

# 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

*Greenhouse gas emission based on the generation of urban solid waste and electric energy consumption at the School of Engineering of Lorena*

*Emisión de gases de efecto invernadero en base a la generación de residuos sólidos domiciliarios y consumo de energía eléctrica en la Escuela de Ingeniería de Lorena*

## **Maria Eduarda da Silva Ferreira**

Graduanda em Engenharia Ambiental da Esc. de Eng. de Lorena (EEL) da USP

orcid: [0000-0003-3112-119](https://orcid.org/0000-0003-3112-119)

maria.ferreira2@usp.br

## **Geovana Mantovani Rodrigues**

Graduanda em Engenharia Ambiental da Esc. de Eng. de Lorena (EEL) da USP

orcid: [0000-0002-6039-8423](https://orcid.org/0000-0002-6039-8423)

geovana.mrodrigues@usp.br

## **Herlandí de Souza Andrade**

Professor Doutor da Escola de Eng. de Lorena-EEL, USP

orcid: [0000-0003-3293-3991](https://orcid.org/0000-0003-3293-3991)

herlandi@usp.br

## **Érica Leonor Romão**

Professora Doutora da Escola de Eng. de Lorena-EEL, USP

orcid: [0000-0002-3038-4477](https://orcid.org/0000-0002-3038-4477)

ericaromao@usp.br

## **Mariana Consiglio Kasemodel**

Professora Doutora da Escola de Eng. de Lorena-EEL, USP

orcid: [0000-0003-0384-8835](https://orcid.org/0000-0003-0384-8835)

mariana.kasemodel@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 as 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 pegada de carbono ou indicador PC, que contabiliza as emissões de carbono a partir de diversas atividades ou ao longo dos estágios do ciclo de vida de um produto. Uma das principais fontes geradoras de GEE é a geração de resíduos sólidos domésticos, que envolve a coleta, o transporte e a 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 trabalho foi a quantificação de GEE a partir do consumo de energia elétrica e da geração de resíduos sólidos domésticos 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 2021 e 2022. Como resultado, foi obtido que a emissão total decorrente do consumo de energia elétrica durante 2021 e 2022 foi de 1.194,0 e 347,3 toneladas de dióxido de carbono (tCO<sub>2</sub>) respectivamente. O potencial de geração de metano (CH<sub>4</sub>) a partir da geração de resíduos na EEL é 2,11 tCH<sub>4</sub>. 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 life cycle stages of a product. One of the main sources of GHG generation is the generation of urban 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 study was the quantification of GHG from the electric energy consumption and the generation of urban solid waste at the School of Engineering of Lorena. 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 2021 and 2022 were used. As a result, it was obtained that the potential that the total emission from electricity consumption during the years 2021 and 2022 was 1,194.0 and 347.3 tons of carbon dioxide (tCO<sub>2</sub>), respectively. The potential for generating methane (CH<sub>4</sub>) from the generation of waste at the School of Engineering of Lorena was 2,11 tCH<sub>4</sub>. These values are below the GHG

Data da Submissão:  
28outubro2022

Data da Publicação:  
20fevereiro2023

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.

