

INVENTÁRIO DE EMISSÕES DE CARBONO EM PROJETO DE EDIFICAÇÃO NA BAHIA: ANÁLISE COMPARATIVA COM INDICADORES NACIONAIS DE INTENSIDADE DE CARBONO E ENERGIA INCORPORADA

1. INTRODUÇÃO

É significativo o impacto ambiental da indústria da construção nas emissões de gases de efeito estufa (GEE), principalmente através da produção de materiais, atividades de construção, transporte e gerenciamento de resíduos, em função dos seus processos que consomem grandes quantidades de energia e recursos naturais, resultando em emissões significativas de carbono. O setor da construção civil contribui com cerca de 40% das emissões mundiais de GEE relacionadas a energia. As emissões diretas de CO₂ dos edifícios precisam ser reduzidas pela metade até 2030 para encaminhar o setor para a neutralidade climática até 2050. Daí, a importância da adoção de estratégias de mitigação das mudanças climáticas em mercados emergentes como o Brasil, onde se prevê um aumento da procura por novas construções (De Melo et al, 2023)

Analisando o gerenciamento da pegada de carbono na indústria da construção Labaran et al (2022) sugerem estratégias para a mitigação, tais como a adoção dos edifícios verdes, incluindo nestes edifícios o uso de materiais sustentáveis e com menor conteúdo de carbono incorporado, que poderiam ser certificados com selos, desde que estes selos sejam regionalizados, ou seja ajustados à cada realidade local. Destacam também a importância do controle logístico de abastecimento, para a redução das emissões dos transportes, eficiência energética e gestão de resíduos. Afirmam a necessidade de um sistema de classificação reconhecido internacionalmente que inclua a medição e quantificação da pegada de carbono como um de seus principais parâmetros, especialmente no setor da construção. Embora abordem a pegada de carbono em detalhes, fornecendo uma análise abrangente de várias metodologias, estruturas e ferramentas, não reportam indicadores de emissões por área construída.

Já Minunno et al (2021) identificaram o concreto, madeira e aço como os materiais estruturais mais utilizados nas edificações. As estruturas de madeira incorporam significativamente menos energia e carbono em todo o ciclo de vida em comparação com estruturas de concreto e aço. Assim, o uso da madeira de origem sustentável no lugar de concreto reduz até 43% a energia incorporada e 68% em intensidade de carbono. Além desses materiais, foram discutidos os resultados da energia incorporada e as emissões de carbono de oito outros materiais de construção: tijolos, telhas, isolamento (EPS) e gesso. 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. Fearnside (2001) demonstra, que o uso de biomateriais tem um potencial significativo de redução de emissões de GEE em comparação com soluções convencionais. Assim, oferece *insights* importantes sobre os potenciais do bambu e do bioconcreto para redução das emissões de GEE, principalmente no segmento de moradias sociais.

Diante desse contexto, Macedo, Luiz-Jr, Feiden (2024), analisando trabalhos acadêmicos sobre pegada de carbono, constatou que a área de engenharia é a segunda com maior número de trabalhos, ficando atrás de ciências agrárias, e em terceiro lugar ciências sociais aplicadas, na qual está inserida a área de administração. Em que pese o crescente interesse científico, e ser a Bahia importante área no setor da construção, líder em empregos no Nordeste, com mais de 150 mil postos de trabalho, correspondendo a 28,04% da mão de obra da região (MTE, 2024) a Bahia tem raras empresas que contabilizam as emissões de GEE de seus empreendimentos. Dos 109 inventários feitos no Brasil através da plataforma CECarbon, que pautaram a elaboração do indicador médio de emissões no país, apenas 01 é baiano (CECarbon, 2024)

A CECarbon veio suprir a falta de uma ferramenta customizada para o setor visando a quantificação das emissões de GEE e consumo energético dos canteiros de obras, e possibilitando a gestão e o monitoramento eficazes da pegada de carbono. Através da geração de indicadores de intensidade de carbono e energia nas edificações, a CECarbon pode contribuir para o cumprimento das metas nacionais de redução de emissões de GEE, acordadas no Acordo de Paris, como também para que a cidade de Salvador consiga alcançar a meta de ser carbono zero em 2049. 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, etc (CECarbon, 2024).

