

INFLUÊNCIA DA ESPESSURA DA CAMADA E DO GRAU DE COMPACTAÇÃO NO DESEMPENHO DE CAMADAS DE COBERTURA DE ATERROS SANITÁRIOS

Influence of layer thickness and degree of compaction on the performance of landfill cover layers

Mariele Rodrigues de Oliveira¹, Lana Kainy Torres Souza², Laís Roberta Galdino de Oliveira³

**ARTIGO
PRE-PRINT**

**VERSÃO
FINAL
EM BREVE**

PALAVRAS CHAVE:

Metanálise;
Grau de compactação;
Espessura da camada;

KEYWORDS:

Meta-analysis;
Compression degree;
Layer thickness;

RESUMO: Grande parte dos resíduos sólidos urbanos (RSU) são dispostos em aterros sanitários por não apresentarem mais utilidade e valor econômico para quem usufruía, sobretudo para evitar a proliferação de vetores, espalhamento dos resíduos e poluição do solo, das águas e do ar. Assim, um dos principais elementos do aterro sanitário é a camada final de cobertura, uma das diversas aplicações dessa camada é mitigar emissões de gases contribuintes ao aceleração do efeito estufa. Nesse sentido, o objetivo do presente trabalho foi avaliar o desempenho de camadas de cobertura de aterros sanitários quanto à retenção de metano em relação ao grau de compactação e a espessura da camada. Assim, realizou-se uma metanálise, embasada na correlação de um total de dez estudos obtidos através de buscas por palavras chaves em plataformas acadêmicas. Diante das relações obtidas, observou-se que quando o grau de compactação é maior, existe uma tendência de menor emissão de metano pela camada, além disso, foi notado que a espessura da camada de cobertura não tem um efeito tão significativo sobre a retenção de CH₄ (metano) e CO₂ (dióxido de carbono), pois para uma mesma espessura de camada houve diferentes graus de retenção. Portanto, conclui-se que a relação entre a espessura da camada de cobertura e o grau de compactação não exprime um vínculo definido, contudo o grau de compactação é mais determinante quanto à retenção de gases.

ABSTRACT: A large part of urban solid waste (MSW) is disposed of in sanitary landfills as it no longer has utility and economic value for those who used it, especially to avoid the proliferation of vectors, waste scattering and soil, water and air pollution. Thus, one of the main elements of the sanitary landfill is the final layer of cover, one of the several applications of this layer is to mitigate gas emissions that contribute to the acceleration of the greenhouse effect. In this sense, the objective of the present work was to evaluate the performance of covering layers of sanitary landfills in terms of methane retention in relation to the degree of compaction and layer thickness. Thus, a meta-analysis was carried out, based on the correlation of a total of ten studies obtained through keyword searches on academic platforms. In view of the relationships obtained, it was observed that when the degree of compaction is higher, there is a tendency for lower methane emission by the layer, in addition, it was noted that the thickness of the cover layer does not have such a significant effect on the retention of CH₄ and CO₂, because for the same layer thickness there were different degrees of retention. Therefore, it is concluded that the relationship between the thickness of the covering layer and the degree of compaction does not express a definite link, however the degree of compaction is more decisive in terms of gas retention.

* Contato com os autores:

Publicado em 23 de junho de 2023

¹ e-mail: marielero@live.com (M. R. Oliveira)

Engenharia Civil, mestranda, Universidade Federal de Goiás

² e-mail: lane.torres@hotmail.com (L. K. T. Souza)

Engenharia Civil, mestranda, Universidade Federal de Goiás

³ e-mail: laisroberta@ufg.br (L. R. G. Oliveira)

Engenharia Agrícola e Ambiental, doutora, Professora Adjunta, Universidade Feral de Goiás

1. INTRODUÇÃO

A Revolução Industrial alterou relações de trabalho, hábitos e padrões de produção, consequentemente alavancou a urbanização, trazendo consigo o início dos problemas relacionados à destinação dos resíduos sólidos urbanos (RSU) (GONÇAVEZ; TANAKA; AMENDOMAR, 2013). Dessa forma, é necessário um tratamento adequado a esses resíduos por questões ambientais, sociais e de saúde pública (COSTA C., 2015; COSTA M., 2015). Nessa perspectiva, estima-se que a geração de RSU ultrapassou 2 bilhões de toneladas por ano no mundo, representando um grande problema para ações de políticas públicas na gestão e manejo sustentável (FRANQUETO et al., 2020).

