

REVISTA AIDIS

de Ingeniería y Ciencias Ambientales:
Investigación, desarrollo y práctica.

EMISSÕES DE CARBONO E ENERGIA INCORPORADA EM PROJETOS DE EDIFICAÇÕES: EMPREENDIMENTO PORTO PRIVILEGE EM SALVADOR-BAHIA

Ângela Márcia Andrade Silva ¹

* José Célio Silveira Andrade ²

Isabelle Barbosa de Brito ³

CARBON EMISSIONS AND EMBODIED ENERGY IN BUILDINGS: PORTO PRIVILEGE PROJECT IN SALVADOR-BAHIA

Recibido el 23 de abril de 2024. Aceptado el 22 de abril de 2025

Abstract

The general objective of this article is to analyze the inventory prepared using the energy consumption and carbon emissions calculator (CECarbon) for a building project in Salvador - Bahia. The following methodological techniques were used: bibliographic and documentary research and an illustrative case of Porto Privilege's project. The results demonstrated that 79% of carbon emissions from the project (1,134.68 tCO_{2e} or 0.22 tCO_{2e}/m²) refer to the consumption of steel, concrete, aluminum frames, mortar, and concrete blocks. The embodied energy in all materials used in the project (12,906.78 GJ or 2.55 GJ/m²) would be capable of supplying 415 homes with four people for one year. Thus, the evaluation of the structural aspect of the building, the efficiency of the construction process, allowing the reduction of losses of steel, concrete, and mortar, or possible replacement of aluminum frames and concrete blocks with other alternative materials, for example, has potential to reduce carbon emissions and embodied energy at Porto Privilege. For possible compensation actions, the project's total emissions are equivalent to the carbon content stored in 7,943 trees in the Atlantic Forest. It is concluded that Porto Privilege's results are positioned within the national average regarding carbon intensity and energy consumption of buildings. It is hoped that the article can motivate other construction companies to carry out their carbon emission inventories, contributing to improving indicators for the sector, and supporting decision-making by entrepreneurs and public agents regarding mitigation strategies and/or offsetting carbon emissions in the construction sector in Brazil.

Keywords: carbon emissions, embodied energy, CECarbon, urban building projects, Salvador - Bahia.

¹ Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Brasil.

² Escola de Administração, Universidade Federal da Bahia, Brasil.

³ Escola de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal da Bahia, Brasil.

*Autor correspondente: Escola de Administração, Universidade Federal da Bahia, Avenida Reitor Miguel Calmon, s/n Vale do Canela, Salvador – Bahia, Brasil, 40110-903. Email: jcelio.andrade@gmail.com

Resumo

Este artigo tem como objetivo geral analisar o inventário, elaborado utilizando-se a calculadora de consumo energético e emissões de carbono (CECarbon), para um projeto de edificação em Salvador-Bahia. Foram empregadas as técnicas metodológicas: pesquisas bibliográfica e documental, caso ilustrativo em projeto do empreendimento Porto Privilege. Os resultados demonstraram, que 79% das emissões totais de carbono do empreendimento (1,134.68 tCO₂e ou 0.22 tCO₂e/m²) refere-se ao consumo de aço, concreto, esquadrias de alumínio, argamassa e blocos de concreto. A energia incorporada em todos os materiais/insumos utilizados na obra (12,906.78 GJ ou 2.55GJ/m²) seria capaz de abastecer anualmente 415 casas com 4 pessoas. Assim, a avaliação do partido estrutural da edificação, o uso racional do aço, concreto e também argamassas, ou possíveis substituições das esquadrias de alumínio e dos blocos de concreto, por outros materiais alternativos, por exemplo, tem potencial para redução das emissões de carbono e consumo energético no Porto Privilege. Para possíveis ações de compensação, tem-se que as emissões totais do empreendimento equivalem ao conteúdo de carbono armazenado em 7,943 árvores da Mata Atlântica. Conclui-se que o Porto Privilege se encontra posicionado na média nacional no que se refere a intensidade de carbono e consumo energético. Espera-se que esse artigo possa motivar outras construtoras a fazerem seus inventários de emissão de carbono, contribuindo para aprimorar indicadores para o setor, como também subsidiar a decisão por parte dos empreendedores e agentes públicos no que se refere as estratégias de mitigação e/ou compensação das emissões de carbono da construção civil no Brasil.

Palavras-chave: emissões de carbono, energia incorporada, CECarbon, projetos edificações urbanas, Salvador-Bahia.

Introdução

Considerando a Análise de Ciclo de Vida (ACV) das edificações, estudos mostram que o setor da construção civil é responsável por grande utilização dos recursos naturais, consumo de água e energia, geração de resíduos sólidos e significativa emissão de GEE. Segundo o relatório de Status Global para Edificações e Construção, publicado pelo Programa para o Meio Ambiente da ONU (PNUMA, 2024), esse setor foi responsável por 21% das emissões globais de GEE. Em 2022, as edificações, durante todo o seu ciclo de vida, foram responsáveis por 34% da demanda global de energia e por 37% das emissões de CO₂, relacionadas com a energia e processos, tornando a construção civil um setor crítico para alcançar os objetivos climáticos globais. No Brasil o setor contribui com cerca de 6% das emissões nacionais de GEE, e consome 51% da energia do país (CONFEA, 2024).

Convém salientar que, apesar desse impacto, no Brasil, são ainda poucas as organizações desse setor que já publicaram seus inventários de GEE. Na Bahia, até o momento, não existe registro público de inventário de emissões de GEE feita por alguma empresa de construção civil. De forma geral no estado da Bahia, os regulamentos que disciplinam as construções de edificações ainda não contemplam avaliações sobre pegada de carbono e energia incorporada, deixando-a à margem da legislação urbanística. Os projetos das edificações continuam a ser desenvolvidos e construídos sem considerar indicadores de intensidade de carbono e de consumo energético e sem formular estratégias/planos de redução das emissões de GEE e energia. Assim, urge estudos que: i) prospectem metodologias/ferramentas de contabilização de carbono para as edificações

urbanas; ii) avaliem medidas de redução das emissões de GEE que favoreçam a elaboração de projetos de edificações menos intensivos em carbono, tais como: especificações de materiais que resultem em menor impacto ambiental ao longo do seu ciclo de vida, escolha de fornecedores mais próximos das obras, etc.; iii) analisem atributos que possam ser inseridos nas edificações urbanas em prol da adaptabilidade dessas construções aos cenários das mudanças climáticas; e iv) subsidiem políticas e planos de mitigação e adaptação as mudanças climáticas voltadas para o ambiente urbano (Silva & Andrade, 2022; Prado *et al.*, 2022).

Partindo-se da premissa que o ambiente construído impacta e é impactado pelas mudanças climáticas, tem-se como problema de pesquisa a seguinte indagação: quais as principais fontes de emissão de GEE e consumo energético de projetos de edificações urbanas no estado da Bahia? Esta pesquisa tem como objetivo geral analisar o inventário, elaborado utilizando-se a calculadora de consumo energético e emissões de carbono na construção civil (CECarbon), para um projeto de edificação urbana no estado da Bahia.

A CECarbon - Calculadora de Consumo Energético e Emissões de Carbono na Construção Civil, cuja primeira versão foi lançada em 2020, foi desenvolvida através de uma parceria entre o SindusCon-SP – Sindicato da Indústria da Construção Civil do Estado de São Paulo, a GIZ – Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, e a Secretaria Nacional de Habitação do Ministério das Cidades, para contabilizar as emissões de GEE e consumo energético das edificações. Atualmente, a ferramenta é recomendada em algumas políticas públicas, tais como: Programa Minha Casa Minha Vida, Manual de Estratégias Sustentáveis da Prefeitura de São José dos Campos, Selo Casa Azul + Caixa, IPTU Verde Salvador-BA, Prefeitura Municipal de Campinas, etc. (Sindicato da Construção Civil do Estado de São Paulo [SindusCon – SP], 2025).

Logo, espera-se que este artigo contribua para subsidiar a tomada de decisão por parte dos empreendedores e agentes públicos no que se refere as estratégias de mitigação e/ou compensação das mudanças climáticas no setor da construção civil no Brasil. Prevê-se também que os conhecimentos gerados por essa pesquisa possa contribuir para estimular o mercado imobiliário baiano em direção à produção de edificações ambientalmente mais corretas, fazendo com que o estado e o Brasil avance na implementação da agenda climática, e reforce o seu compromisso no cumprimento das metas definidas, através da NDC brasileira no Acordo de Paris.

Inventário de Emissões de GEE pelas empresas e o GHG Protocol

A gestão e reporte das emissões de GEE pelas organizações ainda é pouco pesquisada no Brasil, apesar da sua crescente relevância mundial devido a pressões regulatórias, sociais, ambientais e de mercado. Macedo, Luiz-Jr e Feiden (2024), analisando trabalhos acadêmicos sobre pegada de carbono, constatou que a área das engenharias é a segunda com maior número de trabalhos,

ficando atrás das ciências agrárias e a frente das ciências sociais aplicadas. Apesar desse contexto, Burritt, Schaltegger e Zvezdov (2011) afirmam que o papel da contabilidade de carbono, mediante a realização de inventários de emissões de GEE, é crucial pois fornece, aos gestores das organizações e à sociedade, informações que irão ajudar na tomada de decisões sobre ações de redução das emissões de carbono.

O inventário de emissões de GEE é um procedimento de contabilidade da intensidade de carbono, usado em todo o mundo por governos e instituições públicas e privadas, para a identificação das fontes e quantificação das emissões de GEE, com o objetivo de elaborar planos de mitigação das emissões ou ações de compensação (Cruz & D'Avila, 2013). Muitas organizações estão inserindo o inventário de GEE em seu processo de gestão, pois, além de contribuir para mitigar e/ou neutralizar seus impactos ambientais e agregar valor à imagem corporativa, ajuda a preparar a empresa para cumprir legislações e regulamentos cada vez mais restritivos com relação às mudanças climáticas (Hall & Lee, 2022).

Um dos métodos mais utilizados mundialmente para o desenvolvimento de inventários de emissões de GEE é o GHG Protocol. Os GEEs contabilizados são: dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), hexafluoreto de enxofre (SF₆), hidrofluorcarbonetos (HFCs), perfluorcarbonetos (PFCs). O GHG Protocol é compatível com os padrões ISO e as metodologias do IPCC e considera três escopos para contabilização de emissões (WRI, 2024):

- a) Escopo 1 - emissões diretas, de fontes próprias ou controladas pela organização: esse escopo engloba as emissões lançadas à atmosfera que vêm diretamente dos processos das organizações. Dentro dessa classificação, estão, por exemplo, os GEEs produzidos a partir da queima de combustíveis e fontes de geração de energia.
- c) Escopo 2 - emissões indiretas, provenientes do consumo de energia: nesse escopo são contabilizadas as emissões indiretas da geração de energia que é comprada de fornecedores, por exemplo, as concessionárias de energia elétrica. Em outras palavras, são todas as emissões de GEE liberadas na atmosfera a partir do consumo de eletricidade, vapor, calor e resfriamento adquiridos.
- d) Escopo 3 - emissões indiretas de GEE, cujo relato é visto como opcional, decorrentes das atividades da organização, mas que provêm de fontes que não pertencem ou não são controladas pela mesma. Esse escopo engloba, portanto, as emissões de GEE pelas quais a organização é indiretamente responsável, tanto a montante como a jusante da sua cadeia de valor. Não há padronização dos limites operacionais reportados no escopo 3, cabendo às organizações a escolha de quais fontes contabilizar.