**Keywords:** Greenhouse gases, Carbon footprint, Higher education institutions, IPCC, SIN.

## Resumen

El aumento de las demandas relacionadas con diversos sectores de la sociedad, principalmente con el uso de la tierra y la energía, intensificó la generación y disposición de residuos sólidos y las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). En consecuencia, las medidas encaminadas a controlar y minimizar las emisiones de GEI tuvieron que hacerse realidad y una de estas medidas fue la creación de un indicador denominado huella de carbono o indicador PC, que contabiliza las emisiones de carbono de diversas actividades o actividades a lo largo de las fases del ciclo de vida de un producto. Una de las principales fuentes de generación de GEI es la generación de residuos sólidos domésticos, que involucra la recolección, transporte y disposición final en un relleno sanitario, con todas las etapas capaces de generar GEI; y el consumo de electricidad. Por lo tanto, el objetivo de este estudio es la cuantificación de GEI provenientes del consumo de energía eléctrica y de la generación de residuos sólidos domésticos en la Escuela de Ingeniería de Lorena. Para ello, se utilizó la metodología descrita en las Directrices para los Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero Volumen 5 sobre Residuos del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC) y el factor de emisión promedio mensual del Sistema Interconectado Nacional de Brasil (SIN) para los años base 2021 y 2022. Como resultado se obtuvo que la emisión total por consumo eléctrico durante el año (2021 y 2022) fue de 1,194.0 y 347.3 toneladas de dióxido de carbono (tCO<sub>2</sub>), respectivamente. El potencial de generación de metano (CH<sub>4</sub>) a partir de la generación de residuos en la Escuela de Ingeniería de Lorena es de 2,11 tCH<sub>4</sub>. Estos valores se encuentran por debajo de la generación de GEI de otras universidades consultadas, sin embargo, cabe mencionar que el periodo analizado en este estudio comprende el periodo de suspensión de actividades académicas presenciales. Se recomienda que estos análisis se realicen semestralmente para evaluar el impacto del regreso de las actividades presenciales en el campus.

**PALABRAS CLAVE:** Gases de efecto invernadero, Huella de carbono, Instituciones de educación superior, IPCC, SIN.

## 1. 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. Desta forma, 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.

O indicador 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).

As emissões de GEE são geralmente classificadas em emissões diretas (Escopo 1) e emissões indiretas

(Escopos 2 e 3). As emissões do Escopo 1 são emissões diretas que ocorrem a partir de fontes controladas ou pertencentes a uma organização (por exemplo, emissões associadas à queima de combustível em caldeiras, fornos, veículos); enquanto as emissões do escopo 2 são emissões indiretas associadas à compra de eletricidade, vapor, calor ou resfriamento (WORLD RESOURCES INSTITUTE – WRI; CONSELHO WORLD BUSINESS COUNCIL FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT – WBCSD, 2015). As emissões do Escopo 3 também são classificadas como indiretas e incluem transporte de produtos, viagens e deslocamento de funcionários. Estas emissões nem sempre são contabilizadas pelas empresas e instituições, no entanto, podem representar a maior parcela de emissão de GEE de uma organização (ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY – EPA, s/d).

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). No entanto, as comparações são difíceis, pois as instituições têm tamanhos populacionais variados, fontes de emissão de GEE e variações em sua metodologia de PC. A comparação de PC de IES pode ser desafiadora, pois as fontes de emissão de GEE incluídas nem sempre são consistentes, principalmente no que diz respeito à inclusão de emissões de Escopo 3 (CLABEAUX et al., 2020). Em algumas IES, tem sido sugerido que as emissões indiretas

podem representar até 80% de sua PC (OZAWA-MEIDA et al., 2013). Enquanto em outros estudos, as emissões de Escopo 3 representam apenas 18% da PC (KLEIN-BANAI et al., 2010).

Desta forma, este estudo teve como objetivo estimar a emissão de GEE oriunda do consumo de energia elétrica (Escopo 2) e da geração de resíduos sólidos domésticos (Escopo 3) na Escola de Engenharia de Lorena, da Universidade de São Paulo (EEL-USP).

## **2. ÁREA DE ESTUDO**

A área de estudo é a Escola de Engenharia de Lorena (EEL) da Universidade de São Paulo (USP), localizada na cidade de Lorena, São Paulo. A unidade foi incorporada à USP em 2006 e conta com duas áreas (Figuras 1a e 1b), totalizando 373.448,64 m<sup>2</sup> de área de terreno

e 31.948,14 m<sup>2</sup> de área construída. Atualmente, na unidade, são oferecidos um curso de ensino médio e técnico em Química; seis cursos de graduação em Engenharia, sendo: Engenharia Ambiental, Engenharia Bioquímica, Engenharia Física, Engenharia de Produção, Engenharia de Materiais e Engenharia Química, distribuídos em quatro departamentos; cinco programas de pós-graduação, sendo: Engenharia de Materiais, Biotecnologia Industrial, Engenharia Química, Projetos Educacionais em Ciências; e um curso de especialização em Engenharia de Qualidade. Além disso, a EEL-USP conta também com outras atividades que são executadas dentro de suas duas áreas, como serviços administrativos, laboratórios de ensino e pesquisa, bibliotecas, restaurante universitário, lanchonete, estação de tratamento de esgotos, poda e jardinagem das áreas verdes, varrição e serviços de oficina.