Entretanto apenas a redução das emissões de GEE é crucial pois contribui para a mitigação das mudanças climáticas, mas é preciso também integrar as estratégias de redução com as de adaptação visando reduzir a vulnerabilidade das edificações a eventos climáticos extremos e seus impactos. Assim, 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 et al., 2023).

Isto posto, este artigo tem como objetivo geral efetuar análise comparativa dos resultados do inventário de emissão de GEE, em projeto de edificação urbana no estado da Bahia, com indicadores nacionais de intensidade de carbono e energia incorporada, visando identificar oportunidades de melhorias. Para tal, foram empregadas as seguintes técnicas metodológicas: pesquisas bibliográfica e documental, com extração de dados secundários de trabalhos científicos e estudos e ferramentas setoriais sobre cálculo de pegada de carbono e energia incorporada em edificações.

2. INICIATIVA BRASILEIRA PARA REDUÇÃO DAS EMISSÕES DE GEE DAS EDIFICAÇÕES: CECARBON

A ferramenta CECarbon, online e gratuita, ajuda na mensuração do consumo energético e das emissões de GEE tanto durante a fase de projeto e também ao final da construção das edificações. Utilizando-se de uma abordagem de ciclo de vida, abrangendo desde a extração de matérias-primas até a entrega da obra, a CECarbon pode auxiliar as construtoras na tomada de decisão informada sobre as pegadas de carbono 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. A ferramenta possui um banco de dados com fatores de emissão e consumo energético para diversos materiais de construção e processos complementares, como transporte e uso de combustíveis. A seleção desses fatores prioriza o contexto brasileiro (EPDs - Fatores de Emissão por Fabricantes, SIDAC- Sistema de Informação do Desempenho Ambiental da Construção, Ecoinvent – BR e literatura) buscando a maior precisão possível. Para materiais compostos, como argamassa e concreto, a CECarbon utiliza dados de seus componentes individuais, permitindo a análise de diferentes traços (CECARBON, 2022).

Assim, o cálculo das emissões totais de GEE para a realização dos inventários dos empreendimentos/obra é feito através da equação mostrada na Figura 01.

Figura 01 Equação para cálculo das emissões totais de GEE

$$ET = \sum_{i=1}^n DA_i \cdot FE_{GEEi} \cdot GWP_{GEE}$$

Fonte: CECarbon (2022)

Onde ET refere-se as emissões totais de GEE, DA aos dados de atividade ou fontes de emissão de GEE e FE refere-se aos fatores de emissão de GEE e GWP - “*Global Warming Potential*”, ou, em português, "Potencial de Aquecimento Global", diz respeito a quanto uma determinada massa de um GEE é capaz de reter calor na atmosfera, em comparação a mesma massa de gás equivalente ao CO₂.

Os resultados 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 4 categorias inventariadas pela plataforma: “bens e serviços comprados”, “combustão móvel”, “combustão estacionária” e “energia adquirida”. Esses resultados também podem ser relatados 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* mais compatíveis com o orçamento da obra. A CECarbon permite o cálculo da pegada de carbono 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 - Habitação de Interesse Social) o que pode auxiliar na escolha de alternativas com menor intensidade de carbono (Silva et al, 2023).

3. RESULTADOS

A partir da análise de uma amostra de 109 inventários de obras realizados na CECarbon, resultaram os seguintes indicadores de intensidade de carbono e de energia por m² construído (Emissão de GEEs: 0,21 tCO₂e/m² e Energia Incorporada: 2,17 GJ/m²). Esses indicadores foram desmembrados em sistema construtivo e padrão construtivo, resultando nos valores apresentados na Figura 02 abaixo:

Figura 02: Indicadores de Intensidade de Carbono e Energia de Edificações no Brasil



Fonte: CECarbon (2024)

O indicador referente a emissões totais de GEEs, inclui as emissões embutidas nos ciclos produtivos dos materiais/insumo da obra. Já o indicador de energia incorporada ou embutida, refere-se ao consumo energético. Ou seja, delimitou-se como fronteiras do ciclo de vida das edificações “do berço a entrega da obra”, ou seja, fabricação dos materiais de construção, transporte até o canteiro de obra e execução no canteiro. Portanto, os resultados englobam as etapas A1-A5 do padrão internacional (EM 15804:2012 + A2:2019) e não foram

consideradas as emissões de GEE e consumo energético para as fases de operação/uso, fim de vida e além do ciclo de vida.