A elaboração de inventários de emissões de GEE é considerada como o primeiro passo para as empresas conhecerem e quantificarem as suas emissões de carbono e planejarem estratégias de mitigação das mudanças climáticas, pois não se pode gerir o que não se conhece e não se pode medir (Ibrahim *et al.*, 2012).

Pegada de Carbono do setor construção civil

Considerando todo o ciclo de vida das edificações, as principais fontes de emissão de GEE das edificações são oriundas dos processos de produção dos materiais, das atividades de construção, transporte de bens e serviços e gerenciamento de resíduos, além do consumo da energia durante a operação e manutenção predial (Bessa, 2010).

No Brasil, portanto, é fundamental melhorar o desempenho ambiental ao longo do ciclo de vida das edificações, sobretudo porque ainda há muito a construir. Apesar disso, a maior parte das decisões tomadas nesse setor no Brasil não considera critérios ambientais. Daí, a importância da adoção pelo setor de estratégias de mitigação das mudanças climáticas em mercados emergentes como o Brasil, onde se prevê um aumento da procura por novas construções. Considerando-se que as etapas de construção e operação das edificações são os principais contribuintes para as emissões de GEE, e a redução substancial dessas emissões de GEE ao longo de todo o seu ciclo de vida é necessário para permitir o cumprimento das metas climáticas. Portanto, não há caminho crível para enfrentar as mudanças climáticas sem a contribuição do setor da construção civil. Como boa parte dos edifícios que existirão em 2050 ainda não foram construídos. Trata-se de uma grande oportunidade para o setor da construção civil repensar as soluções e projetos para as edificações do futuro – edifícios que priorizem a mitigação e resiliência climática com geração de energia renovável e construção de baixo carbono (UNEP, 2024).

Analisando o gerenciamento da pegada de carbono na indústria da construção civil, Labaran *et al.* (2022) defendem a necessidade de um *framework* reconhecido internacionalmente, mas ajustados à cada realidade local, para quantificação da pegada de carbono das edificações e sugerem estratégias de mitigação, tais como a adoção dos edifícios verdes, incluindo o uso de materiais sustentáveis, com menor conteúdo de carbono incorporado e certificados com selos ambientais. A adoção do eco-design na elaboração de novos projetos também é sugerida por Lamberts *et al.* (2007), nos quais as soluções são avaliadas considerando-se todo o ciclo de vida das edificações.

Fearnside (2001) mostra que o uso de biomateriais tem um potencial significativo de redução de emissões de GEE em comparação com soluções convencionais. Por exemplo, Xu *et al.* (2022), Melo *et al.* (2023) e Carvalho *et al.* (2024) oferece *insights* importantes sobre os potenciais do bambu para a redução das emissões de GEE e energia incorporada nas edificações: alta taxa de crescimento quando comparado com a madeira convencional, capturando grandes quantidades de CO₂ durante o seu ciclo de vida (até 0.5 tCO₂/m³); baixa energia incorporada no processamento quando comparado com concreto ou aço; substituição de materiais intensivos em carbono (como aço ou concreto) em certas aplicações estruturais e de acabamento; redução de impactos ao final da vida útil da edificação, por ser renovável e biodegradável.

Já Gardini, Marco e Florian (2024), argumenta que o bioconcreto pode representar uma inovação promissora no setor da construção civil ao unir avanços tecnológicos com sustentabilidade. Composto por microrganismos e minerais que permitem sua autorregeneração, esse material possui resistência à corrosão e a capacidade de absorver CO₂ durante o processo de cura. Essas propriedades resultam em estruturas mais duráveis, com menor necessidade de manutenção e potencial para reduzir as intensidades de carbono e energia das edificações.

Caldas (2020; 2024), entretanto, ao apontar as etapas (estrutura, vedações e revestimentos) e os materiais (concreto, aço e alumínio) como os mais impactantes em relação à intensidade de carbono, argumenta que o cálculo da pegada de carbono deve ser utilizado para avaliar diferentes materiais alternativos e sistemas construtivos nos projetos de edificações, em conjunto com análise de viabilidade técnico-econômica. Logo, para o autor é altamente recomendado que a pegada de carbono seja calculada nas primeiras etapas do projeto, possibilitando projetos mais sustentáveis e eficientes em termos de custo-benefício com relação a emissão de GEE e consumo energético.

Entretanto apesar da redução das emissões de GEE ser crucial, pois contribui para a mitigação das mudanças climáticas, mas não é suficiente. É preciso integrar as estratégias de redução com as de adaptação visando reduzir a vulnerabilidade das edificações a eventos climáticos extremos e seus impactos. A integração entre mitigação e adaptação desde a fase inicial dos projetos dos empreendimentos da construção civil é fundamental para a criação de edifícios mais eficientes e resilientes (Felicioni, Lupisek & Gaspari, 2023).

Indicadores de emissões de carbono e energia incorporada de edificações reportados pela literatura

Minunno *et al.* (2021) ao fazerem uma revisão da literatura sobre indicadores de energia incorporada e as emissões de carbono de edificações ao redor do mundo, encontraram uma variação de 2.5 a 7.6 GJ/ m² e 0.26 a 0.61 tCO₂e/m², respectivamente. Considerando-se que as estruturas de madeira incorporam significativamente menos energia e carbono em todo o ciclo de vida em comparação com estruturas de concreto e aço, esses autores defendem que o uso da madeira de origem sustentável no lugar de concreto pode reduzir até 43% a energia incorporada e 68% em intensidade de carbono. Já os projetos de edificações que consideram a desmontagem e reutilização dos componentes, como edifícios modulares, podem reduzir em até 81% a energia incorporada e 88% a intensidade de carbono.

Rock *et al.* (2022), baseado em 1,000 estudos de caso realizados em edificações em diferentes países da Europa, encontrou uma variação da intensidade de carbono de 0.07 a 0.52 tCO₂e/m². Com base em uma amostra de 3,737 edificações também no continente europeu, o projeto de pesquisa intitulado “The Embodied Carbon Benchmarks for European buildings” chegaram aos resultados que os edifícios da Europa Oriental têm, em média, o maior indicador de intensidade de carbono de 0.58-0.70 tCO₂e/m², seguidos pelos edifícios da Europa Ocidental onde a média de

carbono incorporado varia entre 0.51 e 0.60 tCO₂e/m² e, finalmente, edifícios do Norte da Europa onde o carbono incorporado médio varia entre 0.31 e 0.35 tCO₂e/m², dependendo do tipo de edifício (residencial, comercial, educacional ou industrial). Os quatro materiais/insumos de construção que mais contribuem com as emissões de carbono são concreto, aço, alumínio e plásticos. Além desses materiais destacam-se também os produtos de isolamento, portas, janelas e vidros e gesso. Os combustíveis utilizados na movimentação de terras e de outros equipamentos de construção e no transporte de materiais e serviços de construção também têm impactos significativos (One Click LCA, 2021).

Também na Europa, o padrão de edificações com emissão de carbono zero do Reino Unido (UKNZCBS, 2025), desenvolvido para orientar o ambiente construído a atingir emissões líquidas zero de carbono até 2050 e garantir o alinhamento com as metas de redução de carbono do Reino Unido, relata indicadores de carbono incorporado nas suas edificações entre 0.43 e 0.82 tCO₂e/m². Valores muito próximos a esses, foram reportados pelo Instituto Europeu para Desempenho Energético de Edificações (BPIE, 2024), ao sugerir diretrizes para o estabelecimento de benchmarks para o carbono incorporado nas edificações, a partir das experiências na Irlanda, Espanha e República Checa: 0.34-0.81tCO₂e/m².

No Brasil, Belizário-Silva (2022) propõe indicadores para avaliar o desempenho ambiental do ciclo de vida das edificações, entre eles, a emissão de CO₂, que no padrão construtivo HIS (Habitação de Interesse Social) varia entre 0.17 e 0.26 tCO₂e/m². Já Melo *et al.* (2023), pesquisando diferentes tipos de projetos, encontrou que a intensidade de carbono varia entre 0.27 e 0.39 tCO₂e/m². Caldas *et al.* (2017) avaliaram a intensidade de carbono e energia incorporada em HIS em Brasília-DF, chegando a uma variação de 0.32 a 0.38 tCO₂e/m² e 2.2 a 5.4 GJ/m², respectivamente. O sistema construtivo alvenaria cerâmica apresentou menores emissões de CO₂e quando comparada com o *light steel framing*, e para ambos sistemas construtivos, a etapa operação predial se mostrou a mais significativa (50% a 70%), seguida da construção (20% a 30%), manutenção (11% a 20%) e fim de vida útil (menor que 1%).

Contabilização das Emissões de GEE e Energia Incorporada pelas Edificações: CECarbon

Alinhada com a metodologia do GHG Protocol, a CECarbon, online e gratuita, veio suprir a falta de uma ferramenta de gestão customizada para auxiliar as empresas do setor da construção civil no processo de tomada de decisão informada sobre as pegadas de carbono e consumo energético de seus projetos, permitindo a criação e acompanhamento de indicadores para as edificações e a definição de benchmarks e metas de baixo carbono para o setor (SindusCon – SP, 2025).

Como o objetivo da CECarbon é mensurar as emissões de GEE (tCO₂e) e o consumo energético ou energia embutida (MJ) nos projetos e/ou construção das edificações, a ferramenta utiliza

como fronteiras do ciclo de vida das edificações “do berço a entrega da obra”. Ou seja, da extração e transporte das matérias primas necessárias, fabricação dos materiais/insumos de construção e transporte até o canteiro de obra e atividades de construção no canteiro.

Portanto, considerando o escopo da ACV de edificações mostrado na Figura 1, a contabilização feita pela CECarbon engloba as etapas A1-A5 da norma europeia que estabelece princípios e requisitos específicos para a avaliação de sustentabilidade de obras de engenharia civil (CEN TC 350) e não são consideradas as emissões de GEE e consumo energético para as fases “B1-B7” referentes ao uso (operação e manutenção), como também as fases “C1-C4” referentes ao final de vida e “D” equivalente ao além do ciclo de vida das edificações (CEN, 2024).