Figura 1 - Foto aérea da (a) área 1, e (b) área 2 da Escola de Engenharia de Lorena em 2007

(a)



(b)



Fonte: André Arras (USP, s/d)

A comunidade acadêmica que frequenta o campus é composta por 2.178 alunos do ensino médio e dos cursos de graduação; 351 alunos de pós-graduação; 83 docentes; e 21 funcionários. Além disso, a unidade conta também com prestadores de serviços terceirizados, como agentes de limpeza e de segurança.

### 3. METODOLOGIA

A pegada de carbono da Escola de Engenharia de Lorena foi avaliada no período de 2021 a 2022. De acordo com o Programa Brasileiro GHG Protocol, este estudo incorporou a pegada de carbono associada a eletricidade (Escopo 2 – emissões

indiretas), como entrada do sistema; e resíduos sólidos domésticos (Escopo 3) foram integrados à saída do sistema.

Para o cálculo das emissões de metano (CH<sub>4</sub>) 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. (2022) em duas campanhas realizadas na área 1 da unidade em 2022.

Para o cálculo das emissões de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) 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 2021 (janeiro a dezembro) e 2022 (janeiro a julho) (BRASIL, sem data). Os fatores de emissão médio de CO<sub>2</sub> para energia elétrica a serem utilizados em inventários têm como objetivo estimar a quantidade de CO<sub>2</sub> associada a uma geração de energia elétrica determinada. Desta forma, é levado em consideração todas as usinas que estão gerando energia (BRASIL, s/d). Para calcular as emissões de CO<sub>2</sub>, 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 janeiro de 2021 a julho de 2022 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).

Na Tabela 1 estão descritos os principais conjuntos de dados usados na avaliação da pegada de carbono, como os dados foram obtidos, as unidades de medidas, o fator de conversão e a respectiva fonte da metodologia.

Tabela 1 – Dados requeridos para as conversões de emissão de GEE e fator de conversão

| Escopo de emissão de GEE | Processo                    | Unidade | Fonte primária de dados   | Fator de conversão (se aplicável) | Fonte  |
|--------------------------|-----------------------------|---------|---|-----------------------------------|--|
| 2                        | Eletricidade                | kWh     | Medições feitas pela empresa responsável pelo fornecimento de energia | 0,5985 (2021);<br>0,3961 (2020)   | Sistema Interligado Nacional do Brasil (SIN) |
| 3                        | Resíduos sólidos domésticos | kg      | Romão et al. (2022)   | -                                 | IPCC (2006)                                  |

Fonte: Autoria própria

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

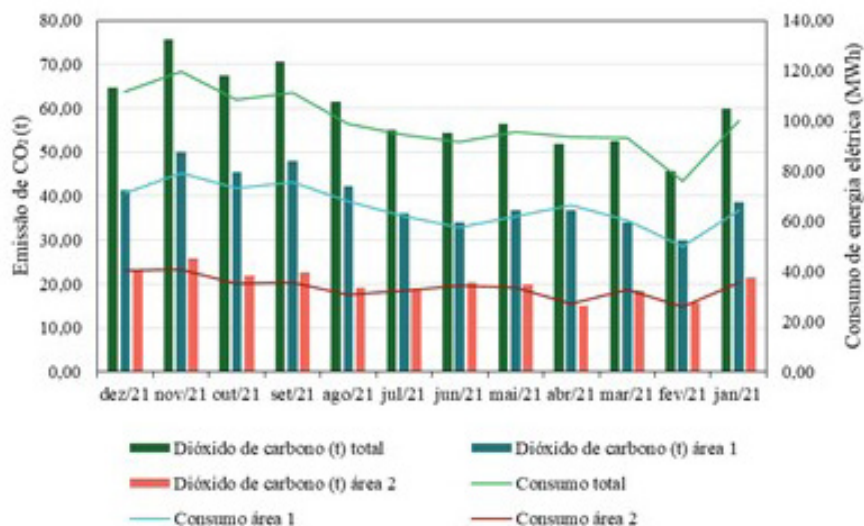
Emissão de GEE decorrentes do consumo de energia elétrica (Escopo 2)

