinação do teor de umidade dos resíduos

A determinação do teor de sólidos voláteis foi executada conforme o Methods Of Sewage Sludge Solid Waste And Compost - Who (1979). Após as amostras previamente secas na estufa, as mesmas são colocadas em dessecador a vácuo e

pesada em balança analítica. Resultados inseridos na fórmula Eq. (2) para obtenção do Teor de Sólidos Voláteis. As 32 amostras de 5g ficaram durante 3 horas na mufla ajustada a 550°C, Figura 5.

$$\%SV = \frac{(\text{Massa Inicial} - \text{Massa Final})}{(\text{Massa Inicial})} \times 100 \quad (2)$$



Figura 5 - Determinação do teor de sólidos voláteis dos resíduos

As características meteorológicas/climáticas estabelecem interação no comportamento de aterros, em virtude da sua interferência com as propriedades físico-químicas e biológicas que regem os resíduos aterrados (Monteiro, 2003).

Os dados de precipitação são importantes, pois podem influenciar diretamente na biodegradação dos resíduos, uma vez que pode ocorrer infiltração nas camadas de coberturas e afetar desenvolvimento microbiano (Araújo, 2015). Regiões áridas e semiáridas, a infiltração das águas de chuva pela cobertura segue menor volume e a biodegradação da matéria orgânica

pode ser prejudicada pela ausência de umidade, isto é, as poropressões geradas nos maciços de resíduos podem ser consideradas desprezíveis. No entanto, em regiões com elevado índice pluviométrico, a biodegradação da matéria orgânica é acelerada devido ao aumento da umidade dos resíduos e das poropressões (Bahia *et al*, 2024).

As informações climáticas da região foram obtidas através da página eletrônica da Fundação Cearense de Meteorologia e Recurso Hídricos (FUNCEME) e do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Foram registradas chuvas durante o período da pesquisa de campo, Figura 6.

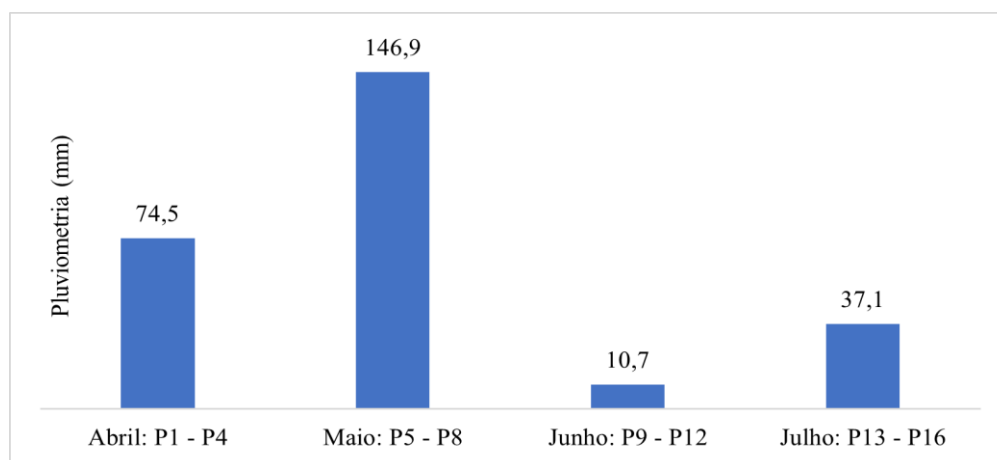


Figura 6 - Índice pluviométrico médio dos Pontos P1 ao P16 (Postos Caucaia e Sítios Novos)

Segundo a Organização Mundial de Meteorologia (OMM) a área de representatividade

Silva, P. O.; Alves, J. M. B.; Silva, E. M.

de uma estação de observação meteorológica pode variar de 2.000 km² a 10.000 km² dependendo da

heterogeneidade do relevo da região. Localidades com relevo homogêneo podem ter menor densidade, uma estação a cada 10.000 km², enquanto regiões com relevo acidentado e com muita variação de altitude precisam de uma

densidade maior, uma estação a cada 2.000 km² (OMM, 2007).