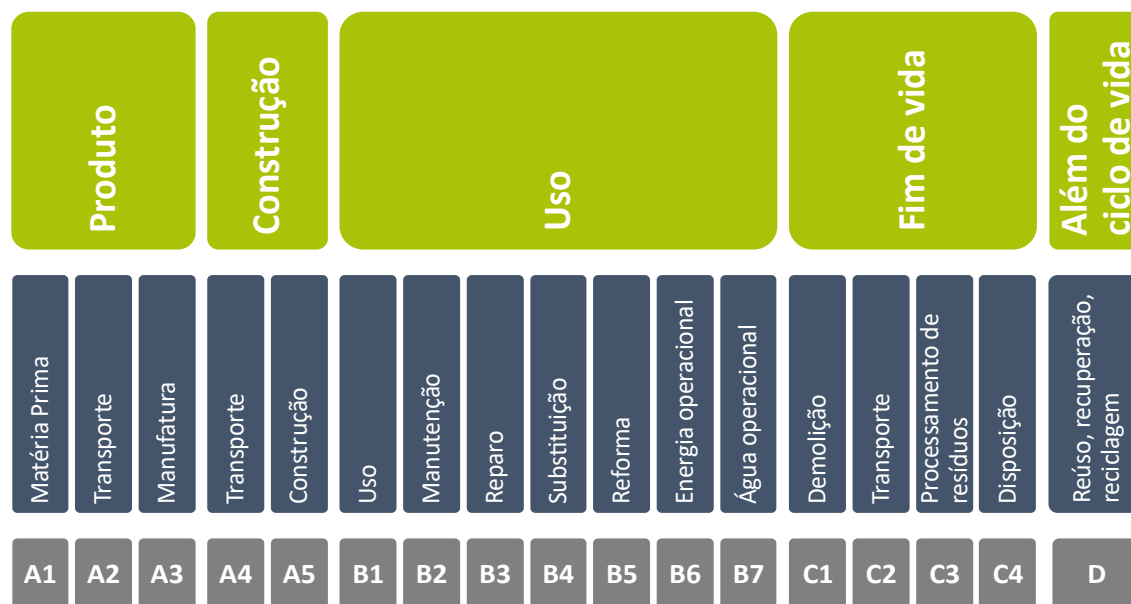


Figura 1. Escopo da ACV de edificações de acordo com as normas CEN TC350. Fonte: CEN (2024)

Assim, a CECarbon permite o cálculo das pegadas de carbono e energética das edificações nas seguintes etapas: a) projeto (ou seja, anteriormente ao início efetivo da obra/construção), visando antecipar resultados e indicadores e oferecer um diagnóstico preliminar para tomada de decisões; b) a qualquer momento no decorrer da obra, possibilitando informar alterações de projeto, substituições de materiais, etc., e buscando oferecer um comparativo, capaz de mostrar variações nos resultados, antes da consolidação da obra; c) obra concluída, permitindo a extração dos resultados consolidados após a entrega da obra.

O cálculo das emissões totais de GEE para a realização dos inventários dos empreendimentos/obra é feito através da equação 1:

$$ET = \sum_i^n DA_i \cdot FE_{geei} \cdot GWP_{geei} \quad \text{Equação (1)}$$

Onde ET refere-se ao total de emissões de GEE (expresso em tCO_{2e}), DA aos dados de atividade ou fontes de emissão de GEE e FE_{geei} refere-se aos fatores de emissão de GEEs e GWP_{geei} - "Global Warming Potential", diz respeito ao potencial de aquecimento global", ou seja, o quanto uma determinada massa de um GEE é capaz de reter calor na atmosfera, em comparação a mesma massa de gás equivalente ao CO₂.

Já a energia incorporada ou consumo energético é calculada pela equação 2:

$$EE = EE_m + EE_{tm} + EE_c \quad \text{Equação (2)}$$

Onde EE é o total da energia embutida/incorporada (expresso em MJ), EE_m é a energia embutida/incorporada nos materiais/insumos de construção consumidos na obra, EE_{tm} é a energia incorporada no transporte dos materiais/insumos de construção das fábricas para a obra e EE_c é a energia incorporada na construção da edificação, pelo consumo de energia do canteiro de obra.

A CECarbon possui um banco de dados com fatores de emissão de GEE e de consumo energético para diversos materiais e insumos de construção e processos complementares, como transporte e uso de combustíveis. A seleção desses fatores prioriza o contexto brasileiro visando uma maior precisão possível. Assim, para reduzir a incerteza dos cálculos, os fatores de emissão são extraídos das DAP's – Declarações Ambientais de Produtos (EPD's - Environmental Product Declaration, em inglês), permitindo uma diferenciação por fabricante, SIDAC - Sistema de Informação do Desempenho Ambiental da Construção, Ecoinvent – BR (banco de dados suíço que possui fatores de emissão baseados no contexto brasileiro) e literatura especializada – artigos técnicos e científicos. Para materiais compostos, como argamassa e concreto, a ferramenta utiliza dados de seus componentes individuais, permitindo a análise de diferentes traços (SindusCon - SP, 2022).

Para que haja compatibilidade entre as unidades de medida, os dados de entrada (inputs), referentes ao parâmetro DA (dados de atividade ou fontes de emissão de GEE) devem estar em uma unidade compatível com as unidades dos fatores de emissão de GEEs (FE_{geei}) e dos fatores de energia embutida/incorporada (EE_m, EE_{tm} ou EE_c) que constam no banco de dados da CECarbon. Portanto, caso necessário, deve ser feita a conversão da unidade de medida dos dados de entrada (inputs) para a unidade solicitada pela plataforma da CECarbon (Tabela 2).

Tabela 2. Inputs, Fatores de Emissão de GEE e Consumo Energético e Outputs do Inventário Porto Privilege

INPUTS			Fatores de Emissão de GEE e Consumo Energético				OUTPUTS			
Fonte	Dado de Atividade (quantidade)	Unidade	Referência – Dado de Atividade	Fator de Emissão GEE (kgCO2e/unidade)	Referência - Emissões	Fator de Consumo Energético (MJ/unidade)	Referência - Energia	Consumo Energético Total (MJ)	Emissões Biogênicas (tCO2)	Emissões Totais de GEE (tCO2e)
Materiais de Construção										
Argamassa (Genérico)	703.99	t	Orçamento do projeto e relatório de consumo estimado de materiais por etapa construtiva	91.41	Média calculada a partir dos 6 perfis de argamassa selecionados.	572	Média calculada a partir dos 6 perfis de argamassa selecionados.	402,682.28		64.35
Concreto (Genérico)	8.24	m ³	Orçamento do projeto e relatório de consumo estimado de materiais por etapa construtiva	229.27	Média calculada a partir dos 3 tipos de concretos selecionados.	1,179.00	Média calculada a partir dos 3 tipos de concretos selecionados.	9,714.96		1.89
Gesso	122.00	t	Orçamento do projeto e relatório de consumo estimado de materiais por etapa construtiva	342.4	Costa (2012).	4,773.00	Bajay e Santana (2010).	582,306.00		41.77
Aço	197.86	t	Orçamento do projeto e relatório de consumo estimado de materiais por etapa construtiva	1,900.00	Instituto do Aço Brasil (2018).	30,000.00	Tavares (2006)	5,935,800.00		375.93
Areia	97.73	t	Orçamento do projeto e relatório de consumo estimado de materiais por etapa construtiva	2.39	Guida, Falco, and da Silva (2020).	40	Guida, Falco, and da Silva (2020).	3,909.20		0.23
Esquadrias de madeira (portas)	8,446.00	kg	Orçamento do projeto e relatório de consumo estimado de materiais por etapa construtiva	2.23	Ecoinvent (2022)	28.00	Ecoinvent (2022)	236,488.00		18.83

Tabela 2. Inputs, Fatores de Emissão de GEE e Consumo Energético e Outputs do Inventário Porto Privilege

INPUTS			Fatores de Emissão de GEE e Consumo Energético				OUTPUTS			
Fonte	Dado de Atividade (quantidade)	Unidade	Referência – Dado de Atividade	Fator de Emissão GEE (kgCO2e/unidade)	Referência - Emissões	Fator de Consumo Energético (MJ/unidade)	Referência - Energia	Consumo Energético Total (MJ)	Emissões Biogênicas (tCO2)	Emissões Totais de GEE (tCO2e)
Eletroduto de PVC	5,570.00	m	Orçamento do projeto e relatório de consumo estimado de materiais por etapa construtiva	7.82	Gonçalves e Bode (2015).	51.4	Gonçalves e Bode (2015).	286,298.00		43.56
Mastique asfáltico	0.58	t	Orçamento do projeto e relatório de consumo estimado de materiais por etapa construtiva	280	Guida, Falco e da Silva (2020).	6,620.00	Guida, Falco e da Silva (2020).	3,839.60		0.16
Esquadrias de alumínio	8,964.00	kg	Orçamento do projeto e relatório de consumo estimado de materiais por etapa construtiva	12.76	Ecoinvent (2022)	137	Ecoinvent (2022)	1,228,068.00		114.38
Vidro plano	9.7	t	Orçamento do projeto e relatório de consumo estimado de materiais por etapa construtiva	650	CNI (2016).	10,822.00	Guida, Falco e da Silva (2020)	104,973.40		6.30
Vidro temperado	0.7	t	Orçamento do projeto e relatório de consumo estimado de materiais por etapa construtiva	950	CNI (2016).	13,162.00	Guida, Falco e da Silva (2020)	9,213.40		0.67
Brita	87.76	t	Orçamento do projeto e relatório de consumo estimado de materiais por etapa construtiva	4.27	Guida, Falco e da Silva (2020).	82.4	Guida, Falco e da Silva (2020).	7,231.42		0.37

Tabela 2. Inputs, Fatores de Emissão de GEE e Consumo Energético e Outputs do Inventário Porto Privilege

INPUTS			Fatores de Emissão de GEE e Consumo Energético					OUTPUTS		
Fonte	Dado de Atividade (quantidade)	Unidade	Referência – Dado de Atividade	Fator de Emissão GEE (kgCO ₂ e/unidade)	Referência - Emissões	Fator de Consumo Energético (MJ/unidade)	Referência - Energia	Consumo Energético Total (MJ)	Emissões Biogênicas (tCO ₂)	Emissões Totais de GEE (tCO ₂ e)
Granito	17.89	t	Orçamento do projeto e relatório de consumo estimado de materiais por etapa construtiva	700	Hammond e Jones (2011).	2,000.00	Tavares (2006)	35,780.00		12.52
Cimento (Genérico)	24.88	t	Orçamento do projeto e relatório de consumo estimado de materiais por etapa construtiva	654.53	Média calculada a partir dos 3 tipos de cimento selecionados.	2,989.40	Média calculada a partir dos 3 tipos de cimento selecionados.	74,376.27		16.28
Cabos (fiação)	3,148.00	m	Orçamento do projeto e relatório de consumo estimado de materiais por etapa construtiva	0.25	EPD Fabricante	3	EPD Fabricante	9,444.00		0.79
Tinta à base de solvente	3.56	t	Orçamento do projeto e relatório de consumo estimado de materiais por etapa construtiva	3,760.00	Hammond e Jones (2011).	97,000.00	Hammond e Jones (2011)	345,320.00		13.39
Produtos Sanitários (Louças)	3	t	Orçamento do projeto e relatório de consumo estimado de materiais por etapa construtiva	1,980.00	Guida, Falco e da Silva (2020).	31,560.00	Guida, Falco e da Silva (2020).	94,680.00		5.94
Revestimentos Cerâmicos	65	t	Orçamento do projeto e relatório de consumo estimado de materiais por etapa construtiva	514	Guida, Falco e da Silva (2020).	8,390.00	Guida, Falco e da Silva (2020).	545,350.00		33.41