O cálculo da emissão de CO<sub>2</sub> baseado no consumo de energia elétrica foi realizado considerando o consumo e o fator de emissão mensal entre os meses de janeiro de 2021 a julho de 2022 nos dois campi da EEL-USP (Figuras 2<sup>a</sup> e 2b). A partir da Figura

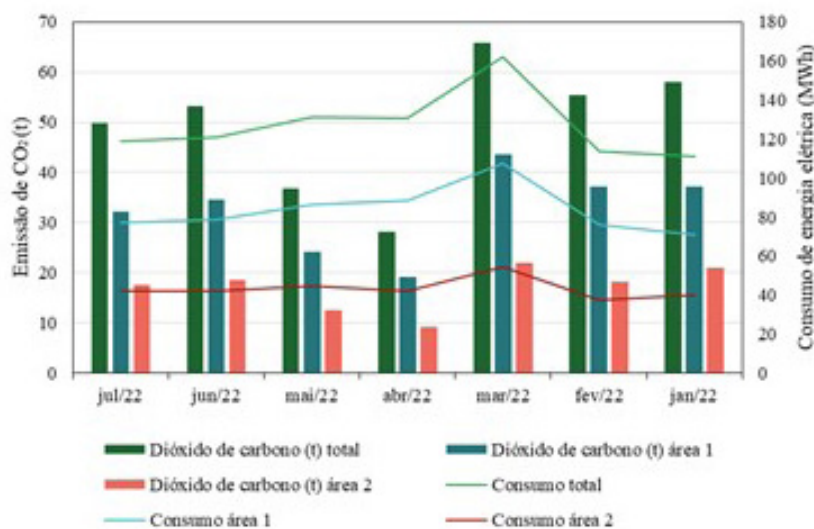
2, nota-se que os maiores consumos e emissão de CO<sub>2</sub> ocorreram nos meses de março e maio de 2022, quando foram consumidos 161,9 e 131,2 MWh respectivamente. O consumo superior de energia elétrica nos meses de 2022 em comparação ao ano de 2021 é esperado, uma vez que a partir de março foi dado o retorno as atividades presenciais na unidade analisada.

Figura 2 – Consumo de energia elétrica e emissão de CO2 oriunda do consumo de energia elétrica nos campi da EEL-USP nos meses de (a) janeiro a dezembro de 2021, e (b) janeiro a junho de 2022

(a)



(b)



Fonte: Autoria própria

No ano de 2021, os valores médios de emissão foram de 39,5 tCO<sub>2</sub> na área 1 e 20,2 tCO<sub>2</sub> na área 2, totalizando em um valor médio mensal de 59,7 tCO<sub>2</sub> nas duas áreas. A emissão total durante o ano de 2021 foi de 1.194,0 tCO<sub>2</sub>. Vale ressaltar, que estes dados se referem ao consumo durante o



período que as aulas estavam sendo realizadas de forma remota, portanto são referentes principalmente a atividades administrativas e de pesquisa.

No período de 2022 analisado, os valores médios de emissão foram de 32,6 tCO<sub>2</sub> na área 1 e 17,0 tCO<sub>2</sub> na área 2, totalizando em um valor médio mensal de 49,6 tCO<sub>2</sub> nas duas áreas. A emissão total durante os meses de janeiro a julho de 2022 foi de 347,3 tCO<sub>2</sub>.

Apesar da emissão de carbono ter sido inferior no ano de 2022, o consumo de energia elétrica neste mesmo período foi inferior ao ano de 2021. Isto se deve ao fator de emissão médio dos meses de 2022 (0,3961) ter sido inferior aos meses de 2021 (0,5985).

Emissão de GEE decorrentes da geração de resíduos sólidos (Escopo 3).

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 à 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 2. 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 mês de fevereiro e março, no qual os valores totais obtidos foram de 138,83 kg e 448,43 kg respectivamente.

