

## GERAÇÃO DE ILHAS DE CALOR EM UM ATERRO SANITÁRIO

Eduardo Antonio Maia Lins (\*), Regina Coeli Lima, João Victor de Melo Silva, Suzana Paula da Silva França

\*Universidade Católica de Pernambuco – UNICAP / Instituto Federal de Pernambuco – IFPE – Campus Recife, [eduardomaialins@gmail.com](mailto:eduardomaialins@gmail.com).

### RESUMO

O aumento na temperatura da superfície e do ar gera o fenômeno conhecido como ilha de calor, que é caracterizado pelo aquecimento e retenção de calor no meio e provocado por atividades naturais e antrópicas. A maior parte dos gases gerados pelo processo de decomposição anaeróbia sofrido pelos resíduos orgânicos ao serem aterrados é composta por dióxido de carbono e metano. Este, ao ser coletado, é queimado e transformado em CO<sub>2</sub> antes de ser liberado na atmosfera ou levado a estações de reaproveitamento energético. Outro gás gerado pelo processo de decomposição dos resíduos é o óxido nitroso, que, no estado inicial de aterramento, é produzido em maior escala que o metano. O presente trabalho tem como objetivo analisar a relação entre as diferentes etapas de tratamento e disposição de resíduos com a formação de ilhas de calor em um aterro sanitário, mesmo que os empreendimentos executem todas as medidas legais de minimização dos impactos ambientais. Ao analisar os dados da medição, verificou-se que a ETE e a célula do aterro classe II foram os locais com as maiores temperaturas, respectivamente, seguidos da célula de aterro classe I, da central de aproveitamento energético do biogás e do auditório climatizado. Já no que diz respeito à umidade, o local que apresentou menor valor foi a ETE, seguido da célula de aterro classe II, do auditório climatizado, da célula de aterro classe I e da central de aproveitamento energético de biogás. De um modo geral, observou-se que as áreas com maiores concentrações de matéria orgânica apresentaram maior incidência de ilhas de calor, fato este justificado pela emissão de gases gerados pela decomposição da matéria orgânica (presente nos resíduos classe 2 e no sistema de tratamento de lixiviado) responsáveis pela geração de gases como gás carbônico e metano.

**PALAVRAS-CHAVE:** Temperatura, Umidade, Destinação Final, Resíduos, Lixiviado.

### INTRODUÇÃO

O crescimento da população mundial ao longo dos séculos tem feito com que cada vez mais resíduos sejam gerados. Esta geração é influenciada diretamente pelo alto índice de urbanização, industrialização e poder de compra, que faz com que os resíduos tenham uma caracterização cada vez mais diversa. A urbanização resulta também no acréscimo da produção de gases de efeito estufa (GEE), que são grandes retentores de calor e uns dos maiores responsáveis pelo aumento da temperatura terrestre.

Os principais gases de efeito estufa emitidos pelas atividades antrópicas são o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), o metano (CH<sub>4</sub>) e o óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), que tiveram suas concentrações aumentadas de forma substancial ao longo de milhares de anos. Desde os tempos pré-industriais, o CH<sub>4</sub> teve um fator de aumento na atmosfera de 2,5 e o N<sub>2</sub>O de 1,2, fazendo com que o óxido nitroso ocupasse o lugar do diclorodifluorometano (CF<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>, CFC-12) como o terceiro maior contribuinte da força radiativa entre a mistura dos GEE (IPCC, 2013).

O aumento na temperatura da superfície e do ar gera o fenômeno conhecido como ilha de calor, que é caracterizado pelo aquecimento e retenção de calor no meio e provocado por atividades naturais e antrópicas. Entre estas estão, junto à urbanização descontrolada e à geração de GEE pelas diferentes etapas do gerenciamento dos resíduos sólidos, a impermeabilização do solo, o uso exagerado de estruturas de concreto e a redução de áreas verdes (BEK; AZMY; ELKAFRAWY, 2018). Para os locais onde houve correção nos efeitos das ilhas de calor urbano (ICU) e das mudanças no uso do solo, estima-se que a temperatura média da superfície global teve um aumento de 10%. No entanto, para regiões que desenvolveram ICU e tiveram mudanças no uso do solo de forma rápida, esse valor pode ser maior.