Tabela 2. Inputs, Fatores de Emissão de GEE e Consumo Energético e Outputs do Inventário Porto Privilege

INPUTS			Fatores de Emissão de GEE e Consumo Energético					OUTPUTS		
Fonte	Dado de Atividade (quantidade)	Unidade	Referência – Dado de Atividade	Fator de Emissão GEE (kgCO2e/unidade)	Referência - Emissões	Fator de Consumo Energético (MJ/unidade)	Referência - Energia	Consumo Energético Total (MJ)	Emissões Biogênicas (tCO2)	Emissões Totais de GEE (tCO2e)
Concreto 30-32 MPa	1,111.47	m ³	Orçamento do projeto e relatório de consumo estimado de materiais por etapa construtiva	252	Guida, Falco e da Silva (2020).	1,318.00	Guida, Falco e da Silva (2020).	1,464,917.46		280.09
Manta asfáltica a quente	7.13	t	Orçamento do projeto e relatório de consumo estimado de materiais por etapa construtiva	530	Guida, Falco e da Silva (2020).	52,700.00	Guida, Falco e da Silva (2020).	375,751.00		3.78
Tubo de PVC - água	2,988.00	m	Orçamento do projeto e relatório de consumo estimado de materiais por etapa construtiva	1.54	EPD Fabricante	25.5	EPD Fabricante	76,194.00		4.6
Tubo de PVC - esgoto	2,322.00	m	Orçamento do projeto e relatório de consumo estimado de materiais por etapa construtiva	2.1	EPD Fabricante	18	EPD Fabricante	41,796.00		4.88
Bloco de concreto de vedação fbk 02 MPa (09x19x39) cm	777	t	Orçamento do projeto e relatório de consumo estimado de materiais por etapa construtiva	77.44	Sonvezzo, Oliveira e John (2022)	605.5	Sonvezzo, Oliveira e John (2022)	470,473.50		60.17
Insumos e Processos Complementares										
Transporte de Solo	3,774.00	Km	Orçamento do projeto e Google Maps	0.4200	Caminhão médio, com rendimento médio de 5.6 km/L. Considera 10% de biodiesel no diesel. EPE (2019).	6.300	Caminhão médio, com rendimento médio de 5.6 km/L. Considera 10% de biodiesel no diesel. EPE (2019).	23,776.20	0.16	1.58

Tabela 2. Inputs, Fatores de Emissão de GEE e Consumo Energético e Outputs do Inventário Porto Privilege

INPUTS				Fatores de Emissão de GEE e Consumo Energético				OUTPUTS		
Fonte	Dado de Atividade (quantidade)	Unidade	Referência – Dado de Atividade	Fator de Emissão GEE (kgCO2e/unidade)	Referência - Emissões	Fator de Consumo Energético (MJ/unidade)	Referência - Energia	Consumo Energético Total (MJ)	Emissões Biogênicas (tCO2)	Emissões Totais de GEE (tCO2e)
Transporte de Resíduos (Downstream)	760	Km	Orçamento do projeto e Google Maps	0.4200	Caminhão médio, com rendimento médio de 5.6 km/L. Considera 10% de biodiesel no diesel. EPE (2019).	6.300	Caminhão médio, com rendimento médio de 5.6 km/L. Considera 10% de biodiesel no diesel. EPE (2019).	4,788.00	0.03	0.32
Consumo de Energia Elétrica	30	MWh	Orçamento do projeto e relatório de consumo estimado de insumos por etapa construtiva	0.075	Baseado no mix de energia do Sistema Elétrico Nacional. EPE (2019).	3,600.00	Baseado no mix de energia do Sistema Elétrico Nacional. EPE (2019).	108,000.00	0.00	0.00
Consumo de Combustível (Diesel) em máquinas - combustão estacionária	3,675.40	L	Orçamento do projeto e relatório de consumo estimado de insumos por etapa construtiva	2.631	EPE (2019)	35.400	EPE (2019)	130,109.16	0.91	8.79
Frete de Materiais	46,904.76	Km	Orçamento do projeto e Google Maps	0.4200	Caminhão médio, com rendimento médio de 5.6 km/L. Considera 10% de biodiesel no diesel. EPE (2019).	6.300	Caminhão médio, com rendimento médio de 5.6 km/L. Considera 10% de biodiesel no diesel. EPE (2019).	295,499.99	1.91	19.70
Totais Gerais								12,906.78	3.01	1,134.68

Os resultados (*outputs*) da contabilização das emissões de carbono e consumo energético pela CECarbon podem ser expressos tanto pelos escopos (1, 2 e 3) do GHG Protocol, quanto pelas categorias inventariadas pela ferramenta: “bens e serviços comprados”, “combustão móvel”, “combustão estacionária” e “energia adquirida”. No relatório gerado pela ferramenta, esses resultados também podem ser reportados de acordo com 10 etapas construtivas do projeto/empreendimento (Serviços Preliminares; Fundações; Estrutura; Vedações; Revestimentos; Esquadrias e Vidros; Pintura; Cobertura; Pavimentação e Infraestrutura; Instalações Prediais) ou pelas diversas fontes individuais de emissão e consumo de energia, tornando os *outputs* da CECarbon mais compatíveis com o orçamento da obra. A ferramenta permite o cálculo da pegada de carbono e consumo energético dos projetos de edificação considerando diferentes sistemas construtivos (alvenaria e estrutura convencional, alvenaria estrutural e parede de concreto) e padrões construtivos (alto, médio e HIS) o que pode auxiliar na escolha de alternativas com menor intensidade de carbono por parte dos gestores do projeto da obra.

Assim, ao permitir a análise das emissões de GEE e consumos energéticos por etapa da obra, categoria, escopo (1, 2 e 3 do GHG Protocol), sistemas e padrões construtivos e materiais/insumos, o relatório com os *outputs* subsidiam a tomada de decisão dos gestores quanto as estratégias a serem utilizadas para reduzir o impacto das etapas da obra e dos materiais/insumos considerados mais críticos, além de contribuir para relatar os resultados das pegadas de carbono e energética dos empreendimentos junto aos stakeholders.

A CECarbon também permite a elaboração do inventário corporativo que é o registro detalhado dos ativos e recursos que a empresa possui, mensurando os impactos de seus escritórios, matrizes, filiais e stands. A ferramenta também tem disponível o inventário integrado que é a consolidação de informações que permite a gestão e monitoramento tanto das atividades de construção quanto dos processos corporativos de forma conjunta, permitindo assim comparações entre diferentes projetos, insumos e operações.

A CECarbon também permite a elaboração do inventário corporativo que é o registro detalhado dos ativos e recursos que a empresa possui, mensurando os impactos de seus escritórios, matrizes, filiais e stands. A ferramenta também tem disponível o inventário integrado que é a consolidação de informações que permite a gestão e monitoramento tanto das atividades de construção quanto dos processos corporativos de forma conjunta, permitindo assim comparações entre diferentes projetos, insumos e operações.

Indicadores de Intensidade de Carbono e Consumo Energético de Edificações reportados pela CECarbon

A partir da análise de uma amostra de 109 inventários de obras realizados até 2024 com a utilização da CECarbon, em diversos estados brasileiros, incluindo o Distrito Federal, resultaram os seguintes indicadores de intensidade média de carbono e de energia por m² construído: emissão média de

GEEs: 0.21 tCO₂e/m² (com variação entre 0.10 e 0.52 tCO₂e/m²) e energia média incorporada: 2.17 GJ/m² (com variação entre 1.1 e 5.10 GJ/m²). Esses indicadores foram desmembrados em sistema construtivo e padrão construtivo, resultando nos valores apresentados na Tabela 1 abaixo:

Tabela 1. Indicadores CECarbon: Intensidades Médias de Carbono e Energia de Edificações no Brasil

Indicadores CECarbon			
Indicadores Gerais			
Indicador	Valor	Número de Edificações	
Emissão de GEEs (tCO ₂ e/m ²)	0.21	109	
Energia Incorporada (GJ/m ²)	2.17	109	
Indicadores por Sistema Construtivo			
Sistema Construtivo	Emissão de GEEs (tCO ₂ e/m ²)	Energia Incorporada (GJ/m ²)	Número de Edificações
Alvenaria e Estrutura Convencional	0.26	2.66	51
Sistema Alvenaria Estrutural	0.18	1.76	18
Parede de Concreto	0.16	1.73	40
Indicadores por Padrão de Construção			
Padrão de Construção	Emissão de GEEs (tCO ₂ e/m ²)	Energia Incorporada (GJ/m ²)	Número de Edificações
Padrão Alto	0.25	2.53	33
Padrão Médio	0.21	2.15	36
Padrão HIS	0.18	1.89	40

Fonte: SindusCon - SP (2024)

A Tabela 1 mostra que as edificações de padrão alto, construídos pelo sistema alvenaria e estrutura convencional, tendem a apresentar maiores emissões de GEE e maior quantidade de energia incorporada, enquanto as de padrão HIS apresentam os menores valores para ambos os indicadores.

Além dos indicadores mostrados pela Tabela 1, outros achados importantes foram reportados pela CECarbon, em linha com a literatura especializada discutida anteriormente: i) a etapa construtiva mais impactante em relação as emissões de carbono e consumo energético é a estrutura; ii) o material mais impactante em relação à intensidade de carbono é o concreto, enquanto que em relação à energia incorporada são concreto e aço; iii) 97% das emissões de GEE geradas na produção das edificações estão no escopo 3, enquanto os escopos 1 e 2 respondem apenas por 3%, fazendo com que as estratégias de redução das emissões no setor dependa fortemente do esforço da cadeia de suprimentos para fabricação de materiais/insumos de construção com menores pegadas de carbono (SindusCon – SP, 2024).

Esses dados são importantes, pois servem de parâmetros para a definição de benchmarks setoriais e futuras metas de baixo carbono, permitindo que os diversos atores da cadeia produtiva da construção civil possam formular estratégias visando à redução dos seus impactos rumo à construção de edificações mais sustentáveis e eficientes em relação ao carbono e energia.

