

**EMISSÃO DE GASES DO EFEITO ESTUFA COM BASE NA GERAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS DOMÉSTICOS E CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA NA ESCOLA DE ENGENHARIA DE LORENA**DOI: <http://dx.doi.org/10.55449/conresol.5.22.XV-015>**Maria Eduarda da Silva Ferreira (*), Geovana Mantovani Rodrigues, Herlandí de Souza Andrade, Erica Leonor Romão, Mariana Consiglio Kasemodel**

* Escola de Engenharia de Lorena, Universidade de São Paulo e maria.ferreira2@usp.br

RESUMO

O aumento de demandas relacionadas a diversos setores da sociedade, principalmente com o uso da terra e energia, intensificou a geração e descarte de resíduos sólidos e emissões de gases de efeito estufa (GEE). Com isso, medidas que visam controlar e minimizar a emissão de GEE tiveram que se tornar uma realidade e uma dessas medidas foi a criação de um indicador denominado de pegada de carbono ou indicador PC, que contabiliza as emissões de carbono a partir de diversas atividades ou ao longo das fases de um produto. Uma das principais fontes geradoras de GEE é a geração de resíduos sólidos domésticos, que envolve a coleta, transporte e disposição final em aterro sanitário, sendo que todas as etapas são passíveis de geração de GEE; e o consumo de energia elétrica. Sendo assim, o objetivo deste projeto é a quantificação de GEE a partir da geração de resíduos sólidos domésticos e consumo de energia elétrica na Escola de Engenharia de Lorena – EEL. Para isso, foram utilizadas a metodologia descrita nas Diretrizes do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (*Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC*) para Inventários Nacionais de Gases do Efeito Estufa Volume 5 sobre Resíduos e o fator de emissão médio mensal do Sistema Interligado Nacional do Brasil (SIN) referente aos anos bases 2020 e 2021. Como resultado, foi obtido que o potencial de geração de metano (CH₄) a partir da geração de resíduos na EEL é de 0,0015 Gg, logo a emissão de CH₄ considerando o método de decaimento de primeira ordem é de 0,0014 GgCH₄ ou 1,4 tCH₄; e que a emissão total decorrente do consumo de energia elétrica durante o ano (maio de 2020 a abril de 2021) foi de 556,8 toneladas de dióxido de carbono (tCO₂). Estes valores estão abaixo da geração de GEE de outras universidades consultadas, no entanto, vale ressaltar que o período analisado neste estudo compreende o período de suspensão das atividades presenciais acadêmicas. Recomenda-se que estas análises sejam realizadas semestralmente para avaliar o impacto do retorno das atividades presenciais no campus.

PALAVRAS-CHAVE: Gases do efeito estufa, Pegada de carbono, Instituições de ensino superior, IPCC, SIN**ABSTRACT**

The increase in demands related to various sectors of society, mainly with the use of land and energy, intensified the generation and disposal of solid waste and greenhouse gas (GHG) emissions. As a result, measures aimed at controlling and minimizing GHG emissions had to become a reality and one of these measures was the creation of an indicator called the carbon footprint or CF indicator, which counts carbon emissions from various activities or across the phases of a product. One of the main sources of GHG generation is the generation of domestic solid waste, which involves the collection, transport and final disposal in a sanitary landfill, with all stages capable of generating GHG; and the consumption of electricity. Therefore, the objective of this project is the quantification of GHG from the generation of domestic solid waste and electric energy consumption at the School of Engineering of Lorena – EEL. For this, the methodology described in the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories Volume 5 on Waste and the average monthly emission factor of the Brazilian Interconnected System (SIN) for the base years 2020 and 2021 were used. As a result, it was obtained that the potential for generating methane (CH₄) from the generation of waste in the EEL is 0,0015 Gg, so the CH₄ emission considering the first-rate decay method order is 0,0014 GgCH₄ or 1,4 tCH₄; and that the total emission from electricity consumption during the year (May 2020 to April 2021) was 556,8 tons of carbon dioxide (tCO₂). These values are below the GHG generation of other universities consulted, however, it is worth mentioning that the period analyzed in this study comprises the period of suspension of academic classroom activities. It is recommended that these analyzes be carried out semi-annually to assess the impact of the return of face-to-face activities on campus.