Atualmente, os RSU são dispostos em lixões e aterros controlados, mesmo que na prática essa disposição seja inadequada, ou em aterros sanitários, sistema considerado eficaz e mais usual (FRANQUETO et al., 2020). De acordo com a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais - ABRELPE (2020), no ano de 2019, 59,5% dos RSUs do Brasil foram destinados a aterros sanitários, 23% a aterros controlados e 17,5% à lixões.

Nesse sentido, os aterros sanitários são obras geotécnicas nas quais a NBR 8419 (ABNT, 1992) apresenta critérios mínimos para a elaboração de projetos de tal magnitude. Consequentemente, essas obras geotécnicas, se executadas de acordo com os critérios técnicos adequados, minimizam os danos ao meio ambiente como a migração de lixiviado e liberação de gases contribuintes ao efeito estufa; bem como malefícios à saúde pública por consequência da disseminação de vetores como ratos e baratas (BOSCOV, 2008; LOPES et al., 2010; SOARES, 2011; COSTA M., 2015; ARAÚJO, RITTER, 2016).

Além de atender aos critérios ambientais, zelar pela saúde humana e alocar os resíduos em um local devidamente preparado, o sistema de tratamento é considerado economicamente viável (BOSCOV, 2008; COSTA et al., 2018, SANTIAGO JÚNIOR et al., 2020). De acordo com Araújo (2017) essa técnica é popular em países em desenvolvimento tanto pela questão econômica, como pela simplicidade de sua operação se comparado a outras técnicas de tratamento de resíduos sólidos urbanos. Esse panorama não é diferente no Brasil, a cada ano é notório o crescimento do percentual de cidades adeptas ao lançamento de rejeitos em aterros sanitários (LOPES et al., 2010).

Ademais, é importante ressaltar que a massa de resíduos aterrada é heterogênea, sendo grande parte composta por matéria orgânica proveniente de atividades domésticas, essa sofre biodegradação anaeróbica que gera subprodutos líquidos e gasosos (SILVA, 2019; GRAUPMANN et al., 2019; FRANQUETO et al., 2020). Por conseguinte, os principais gases produzidos são o gás metano (CH₄) e o gás carbônico (CO₂) que são responsáveis pelo aceleração do aquecimento global (ROSE, MAHLER, IZZO, 2012; ARAÚJO; RITTER, 2016).

Dessa forma, uma técnica corriqueira a fim de equilibrar o elo entre o contato do meio externo com os RSU é o uso de camadas de cobertura, que podem ser do tipo alternativas ou convencionais (ROSE, MAHER, IZZO, 2012; OLIVEIRA, 2013). Essa camada também possui funcionalidade de contenção dos resíduos, diminuição de riscos de incêndios, pois o CH₄ presente é altamente inflamável (COSTA M., 2015; HU, LONG, 2016; SILVA, 2019).

No Brasil, é habitual optar-se pela camada de cobertura convencional, sendo frequente o uso de uma camada de solo homogêneo, de baixa permeabilidade, em geral solos argilosos; visto que não existe uma normativa mais detalhada sobre essa técnica em relação as características geotécnicas, a espessura e a forma de executar a manutenção (COSTA M., 2015; LOPES et al., 2010; ARAUJO, 2017; SOARES, 2011; MOREIRA et al., 2020).