Procedimentos metodológicos

Os procedimentos metodológicos utilizados para a realização deste estudo foram divididos em 03 fases. Na primeira fase foi feita uma pesquisa bibliográfica sobre a temática nas principais bases de dados acadêmicas nacionais e internacionais (*Scielo, Web of Sciences, Scopus etc.*) sobre estratégias, metodologias e boas práticas do setor de construção civil para contabilizar as emissões de GEE e consumo energético de projetos de edificações e estratégias de mitigação das mudanças climáticas.

Na segunda fase foi realizada análise documental sobre estudos, legislações, regulamentos e políticas públicas existentes vinculadas ao ambiente construído, que promovam a realização do inventário de emissões de GEE em projetos de edificações urbanas Além desses, foram analisados documentos referentes ao projeto do empreendimento Porto Privilege, selecionado na terceira fase da pesquisa, para ilustrar a elaboração do inventário de GEE de edificações: especificações técnicas ou memorial descritivo, relação de insumos totais da obra, relação de insumos por etapa da obra, planos de desconstrução/demolição, orçamentos, etc.

Desse modo, a terceira fase da pesquisa consistiu na realização de um caso ilustrativo em projeto de edificação urbana localizado em Salvador-Bahia denominado “Porto Privilege”. Essa fase envolveu a utilização da segunda versão da ferramenta CECarbon (<https://www.cecarbon.com.br/>) para a contabilização das emissões de GEE e consumo energético do projeto do empreendimento Porto Privilege.

O uso do caso ilustrativo é recomendado por Ikeda, Veludo de Oliveira & Campomar (2005), quando se deseja identificar as barreiras ou dificuldades encontradas na implementação de algum novo conceito/modelo ou nova ferramenta de gestão e propor melhorias. Assim, entre setembro 2022 e abril 2023, durante essa fase da pesquisa, foram feitos treinamentos online, contatos via e-mail/telefone, e reuniões virtuais/presenciais com o corpo técnico do Sinduscon-SP, responsável pela ferramenta CECarbon, e também do Porto Privilege, com o propósito de coletar dados, tirar dúvidas, relatar barreiras/dificuldades e recomendar melhorias.

Os dados necessários aos *inputs* da CECarbon foram coletados junto aos responsáveis pelo projeto/obra do Porto Privilege, tais como: dados operacionais referentes as etapas construtivas do projeto/empreendimento, consumo estimado de materiais e insumos e seus respectivos fretes, estimativa de uso de combustíveis, seja para fins de combustão estacionária ou móvel, etc.

Para isso, analisou-se e extraiu-se dados de relatórios de consumo total estimado de insumos e materiais e também por cada uma das etapas construtivas, planilhas orçamentárias, além dos informes de potenciais fornecedores sobre quantidade de viagens até o canteiro de obra para cada um dos materiais e insumos. As distâncias percorridas por esses transportes foram quantificadas utilizando-se a ferramenta Google Maps, considerando-se o modal rodoviário.

Logo, além de testar e contribuir para a validação e aperfeiçoamento da CECarbon (terceira versão lançada em maio 2024), essa fase da pesquisa visou realizar um diagnóstico preliminar da pegada de carbono e do consumo energético do Porto Privilege para subsidiar a tomada de decisão por parte dos empreendedores.

Resultados e discussão

Perfil do Empreendimento Porto Privilege

Trata-se de um empreendimento privado de alto padrão residencial localizado no bairro da Barra em Salvador-Bahia, em um terreno de 722 m² e área total construída de 5066,5 m². Conta com um bloco arquitetônico composto por 106 unidades (40 apartamentos quarto e sala com 28,76m²; 64 estúdios com 19,55m² e 02 lofts com 42 e 55m²) distribuídas em 14 pavimentos (Carozzo Desenvolvimento Imobiliário, 2024).

Emissões de Carbono e Consumo Energético do Porto Privilege

Os resultados obtidos (*outputs*) reportados no relatório gerado pela CECarbon (ver Tabela 2) demonstraram que as emissões totais de carbono do projeto do empreendimento Porto Privilege equivalem a 1,134.68 tCO₂e ou 0.22 tCO₂e/m², sendo 3.01 tCO₂, referente às emissões biogênicas. Já a energia incorporada em todos os materiais/insumos utilizados na obra corresponde a 12,906.78 GJ ou 2.55GJ/m², suficiente para abastecer anualmente aproximadamente 415 casas de famílias médias brasileiras com 4 pessoas.

Como previsto, a categoria do GHG Protocol denominada “bens e serviços comprados” foi a responsável por 97% das emissões totais da obra e 96% do consumo energético total no projeto do Porto Privilege. Já as categorias “combustões estacionária e móvel” e “energia adquirida” mostrou-se pouco significantes tanto para as emissões totais de GEE quanto para o consumo energético. Desse modo, grande parte das emissões de carbono do projeto foram indiretas e, portanto, classificadas no escopo 3. Esse resultado está em linha com os dados reportados pela CECarbon em uma amostra de 109 inventários analisados, que mostram a grande contribuição do escopo 3 para a pegada de carbono das obras, fazendo com que a redução das emissões de GEE dependa fortemente do engajamento dos fornecedores.

Além desses resultados totais, as Figuras 2 a 5, a seguir, apresentam os resultados das emissões de GEE e energia incorporada, detalhados pelas principais etapas e fontes individuais da obra.

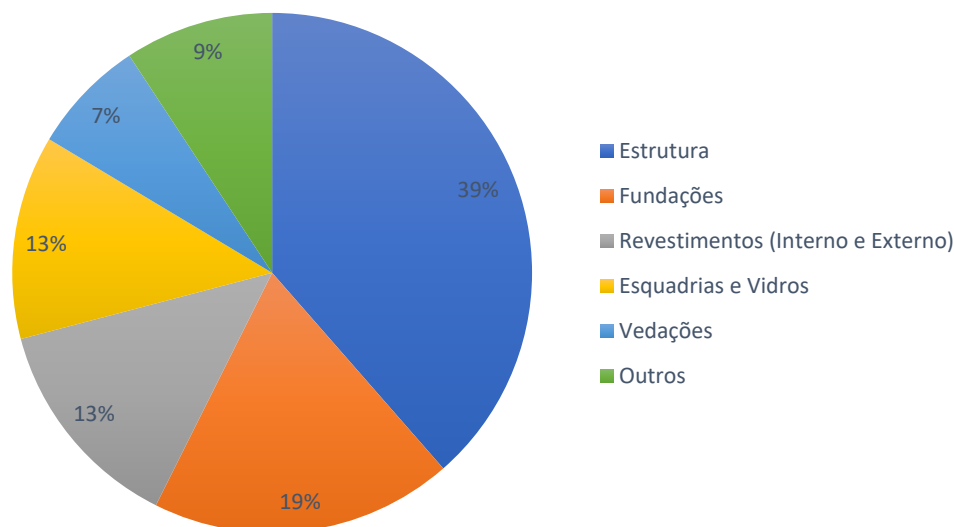


Figura 2. Emissões de GEE pelas principais etapas construtivas do Porto Privilege

Observa-se na Figura 2 que 5/10 etapas responderam por 91% das emissões totais de GEE da obra. São elas: estrutura, fundações, revestimentos (interno e externo), esquadrias/vidro e vedações. A outra metade das etapas construtivas (instalações prediais, pavimentação e infraestrutura, pintura (interna e externa), serviços preliminares e cobertura) contribuiu apenas com 9%.

Conforme mostrado na Figura 3, a seguir, as mesmas 05 etapas construtivas com as maiores emissões de GEE foram também responsáveis pelos maiores consumos energéticos da obra. Assim, essas 05 etapas responderam por 87% da energia incorporada à obra. A única diferença diz respeito aos posicionamentos assumidos pelas etapas “revestimentos (interno e externos)” e “esquadrias e vidro”. Enquanto “revestimentos” ocupou a terceira posição no ranking referente a emissões de GEE e quarta posição quanto a energia incorporada, “esquadrias e vidro” apresentou resultados inversos: quarta posição no ranking referente a emissões de GEE e terceira posição quanto a energia incorporada.

Já as 5 principais fontes individuais de emissão de GEE e energia incorporada do Porto Privilege são apresentadas nas Figura 4 e 5, respectivamente.

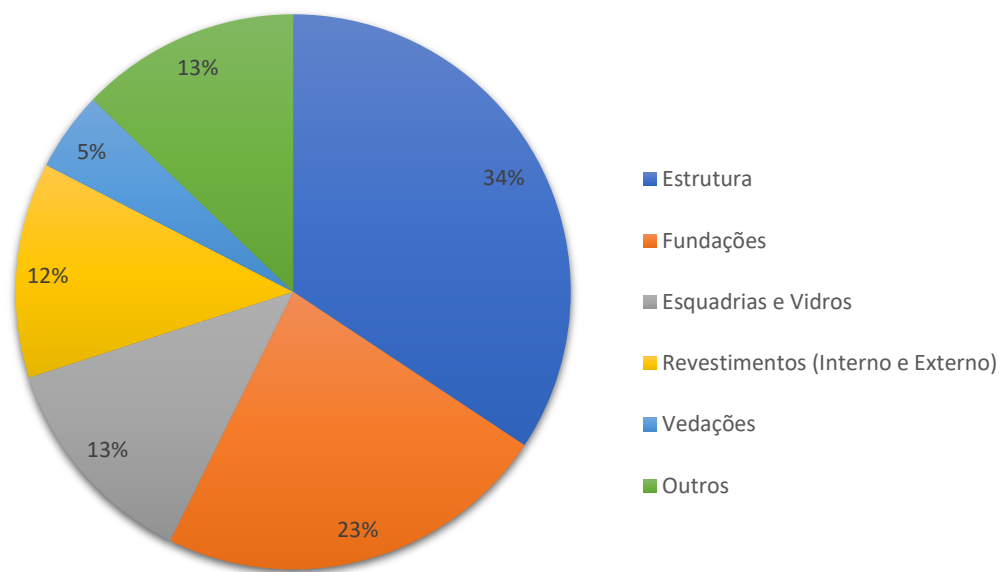


Figura 3. Energia incorporada pelas principais etapas construtivas do Porto Privilege