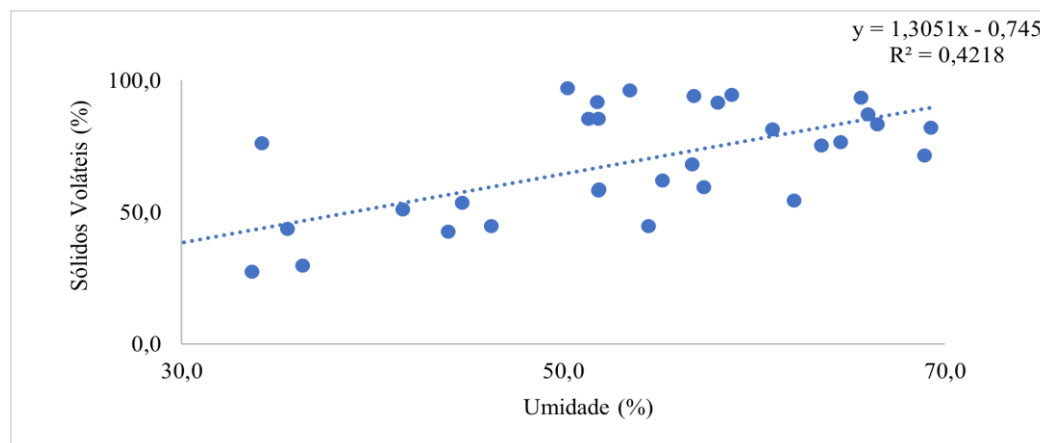


Figura 7 - Correlação linear entre os Teores de Umidade x Sólidos Voláteis

A Figura 7 mostram a correlação entre os teores de umidade e de sólidos voláteis ao longo da pesquisa, a análise de Correlação de Pearson, que tem objetivo exploratório servindo como elemento auxiliar na análise da relação entre variáveis, mostrou $r=0,65$, isso quer dizer que os parâmetros apresentam correlação amostral positiva forte.

Resultados e discussão

Ao analisar as amostras coletada em campo na 1ª campanha (abril de 2021), os teores de umidade variaram entre 38,56 (Ponto 3) e 50,73% (Ponto 2). A média das 08 amostras resultou em 44,94% de umidade. Já os teores de sólidos voláteis, variaram entre 37,24 (Ponto 1) e 60,97% (Ponto 2). A média das 08 amostras resultou em 47,32% de sólidos voláteis. Naquele mês, conforme dados da FUNCEME, choveu 74,5 mm (média dos Postos Caucaia e Sítios Novos). A distribuição dos resultados dessa campanha está na Figura 8.

Durante a 2ª campanha (maio de 2021), os teores de umidade variaram entre 53,51 (Ponto

8) e 64,02% (Ponto 7). A média das 08 amostras resultou em 59,66% de umidade. Já os teores de sólidos voláteis, variaram entre 60,24 (Ponto 8) e 84,53% (Ponto 6). A média das 08 amostras resultou em 73,51% de sólidos voláteis, conforme distribuição mostrada na Figura 8. Naquele mês choveu 146,9mm.

Durante a 3ª campanha (junho de 2021), os teores de umidade variaram entre 51,04 (Ponto 12) e 61,85% (Ponto 11). A média das 08 amostras resultou em 55,84% de umidade. Já os teores de sólidos voláteis, variaram entre 91,34 (Ponto 12) e 95,44% (Ponto 19). A média das 08 amostras resultou em 93,10% de sólidos voláteis, conforme distribuição mostrada na Figura 8. Naquele mês choveu 10,7 mm.

Durante a 4ª campanha (julho de 2021), os teores de umidade variaram entre 31,27 (Ponto 13) e 66,90% (Ponto 15). A média das 08 amostras resultou em 51,09% de umidade. Já os teores de sólidos voláteis, variaram entre 24,36 (Ponto 13) e 79,38% (Ponto 15). A média das 08 amostras resultou em 59,16% de sólidos voláteis, conforme distribuição mostrada na Figura 8. O registro pluviométrico foi de 37,1 mm.