Logo, a NBR 13896 (ABNT, 1997) enfatiza que a camada de cobertura deve reduzir a infiltração de águas pluviais e mitigar as emissões fugitivas de metano nas camadas de coberturas e também dispor de uma permeabilidade mínima inferior à do solo natural, ou seja, inferior a 10⁻⁶ cm/s. Dessa maneira, as

camadas de cobertura devem ser escolhidas de maneira criteriosa, levando em consideração a saúde humana, a qualidade ambiental, a situação econômica, o clima e o regime pluviométrico, bem como o desempenho da mesma (ROSE, MAHLER, IZZO, 2012; SHAIKH et al., 2019).

Contudo, mesmo com a presença das camadas de cobertura parte dos gases escapa para a atmosfera tornando-se necessário avaliar o desempenho das camadas de cobertura quanto à redução de gases (COSTA M., 2015; COSTA et al., 2018). Sendo assim, o objetivo dessa pesquisa foi avaliar a influência da espessura da camada e do grau de compactação, e esses por sua vez quanto à retenção de metano pelas camadas de cobertura de aterros sanitários.

2. METODOLOGIA

A metodologia do presente estudo foi concebida através da metanálise, que consiste em correlacionar resultados de diversos autores sobre uma temática utilizando métodos e materiais equivalentes (RODRIGUES, 2010). Dessa forma, foram pesquisados artigos, dissertações e teses sobre o desempenho de camadas de cobertura de aterros sanitários, indexados nas bases de dados Portal de periódicos da CAPES, SciELO e Google Scholar. Os estudos foram localizados a partir da combinação de pelo menos duas das seguintes palavras-chave: “Aterro sanitário”, “Camada de cobertura”, “Emissões”, “Retenção”, “Metano” e “Carbono”. A seleção foi limitada a trabalhos completos em língua portuguesa e sem restrição ao ano de publicação, com as demarcações definidas as buscas resultaram num total de 423 trabalhos.

Para a seleção de pesquisas pertinentes a temática foi definida alguns critérios: (I) primeiramente leu-se o título, resumo e conclusão; (II) verificou a disponibilidade de resultados para proceder com a metanálise; (III) em seguida, iniciou-se a análise e coleta de dados. Desconsiderou-se para inclusão os trabalhos em que o tópico de interesse fosse desempenho de camadas de cobertura de aterros sanitários que não considerasse as emissões fugitivas de metano e carbono nas camadas de coberturas dos aterros, fossem revisões da literatura ou não apresentasse dados suficientes para realizar a análise. Por essa questão, mais de 97% dos estudos avaliados foram categorizados como inutilizáveis para a presente investigação.

Seguindo o estabelecido, resultou-se em 10 trabalhos analisados, consoante a Tabela 1, que sinaliza os aterros, bem como suas localizações, os solos utilizados nas camadas de cobertura conforme sistema unificado de classificação (SUCS) e os métodos utilizados para avaliar a retenção de metano. Logo, com o intuito de correlacionar as variáveis analisadas, foram coletados nos artigos os dados grau de compactação, espessura da camada e porcentagem de retenção de metano e carbono pela camada de cobertura. Vale salientar que alguns trabalhos não apresentaram esses dados, mas valores que possibilitaram a realização de calculá-los.

TABELA 1: Trabalhos selecionados.

Autor	Localização	Aterro	Material da camada	Método
I - Araujo e Ritter (2016)	-	-	Areia siltosa	Placa de fluxo estática
II – Borba (2018)	Rio de Janeiro - RJ	Seropédica	Areia siltosa	Cromatografia de fase gasosa
III - Costa et al. (2018)	Muribeca - PE	Muribeca	Silte de baixa compressibilidade	Colunas de Solo
IV - Dias (2009)	Içara - SC	Içara	Areno-siltoso	Placa de fluxo estática
V - Dias (2009)	Biguaçu - SC	Tijuquinhas	Areia bem graduada com pedregulho	Placa de fluxo estática
VI – Guedes (2018)	Puxinanã - PB	Campina Grande	Areia argilosa	Placa de fluxo estática
VII - Lopes et al. (2008)	Muribeca - PE	Muribeca	Solo-areno argiloso	Placa de fluxo estática
VIII – Moreira et al. (2018)	Puxinanã - PB	Campina Grande	Areia argilosa	Placa de fluxo estática
IX - Oliveira (2013)	Muribeca - PE	Muribeca	Silte de baixa compressibilidade	Placa de fluxo estática
X – Silva (2011)	Nova Iguaçu - RJ	Nova Iguaçu	Areia silto argilosa	Placa de fluxo estática

FONTE: Autoria Própria (2022).