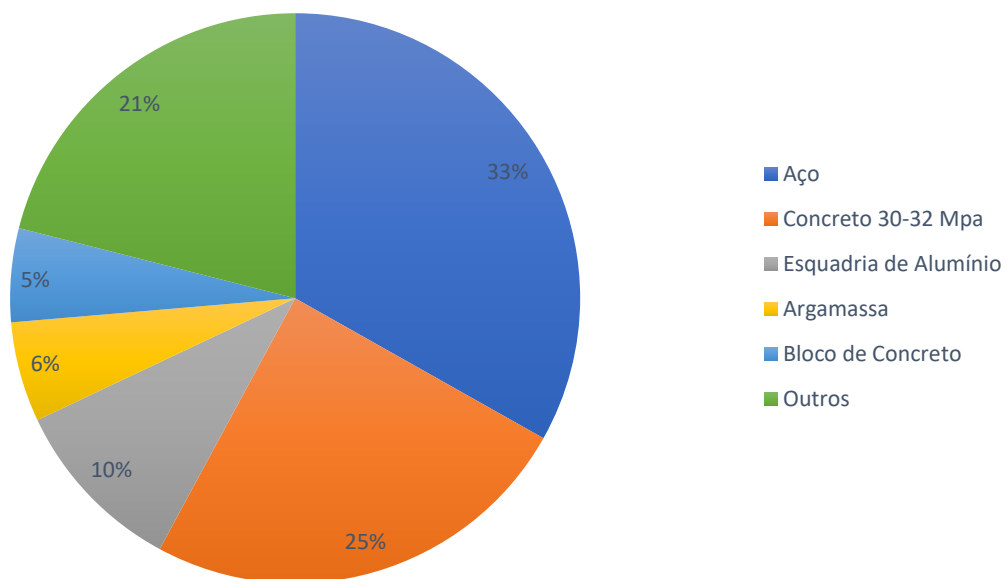


Figura 4. Principais fontes individuais de emissão de GEE do Porto Privilege

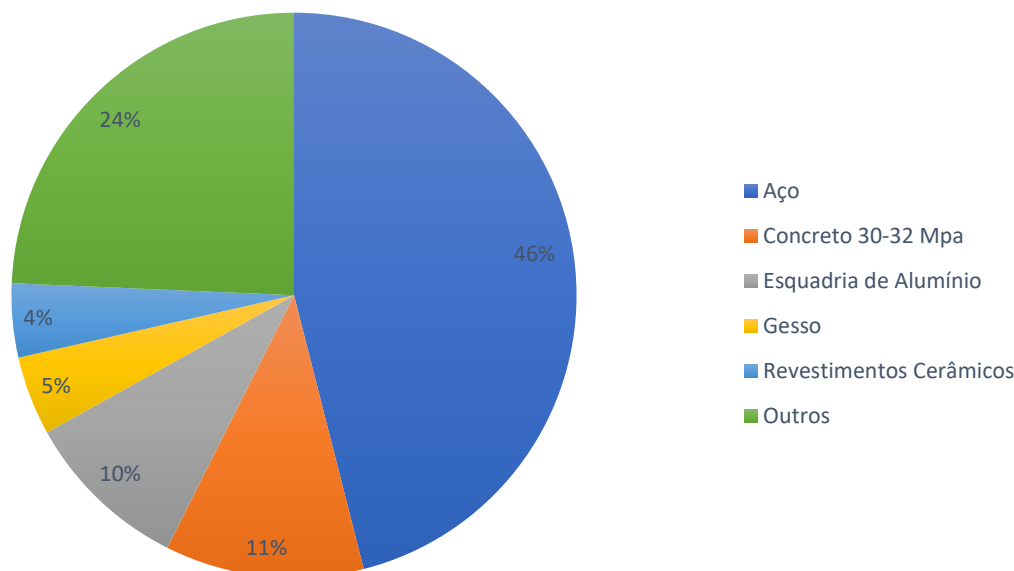


Figura 5. Principais fontes individuais de energia incorporada do Porto Privilege

Observa-se pelas Figuras 4 e 5 que no Porto Privilege, apenas 3 materiais/insumos (aço, concreto 30-32 Mpa e esquadrias de alumínio) representam 68% das emissões totais de GEE e 67% do consumo energético da obra. Considerando-se também a demanda prevista de argamassa genérica e blocos de concreto de vedação, o percentual de emissões de GEE sobe para 79%. Já quanto à energia incorporada, incluindo-se gesso e revestimentos cerâmicos, esse percentual alcança 76%.

Logo, o principal foco para ações de redução de emissão de GEE e de consumo energético da obra deve se concentrar no uso racional e/ou na substituição desses 07 materiais/insumos tidos como críticos. A redução de desperdícios desses materiais/insumos no processo construtivo, análise do partido estrutural, otimização da logística de fornecimento, por exemplo, são algumas estratégias que poderão contribuir, assim como possíveis substituições por materiais alternativos, para a redução das pegadas de carbono e energética da obra.

Convém ressaltar que esses resultados foram obtidos tendo como base o planejamento do empreendimento, e que algumas ações de redução das emissões de GEE e consumo energético já foram implementadas na execução da obra, tais como: planejamento do processo de desconstrução do imóvel situado no terreno da obra visando o reaproveitamento de materiais; substituição de fornecedores de materiais/insumos buscando maior proximidade com o canteiro de obras e diminuição do número e da quilometragem de viagens; racionalização da execução das alvenarias, com redução de espessura de argamassa e ausência de “rasgos” nas paredes para passagem de tubulações e eletrodutos.

Comparação resultados Porto Privilege com indicadores nacionais e internacionais

Comparando-se os resultados encontrados no empreendimento baiano com os indicadores nacionais de intensidade de carbono e energia incorporada, obtidos através de 109 inventários de GEE realizados pela calculadora CECarbon no Brasil e apresentados anteriormente na Tabela 1, tem-se:

- Emissão de GEEs: O resultado encontrado no Porto Privilege ($0.22 \text{ tCO}_2\text{e/m}^2$) é bastante similar à média geral de $0.21 \text{ tCO}_2\text{e/m}^2$ e, portanto, dentro do intervalo e variação obtido por outras obras no Brasil que utilizaram a CECarbon (0.10 a $0.52 \text{ tCO}_2\text{e/m}^2$).
- Consumo Energético: O indicador do Porto Privilege (2.55 GJ/m^2) é ligeiramente superior à média geral de 2.17 GJ/m^2 e também dentro do intervalo de variação obtido por outras obras no Brasil que utilizaram a CECarbon (1.1 a 5.10 GJ/m^2).

Quando se compara por padrão e sistema construtivos, obtêm-se os seguintes resultados:

- Emissão de GEEs: o indicador do Porto Privilege ($0.22 \text{ tCO}_2\text{e/m}^2$) é ligeiramente inferior à média para padrão construtivo alto de $0.25 \text{ tCO}_2\text{e/m}^2$.
- Consumo Energético: similarmente, o resultado do Porto Privilege (2.55 GJ/m^2) também é ligeiramente inferior à média para alto padrão construtivo de 2.53 GJ/m^2 .
- Emissão de GEEs: o resultado encontrado no Porto Privilege, que usa alvenaria e sistema estrutural convencional, foi de $0.22 \text{ tCO}_2\text{e/m}^2$, inferior à média geral de $0.26 \text{ tCO}_2\text{e/m}^2$.
- Consumo Energético: O indicador do Porto Privilege (2.55 GJ/m^2) é um pouco inferior à média geral de 2.66 GJ/m^2 .

Quanto à etapa construtiva tida como mais crítica, tem-se que a estrutura, tanto no Porto Privilege quanto nas outras obras brasileiras que utilizaram a CECarbon, foi a etapa líder em emissões de GEE e consumo energético. Entretanto, com relação ao material/insumo considerado mais crítico, observou-se uma divergência: enquanto no Porto Privilege o aço foi campeão tanto em emissões de carbono quanto em energia incorporada, nas outras obras que utilizaram o CECarbon no Brasil, o concreto foi o maior emissor e o aço foi líder apenas em consumo energético. Admite-se como hipótese que essa divergência se deve à relação utilizada entre o consumo de aço/concreto adotada nas obras, que pode variar, por exemplo, de 80 a 120 kg de aço por m^3 de concreto estrutural (Bulin & Lach, 2022).

Assim, de um modo geral, os resultados encontrados no empreendimento Porto Privilege em Salvador, Bahia, se posicionam muito próximos às médias gerais encontradas para os indicadores de intensidade de carbono e energia de outras edificações no Brasil que utilizaram a CECarbon. As variações/divergências podem ser explicadas por particularidades do projeto, como tipos e proporções entre os materiais/insumos utilizados, soluções construtivas adotadas, cadeia de suprimento utilizada, eficiência logística no transporte dos materiais e insumos, etc.

Confrontando-se também os resultados encontrados no Porto Privilege com os indicadores internacionais e nacionais reportados pela literatura, vê-se que o indicador de consumo energético do empreendimento está dentro dos intervalos de variação encontrados em edificações ao redor do mundo por Minunno *et al.* (2021) e por Caldas *et al.* (2017) para HIS no Brasil.

Quanto ao indicador de emissão de GEE do Porto Privilege, constatou-se que ele se posiciona um pouco abaixo dos valores mínimos dos intervalos de variação encontrados no Brasil por Melo *et al.* (2023) para diferentes tipos de projetos, porém, dentro da faixa reportada por Belizário-Silva (2022) para HIS.

Quando confrontado com os valores dos indicadores internacionais de intensidade de carbono, observou-se que o resultado do empreendimento Porto Privilege fica dentro do intervalo de variação encontrado por Rock *et al.* (2022) em edificações europeias, mas inferior ao valor mínimo reportado por Minunno *et al.* (2021) para edifícios ao redor do mundo e também aos valores mínimos reportados pelo Instituto Europeu de Desempenho Energético de Edificações - BPIE (2024) e pela organização responsável pelo padrão de edificações com emissão de carbono zero do Reino Unido - UKNZCBS (2025). Conta a favor do Brasil o fato do país contar com maior percentual de energia renovável na sua matriz energética quando comparado com a Europa e o resto do mundo.

Quanto aos três materiais/insumos considerados mais críticos para a pegada de carbono das edificações, observou-se que os resultados encontrados no Porto Privilege (concreto, aço e alumínio) convergem com os achados da pesquisa “*The Embodied Carbon Benchmarks for European buildings*”, feita com quase 4 mil edifícios na Europa (One Click LCA, 2021), apesar das diferenças entre o contexto brasileiro e europeu em relação à regulação do segmento de edificações e matriz energética. Trata-se, portanto, de materiais com alta intensidade de carbono e energia embutida. Assim, apesar desses materiais no Brasil apresentarem normalmente menores pegadas de carbono quando comparados com seus semelhantes europeus, muito em função da matriz energética brasileira ser considerada mais limpa, eles fazem parte da lista de materiais mais críticos para o alcance de edificações mais sustentáveis, seja no Brasil ou no restante do mundo. Isso reforça a necessidade de engajamento da cadeia de fornecedores para a redução contínua da pegada de carbono desses materiais e/ou análise de substituição por materiais alternativos, como possíveis caminhos para a descarbonização do setor.