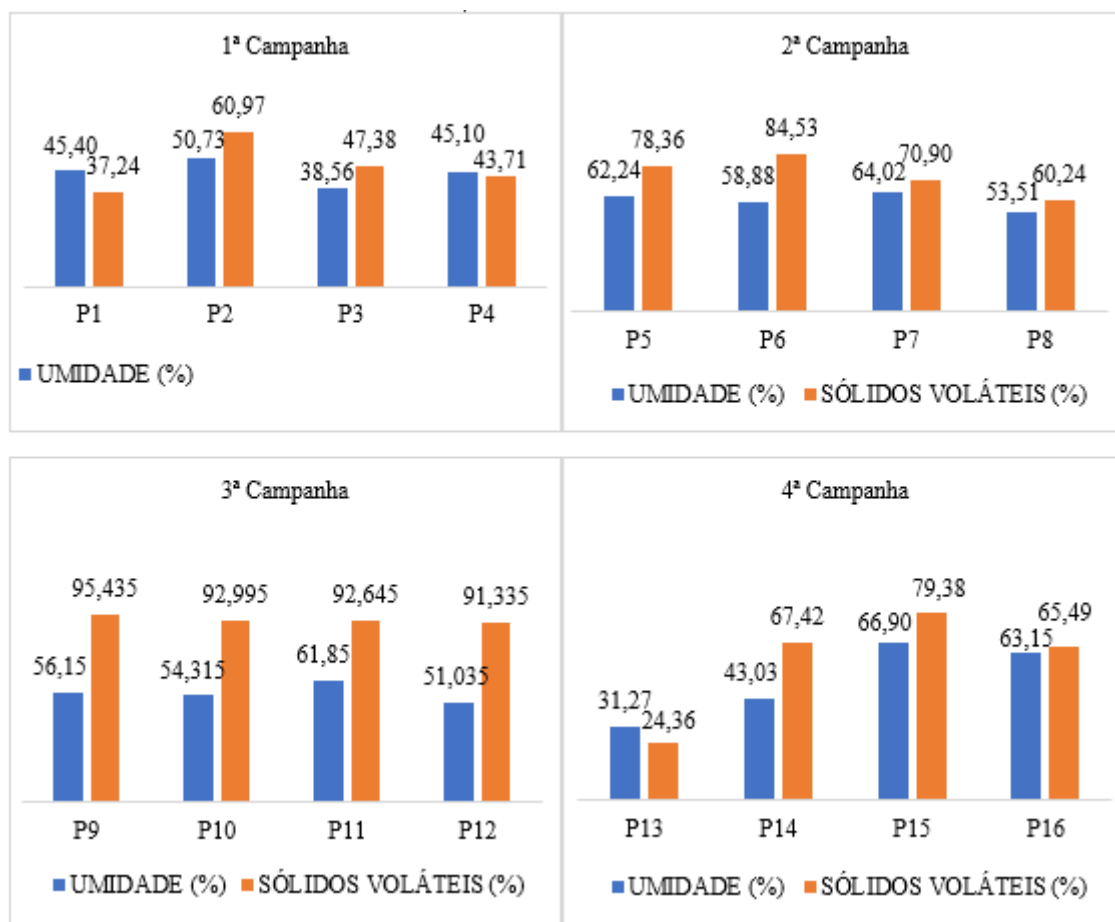


Figura 8- Teores de Umidade e Sólidos Voláteis (%) dos resíduos - campanhas

Sobre a Umidade dos Resíduos

Os resíduos sólidos possuem características físicas, químicas e biológicas muito particulares a cada região e época, limitando comparações. De todo modo, os valores obtidos são semelhantes aos de Padilla, Simões e Catapreta (2007), que encontraram umidade variando entre 32,82 e 61,06%; Alves (2008), que obteve 45,00%; Oliveira (2011), que obteve entre 37,43 a 55,83%.

Os valores médios obtidos por Alcântara (2007) indicaram que a faixa de umidade mais adequada ao processo de degradação nos aterros experimentais variou de 53 a 58%. O autor menciona outras pesquisas, em estudo similar, que os valores médios variaram entre 44 e 56%, valores similares ao desta pesquisa. Esses percentuais contribuem para um aumento exponencial da produção de metano com umidade na faixa de 25 a 60%.

O teor de umidade tende a aumentar com o aumento do percentual de matéria orgânica (Landva E Clark, 1990), Por outro lado, Emara (2023) salienta que a matéria orgânica, fonte para

compostagem, tem significativo valor econômico agregado para a cadeia de gerenciamento de resíduos.