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Comparando os dados coletados foi possível notar que conforme o grau de compactação se eleva, em especial, acima de 90%, existe uma tendência de maior retenção dos gases carbono e metano pela camada final, consoante indicado na Figura 1. No entanto, essa tendência se estabiliza indicando que o grau de compactação influencia até certa parcela da retenção, porém não é o único responsável, sendo possível, em alguns tipos de solos, mantê-lo abaixo dos 90% com uma retenção acima de 90%.

No entanto, houveram algumas exceções como no estudo de Oliveira (2013), em um silte de baixa compressibilidade com grau de compactação de 105% constatou uma retenção de 73% para CH₄ e 63% para CO₂, outro exemplo de desempenho abaixo do esperado foi o de Araujo e Ritter (2016) em uma areia siltosa com grau de compactação de 92%, observando assim, uma retenção de somente 75% para o gás metano. Logo, faz-se necessário averiguar os demais parâmetros geotécnicos da camada de cobertura isoladamente, visando observar até que momento ocorre porcentagens de contribuição na retenção dos gases.

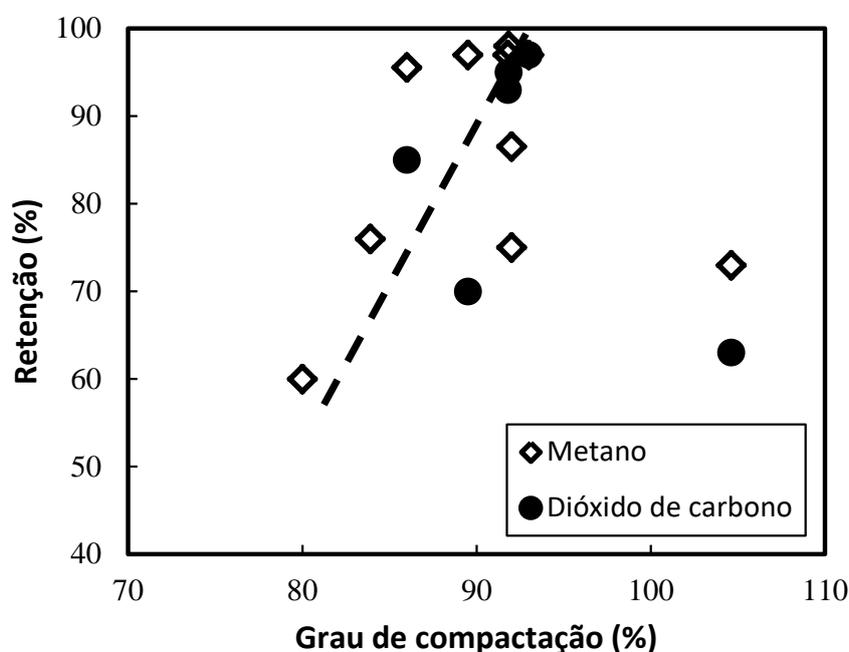


FIGURA 1: Grau de compactação versus retenção pela camada.

Fonte: Autoras (2022).

Araujo (2017) expõe que quanto maior for o valor do grau de compactação, menor será a infiltração de água para o interior do maciço e menor a emissão de gases para a atmosfera, como mostrado na Figura 1. A variação pode ser justificada devido a mudança da espessura da camada final, composição e quantidade de resíduo que se encontra depositado embaixo da camada. Silva e Freitas (2019) evidenciam que ao simular diferentes modelos técnicos de previsão de geração de biogás as diferenças de potenciais são justificadas pela idade, composição e tamanho do aterro sanitário, ocorrendo um decréscimo ao longo do tempo e proporcional ao tamanho do aterro.