Isto posto, pode-se admitir que os resultados obtidos no Porto Privilege se encontram alinhados com a literatura pesquisada. No que se refere a possíveis ações de compensação, os resultados mostraram que as emissões totais do Porto Privilege equivalem ao conteúdo de carbono armazenado em aproximadamente 7,943 árvores típicas da Mata Atlântica. Essa quantificação é realizada considerando que cada árvore tem o potencial de absorver e estocar em média 163.14 kg de CO₂ ao longo de seus primeiros 20 anos (SOS Mata Atlântica, 2013). Assim, considerando-se o valor de R\$75.00/crédito de carbono no mercado voluntário, resultaria em um custo aproximadamente R\$ 85 mil ou R\$17/m² (Carbonext, 2024).

Análise de incertezas

O cálculo do inventário do Porto Privilege envolveu certos níveis de incertezas que estão relacionados com os dados de entrada (inputs) e com os fatores de emissão de GEE e de consumo energético utilizados pela CECarbon. Como se trata do cálculo do inventário de um projeto de edificação, os dados de entrada são estimativas contidas nas planilhas orçamentárias e outros documentos oficiais do empreendimento, conforme descrito no item sobre os procedimentos metodológicos do estudo.

Em se tratando de inventário para contabilização de emissões de GEE e consumo energético, os dados de entrada e fatores de emissão e energia incorporada devem ser suficientemente precisos para permitir que os gestores tomem decisões com confiança razoável de que os resultados encontrados (outputs) têm credibilidade, atendendo ao princípio da exatidão. Assim, para minimizar tais incertezas, foram usados valores de entrada somente baseados em fontes oficiais do empreendimento, que seguissem padrões de mercado e, na medida do possível, tivessem conformidade com a realidade local.

Dadas as limitações em se estabelecer valores quantitativos de incerteza para o cálculo do inventário do Porto Privilege, as incertezas foram analisadas de forma qualitativa segundo recomendação do GHG Protocol (2003). Assim, considerando-se que os níveis de incerteza podem ser classificados em baixo, médio e alto, avaliaram-se as incertezas do inventário do Porto Privilege, a partir de uma análise qualitativa dos dados de entrada (inputs) e fatores de emissão e consumo energético, apresentados na Tabela 2.

Logo, a partir da análise da Tabela 2, pode-se argumentar, portanto, que o nível de incerteza geral para o cálculo das emissões de GEE e consumo energético do Porto Privilege pode ser considerado como “médio”, já que os valores dos dados de entrada (inputs) foram baseados em previsões de projeto e a maioria dos fatores de emissão e de consumo energético tem abrangência nacional e/ou internacional e não reflete necessariamente os valores específicos dos potenciais fornecedores de matérias primas e insumos elencados nos documentos do projeto. Existe uma variação de pegada de carbono entre diferentes fabricantes de um mesmo material/insumo de construção. Porém, a CECarbon, como a maioria das ferramentas acreditadas disponíveis, ainda não possui muita disponibilidade de fatores de emissão e de consumo energético de diferentes fabricantes brasileiros. As DAPs ou EPDs (em inglês) de materiais e insumos de construção de diferentes fabricantes estão se tornando cada vez mais comuns no Brasil e tendem a ser fontes de dados mais precisos sobre os fatores de emissão e energia incorporada.

Defende-se também que as incertezas dos cálculos referentes as emissões de GEE e consumos energéticos dos insumos e processos complementares tendem a ser maiores que aquelas referentes as emissões e consumo energético oriundos dos consumos orçados de materiais de

construção, pois envolveu estimativas, através da ferramenta Google Maps, de distâncias dos fretes de todos os materiais de construção (das suas respectivas fábricas até o canteiro de obra), além dos transportes de solo e resíduos (do canteiro de obras até o local de disposição final).

Considerações finais

Este artigo defende a importância da contabilização das pegadas de carbono e energéticas nos projetos de edificações no Brasil, analisando a contribuição de cada etapa construtiva e cada fonte individual de emissão de GEE e de consumo energético, visando direcionar ações de redução das intensidades de carbono e energia dos empreendimentos do setor da construção civil. Defende-se também que a calculadora CECarbon tem potencial para extrapolar os benefícios da mensuração das emissões de GEE e do consumo energético de uma obra e se tornar uma ferramenta gerencial de acompanhamento de quantitativos de insumos previstos e realizados, podendo contribuir para a avaliação do processo orçamentário das construtoras e da eficiência de seus processos produtivos.

Espera-se que essa pesquisa possa motivar outras construtoras a contabilizarem as pegadas de carbono e os consumos energéticos dos seus empreendimentos, contribuindo para aprimorar indicadores relacionados com emissões de GEE e energia incorporada, como também subsidiar a tomada de decisão por parte dos empreendedores e agentes públicos no que se refere as estratégias de mitigação e/ou compensação das emissões de carbono no setor da construção civil no Brasil.

Ressalta-se que esse estudo apresenta como principal limitação o fato de contabilizar as emissões de carbono e os consumos energéticos a partir apenas de dados estimados de consumo e frete de materiais/insumos extraídos do projeto do Porto Privilege. Trata-se, portanto, da utilização e do teste da CECarbon na etapa de projeto do empreendimento. Isto é, foram utilizados dados secundários de projeto antes do início da obra, com a finalidade de oferecer um diagnóstico preliminar do empreendimento em relação às emissões de carbono e ao consumo de energia embutida nos materiais e insumos para a tomada de decisão por parte dos empreendedores.

Outra limitação refere-se ao escopo da ACV das edificações adotado pela CECarbon: “do berço à entrega da obra”. Logo, caso se faça necessário contabilizar as emissões de carbono e os consumos energéticos para as fases referentes ao uso (operação e manutenção) e ao final da vida útil das edificações, é fundamental a utilização de outras ferramentas acreditadas.

Assim, recomenda-se para novas pesquisas:

- i) Continuidade do estudo no empreendimento Porto Privilege, comparando-se o que foi projetado com o realizado. Ou seja, é necessário confrontar os resultados contabilizados na etapa de projeto e discutidos neste artigo com os resultados a serem contabilizados após o final do período de construção do empreendimento. Ao final da construção, é crucial que o

inventário do Porto Privilege seja refeito, considerando-se os consumos reais de materiais/insumos e energia da obra, para efeito de comparação com os resultados encontrados a partir das estimativas da etapa de projeto. O objetivo é discutir as possíveis variações/divergências nos resultados devido às incertezas orçamentárias, alterações de projeto e/ou substituições de materiais/insumos no decorrer da obra.

- ii) Verificação de que há um aumento da inclusão na CECarbon e em outras ferramentas acreditadas, de mais fatores de emissão por fabricantes brasileiros dos insumos/materiais, extraídos de EPDs auditados por uma terceira parte independente, visando uma maior confiabilidade e precisão do cálculo das emissões de carbono e energia incorporada.
- iii) Análise quantitativa do grau de incerteza dos resultados obtidos (outputs) com a CECarbon em comparação com outras ferramentas acreditadas. Isso é fundamental, pois contribuiria para fomentar a melhoria da qualidade dos resultados obtidos, mediante a diminuição do grau de incerteza dos cálculos.
- iv) Formas de incentivo à realização e publicação de inventários de GEE por empresas do setor da construção civil, incluindo não apenas os canteiros de obra, mas também os escritórios e toda a área corporativa. A disseminação dessa prática, mediante a realização de relatórios integrados (obra e corporativo), é crucial para a estruturação de um banco de dados nacional que auxilie a promoção da sustentabilidade no setor.
- v) Pesquisas para verificar em que medida a CECarbon e demais ferramentas acreditadas estão incorporando materiais alternativos com menor pegada de carbono e energia incorporada e sua viabilidade técnica e econômica, incluindo indicadores para diferentes tipos de sistemas construtivos, como wood frame, steel frame, madeira engenheirada, etc.;
- vi) Exame de estratégias de gestão de resíduos e reciclagem em canteiros de obras e seu impacto na redução de emissão de GEE;
- vii) Investigação sobre geração e uso de energia renovável e eficiência energética no canteiro e seu potencial para reduzir emissão de GEE e energia incorporada nas obras;
- viii) Avaliação do impacto da capacitação dos trabalhadores em práticas sustentáveis para redução de GEE e energia incorporada nas obras;
- ix) Estudos para elaboração de abas suplementares na CECarbon para realização de cálculo da pegada hídrica, análise de riscos climáticos e sugestão de medidas de adaptação nos projetos e construções de edificações. Atualmente, a ferramenta está apenas voltada para a contabilização das emissões de carbono e do consumo energético e, conseqüentemente, medidas de mitigação nas obras; entretanto, sabe-se que a melhoria da resiliência urbana requer uma via de mão dupla, envolvendo tanto estratégias de mitigação como de adaptação às mudanças climáticas, como a escassez hídrica, por exemplo. Sugere-se também que futuramente a CECarbon incorpore a contabilização da pegada de carbono nas outras fases do ciclo de vida das edificações, tais como: operação&manutenção predial e final da vida útil;
- x) Integração da CECarbon com softwares de orçamento de obras, sistemas de gestão de compras e controle de estoque e com plataformas BIM (Modelagem da Informação da

- Construção), para permitir extração automática de informações sobre os quantitativos de materiais e insumos orçados e também os efetivamente utilizados na obra, otimizando a realização do inventário de emissões, tanto na fase de projeto quanto no final da construção;
- xi) Pesquisas comparativas entre os resultados obtidos via CECarbon e os encontrados por outras ferramentas acreditadas de inventários de emissões de GEE e consumo energético;
 - xii) Avaliação do potencial impacto de políticas públicas e regulatórias na redução das emissões de GEE e do consumo energético das edificações no Brasil, identificando pontos de melhoria de efetividade.

Essa agenda de pesquisa é importante para o aperfeiçoamento dos indicadores de intensidade de carbono e energia para o setor de construção civil, visando à definição de metas para o plano setorial de mitigação das mudanças climáticas, medida a ser cumprida tendo como base as políticas públicas e regulatórias, como o Plano Clima em elaboração pelo governo federal.