O incremento da biodegradação e a profundidade do aterro também colabora para o aumento da umidade (Gabr E Valero, 1995). Silva (2021) acrescenta que o crescimento dos líquidos reduz a estabilidade geotécnica do aterro sanitário, influencia na degradação dos resíduos e na produção de gases e podem sobrecarregar os sistemas de drenagem e tratamento.

Dentro da geotecnia, a curva de retenção de água ou curva característica sucção-umidade corresponde a relação entre a sucção do solo e a quantidade de água retida pelo material poroso, podendo este conteúdo de água retida ser expresso em termos de umidade gravimétrica, umidade volumétrica ou grau de saturação, esses estudos têm sido utilizados como uma ferramenta eficiente para avaliação de solos (Oliveira Junior *et al*, 2023).

Durante o trabalho de campo, as diferenças nos teores de umidade eram claramente percebidas:

em alguns pontos, os materiais retirados das escavações tinham o aspecto seco enquanto em outros pareciam bem mais úmidos.

Variação da Umidade e da Precipitação Pluviométrica

A pesquisa também verificou uma relação entre os dados da FUNCEME (Postos Caucaia e Sítios Novos) e a umidade dos resíduos,

especialmente na segunda campanha, onde foram observados os maiores índices pluviométricos (146,9 mm) e os maiores teores de umidade (média 59,66%). Esse acréscimo de água pluvial também ajudou a elevar os resultados da umidade na 3ª e 4ª campanhas, mas de forma mais suave, Figura 9.

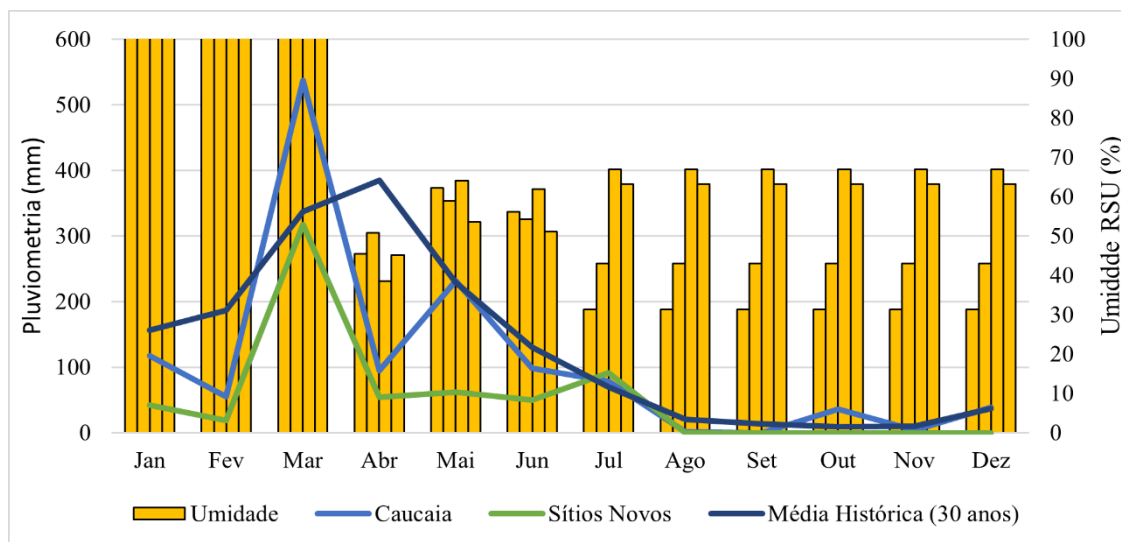


Figura 9 – Pluviometria x Umidade.

Das chuvas que precipitam sobre um aterro sanitário parte escorre e outra evapora; parte será assimilada pelos solos de cobertura (que geralmente passam a maior parte do ano secos) e só uma pequena porção das águas infiltrará a ponto de encontrar os resíduos e alterar seu teor de umidade.

Existe interação direta entre a superfície do aterro e a atmosfera conforme observa Araújo (2015), o autor diz que a camada superior de resíduos aterrados está em contato direto com a camada de cobertura, ocorre troca de umidade, calor e energia com ar atmosférico, o que pode favorecer a redução do teor de umidade.