KEY WORDS: Greenhouse gases, Carbon footprint, Higher education institutions, IPCC, SIN



INTRODUÇÃO

As instituições de ensino superior (IES) são consideradas facilitadoras importantes do desenvolvimento sustentável, no entanto, elas também podem contribuir com a emissão de grandes quantidades de gases do efeito estufa (GEE) a partir da mobilidade dos alunos e funcionários, pelo consumo excessivo de energia e água no campus e pelo volume de resíduos sólidos domésticos gerados no campus, cuja coleta e tratamento também contribuem com emissões de GEE (FILIMONAU et al., 2021).

Estima-se que existem mais de 19.000 IES em todo o mundo, distribuídas entre a maioria das nações, com uma comunidade que ultrapassa 207 milhões de pessoas (ROBINSON et al., 2018). O número de alunos que frequentam a universidade desde o ano 2000 cresceu exponencialmente; uma tendência que provavelmente continuará na maioria dos cenários (ROBINSON et al., 2018).

No ano de 2012 a Organização das Nações Unidas (ONU) lançou a Iniciativa de Sustentabilidade no Ensino Superior (*Higher Education Sustainability Initiative - HESI*) que tem como objetivo promover os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) dentro de universidades e faculdades em todo mundo. A pesquisa sobre o papel das IES e as mudanças climáticas aumentou durante a última década devido aos desafios científicos, sociais, ambientais e políticos que o fenômeno criou em toda a biosfera (LEAL FILHO, 2019). Sendo assim, as IES estão trabalhando para incorporar as 17 metas em suas agendas e políticas para alcançar os ODS.

Neste contexto, pesquisas envolvendo a quantificação de gás carbono emitido pelas IES está emergindo rapidamente. Pesquisas com este objetivo tem sido realizada em diversos países, como nos Estados Unidos (CLABEAUX et al., 2020), no Reino Unido (FILIMONAU et al., 2021), na Indonésia (RIDHOSARI; RAHMAN, 2020), entre outros. Desta forma, a identificação das principais fontes responsáveis pela emissão de GEE é importante para implementar medidas mitigadoras nas IES.

Desta forma, o indicador o Pegada de Carbono (PC) foi desenvolvido na última década e é definido como uma medida da quantidade total exclusiva de emissões de dióxido de carbono que é direta e indiretamente causada por uma atividade ou é acumulada ao longo das fases de vida de um produto (WIEDMANN; MINX, 2008). A proposta da PC revela vividamente o efeito do comportamento humano nas mudanças climáticas e fornece uma ferramenta eficaz para medir cientificamente as emissões de carbono (SHI; YIN, 2021). A análise quantitativa baseada na PC não só facilita a exploração das áreas de concentração e intensidade das emissões de carbono, mas também fornece uma base para a tomada de medidas direcionadas e supervisão periódica das mesmas (SHI; YIN, 2021).

À medida que mais IES quantificam suas emissões de GEE, modelos são necessários para ilustrar as abordagens da PC e permitir comparação entre as IES (CLABEAUX et al., 2020). Avaliar semelhanças ou diferenças nas principais fontes de emissões de GEE de IES pode ajudar a concentrar objetivos, estratégias e políticas para reduzir as emissões (CLABEAUX et al., 2020).

OBJETIVOS

Este trabalho teve como objetivo estimar a emissão de GEE oriunda da geração de resíduos sólidos domésticos e consumo de energia elétrica na Escola de Engenharia de Lorena, da Universidade de São Paulo (EEL-USP).

METODOLOGIA

Para o cálculo das emissões de metano (CH₄) a partir da geração de resíduos sólidos foi utilizada a metodologia descrita nas Diretrizes do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (*Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC*) para Inventários Nacionais de Gases do Efeito Estufa Volume 5 sobre Resíduos. Desta forma, considerou-se que os resíduos gerados na EEL-USP são depositados em um aterro sanitário (aterro sanitário de Cachoeira Paulista) e a composição gravimétrica dos resíduos gerados. Esse método envolve a estimativa da quantidade de carbono orgânico degradável presente no resíduo, calculando assim a quantidade de metano que pode ser gerada por determinada quantidade de resíduo depositado, considerando diferentes categorias de resíduos sólidos domésticos e o método de decaimento de primeira ordem. Para isso, considerou-se a composição gravimétrica dos resíduos gerados na universidade determinado por Romão et al. (neste congresso).