Os aterros sanitários, por serem locais de disposição ambientalmente adequada de resíduos, devem conter técnicas de minimização dos impactos ambientais, impedindo que os solos, os corpos hídricos e o ar sejam contaminados. Para isso, camadas impermeabilizantes para o solo, drenos de lixiviados e drenos de gases devem ser instalados nas células dos aterros. Estas técnicas auxiliam na captura dos lixiviados, que são encaminhados para a estação de tratamento, e dos gases, para que possam ser reaproveitados energeticamente ou queimados antes de serem liberados na atmosfera.

A maior parte dos gases gerados pelo processo de decomposição anaeróbia sofrido pelos resíduos orgânicos ao serem aterrados é composta por dióxido de carbono e metano. Este, ao ser coletado, é queimado e transformado em CO<sub>2</sub> antes de ser liberado na atmosfera ou levado a estações de reaproveitamento energético. Outro gás gerado pelo processo de decomposição dos resíduos é o óxido nitroso, que, no estado inicial de aterramento, é produzido em maior escala que o metano, situação que se inverte posteriormente (WANG et al. 2016). No entanto, apesar da presença de drenos para coleta

e queima dos gases, uma parte destes escapa através da camada de cobertura da célula do aterro, sendo liberados no meio (LEE; HAN; WANG, 2017).

A decomposição dos resíduos orgânicos também gera chorume. Este une-se às águas pluviais infiltradas na célula do aterro e dá origem ao lixiviado, que, devido às suas diversas características, precisa ser tratado para atender aos parâmetros estabelecidos pelos órgãos ambientais antes de ser lançado nos corpos hídricos ou reaproveitado. Autores (MORAVIA, 2010; VONGVICHIANKUL; DEEBAO; KHONGNAKORN, 2017) analisaram em seus estudos que o tratamento biológico desses lixiviados é capaz de gerar GEE, alguns em maiores e outros em menores quantidades, variando de acordo com as características desses e com a tecnologia que é utilizada no tratamento.

Além dos resíduos orgânicos e inorgânicos caracterizados como não perigosos (Classe II), alguns empreendimentos recebem também resíduos perigosos (Classe I), que devem ser dispostos em células com características diferenciadas capazes de atender às particularidades das composições desses e evitar a contaminação do meio ambiente. Uma das substâncias que pode estar presente nestes resíduos é o óxido nitroso, que, além de conferir periculosidade, são substâncias agudamente tóxicas. Solventes não halogenados, resíduos gerados através de processos produtivos de tintas, do refino do petróleo, de químicos orgânicos e de explosivos são alguns exemplos de produtos que possuem substâncias com características reativas, explosivas, inflamáveis e tóxicas.

O presente trabalho tem como objetivo analisar a relação entre as diferentes etapas de tratamento e disposição de resíduos com a formação de ilhas de calor em um aterro sanitário, mesmo que os empreendimentos execute todas as medidas legais de minimização dos impactos ambientais.

## **METODOLOGIA**

O estudo foi realizado em um aterro sanitário localizado na zona rural de um município pertencente à Região Metropolitana do Recife (RMR), no estado de Pernambuco. O município em questão possui temperatura média anual de 25,1°C, precipitação acumulada da ordem de 2.226 mm, estação climaticamente úmida de fevereiro a setembro e, segundo a classificação de Köppen, encontra-se na faixa de clima pseudo-tropical (As') (KATER; OLIVEIRA, 2016).

Cerca de 24,53% da área total do local estudado é destinada à uma reserva legal composta por Mata Atlântica. O aterro no qual foi realizada a pesquisa conta, entre outras instalações, com área administrativa, laboratório, auditório, local de triagem para recicláveis, células para aterro de resíduos classe I e classe II, estação de tratamento de efluentes (ETE) e central de aproveitamento energético do biogás.

Durante visita realizada ao local, foi informado que as células de resíduos classe I, cujas operações tiverem início em 2009, possuem capacidade para receber até 30t/dia e são cobertas para impedir a infiltração de água da chuva. A célula que se encontra em atividade é a sexta do empreendimento e possui tempo médio de operação de três anos, embora haja a pretensão de estender tal período para cinco anos ao enviar o máximo de material possível para a operação de blend. O aterro classe II, que teve as atividades iniciadas em 2008 junto com o empreendimento, possui capacidade para receber até 3.000t/dia. A ETE, por sua vez, foi projetada para tratar 750 m<sup>3</sup>/dia do lixiviado gerado nas células do aterro classe II e realiza uma combinação de tratamentos físico-químico e biológico. Por fim, a central de aproveitamento energético do biogás possui quatro motogeradores, onde cada um possui a capacidade de geração de 1 mega watt por hora. Destes quatro motores, apenas um estava em funcionamento no momento da visita.