Candiani e Viana (2017) observaram que a maior umidade favoreceu o decréscimo da emissão fugitiva de metano observada entre os meses de setembro e outubro no aterro sanitário. A redução no valor do fluxo de metano e dióxido de carbono pode ocorrer devido ao preenchimento pela água de chuva nos vazios do solo presentes na camada de cobertura (MORATO; PINTO JUNIOR, 2020). Em um

elevado teor de umidade há a redução da penetração de O_2 na cobertura do solo, sendo necessário para o processo de oxidação de CH_4 e retenção desse gás (Santos 2019).

Na comparação espessura da camada de cobertura pela porcentagem de retenção (Figura 2) é nota-se que as camadas de cobertura com espessuras menores que 0,8 m apresentaram os menos valores de retenção de carbono e metano. Por outro lado, retenções acima de 90% foram observadas em espessuras diferentes, comprovando assim, que a espessura da camada de cobertura não tem um efeito direto sobre a retenção de gás pela camada. Ainda, tem-se uma mesma espessura com diferentes graus de retenção, sendo que parâmetros como grau de compactação e umidade, terem parcelas de influência sobre essas emissões (DIAS, 2009; ARAUJO E RITTER, 2016).

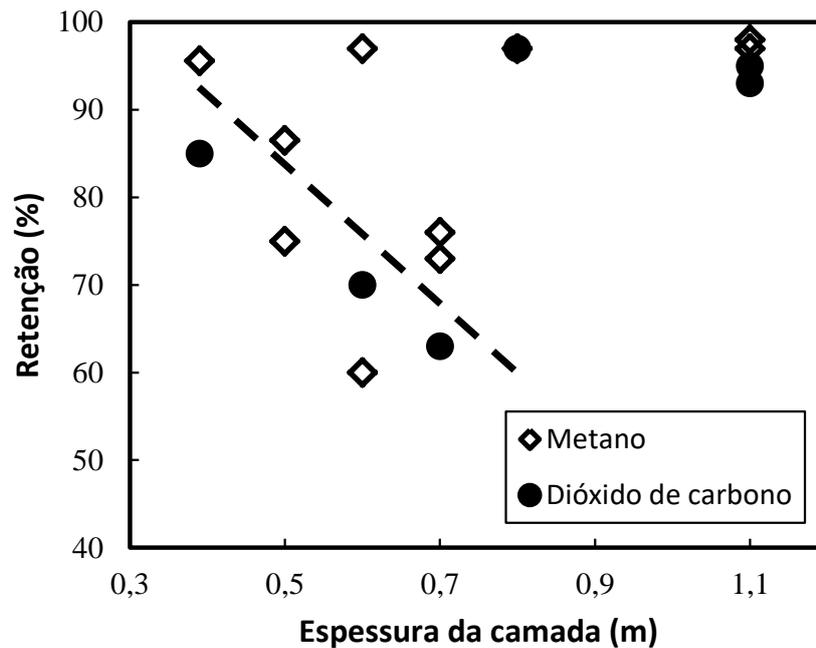


FIGURA 2: Gráfico da análise da espessura da camada pela retenção de gases pela camada.
Fonte: Autoras (2022).

Mariano e Jucá (2010), observaram através de medições que a espessura da camada apresenta uma distribuição irregular e aleatória, indicando que a espessura do solo isoladamente deve ser considerada um fator secundário sobre as emissões de gases, como foi notado na comparação do gráfico da Figura 2. Mostrando, com isso, a importância do estudo de outros parâmetros do solo, bem como a avaliação das condições em campo (umidade, peso específico, tipo de solo, porosidade).

Araujo e Ritter (2016) perceberam que as emissões de CH_4 nos ensaios realizados em pontos com fissuras foram maiores do que aqueles realizados em pontos sem fissuras, ou seja, qualquer que seja o tipo de solo da camada, espessura, grau de compactação, porosidade e outros, na existência de fissuras ocorrerá uma maior vazão de gás. Como apresentado nesse artigo essa afirmação vale também para a retenção de CO_2 , visto que as locações dos pontos de medições interferem nos resultados, pois as condições de campo das camadas não são homogêneas.