Sobre os Sólidos Voláteis

Citar:

evidenciar os resultados desta pesquisa

Para Araújo (2015) os sólidos voláteis podem-se considerar como o total de matéria orgânica contida nos resíduos sólidos. O controle dos sólidos voláteis serve como monitoramento indireto da atividade microbiana (Monteiro, 2003). Os sólidos voláteis sendo considerado um

indicador de degradabilidade dos resíduos ao longo do tempo deve haver também relação com maior ou menor emissão de gases de efeito estufa. Em uma período de 1 anos, Silva, Santos e Silva (2023) observaram que o teor médio de sólidos voláteis passou de 68,28% para 31,72%, ou seja, uma redução média de 36,56% em um ano.

Os resultados obtidos estiveram próximos dos alcançados por Alves (2008), em Jaboatão dos Guararapes (PE): entre 40,9 e 56,9%. Já em Cruz das Almas (BA) a amplitude foi maior: entre 33 e 63% (Oliveira, 2011).

Para Fucale e Jucá (2002), que estudaram os resíduos do Aterro de Muribeca - PE, sólidos voláteis variando entre 5 e 20% indicam que quase toda a matéria orgânica já sofreu degradação, ou seja, que o lixo é antigo e em estágio de decomposição avançado (diferentemente do observado nesta pesquisa: dos 16 valores médios obtidos, apenas um esteve próximo do intervalo dos autores; 24,36%, no Ponto 13).

Cunha (2009) obteve resultados médios entre 30,1 e 48% de sólidos voláteis, o autor atribuiu a alta oscilação do parâmetro a possibilidade de haver presença de matéria

orgânica altamente voláteis, porém com baixa biodegradabilidade, tais como: papéis, papelão e tecidos vegetais.

Schirmer *et al* (2016) ao analisarem os componentes principais dos resíduos de aterro constataram que após 91 dias os teores de sólidos voláteis variavam de 55 a 65% (base seca) e 44 a 51% (inóculo). Tomando a literatura como base, os autores consideram o resíduo estabilizado na faixa de sólidos voláteis de 10 a 17%.

Possível Relação entre os Parâmetros em Análise e a Pluviometria

Os maiores registros de chuva ocorreram em março e maio, e foram observados aparente e

pequeno aumento dos teores de umidade e sólidos voláteis nos meses subsequentes. Esse aumento ocorreu de forma não imediata ao registro das chuvas, ou seja, houve certo atraso na resposta dos parâmetros. É sabido que parte das chuvas que precipitam sobre os Aterros Sanitários escorrem e evaporam; outra parte será assimilada pelos solos de cobertura (que geralmente passam a maior parte do tempo secos) e só uma pequena porção das águas infiltram a ponto de encontrar os resíduos.

A Figura 10 mostra o comportamento dos teores de umidade e sólidos voláteis frente a pluviometria mensal em 2021.

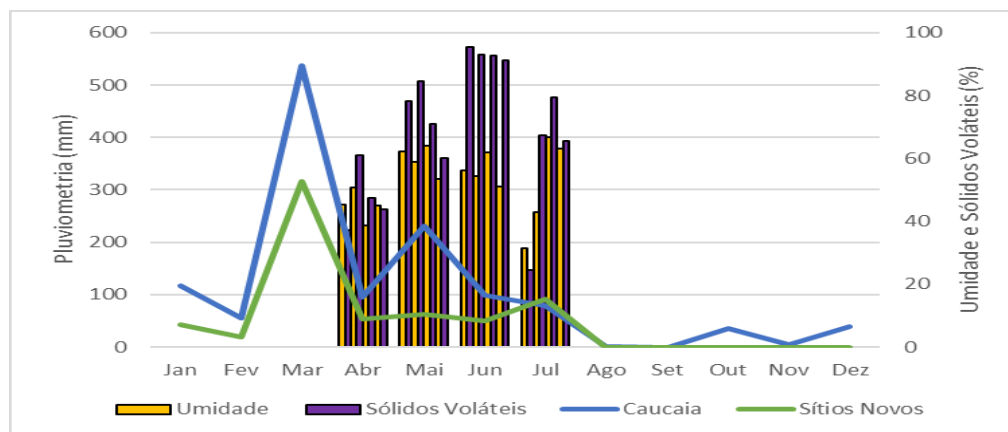


Figura 10 – Pluviometria x umidade/sólidos Voláteis

A Figura 11 mostra as anomalias, normalizadas pelo desvio padrão, em entre as variáveis umidade e sólidos voláteis, é possível observar constância dos valores nos pontos 5 a

12, possivelmente períodos de resposta as chuvas de abril e maio.