Para obtenção dos dados de temperatura e umidade locais, utilizou-se um sensor DHT22. No que diz respeito à medição de temperatura, o equipamento em questão trabalha com um intervalo que varia de -40°C a 80°C e possui precisão de 0,5°C. Já para o parâmetro de umidade, o alcance é de 0 a 100% com precisão de 2%. Além do sensor DHT22, utilizou-se também um termohigrômetro digital com sensor externo, cujo intervalo de medição da temperatura varia de -50°C a 70°C, possuindo precisão de 1°C para esta e de 5% para umidade.

As medições foram realizadas no auditório, que é climatizado com ar condicionado, nas células em operação do aterro classe I e classe II, na ETE e na central de aproveitamento energético de biogás. O levantamento foi feito em uma única etapa e ocorreu durante o período da visita, entre às 9h e 12h.

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

O município no qual está inserido o empreendimento estudado apresentou, no mês da coleta, média mensal da temperatura máxima entre 32°C e 33°C e da temperatura mínima entre 24°C e 25°C, enquanto a umidade relativa do ar mínima apresentou média entre 60% e 65% durante o período analisado no Aterro (APAC, 2020). Tomando como referência os anos de 1981 a 2010, o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2020) verificou que em fevereiro de 2020 houve um

aumento entre 0,5°C e 1°C na temperatura média do município estudado (Figura 1). Para o horário da coleta de dados no aterro sanitário, a temperatura na cidade de Igarassu apresentou uma temperatura média de 33°C, enquanto no local analisado, uma média de 41°C, apresentando uma variação de até 8°C entre os dois locais analisados simultaneamente para uma distância de 15,6 km.

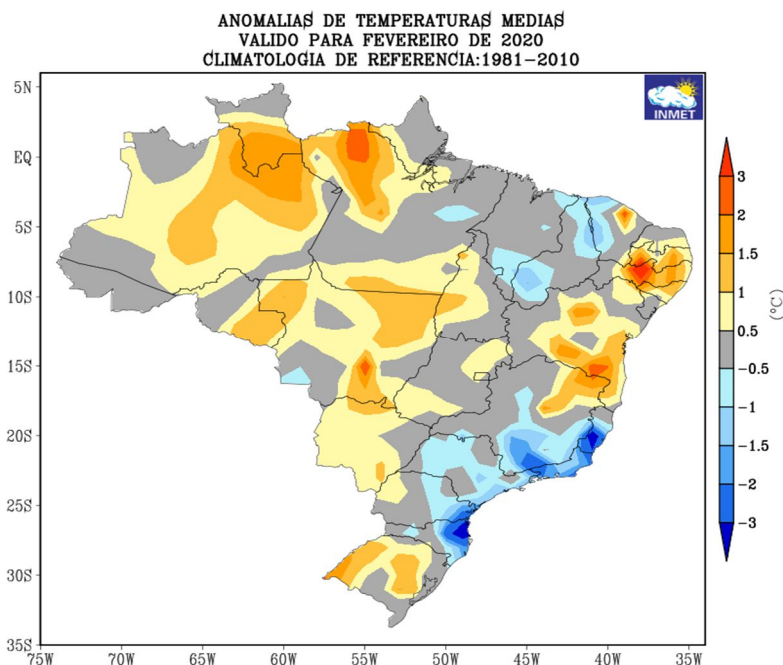


Figura 1: Anomalias de temperaturas médias nacionais em fevereiro de 2020. Fonte: INMET, 2020.

Segundo dados do Instituto Agrônomo de Pernambuco (IPA, 2020), o município acumulou um índice pluviométrico de 24,5mm no período de 07 de janeiro de 2020 a 07 de fevereiro de 2020, não havendo precipitação no dia da coleta de dados.

Ao analisar os dados da medição, verificou-se que a ETE e a célula do aterro classe II foram os locais com as maiores temperaturas, respectivamente, seguidos da célula de aterro classe I, da central de aproveitamento energético do biogás e do auditório climatizado. Já no que diz respeito à umidade, o local que apresentou menor valor foi a ETE, seguido da célula de aterro classe II, do auditório climatizado, da célula de aterro classe I e da central de aproveitamento energético de biogás (Figura 2).