Ao verificar a relação espessura da camada de cobertura sobre o grau de compactação (GC) na retenção (Figura 3), percebeu-se que as maiores porcentagens de retenção dos gases analisados ocorreram quando a relação e/GC estava entre 10 e 15, no entanto, nesta mesma faixa, tem-se retenções entre 60 e 75%. Nesse sentido, acredita-se que o método de medição pode influenciar nessa variabilidade, pois, o estudo de Costa et al. (2018) onde as emissões foram realizadas em colunas de solo com uma espessura de 0,6 m e grau de compactação de 80% teve menor eficiência do que a de Dias (2009) realizada por placa de fluxo estática numa camada de 0,6 e grau de compactação de 89%.

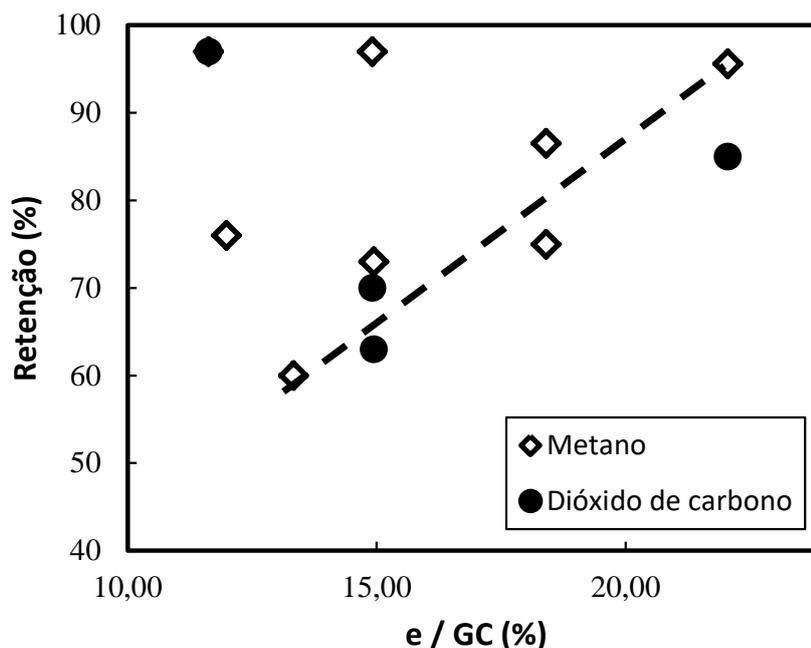


FIGURA 3: (E/G.C.) /100% versus retenção de metano pela camada.
Fonte: Autoras (2022).

Costa et al. (2018) ao realizarem ensaios em colunas de solos observaram que nas mais úmidas, houve mais resistência da passagem de gases em seu interior, devido ao acúmulo de água nos vazios do solo. Conforme Dias (2009) a densidade do solo em campo influenciou de forma moderada o fluxo de metano, indicando que os locais com maiores compactações tiveram menores fluxos de gás metano.

Moreira et al. (2020) apresentaram que a espessura e grau de compactação são parcelas importantes na retenção de gases pela camada de cobertura, e acrescentando que em certos níveis de grau de compactação a espessura pode ser diminuída sem perda na eficiência da retenção. Guedes (2018) também ratifica essa proposta em seu trabalho, propondo a possibilidade de redução da espessura dessa camada de 1,5 para 0,7 m do aterro estudado, sem que haja perda da eficiência de retenção de gases, desde que mantido um grau de compactação médio igual ou superior.

4. CONCLUSÕES

Cabe ressaltar, que o grau de compactação demonstrou maior influência sobre a retenção de gases pela camada de cobertura do que as demais propriedades avaliadas nesse artigo. Nessa perspectiva, a espessura da camada em si também não apresenta uma relação predominante sobre a retenção de CO₂ e CH₄, pois é dependente de outros fatores como tipo do material da camada, peso específico do solo, umidade e grau de compactação. Por conseguinte, esses parâmetros são determinantes quanto à permeabilidade da camada de cobertura, que é mais decisiva quanto à redução das emissões de gases.