A Figura 02 mostra que as edificações de padrão alto 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.

Para compor esses indicadores foram analisamos inventários de emissões de GEE de obras em 14 estados brasileiros e do Distrito Federal, totalizando 109 edificações. A maioria dos inventários se concentrou em São Paulo (74), seguido do Rio de Janeiro (9), Distrito Federal (9), Amazonas (4), Goiás (2), Ceará (2), Pernambuco (1), Rio Grande do Sul (1) e Bahia (1).

Os resultados encontrados no projeto do empreendimento privado de alto padrão residencial denominado “Porto Privilege” em Salvador-Bahia, e apresentados por Silva et al (2023) foram os seguintes: emissões totais de carbono do projeto do empreendimento equivalem a 1.134,7 tCO₂e ou 0,22 tCO₂e/m² e a energia incorporada em todas as matérias primas, materiais e insumos utilizados na obra corresponde a 12.906,9 GJ ou 2,55 GJ/m². Observou-se que 5/10 etapas respondem por 90,7% das emissões totais da obra. São elas: estrutura, fundações, revestimentos (interno e externo), esquadrias/vidro e vedações.

Apenas 05 fontes individuais de emissão de GEE respondem por 79% das emissões totais da obra: aço, concreto 30-32 Mpa, esquadrias de alumínio, argamassa genérica e blocos de concreto de vedação. Assim, a maior parte das emissões da obra é proveniente da demanda de apenas 05 insumos. Logo, a redução do consumo desses insumos, a análise do partido estrutural e a logística de uso e distribuição para evitar desperdícios são estratégias importantes para diminuir a contribuição desses insumos para as emissões totais da obra.

Quanto ao consumo energético total, os resultados mostraram que a energia incorporada em todos as matérias primas e insumos utilizados na obra (12.906,9 GJ) seria capaz de abastecer anualmente aproximadamente 415 casas de famílias médias brasileiras com 4 pessoas.

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. Assim, considerando-se o valor de R\$75,00/crédito de carbono no mercado voluntário, resultaria em um custo de R\$ 85.098,00 (oitenta e cinco mil e noventa e oito reais), ou R\$16,80/m² (dezesseis reais e oitenta centavos por metro quadrado de área construída) (CARBONEXT, 2024).

Comparando resultados encontrados no empreendimento baiano com os indicadores nacionais de intensidade de carbono e energia incorporada, apresentados anteriormente na Figura 02, tem-se:

- Emissão de GEEs: O resultado encontrado no Porto Privilege (0,22 tCO₂e/m²) é bastante similar à média geral encontrada no Brasil de 0,21 tCO₂e/m².

- Consumo Energético: O indicador do Porto Privilege (2,55 GJ/m²) é ligeiramente superior à média geral nacional de 2,17 GJ/m².

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

- Emissão de GEEs: o indicador do Porto Privilege (0,22 tCO₂e/m²) é ligeiramente inferior à média para padrão construtivo alto de 0,25 tCO₂e/m².

- Consumo Energético: similarmente, o resultado do Porto Privilege (2,55 GJ/m²) também é ligeiramente inferior à média para alto padrão construtivo de 2,53 GJ/m².

- Emissão de GEEs: o resultado encontrado no Porto Privilege, que usa alvenaria e sistema estrutural convencional, foi de 0,22 tCO₂e/m², inferior à média geral encontrada no Brasil de 0,26 tCO₂e/m².

● Consumo Energético: O indicador do Porto Privilege (2,55 GJ/m²) é inferior à média geral nacional de 2,66 GJ/m².

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados encontrados no empreendimento Porto Privilege em Salvador-Bahia se posicionam muito próximo às médias gerais encontradas para os indicadores de intensidade de carbono e energia de edificações no Brasil. As pequenas variações podem ser explicadas por particularidades do projeto, como materiais utilizados, soluções construtivas adotadas e eficiência logística no transporte dos materiais e serviços.