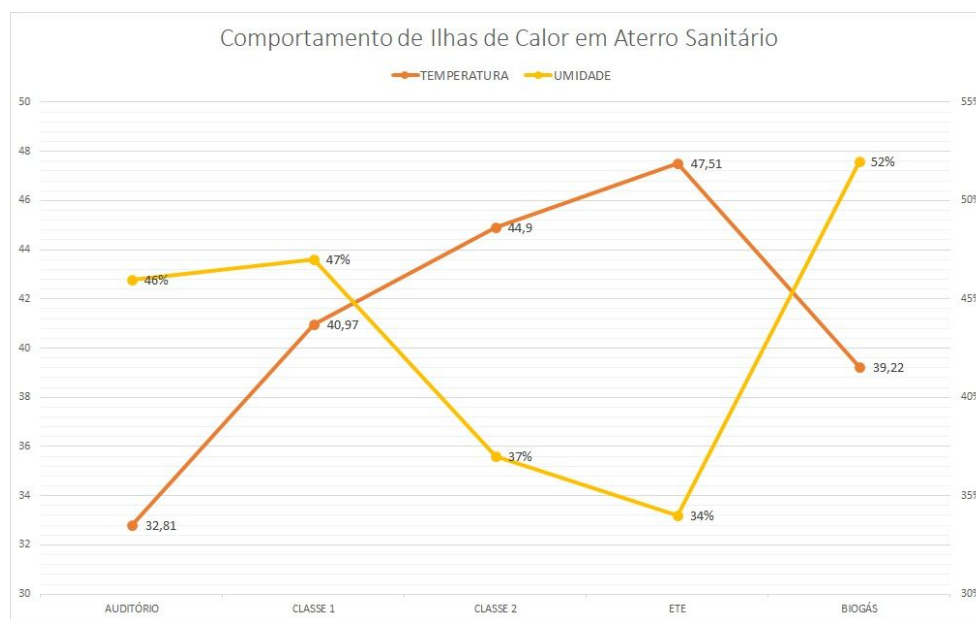


Figura 2: Temperatura e umidade relativa do ar nas instalações do aterro sanitário. Fonte: Os autores.

O tratamento de lixiviados é comumente realizado através de processos biológicos, que tem como principal aplicação a remoção da matéria orgânica presente. Este processo pode ser aeróbio ou anaeróbio, onde o primeiro transforma compostos complexos em  $\text{CO}_2$  e  $\text{H}_2\text{O}$  e o segundo em  $\text{CH}_4$  e  $\text{CO}_2$ . O tratamento por lodos ativados é um exemplo de processo aeróbio que, através da ação de microrganismos em tanques aerados mecanicamente, tem como um dos produtos dióxido de carbono (MORAVIA, 2010).

O digestor anaeróbio, comumente utilizado no tratamento de resíduos orgânicos para produção de biomassa e biogás, pode também ser utilizado no tratamento de lixiviados. Em experimento executado alimentando-se o reator com matéria orgânica e lixiviado, observou-se que quanto menor a taxa de carregamento orgânico, maior a produção de biogás. Isto ocorreu devido à alta produção de ácidos graxos voláteis e boa degradação, fazendo com que essa produção chegasse a atingir o pico de 42,63L/dia. Com a taxa de carregamento orgânica mais alta, a digestão anaeróbia ficou sobrecarregada, fazendo com que o processo ficasse instável e, assim, houvesse a redução na produção desse. Cerca de 68,11% da maior taxa de produção do biogás era composto por  $\text{CH}_4$  (VONGVICHIANKUL; DEEBAO; KHONGNAKORN, 2017).

Em estudo realizado sobre lixiviados recentes e antigos, Wang et al. (2014) observaram que, nas lagoas de armazenamento, lixiviados mais novos geram maiores quantidades de metano e dióxido de carbono do que os mais antigos, além de em ambos os casos a produção de  $\text{N}_2\text{O}$  ser praticamente nula. No entanto, quando o lixiviado passou para os compartimentos do biorreator, o resultado se inverteu e o óxido nitroso correspondeu a mais de 95% do total de emissões anuais de GEE em  $\text{CO}_2\text{eq}$ . Ao combinar os resultados das lagoas de armazenamento e dos biorreatores, os autores constataram que a quantidade acumulada da emissão anual de gases de efeito estufa foi superior a 33 mil toneladas de  $\text{CO}_2\text{eq}$ .