Referências bibliográficas

- Bajay, S.V., Santana, P.D.M. (2010) *Oportunidades de eficiência energética para a indústria: relatório setorial cal e gesso*. CNI. Brasília - DF.
- Belizário-Silva, F. (2022) *Proposal of lifecycle-based environmental performance indicators for decision making in construction*. (Tese de Doutorado), Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil.
- Bessa, V. M. T. (2010) *Contribuição à metodologia de avaliação das emissões de dióxido de carbono no ciclo de vida das fachadas de edifícios de escritórios*. (Tese de Doutorado), Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil.
- BPIE, Buildings Performance Institute Europe (2024) *How to establish Whole Life Carbon benchmarks – Insights and lessons learned from emerging approaches in Ireland, Czechia and Spain*. Acesso em 05 de agosto de 2025. Disponível em: https://www.bpie.eu/wp-content/uploads/2024/09/How-to-establish-whole-life-carbon-benchmarks_final.pdf
- Bulin, J.E.S., Lach, A.G. (2022) Análise comparativa de consumo de aço e concreto entre duas configurações de investimento em Balneário Camboriú. (TCC Graduação), UniSociesc, Joinville, Santa Catarina, Brasil.
- Burritt, R.L., Schaltegger, S., Zvezdov, D. (2011) Carbon management accounting: explaining practice in leading German companies. *Australian Accounting Review*, **21**(1), 80–98. <https://doi.org/10.1111/j.1835-2561.2010.00121.x>
- Caldas, L.R. (2024). *Ferramentas de quantificação das emissões de carbono aplicadas a edificações: um guia para auxiliar na escolha*. Acesso em 1 de agosto de 2025. Disponível em: <https://www.archdaily.com.br/br/1019174/ferramentas-de-quantificacao-das-emissoes-de-carbono-aplicadas-a-edificacoes-um-guia-para-auxiliar-na-escolha>
- Caldas, L.R. (2020). *Como calcular a pegada de carbono de uma edificação*. Acesso em 1 de agosto de 2025. Disponível em: <https://www.archdaily.com.br/br/943023/como-calcular-a-pegada-de-carbono-de-uma-edificacao>
- Caldas, L. R., Lira, J. S. M. M., Melo, P. C., Spoto, R. M. (2017) Life cycle carbon emissions inventory of brick masonry and light steel framing houses in Brasilia: proposal of design guidelines for low-carbon social housing. *Ambiente Construído*, **17**(3), 71-85. <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212017000300163>
- Carbonext (2024) *Descarbonização no setor da construção civil –edificações*. Sindicato da Indústria da Construção Civil de São Paulo – SindusCon-SP, São Paulo.
- Carozzo Desenvolvimento Imobiliário (2024) *Porto Privilege*. Acesso em 23 de março de 2024. Disponível em: <https://www.carozzo.com.br/empreendimentos/porto-privilege>

- Carvalho, B.V.O. *et al.* (2024) The Use of Bamboo in Civil Engineering: Sustainability and Innovation at the Max Feffer Center, Pardinho Municipality, São Paulo State (SP), Brazil. *Research, Society and Development*, **13**(12), 53131247728. <https://doi.org/10.33448/rsd-v13i12.47728>
- CEN, European Committee for Standardization (2024) *Construction*. Acesso em 03 de julho de 2024. Disponível em: <https://www.cencenelec.eu/areas-of-work/cen-sectors/construction/sustainability-safety-and-accessibility>
- CNI, Confederação Nacional da Indústria (2016) *Estratégias corporativas de baixo carbono: setor do vidro*. Brasília – DF.
- CONFEA, Conselho Federal de Engenharia e Agronomia (2024) *Medidas para descarbonização da construção civil avançam no Brasil*. Acesso em 05 de setembro de 2024. Disponível em: <https://www.confea.org.br/medidas-para-descarbonizacao-da-construcao-civil-avancam-no-brasil>
- Costa, B.L. (2012). *Quantificação das emissões de CO₂ geradas na produção de materiais utilizados na construção civil no Brasil*. (Dissertação de Mestrado), Universidade Federal do Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- Cruz, F., D’Avila, S.L. (2013) *Inventory of Greenhouse Gas Emissions of the Federal Technological University of Paraná – Curitiba Campus*, Academic Department of Chemistry and Biology, Federal Technological University of Paraná, Curitiba.
- Ecoinvent (2022) *Ecoinvent Database*. Acesso em 23 de abril de 2022. Disponível em: <https://ecoinvent.org/the-ecoinvent-database>
- EPE, Empresa de Pesquisa Energética (2019). *Balanco Energético Nacional 2019*. Acesso em 05 de agosto de 2025. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/sntep/publicacoes/balanco-energetico-nacional/anteriores>
- Fearnside, P.M. (2001) The potential of Brazil's forest sector for mitigating global warming under the Kyoto Protocol. *Mitigation and adaptation strategies for global change*, v. 6, p. 355-372.
- Felicioni, L., Lupisek, A., Gaspari, J. (2023) Exploring the common ground of sustainability and resilience in the building sector: a systematic literature review and analysis of building rating systems. *Sustainability*, **15**(1), 884-898. <https://doi.org/10.3390/su15010884>
- Gardini, O.L., Marco, G., Florian, F. (2024) A utilização de bioconcreto na construção civil, pontos positivos e seus desafios, *Revista Científica Multidisciplinar*, 5 (1), 516061, <http://dx.doi.org/10.47820/recima21.v5i1.6061>
- GHG Protocol (2003) *GHG Protocol guidance on uncertainty assessment in GHG inventories and calculating statistical parameter uncertainty*. Acesso em: 5 de agosto de 2025. Disponível em: <https://ghgprotocol.org/sites/default/files/ghg-uncertainty.pdf>
- Gonçalves, J.C.S., Bode, K. (org.) (2015) *Edifício ambiental*, São Paulo: Oficina de Textos.
- Guida, E.C., Falco, D.G., Silva, L.J. (2020) Energia embutida nos materiais de construção utilizados em edificações brasileiras. XXI Congresso Brasileiro de Planejamento Energético. *Anais*.
- Hall, G., Lee, J. (2022) *Making Advances in Carbon Management: best practice from the Carbon Information Leaders*. Acesso em 13 de abril de 2024. Disponível em: http://www.935.ibm.com/services/uk/bcs/pdf/cdp_andibm_final_updated_sept08.pdf?me=w&met=landingpage
- Hammond, G., Jones, C. (2011) *Inventory of Carbon & Energy (ICE) version 2.0* University of Bath.
- Ibrahim, N., Sugar, L., Hoorweg, D., Kennedy, C. (2012) Greenhouse gas emissions from cities: comparison of international inventory frameworks. *Local Environment*, **17**(2), 223-241. <https://doi.org/10.1080/13549839.2012.660909>
- Ikeda, A.A., Veludo-de-Oliveira, T.M., Campomar, M.C. (2005) A Tipologia do Método do Caso em Administração: usos e aplicações. *O&S – Organizações e Sociedade*. **12**(34), 141-159. <https://doi.org/10.1590/S1984-92302005000300009>
- Instituto do Aço Brasil (2018) *Relatório de Sustentabilidade 2018*. Rio de Janeiro, RJ, Brasil
- Labaran, Y. H., Mathur, V., Muhammad, S.U., Musa, A.A. (2022) Carbon footprint management: A review of the construction industry. *Cleaner Engineering and Technology*, **9**(1), 100531. <https://doi.org/10.1016/j.clet.2022.100531>
- Lamberts, R., Triana, M. A., Fossati, M., Batista, J.O. (2007) *Sustentabilidade nas edificações: contexto internacional e algumas referências brasileiras na área*. Laboratório de Edificações – UFSC. Florianópolis.

- Macedo, H.R., Luiz-Jr., O.J., Feiden, A. (2024) Carbon Footprint: a scientometric analysis of publications from the Capes Thesis and Dissertations Database – Brazil. *RGSA –Revista de Gestão Social e Ambiental*, **18**(9), 2024, p.1-14. <https://doi.org/10.24857/rgsa.v18n9-143>
- Melo, P. C., Caldas, L.R., Masera, G., Pittau, F. (2023) The potential of carbon storage in bio-based solutions to mitigate the climate impact of social housing development in Brazil. *Journal of Cleaner Production*, **433**(1), 139862. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.139862>
- Minunno, R., O'Grady, T., Morrison, G.M., Gruner, R.L. (2021) Investigating buildings' embodied energy and carbon: A systematic literature review and meta-analysis of life cycle assessments. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **143**(1), 110935, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.110935>
- One Click LCA (2021) *Benchmark for European Buildings – According to EN 15978:2011 and Level(s) framework*. Disponível em: <https://oneclicklca.com/resources/ebooks/embodied-carbon-benchmarks-for-european-buildings>
- Prado, A. F. R., Alberte, E.P.V., Ventura, A.C., Ventin, J.T.I. (2022) Urban resilience actions in the built environment: an analysis of the city of Salvador–Bahia-Brazil. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1101(2). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1101/2/022004>
- Rock, M., Allacker, K., Auinger, M., Balouktsi, M. et al. (2022) Towards indicative baseline and decarbonization pathways for embodied life cycle GHG emissions of buildings across Europe, In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 1078: 012055. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1078/1/012055>
- SindusCon-SP (2025) Sindicato da Construção Civil do Estado de São Paulo. *Construindo um futuro sustentável: o protagonismo do Brasil na descarbonização*. Acesso em: 1 agosto 2025. Disponível em <https://sindusconsp.com.br/eventos/25-anos-do-comasp>
- SindusCon-SP (2024) Sindicato da Construção Civil do Estado de São Paulo *Descarbonização do setor da Construção Civil e lançamento da nova versão da CECarbon*. Acesso em 22 de março de 2024. Disponível em: <https://cecarbon.com.br/blog/post/665e246b4f1881001c5f443d>
- SindusCon-SP (2022) Sindicato da Construção Civil do Estado de São Paulo. *CECarbon - relatório metodológico*. Acesso em 3 de fevereiro de 2024. Disponível em: <https://www.cecarbon.com.br/methodology>
- Silva, A., Andrade, C. (2022) Sinergia entre estratégia de resiliência de Salvador e IPTU verde: oportunidades para aumento da eficácia e parceria com o mercado imobiliário. *Anais do XXII Encontro Internacional Gestão Empresarial e Meio Ambiente*, São Paulo-SP.
- Sonvezzo, C. S., Oliveira, L. S., John, V. M. (2022) Relatório de coleta de dados para o Sistema de Informação do Desempenho Ambiental da Construção: blocos de concreto. São Paulo: Sidac.
- SOS Mata Atlântica (2013) *Cada árvore da Mata Atlântica chega a tirar 163 kg de gás carbônico da atmosfera*. Acesso em 3 de agosto de 2025. Disponível em: <https://www.sosma.org.br/noticias/cada-arvore-da-mata-atlantica-chega-a-retirar-163-kg-de-gas-carbonico-da-atmosfera>
- Tavares, S.F. (2006) *Metodologia de análise do ciclo de vida energético de edificações residenciais brasileiras*. (Tese de Doutorado), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, Brasil.
- UNEP, United Nations Environment Programme (2024) *Global Status Report for Buildings and Construction: Beyond foundations - mainstreaming sustainable solutions to cut emissions from the buildings sector*. Nairobi. <https://doi.org/10.59117/20.500.11822/45095>
- UKNZCBS (2025) *UK Net Zero Carbon Buildings Standard*, Acesso em 05 agosto 2025. Disponível em: <https://www.nzcbuildings.co.uk/pilotversion>
- WRI (2024) *GHG Protocol*. Disponível em: <https://www.wribrasil.org.br/projetos/ghg-protocol>
- Xu, X., Xu, P., Zhu, P., Li, H., Xiong, Z. (2022) Bamboo construction materials: Carbon storage and potential to reduce associated CO₂ emissions, *Science of The Total Environment*, **814**, 152697, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.152697>