Tabela 2 - Fração de carbono orgânico degradável do resíduo sólido urbano da EEL-USP

| Composição gravimétrica | COD (GgC Gg <sup>-1</sup> )<br>2022 (fev) | COD (GgC Gg <sup>-1</sup> )<br>2022 (mar) |
|-------------------------|---|---|
| Plástico                | 0,00000                                   | 0,00000                                   |
| Papel                   | 0,04264                                   | 0,17798                                   |
| Metal                   | 0,00000                                   | 0,00000                                   |
| Têxtil                  | 0,00117                                   | 0,00240                                   |
| Restos de alimentos     | 0,30522                                   | 0,16925                                   |
| <b>Total (COD)</b>      | <b>0,34902</b>                            | <b>0,34963</b>                            |

Fonte: Autoria própria

O método definido pelo IPCC para a estimativa de emissão de CH<sub>4</sub> é baseado no decaimento de primeira ordem. Este método assume que o COD no resíduo decai lentamente nas primeiras décadas após a disposição, período no qual CH<sub>4</sub> e

CO<sub>2</sub> são formados (IPCC, 2006). Se as condições forem constantes, a emissão de CH<sub>4</sub> depende apenas da quantidade de carbono remanescente no resíduo. O potencial de emissão de CH<sub>4</sub> pode então ser calculado a partir do CODD, considerando a

fração de geração de CH<sub>4</sub> (F) como 0,5. Desta forma, o potencial de geração de CH<sub>4</sub> médio entres os meses analisados é de 176,18 kg, logo a emissão de CH<sub>4</sub> considerando o método de decaimento de primeira ordem em uma média anual é de 2,11 t de CH<sub>4</sub>. Vale ressaltar que os dados apresentados aqui são referentes a uma campanha de determinação gravimétrica realizada em um mês antecedente ao retorno das atividades presenciais e um mês já com os alunos na universidade e a partir dessa caracterização foi feita uma média anual. 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.

#### Pegada de carbono da EEL-USP

A partir dos cálculos de emissão de GEE oriundos do consumo de energia elétrica e geração de resíduos sólidos, é possível obter a pegada de carbono referente a estas atividades no período analisado, conforme Tabela 3. Nota-se que o consumo de energia elétrica mensal durante o ano de 2022 é superior à média do ano de 2021, no entanto, como o fator de emissão médio de 2022 foi inferior ao ano de 2021 (vide Tabela 1), a pegada de carbono resultante para esta atividade foi inferior em 2022.

Tabela 3 - Pegada de carbono com base no consumo de eletricidade e geração de resíduos sólidos domésticos na EEL-USP

| Item                        | Unidade do dado primário | Dado primário  |                  | Pegada de carbono        |                        |
|-----------------------------|--------------------------|----------------|------------------|--------------------------|------------------------|
|                             |                          | 2021 (jan-dez) | 2022 (jan – jul) | 2021 (jan-dez)           | 2022 (jan – jul)       |
| Eletricidade                | MWh                      | 1.194,2        | 888,3            | 1.194,0 tCO <sub>2</sub> | 347,3 tCO <sub>2</sub> |
| Resíduos sólidos domésticos | kg                       | -              | 4.271,5          | -                        | 2,11 tCH <sub>4</sub>  |

Fonte: Autoria própria

Estima-se que as universidades estadunidenses consomem em média 18,9 kWh por pé<sup>2</sup> por ano de energia (ESOURCE, sem data). Considerando a área construída da EEL (31.948,14 m<sup>2</sup>) e o fator de emissão médio no período 2021 e 2022, a emissão de CO<sub>2</sub> seria de aproximadamente 283,8 tCO<sub>2</sub> por mês, superior à média no período analisado (81,1 tCO<sub>2</sub>). Ridhosari e Rahman (2020) obtiveram que a emissão total de CO<sub>2</sub> oriundo da eletricidade consumida na Universidade de Pertamina foi de 1.247,8 MtCO<sub>2</sub> 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 no Reino Unido e, obtiveram que durante abril a junho de 2020 a emissão foi de 312,2 tCO<sub>2</sub>, estes valores também são superiores aos obtidos no presente estudo. No entanto, a comunidade universitária da Universidade Bournemouth (17.892) é superior à da EEL-USP (2.633).