Para o cálculo das emissões de dióxido de carbono (CO₂) decorrentes do consumo de energia elétrica na EEL-USP, utilizou-se o fator de emissão médio mensal do Sistema Interligado Nacional do Brasil (SIN) referente aos anos bases 2020 e 2021 (BRASIL, sem data). Os fatores de emissão médio de CO₂ para energia elétrica a serem utilizados em



inventários têm como objetivo estimar a quantidade de CO₂ associada a uma geração de energia elétrica determinada. Desta forma, é levado em consideração todas as usinas que estão gerando energia (BRASIL, sem data). Para calcular as emissões de CO₂, considerou-se o consumo mensal em KWh mensurado pela companhia que faz a cobrança do consumo elétrico nos campi (dados fornecidos pela prefeitura do campus) durante maio de 2020 a maio de 2021 e o fator de emissão estabelecido pelo SIN.

A análise e interpretação dos dados obtidos foi realizada a partir da transformação dos aspectos ambientais, consumo de energia e geração de resíduos em equivalente de GEE. Os dados foram comparados com dados obtidos em outras instituições de ensino superior (IES).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Emissão de GEE decorrentes da geração de resíduos sólidos

A partir da aplicação do modelo de determinação de carbono orgânico degradável (COD), calculou-se a quantidade de carbono orgânico presente no resíduo que está acessível a decomposição bioquímica. Este parâmetro é dependente da composição gravimétrica dos resíduos e da fração de carbono orgânico presente em cada tipo de resíduo (valor tabelado). A partir da determinação da composição gravimétrica e considerando os valores de carbono orgânico padrão para resíduos secos estabelecidos pelo IPCC (2006), foi possível então calcular a fração de carbono orgânico degradável do resíduo sólido urbano, conforme Tabela 1. A partir da fração de COD individual dos constituintes do resíduo sólido urbano foi possível calcular a massa de carbono orgânico depositado (CODD) no aterro, no qual o valor total obtido foi de 0,0023 GgC.

Tabela 1 – Fração de carbono orgânico degradável do resíduo sólido urbano da EEL-USP

| Composição gravimétrica | COD (GgC Gg ⁻¹) |
|-------------------------|-----------------------------|
| Plástico | 0,09020 |
| Papel | 0,04264 |
| Metal | 0,00580 |
| Têxtil | 0,00117 |
| Restos de alimentos | 0,30522 |
| Total (COD) | 0,44502 |

Fonte: os autores.

O método definido pelo IPCC para a estimativa de emissão de CH₄ é baseado no decaimento de primeira ordem. Este método assume que o COD no resíduo decai lentamente nas primeiras décadas após de disposição, período no qual CH₄ e CO₂ são formados (IPCC, 2006). Se as condições forem constantes, a emissão de CH₄ depende apenas na quantidade de carbono remanescente no resíduo. O potencial de emissão de CH₄ pode então ser calculado a partir do CODD, considerando a fração de geração de CH₄ (F) como 0,5. Desta forma, o potencial de geração de CH₄ é de 0,0015 Gg, logo a emissão de CH₄ considerando o método de decaimento de primeira ordem é de 0,0014 GgCH₄ ou 1,4 tCH₄. Vale ressaltar que os dados apresentados aqui são referentes a uma campanha de determinação gravimétrica realizada no período antecedente ao retorno das atividades presenciais de ensino superior. A partir de futuras campanhas de determinação da composição gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos gerados na unidade será possível obter estimativas periódicas da emissão de GEE.

Emissão de GEE decorrentes do consumo de energia elétrica

O cálculo da emissão de CO₂ baseado no consumo de energia elétrica foi realizado considerando o consumo e o fator de emissão mensal entre os meses de maio de 2020 a maio de 2021 nos dois *campi* da EEL-USP (Figura 1). A partir da Figura 1, nota-se que os maiores consumos e emissão de CO₂ ocorreram nos meses de dezembro de 2020 e janeiro 2021. Sendo que os valores médios de emissão foram de 29,5 tCO₂ na área 1 e 15,3 tCO₂ na área 2, totalizando em um valor médio mensal de 44,8 tCO₂ nas duas áreas durante o período analisado. A emissão total durante o ano (maio de 2020 a abril de 2021) foi de 556,8 tCO₂. Vale ressaltar, que estes dados se referem ao consumo durante período que as aulas estavam sendo realizadas de forma remota, portanto são referentes principalmente a atividades administrativas e de pesquisa.