Assim, foi notado que a relação espessura da camada de cobertura por grau de compactação não apresenta uma relação definida, sendo que para um mesmo valor dessa relação a retenção de gás metano pela camada de cobertura apresentou uma variação maior que 20%.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 8419: **Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos**. Rio de Janeiro, 1992, 7 p.
- _____. NBR 13896 - **Aterros de resíduos não perigosos - Critérios para projeto, implantação e operação**. Rio de Janeiro, 1997, 12 p.
- ABRELPE - Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2020**. 52 p, 2020.
- ARAUJO, P. S. **Análise do desempenho de um solo compactado utilizado na camada de cobertura de um aterro sanitário**. 2017. 138 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba, Brasil, 2017.
- ARAUJO, T. T.; RITTER, E. **Avaliação de emissões de biogás em camadas de cobertura de um aterro sanitário**. Revista Perspectiva Online: Ciências Exatas & Engenharia, Campos dos Goytacazes, v. 16, n. 06, p.34-39, 2016. DOI: 10.25242.
- BORBA, P. F.S.; MARTINS, E. D.; CORREA, S. M.; RITTER, E. **Emissão de gases do efeito estufa de um aterro sanitário no Rio de Janeiro**. Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 23, p. 101-111, 2018. DOI: 10.1590/S1413-41522018167438.
- BOSCOV, M. E. G. **Geotecnia Ambiental**. São Paulo: Oficina de Texto, 2008, 248 p.
- CANDIANI, G.; VIANA, E. **Emissões fugitivas de metano em aterros sanitários**. Geosp - Espaço e Tempo (Online), v. 21, n. 3, p. 845-857, 2017.
- COSTA, C. M. C. **Avaliação da fissuração por ressecamento em camadas de cobertura de aterros sanitários utilizando materiais alternativos**. 2015. 163 f. Tese (Doutorado em Geotecnia) – Departamento de Engenharia civil e Ambiental, Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, 2015.
- COSTA, M. D. **Estudo de camadas de cobertura de aterro sanitário em colunas de solos**. 2015. 144 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Centro de Tecnologia e Geociência, Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2015.
- COSTA, M. D.; MARIANO, M. O. H.; ARAUJO, L. A.; JUCÁ, J. F. T. **Estudos laboratoriais para avaliação do desempenho de camadas de cobertura de aterros sanitários em relação à redução de emissões de gases e infiltrações**. Revista Engenharia Sanitária e Ambiental, v.23, n.1, p. 77-90, 2018. DOI: 10.1590/S1413-41522018160393.
- DIAS, V. C. F. **Estudo das emissões de biogás nos aterros sanitários de Içara e Tijuquinhas**. 2009. 115 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.
- FRANQUETO, R.; MARTINS, E. H.; CABRAL, A. R.; SCHIMER, W. N. **Monitoramento de emissões fugitivas a partir da camada de cobertura de aterro sanitário**. Revista UNINGÁ Review, v. 35, n. 1, p. 1-21, 2020. Disponível em:<<http://revista.uninga.br/index.php/uningareviews/article/view/2603/2208>>. Acesso 23 de setembro de 2019.
- GONÇAVEZ; M. A.; TANAKA; A. K.; AMENDOMAR, A. de A. **A destinação final dos resíduos sólidos urbanos: alternativas para a cidade de São Paulo através de casos de sucesso**. Future Studies Research Journal, São Paulo, v.5, n.1, p. 96-129, 2013.
- GRAUPMANN, O.; MARTINS, M. A.; CONSUL, M.; CECHIN. **Análise da resistência à compressão de concretos com adição de cinza de aterro sanitário**. Revista Matéria, Rio de Janeiro, v. 24, n. 02, 2019. DOI: 10.1590/S1517-707620190002.0663.
- GUEDES, M. J. F.; **Estudo das emissões de biogás em aterro de resíduos sólidos urbanos no semiárido brasileiro**. 2018. 181 f. Tese (Doutorado em Recursos Naturais) - Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Pós-Graduação em Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2018.
- HU, L. LONG, Y. **Effect of landfill cover layer modification on methane oxidation**. Environmental Science and Pollution Research, v. 23, n. 24, p. 25393–25401, 2016. DOI: 10.1007/s11356-016-7632-y.