No que diz respeito à emissão de carbono pelo processo de aterramento de resíduos, esta varia de acordo com os tipos destes e acontece, principalmente, em forma de  $\text{CO}_2$  e  $\text{CH}_4$ . No entanto, uma parte destes gases escapa através da camada de cobertura do aterro e acaba por ser liberada na atmosfera. O dióxido de carbono pode ser emitido devido ao processo de decomposição de resíduos, queima do metano e oxidação natural deste, enquanto o  $\text{CH}_4$  que escapa é devido à porção que não consegue ser coletada pelos drenos de gases. Apesar da quantidade de carbono liberada ser menor em forma de metano, este possui impacto maior como GEE em consequência do alto poder de aquecimento global (LEE; HAN; WANG, 2017).

A quantidade de  $\text{CH}_4$  gerado por resíduos mais antigos é bastante superior quando comparada aos resíduos mais recentemente aterrados (HARO et al., 2019). Os resíduos que estão no estágio inicial de aterramento possuem emissões mais intensas de  $\text{N}_2\text{O}$  e o fluxo deste é maior em aterros ativos do que nos que já estão encerrados (WANG et al., 2016). É importante salientar que a geração de gases é diretamente influenciada pelo regime de chuvas, temperatura, umidade e quantidade de matéria orgânica aterrada e, consequentemente, varia de acordo com o local no qual está instalado o aterro sanitário.

Para empreendimentos que fazem uso de reaproveitamento energético, o fator de emissão de GEE é reduzido quando comparado a locais onde não há nenhum tipo de tecnologia envolvida, podendo atingir valores de 58 a 327  $\text{kgCO}_2\text{eq}$  por tonelada de resíduo (KRISTANTO; KOVEN, 2019). Além disso, ao realizar o aproveitamento do biogás gerado na decomposição dos resíduos, estes gases são utilizados na produção de energia, que pode ser elétrica, térmica ou através de combustíveis renováveis. Em um cenário hipotético onde todos os municípios brasileiros fazem parte de algum consórcio e destinam os resíduos para aterros sanitários com operações iniciadas no ano de 2015, verificou-se que a quantidade de metano gerada pode atingir o valor de  $3.732 \times 10^6 \text{ Nm}^3$  no ano de 2045. Para o mesmo cenário, observou-se também que o potencial de geração de energia elétrica a partir da produção de biogás nesses aterros pode atingir 880 MW em 2022 e se manter constante até 2033, quando aumentaria e atingiria o pico de 1.150 MW. Dentro deste quadro, os estados do Ceará, Pernambuco e Bahia juntos representam cerca de 15% da capacidade total de energia disponível, onde Pernambuco possui o pico de energia disponível em 2045 com 65,70 MW (LIMA et al., 2018).

Os resíduos perigosos, por sua vez, possuem caracterização bastante distinta, que mudará de acordo com a propriedade de cada um. Esses são capazes de emitir diversos tipos de gases tóxicos e poluentes, passíveis de prejudicar tanto a saúde humana quanto o meio ambiente.

Yang et al. (2020) verificaram que resíduos nitrados, se armazenados de forma inadequada, são passíveis de acumular calor interno e atingir o ponto de autoignição, sofrendo combustão espontânea e podendo levar a explosões, visto que possuem características corrosivas, tóxicas e reativas. Observaram também que partículas de níquel e rênio presentes em águas residuais de processos industriais podem se autoinflamar ao passarem por desidratação, reagindo com outras substâncias presentes levando também a explosões, evidenciando que resíduos industriais possuem riscos de poluição, incêndio e explosão. Já Hennebert, Samaali e Molina (2016) observaram em suas pesquisas que os resíduos perigosos são capazes de emitir diversos gases tóxicos e verificaram, através de experimentos, que reações químicas entre estes resíduos

são passíveis de produzir, majoritariamente, CO<sub>2</sub>, enquanto CH<sub>4</sub> e SO<sub>2</sub> (dióxido de enxofre) são produzidos em menores quantidades.

Em Guadalupe (Antilhas Francesas), os principais aterros de resíduos sólidos urbanos são circundados por áreas altamente urbanizadas e foram identificadas ilhas de calor urbana no ambiente do aterro com temperaturas variando em até mais de 4°C (PLOCOSTE et al. 2014). A emissão de GEE contribui diretamente na formação das ilhas de calor, que tem como alternativa de mitigação a implantação de áreas verdes (BEK; AZMY; ELKAFRAWY, 2018). Este fator mostra que o local estudado poderia sofrer efeitos ainda mais intensos do fenômeno caso o empreendimento não estivesse localizado em área rural e não houvesse a presença de reserva legal de Mata Atlântica.