García-Alaminos et al. (2022) analisaram a pegada de carbono em universidade em Bogotá, na Colômbia, e obtiveram que as emissões referentes ao consumo de eletricidade no ano de 2018 foi de 132,1 tCO<sub>2</sub>. No entanto, os autores não informam o tamanho da comunidade universitária. Varón-Hoyos et al. (2021) também analisaram a PC de uma universidade na Colômbia, e obtiveram que as emissões referentes ao consumo de eletricidade no ano de 20187 foi de 221,6 tCO<sub>2</sub>. Ainda, de acordo com García-Alaminos et al. (2022), a implantação de instalações fotovoltaicas de autoconsumo para geração de eletricidade reduziria diretamente as emissões do Escopo 2 e a redução indireta das emissões no Escopo 3.

O uso de diferentes tipos de geração de eletricidade varia em função de diversas variáveis, tanto de mercado quanto naturais, principalmente meteorológicas, foi necessário utilizar fatores de emissão médios mensais (VARÓN-HOYOS et al., 2021). No caso de países como o Brasil e a Colômbia, onde a geração de eletricidade ocorre predominantemente em usinas hidrelétricas, a capacidade de geração dessa fonte é afetada por épocas de baixa pluviosidade, sendo necessário compensar esse déficit com geração em termelétricas, onde os combustíveis fósseis são usados. Tais fatores podem afetar o fator de emissão, implicando em mudanças nas emissões de carbono.

No presente estudo, verificou-se que a pegada de carbono resultante para a geração de resíduos sólidos domésticos foi de 2,11 tCH<sub>4</sub>. Vale ressaltar que este dado se refere a duas campanhas de determinação da composição gravimétrica dos

resíduos coletados na área 1 da unidade analisada. Sendo importante caracterizar os resíduos da área 2 e dar continuidade às campanhas para estimativas futuras de emissão de CH<sub>4</sub>. Além disso, a metodologia utilizada permite apenas a estimativa de geração de CH<sub>4</sub>, não sendo possível estimar o potencial de geração de CO<sub>2</sub>.

Para a geração de resíduos sólidos urbanos em IES, Ridhosari e Rahman (2020) aplicaram o modelo WARM para determinação da emissão total de CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> em um ano é de 14,08 MtCO<sub>2</sub>. 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 tCO<sub>2</sub>, respectivamente. No entanto, o tratamento dos resíduos sólidos na universidade de Bournemouth é digestão anaeróbica.

Varón-Hoyos et al. (2021) determinaram que a emissão decorrente da geração de resíduos comuns foi de 41,8 tCO<sub>2</sub>. Yañez, Sinha e Vásquez (2020) determinaram que a pegada de carbono da geração de resíduos sólidos na Universidade de Talca em 2016, com uma comunidade de aproximadamente 10.000 pessoas, foi de 81,13 tCO<sub>2</sub>.

Além disso, os autores consideraram que os resíduos são encaminhados para aterro sanitário. Enquanto para o consumo de energia elétrica, a emissão estimada foi de 1.983,3 tCO<sub>2</sub>. Vale ressaltar que as características de cada unidade utilizadas para avaliar a PC variam, como por exemplo, os resíduos que são considerados (domiciliares, comuns, de varrição, entre outros), o tipo de tratamento dado aos resíduos (aterro sanitário, digestão anaeróbica, entre outros), a matriz energética (usinas hidrelétricas, usinas termelétricas, células fotovoltaicas, entre outros) e o tamanho da comunidade universitária (número de pessoas, área construída, entre outros). Estas variações, juntamente com a metodologia adotada, podem resultar em alterações nas emissões estimadas.

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.

## 5. CONCLUSÃO

Conclui-se que o consumo de energia elétrica médio mensal durante o período pandêmico (2021) foi inferior às médias do ano de retorno das

atividades presenciais na unidade (2022). Apesar do maior consumo de energia em 2022, a emissão decorrente do consumo de energia elétrica em 2022 (373 tCO<sub>2</sub>) foi inferior ao ano de 2021 (1.194,0 tCO<sub>2</sub>). Além disso, a partir da análise da pegada de carbono decorrente do consumo de energia elétrica, conclui-se que o consumo e a emissão de CO<sub>2</sub> são inferiores na área 2 em comparação com a área 1.