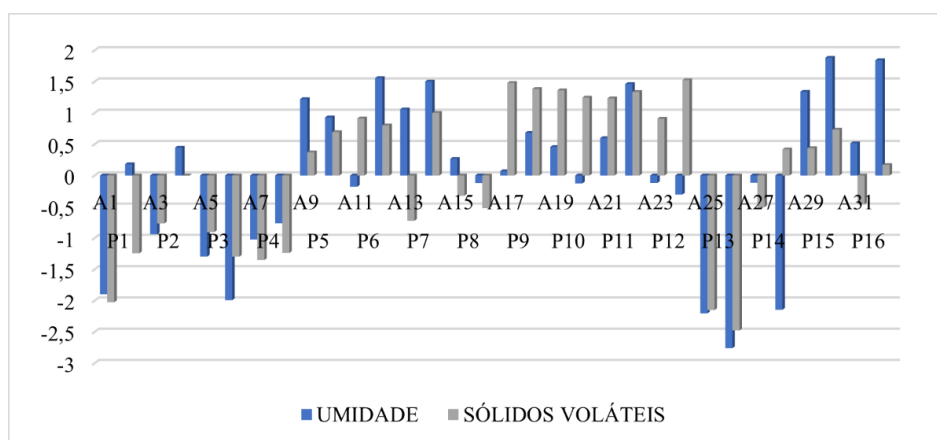


Figura 11 – Anomalias normalizadas de Umidade/Sólidos Voláteis

Considerações Finais

Com as análises feitas no estudo os seguintes resultados mais relevantes puderam ser extraídos. Os teores de umidade e sólidos voláteis, a uma profundidade de 4,0m, demonstraram a presença de resíduos novos e com alto potencial para degradação.

Os dados meteorológicos mostram que houve uma influência positiva forte da chuva sobre os teores de umidade, concordando com a literatura. Foi verificada correlação diretamente proporcional entre os parâmetros citados acima, $r=0,65$, quando um aumentava, o outro acompanhou esse comportamento.

Além de contribuir para o entendimento sobre a degradação de resíduos aterrados, os resultados desse estudo podem servir de base para outras pesquisas. Tais resultados podem também subsidiar melhorias na eficiência dos processos de operação do aterro, coleta e tratamento de líquidos e gases, aumentando seu controle tecnológico.

Os resultados ajudam a compreender o processo de degradação dos resíduos, além de conhecer o comportamento e geração de GEE dentro do aterro sanitário. Tais estudos são fundamentais para acompanhar e monitorar processo de degradação dos resíduos sólidos. Variáveis como umidade e sólidos voláteis são importantes a serem monitoradas no aterro sanitário.

Referências

- Aires, K. O. (2013). Monitoramento das concentrações de gases em uma célula experimental de resíduos sólidos urbanos na cidade de Campina Grande-PB. <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/handle/riufcg/8262>
- Alcântara, P. B. (2007). Avaliação da influência da composição de resíduos sólidos urbanos no comportamento de aterros simulados. <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/5397>
- Roberta de França Soares Alves, I. (2008). Análise experimental do potencial de geração de biogás em resíduos sólidos urbanos (Master's thesis, Universidade Federal de Pernambuco). <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/5078>
- Alves, J. M. B., Servain, J., & Campos, J. N. B. (2009). Relationship between ocean climatic variability and rain-fed agriculture in northeast Brazil. *Climate Research*, 38(3), 225-236. <https://www.jstor.org/stable/24870413>
- Emara, K. (2023). Sustainable solid waste management in rural areas: A case study of Fayoum governorate, Egypt. *Energy Nexus*, 9, 100168. <https://doi.org/10.1016/j.nexus.2022.100168>
- Ani, L. S., Budovich, L., Klunko, N. S., Jumanazarova, G. U., Nasurova, K., & Asatullaev, K. (2024). Redução de custos e emissões através do uso de sistema de reciclagem e gestão de resíduos. *Brazilian Journal of Biology*, 83, e279565. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.279565>
- ARAÚJO, E. P. (2015). Monitoramento de células experimentais de resíduos sólidos urbanos quanto a aspectos físico-químicos e microbiológicos. <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/handle/riufcg/1050>
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2014). NBR 8.419: Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos. ABNT.
- Bahia, V. E. A. G., Araujo Neto, C. L. de, Bezerra, D. E., Bezerra, A. L. R., Melo, M. C. de, & Monteiro, V. E. D. (2024). Comparação entre sistemas de drenagem de lixiviado de Aterro Sanitário. *Caderno Pedagógico*, 21(9), e8047. <https://doi.org/10.54033/cadpedv21n9-213>
- Brasil. (2010). Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos e dá outras providências. *Diário Oficial da União*. http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm
- Cunha, E. R. (2009). Avaliação do processo de bioestabilização de resíduos sólidos urbanos em lisímetro de campo (Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Pernambuco, Recife. <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/5010>
- Fucale, S. P., & Jucá, J. F. T. (2002). Estudo da resistência à penetração dinâmica (SPT) em aterro de resíduos sólidos urbanos. In *Anais do Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental*.
- Gabr, M. A., & Valero, S. N. (1995). Geotechnical properties of municipal solid waste. *Geotechnical Testing Journal*, 18(2), 241-251.