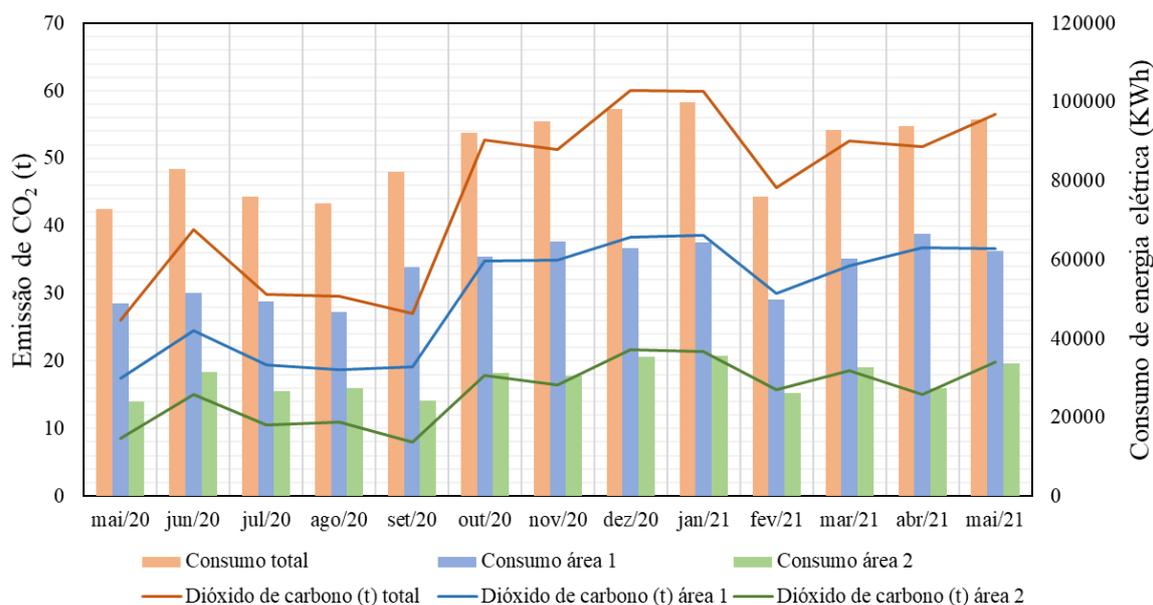


Figura 1. Consumo de energia elétrica e emissão de CO₂ oriunda do consumo de energia elétrica nos campi da EEL-USP nos meses de maio de 2020 a maio de 2021

Fonte: os autores.

Emissão de gases em IES

Para a geração de resíduos sólidos urbanos em IES, Ridhosari e Rahman (2020) aplicaram o modelo WARM para determinação da emissão total de CO₂ oriundo da geração e transporte dos resíduos sólidos na Universidade de Pertamina (população de 2.621 pessoas), e foi também considerado o resíduo de varrição. Os autores obtiveram que a geração total de CO₂ em um ano é de 14,08 Mt. Filimonau et al. (2021) analisaram a pegada de carbono relacionada com a geração de resíduos sólidos na Universidade Bournemouth (população aproximada de 18 mil pessoas) nos anos de 2018, 2019 e 2020. Durante o período de suspensão das atividades presenciais (ano de 2020), os autores consideraram a geração de resíduos como sendo nula. Nos períodos de 2018 e 2019, a emissão calculada foi de 0,129 e 0,154 tCO₂, respectivamente.

No caso do consumo de energia elétrica, estima-se que as universidades estadunidenses consomem em média 18,9 kWh por p² por ano de energia (ESOURCE, sem data). Considerando a área construída da EEL (31.948,14 m²) e o fator de emissão médio no período de maio de 2020 a maio de 2021, a emissão de CO₂ seria de aproximadamente 323,3 t por mês, superior à média no período analisado (44,8 t). Ridhosari e Rahman (2020) obtiveram que a emissão total de CO₂ oriundo da eletricidade consumida na Universidade de Pertamina foi de 1,247.8 MtCO₂ no ano analisado, no entanto, o período analisado pelos autores não envolve a suspensão das atividades presenciais. Além disso, o fator de emissão de Jakarta (valor utilizado pelos autores) é superior aos valores médios brasileiros. Filimonau et al. (2021) analisaram a pegada de carbono relacionada com o consumo de energia elétrica na Universidade Bournemouth e obtiveram que durante abril a junho de 2020 a emissão de CO_{2e} foi de 312,2 tCO₂.