LOPES, R. L.; JUCÁ, J. F. T.; MARIANO, M. O. H.; MACIEL, F. J. **Camadas de cobertura metanotróficas como alternativas para gerenciamento de gases de efeito estufa em aterros sanitários.** Revista Holos, Ano 25, v. 4, 2010. DOI: <https://doi.org/10.15628/holos.2010.461>.

LOPES, R. L.; MACIEL, F. J.; JUCÁ, J. F. **Avaliação da emissão de metano em aterro de resíduos sólidos experimental de pequeno porte na Muribeca/PE.** 3. In: Congresso Interamericano de Resíduos Sólidos de AIDIS, 2008, Buenos Aires. Anais... Buenos Aires: Revista AIDIS, 2008, p. 1-9.

MARIANO, M. O. H.; JUCÁ, J. F. T. **Ensaio de campo para determinação de emissões de biogás em camadas de cobertura de aterros de resíduos sólidos.** Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 15, p. 223-228, 2010.

MORATO, A. E.; PINTO JR, O.B. **Quantificação de gases de efeito estufa em aterro sanitário no município de Cuiabá.** Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais, v. 8, n. 2, p. 136-144, 2020.

MOREIRA, F. G. S.; GUEDES, M. J. F.; MONTEIRO, V. E. D.; MELO, M. C. **Emissões fugitivas de biogás em camada de cobertura de solo compactado em aterro sanitário.** Revista Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 25, n. 2, p. 247-258, 2020.

OLIVEIRA, L. R. G. **Estudo das emissões de biogás em camadas de coberturas de aterro de resíduos sólidos urbanos.** 2013. 93 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Centro de Tecnologia e Geociências, Departamento de Engenharia Civil, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2013.

RODRIGUES, C. L. **Metanálise: um guia prático.** Universidade Federal do Rio Grande do Sul (Monografia-Graduação). Porto Alegre, 2010.

ROSE, J. L.; MAHLER, C. F.; IZZO, R. L. S. **Comparison of the methane oxidation rate in four media.** Revista Brasileira Ciência e Solo, v. 36, n. 3, p. 803-812, 2012. DOI: 10.1590/S0100-06832012000300011.

SANTOS, J. J. D. N. **Avaliação geotécnica de misturas de solo e composto orgânico para uso como biocoberturas em aterros sanitários.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, 2019.

SHAIKH, J. B., S.; YAMSANI, S. K.; SEKHARAN S.; RAKESH, R. R.; SARMAH, A. K. **Long-term hydraulic performance of landfill cover system in extreme humid region: Field monitoring and numerical approach.** Science of the Total Environment, v. 688, n. 20, p. 409-423, 2019. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2019.06.213.

SILVA, C. E. **Estudo da cinética do tratamento biológico aeróbio de lixiviado de aterro sanitário.** 2019. 108 f. Dissertação (Mestrado Engenharia de Processos) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos e Tecnologias, Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, 2019.

SILVA, E. G. M. **Estudo Experimental de Gases em Camadas de Cobertura no Aterro de Nova Iguaçu-RJ.** 2011. 109 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Centro de Tecnologia e Ciências, Faculdade de Engenharia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.

SILVA, T. F. D.; FREITAS, I. R. 2019. **Potencial de geração de biogás a partir de resíduos sólidos urbanos da região noroeste paulista por diferentes modelos técnicos de previsão.** Bioenergia em revista, v. 9, p. 87-100, 2019.

SOARES, A. F. **Cobertura final de aterro sanitário de resíduos sólidos urbanos avaliada sob enfoque da oxidação microbiana do metano.** 2011. 137 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2011.