- Landva, A., & Knowles, G. D. (1990). Geotechnics of waste fills: theory and practice. ASTM International.
- Monteiro, V. E. D. (2003). Análises físicas, químicas e biológicas no estudo do comportamento do Aterro da Muribeca (Tese de Doutorado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Pernambuco, Recife.
<https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/5391>
- Oliveira, C. A. A. de. (2011). Análise do fluxo de gases na camada de cobertura do Aterro Sanitário Municipal Oeste de Caucaia (ASMOC).
<http://repositorio.ufc.br/handle/riufc/253>
- Oliveira Júnior, A. I. de, Jucá, J. F. T., Almeida, A. J. G. de A., Ferreira, R. P. de S., & Brandão, F. J. R. (2023). Influência da adição de fibras curtas de coco distribuídas aleatoriamente na curva característica de retenção de água de um solo argiloso compactado. *Revista AIDIS de ingeniería y ciencias ambientales: Investigación, desarrollo y práctica*, 16(1), 218–231.
<https://doi.org/10.22201/iingen.0718378xe.2023.16.1.82380>
- Padilla, R. S., Simões, G. F., & Catapreta, C. A. A. (2007). Simulação da produção de lixiviados em um aterro sanitário experimental utilizando o modelo computacional tridimensional MODUELO. Belo Horizonte: ABES.
<http://tede2.uefs.br:8080/handle/tede/1088>
- Silva, M. L., et al. (2021). Determinação do coeficiente de permeabilidade à água dos solos de cobertura do aterro sanitário de Caucaia-CE. In *Anais do 31º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*.
- Silva, N. de S., et al. (2023). Ocorrência de ondas de calor com dados de reanálises em áreas do Nordeste, Amazônia e Centro-Sudeste do Brasil. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 37, 441-451.
<https://doi.org/10.1590/0102-77863740067>
- Silva, P. O. (2022). Influência da precipitação pluviométrica nos teores de umidade e sólidos voláteis de resíduos sólidos aterrados (Dissertação de Mestrado Acadêmico ou Profissional). Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza.
<http://siduece.uece.br/siduece/trabalhoAcademicoPublico.jsf?id=108053>
- Silva, M. L., Santos, G. O., & Silva, R. A. C. da. (2023). Caracterização física de solos de cobertura e de resíduos sólidos do aterro sanitário metropolitano oeste de caucaia, Ceará, Brasil. *Revista AIDIS De ingeniería Y Ciencias Ambientales: Investigación, Desarrollo Y práctica*, 16(3), 810–833.
<https://doi.org/10.22201/iingen.0718378xe.2023.16.3.83507>
- Schirmer, W., et al. (2016). Análise por componentes principais para o volume de biogás gerado em aterro sanitário e a correlação com variáveis físico-químicas. *Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental*, 5(2), 149-164.
<https://doi.org/10.19177/rgsa.v5e22016149-164>
- United States Environmental Protection Agency (USEPA). (2016). Lfg Energy Project Development Handbook.
<https://www.epa.gov/lmop/landfill-gas-energy-project-development-handbook>
- World Meteorological Organization (WMO). (2007). Guide to the Global Observing System (WMO n°. 488, 3ª ed.). Genebra: WMO.