Com relação às emissões decorrentes da geração de resíduos sólidos domésticos, conclui-se que as emissões geradas pela área 1 é de 2,11 tCH<sub>4</sub>.

A comparação com a emissão de GEE em outras universidades pode ser uma análise importante, no entanto, deve-se considerar que as IES têm tamanhos variados de população, diferentes fontes de emissão de GEE e variações em sua metodologia para determinação da PC.

## AGRADECIMENTOS

Os(as) autores(as) agradecem ao 5º Congresso Sul-americano de Resíduos Sólidos e Sustentabilidade, realizado pelo IBEAS - Instituto Brasileiro de Estudos Ambientais, em maio de 2022. Os autores também agradecem o Sistema de Gestão Ambiental da Universidade de São Paulo (SGA-USP), ao Projeto Incline, ao Programa Unificado de Bolsas (PUB-PRG) e prefeitura da Unidade pelo apoio ao projeto.

## REFERÊNCIAS

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.
- 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>
- ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY – EPA. *EPA Center for Corporate Climate Leadership*. s/d. Disponível em <<https://www.epa.gov/climateleadership>> Acesso em 10 mar 2021.
- ESOURCE. *Friendly Power. Colleges and Universities*. Disponível em: <https://esource.bizenergyadvisor.com/article/colleges-and-universities>. Acesso em 22 de março de 2022.
- GARCÍA-ALAMINOS, Á.; GILLES, E.; MONSALVE, F.; ZAFRILLA, J. Measuring a university's environmental performance: A standardized proposal for carbon footprint assessment. *Journal of Cleaner Production*, 357, 131783, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131783>.
- 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.
- 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>
- KLEIN-BANAI, C.; THEIS, T. L.; BRECHEISEN, T. A.; BANAI, A. A greenhouse gas inventory as a measure of sustainability for an Urban public research university. *Environmental Practice*, 12(1), 35-47, 2010. <https://doi.org/10.1017/S1466046609990524>
- 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>.
- OZAWA-MEIDA, L.; BROCKWAY, P.; LETTEN, K.; DAVIES, J.; FLEMING, P. Measuring carbon performance in a UK University through a consumption-based carbon footprint: De Montfort University case study. *Journal of Cleaner Production*, 56, 185-198, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2011.09.028>
- 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>.

- 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>.
- ROMÃO, E. L.; YAMAMOTO, A. Z.; KASEMODEL, M. C.; ANDRADE, H. S. A coleta seletiva frente as mudanças climáticas: ações em uma instituição de ensino superior. 5º Congresso Sul-americano de Resíduos Sólidos e Sustentabilidade, 2022. *Anais... Gramado: Instituto Brasileiro de Estudos Ambientais*, v. 5, [s. n], 2022. Disponível em: < <https://www.ibeas.org.br/conresol/conresol2022/XV-015.pdf> >. Acesso em 28 out. 2022.
- 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>
- USP. UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. *USP Imagens. Fotos e imagens da Universidade de São Paulo*. Disponível em: <<https://imagens.usp.br/escolas-faculdades-e-institutos-categorias/escola-de-engenharia-de-lorena-institutos-faculdades-e-escolas/usp-lorena-eel/>> Acesso em 28 out. 2022.
- VARÓN-HOYOS, M., OSORIO-TEJADA, J.; MORALES-PINZÓN, T. Carbon footprint of a university campus from Colombia. *Carbon Management*, 12(1), 93-107, 2021. <https://doi.org/10.1080/17583004.2021.1876531>.
- 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.
- WORLD RESOURCES INSTITUTE – WRI; CONSELHO WORLD BUSINESS COUNCIL FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT – WBCSD. Greenhouse Protocol. *A Corporate Accounting and Reporting Standard*, 2015. Disponível em < <https://ghgprotocol.org/sites/default/files/standards/ghg-protocol-revised.pdf> > Acesso em 10 mar 2021.
- YAÑEZ, P.; SINHA, A.; VÁSQUEZ, M. Carbon Footprint Estimation in a University Campus: Evaluation and Insights. *Sustainability*, 12, 181, 2020. <https://doi.org/10.3390/su12010181>