## CONCLUSÕES

De um modo geral, observou-se que as áreas com maiores concentrações de matéria orgânica apresentaram maior incidência de ilhas de calor, fato este justificado pela emissão de gases gerados pela decomposição da matéria orgânica (presente nos resíduos classe 2 e no sistema de tratamento de lixiviado) responsáveis pela geração de gases como gás carbônico e metano.

Para o horário da coleta de dados no aterro sanitário, a temperatura na cidade de Igarassu apresentou uma temperatura média de 33°C, enquanto no local estudado uma média de 41°C, apresentando uma variação de até 8°C entre os dois locais em um mesmo instante para uma distância de 15,6 km, constatando a influência da decomposição da matéria orgânica na formação de Ilhas de Calor.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. APAC – AGÊNCIA PERNAMBUCANA DE ÁGUAS E CLIMA. **Boletim do clima; síntese climática**. FERREIRA, M. A. F. Recife, v.8, n.2, fev. 2020.
2. BEK, M. A.; AZMY, N.; ELKAFRAWY, S. The effect of unplanned growth of urban areas on heat island phenomena. **Ain Shams Engineering Journal**, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.asej.2017.11.001>
3. HARO, K.; OUARMA, I.; NANA, B.; BERE, A.; TUBREOUMYA, G. C.; KAM, S. Z.; LAVILLE, P.; LOUBET, B.; KOULIDIATI, J. Assessment of CH<sub>4</sub> and CO<sub>2</sub> surface emissions from Polego's landfill (Ouagadougou, Burkina Faso) based on static chamber method. **Advances in Climate Change Research**, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.accre.2019.09.002>
4. HENNEBERT, P.; SAMAALI, I.; MOLINA, P. A proposal for a test method for assessment of hazard property HP 12 ("Release of an acute toxic gas") in hazardous waste classification – Experience from 49 waste. **Waste Management**, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2016.09.022>
5. INMET – INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **INMET: Clima**. Disponível em: <<https://clima.inmet.gov.br/prec>>. Acesso em: 31 jul. 2020.
6. IPA – INSTITUTO AGRÔNOMICO DE PERNAMBUCO. **Sessão de índices pluviométricos**. Disponível em: <[http://www.ipa.br/indice\\_pluv.php](http://www.ipa.br/indice_pluv.php)>. Acesso em: 30 jul. 2020.
7. KATER, K. V.; OLIVEIRA, F. M. da C. Vulnerabilidade de aquíferos: caso dos cemitérios de Igarassu e Itapissuma, PE. **Revista de Geologia**, 2016.
8. KRISTANTO, G. A.; KOVEN, W. Estimating greenhouse gas emissions from municipal solid waste management in Depok, Indonesia. **City and Environment Interactions**, 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cacint.2020.100027>
9. LEE, U.; HAN, J.; WANG, M. Evaluation of landfill gas emission from municipal solid waste landfills for the life-cycle analysis of waste-to-energy pathways. **Journal of Cleaner Production**, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.08.016>
10. LIMA, R. M.; SANTOS, A. H. M.; PEREIRA, C. R. S.; FLAUZINO, B. K.; PEREIRA, A. C. O. S.; NOGUEIRA, F. J. H.; VALVERDE, J. A. R. Spatially distributed potential of landfill biogas production and electric power generation in Brazil. **Waste Management**, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.12.011>
11. MORAVIA, W. G. **Avaliação do tratamento de lixiviado de aterro sanitário através de Processo Oxidativo Avançado conjugado com Sistema de Separação por Membranas**. 2010. Tese (Doutorado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.
12. PLOCOSTE, S.; KOALY, J. J.; MOLINIÉ, R.; PETIT, R. Evidence of the effect of an urban heat island on air quality near a landfill, **Urban Climate**, v. 10, n 4, December 2014, p 745-757.
13. VONGVICHIANKUL, C.; DEEBAO, J.; KHONGNAKORN, W. Relationship between pH, Oxidation Reduction Potential (ORP) and biogas production in mesophilic screw anaerobic digester. **Energy Procedia**, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.10.113>
14. WANG, X.; JIA, M.; ZHANG, H.; PAN, S.; KAO, C. M.; CHEN, S. Quantifying N<sub>2</sub>O emissions and productions pathways from fresh waste during the initial stage of disposal to a landfill. **Waste Management**, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2016.08.007>

15. YANG, P.; ZHANG, L. J.; WANG, X. J.; WANG, Z. L. Exploring the management of industrial hazardous waste based on recent accidents. **Journal of Loss Prevention in the Process Industries**, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2020.104224>