A comparação com a emissão de GEE em outras universidades pode ser uma análise importante, no entanto, deve-se considerar que as instituições têm tamanhos variados de população, diferentes fontes de emissão de GEE e variações em sua metodologia para determinação da PC (CLABEAUX et al., 2020). Além disso, deve-se considerar que durante a suspensão das atividades presenciais houve alterações nos padrões de consumo de energia e geração de resíduos em IES. Análises compreendendo períodos superiores a um ano podem ser interessantes para avaliar os impactos da suspensão das aulas nas emissões de GEE por IES.

CONCLUSÃO

Conclui-se que a emissão de CH₄ decorrente da geração de resíduos é de 1,4 t e a emissão de CO₂ decorrente do consumo de energia elétrica é de 556.8 t. Recomenda-se que estas análises sejam realizadas semestralmente para avaliar o impacto do retorno das atividades presenciais no campus.



AGRADECIMENTOS

À Superintendência de Gestão Ambiental (SGA), Projeto Incline e ao Programa Unificado de Bolsas (PUB) da USP.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Brasil (sem data). Ministério de Ciência e Tecnologia. **Fator médio – Inventários corporativos**. Disponível em: <https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/dados-e-ferramentas/fatores-de-emissao>. Acesso em 22 de março de 2022.
2. Clabeaux, R. Carbajales-Dale, M.; Ladner, D.; Walker, T. **Assessing the carbon footprint of a university campus using a life cycle assessment approach**. Journal of Cleaner Production, 273, 122600, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122600>
3. Esource. **Friendly Power. Colleges and Universities**. Disponível em: <https://esource.bizenergyadvisor.com/article/colleges-and-universities>. Acesso em 22 de março de 2022.
4. IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change (2006). Inventários Nacionais de Gases do Efeito Estufa Volume 5 sobre Resíduos. Disponível em: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol5.html>. Acesso em 21 de março de 2022.
5. Filimonau, V.; Archer, D.; Bellamy, L.; Smith, N.; Wintrip, R. **The carbon footprint of a UK University during the COVID-19 lockdown**. Science of The Total Environment, 756, 143964, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143964>
6. Leal Filho, W.; Vargas, V. R.; Salvia, A. L.; Brandli, L. L.; Pallant, E.; Klavins, M.; Ray, S.; Moggi, S.; Maruna, M.; Conticelli, E.; Ayanore, M. A.; Radovic, V.; Gupta, B.; Sen, S.; Paço, A.; Michalopoulou, E.; Saikim, F. H.; Koh, H. L.; Frankenberger, F.; Kanchanamukda, W.; Cunha, D. A.; Akib, N. A. M.; Clarke, A.; Wall, T.; Vaccari, M. **The role of higher education institutions in sustainability initiatives at the local level**. Journal of Cleaner Production, 233,1004-1015, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.06.059>.
7. Ridhosari, B.; Rahman, A. **Carbon footprint assessment at Universitas Pertamina from the scope of electricity, transportation, and waste generation: Toward a green campus and promotion of environmental sustainability**. Journal of Cleaner Production, 246, 119172, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119172>.
8. Robinson, O.J.; Tewkesbury, A.; Kemp, S.; Williams, I. D. **Towards a universal carbon footprint standard: a case study of carbon management at universities**. Journal of Cleaner Production, 172, 4435-4455, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.02.147>.
9. Wiedmann, T.; Minx, J. A definition of 'carbon footprint'. In: Pertsova, C.C (Ed.), **Ecological Economics Research Trends**. Nova Science Publishers, Hauppauge NY, USA (2008), 1-11.
10. Shi, S.; Yin, J. **Global research on carbon footprint: A scientometric review**. Environmental Impact Assessment Review, 89, 106571, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2021.106571>