Assim, este artigo defende a importância da contabilização da pegada de carbono nos projetos de edificações no Brasil, analisando a contribuição de cada etapa construtiva e cada fonte individual de emissão de GEE visando direcionar ações de redução da intensidade de carbono dos empreendimentos do setor da construção civil. Logo, espera-se que essa pesquisa possa motivar outras construtoras a contabilizarem as pegadas de carbono 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.

Isto posto, recomenda-se para novas pesquisas:

i) Impacto das políticas públicas e regulatórias: avaliar como podem impactar na redução das emissões de GEE e identificar áreas para melhorias legislativas.

ii) 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 é crucial para o aprimoramento de um banco de dados nacional e para a promoção da sustentabilidade no setor.

iii) Pesquisas sobre novos materiais que tenham menor pegada de carbono e sua viabilidade técnica e econômica, incluindo diferentes tipos de sistemas construtivos, como wood frame, steel frame e madeira engenheirada.

iv) Exame de estratégias de gestão de resíduos e reciclagem em canteiros de obras e seu impacto na redução de emissão de GEE.

v) Investigação sobre uso de energia renovável e eficiência energética no canteiro e seu potencial para reduzir emissão de GEE e energia incorporada nas obras.

vi) Educação e capacitação: avaliar o impacto das competências dos trabalhadores em práticas sustentáveis para redução de GEE e energia incorporada nas obras.

vii) Estudos para elaboração de uma aba suplementar na CECarbon para realização de análise de riscos climáticos e sugestão de medidas de adaptação nos projetos de edificações. Atualmente a plataforma está apenas voltada para a contabilização das emissões de carbono e consumo energético e consequentemente 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;

viii) Integração da CECarbon com softwares de orçamento e com o BIM.

ix) Pesquisa sobre outras plataformas de inventários de emissões em projetos de edificações/canteiros de obras para comparar os resultados obtidos via CECarbon;

Essa agenda de pesquisa é importante para o aperfeiçoamento dos indicadores para o setor de construção civil, contribuindo assim para a definição de metas para os planos setoriais de mitigação das mudanças climáticas, medida a ser cumprida por diversos setores da economia com base no Plano Clima que está sendo elaborado pelo governo federal.

REFERÊNCIAS

- CARBONEXT. **Descarbonização no setor da construção civil –edificações**. Palestra no Sindicato da Indústria da Construção Civil de São Paulo – SINDUSCON-SP, maio 2024.
- CECARBON **SindusCon-SP debate descarbonização no setor da Construção Civil e lança nova versão da CECarbon**. Disponível em: <https://cecarbon.com.br/blog/post/665e246b4f1881001c5f443d>. Acesso em 15 jul 2024.
- CECARBON. Relatório Metodológico, SindusCon-SP: São Paulo, 2022.
- DE MELO, P. C. et al. The potential of carbon storage in bio-based solutions to mitigate the climate impact of social housing development in Brazil. **Journal of Cleaner Production**, v. 433, p. 139862, 2023.
- FEARNSIDE, P.M. 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, 2001.
- FELICIONI, L.; LUPÍŠEK, A.; GASPARI, J et al. Exploring the common ground of sustainability and resilience in the building sector: a systematic literature review and analysis of building rating systems. **Sustainability**, v. 15, n. 1, p. 884, 2023.
- LABARAN, Yahaya Hassan et al. Carbon footprint management: A review of construction industry. **Cleaner Engineering and Technology**, v. 9, p. 100531, 2022.
- MACEDO, H.R., LUIZ-JR, O.J., FEIDEN, A. CARBON FOOTPRINT: 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.
- MINUNNO, Roberto et al. **Investigating the embodied energy and carbon of buildings: A systematic literature review and meta-analysis of life cycle assessments**. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 143, p. 110935, 2021.
- MTE. Ministério do Trabalho e Emprego. **Cadastro Geral de Empregados e Desempregados (CAGED)**. Disponível em: <http://pdet.mte.gov.br/novo-caged>). Acesso em: 27 mai. 2024
- SILVA, A., ANDRADE, C., BRITO, I.B. Inventário de Emissões de Carbono em Projetos de Edificações: um estudo de caso na Bahia. In: XXIII Engema, São Paulo. **Anais do XXIII Engema**, 2023.