XXI ENTAC – Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído
14 a 16 de outubro de 2026 | Goiânia-Brasil
DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v21i1.8431

Gases do efeito estufa em edificações brasileiras: análise da influência do empreendedor sob as perspectivas do ciclo de vida e do GHG Protocol

Greenhouse gases in Brazilian buildings: an analysis of the developer's influence from the perspectives of the life cycle and the GHG Protocol

Manoel Policiano Tertolino da Silva
Discente do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Juiz de Fora | Juiz de Fora | Brasil | rmconsultoriaeprojeto@gmail.com
Pedro Kopschitz Xavier Bastos
Docente do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Juiz de Fora | Juiz de Fora | Brasil | pedrokop@ufjf.br

Resumo

Este trabalho investiga a responsabilidade do empreendedor na emissão de Gases de Efeito Estufa (GEE) em edificações do cenário brasileiro, preenchendo uma lacuna sobre a governança climática corporativa na construção civil. O objetivo é identificar o grau de influência do tomador de decisão ao longo das etapas da Avaliação de Ciclo de Vida (ACV), articuladas aos Escopos 1, 2 e 3 do GHG Protocol. A metodologia consistiu em pesquisa exploratória e documental. Os resultados indicam que as decisões do empreendedor na fase de concepção e projeto arquitetônico são os principais gatilhos de sustentabilidade, controlando indiretamente o carbono incorporado (Escopo 3) e o consumo energético operacional (Escopo 2) por meio da especificação de sistemas construtivos e materiais. A contribuição do estudo reside na proposição de um modelo de gestão que integra metas climáticas e soluções mitigadoras.

Palavras-chave: Construção civil. Edificações. Emissões de GEE. Ciclo de vida. Sustentabilidade.

Abstract

This work investigates the developer's responsibility for Greenhouse Gas (GHG) emissions in buildings within the Brazilian context, filling a gap in corporate climate governance in the construction industry. The objective is to identify the degree of influence of the decision-maker throughout the Life Cycle Assessment (LCA) stages, articulated with Scopes 1, 2, and 3 of the GHG Protocol. The methodology consisted of exploratory and documentary research, with the systematization of secondary data from national and international literature. The results indicate that decisions in the conception and architectural design phase are the main triggers for sustainability, indirectly controlling embodied carbon (Scope 3) and operational energy consumption (Scope 2) through the specification of construction systems and materials. The study's contribution lies in proposing a management model that integrates climate goals and mitigating solutions.

Keywords: Civil construction. Buildings. GHG emissions. Life cycle. Sustainability.

Como citar:
Silva Et al, Gases do efeito estufa em edificações brasileiras: análise da influência do empreendedor sob as perspectivas do ciclo de vida e do GHG Protocol. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 21, 2026, Goiânia. Anais... Goiânia: ANTAC, 2026.

DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v21i1.8431

INTRODUÇÃO

O setor da construção civil é um dos pilares da economia global, mas com uma enorme pegada ambiental. Segundo dados do *World Green Building Council* [1], as edificações são responsáveis por cerca de 39% das emissões globais de CO_2 relacionadas à energia. No Brasil, o cenário é agravado pela necessidade de grande volume de obras para redução do déficit habitacional, em um contexto de urgência climática [2]. A problemática central desta pesquisa reside na identificação de quem detém o poder real de transformação na cadeia produtiva de habitações sob o ponto de vista da sustentabilidade.

Diferentemente de abordagens tradicionais da eficiência ambiental do edifício na fase de ocupação ou no controle de aspectos de canteiro de obras, este artigo articula o ciclo de vida e conceitos do *GHG Protocol*. O objetivo é identificar a classe de emissão e o grau de influência do empreendedor em cada fase do ciclo de vida, construindo uma base conceitual para elaboração de políticas de responsabilização e mitigação de emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) das edificações.

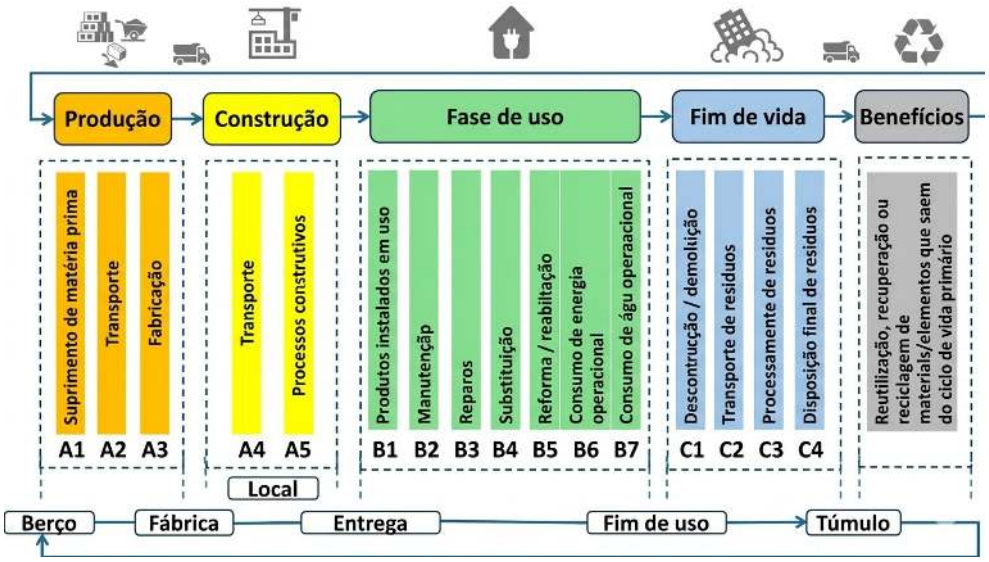
Constata-se uma lacuna científica no que tange à vinculação entre as decisões tomadas pelo empreendedor imobiliário e a consequente relação com os impactos ao longo do ciclo de vida do empreendimento.

EMISSÕES DE GEE DE EDIFICAÇÕES – ABORDAGEM VIA ETAPAS DO EMPREENDIMENTO E PROTOCOLO GHG

Para que o empreendedor tome decisões assertivas na incorporação de um novo empreendimento para o mercado de edificações, são necessárias métricas claras. A dificuldade reside na confusão entre o que é impacto do "produto" (edifício) e o que é impacto da empresa [3], representada pelo empreendedor.

A Análise do Ciclo de Vida (ACV), regida pelas normas NBR ISO 14044 [4] e EN 15978 [5], detalhada para o setor no contexto europeu, propõe decompor a vida útil de um edifício em módulos (Figura 1).

Figura 1: Agrupamento de módulos e fases do ciclo de vida de uma edificação de acordo com a norma BS EN 15978:2011



Fonte: adaptado de [6].

- **Módulo A (Estágio de Produto e Construção):** Compreende as emissões de "carbono incorporado". Os submódulos A1-A3 (berço ao portão) são bastante críticos, e envolvem a extração e fabricação de materiais, muitos deles de alta concentração de carbono.
- **Módulo B (Estágio de Uso):** Refere-se às emissões operacionais, dependentes de decisões de projeto que terão reflexo em todas as fases seguintes, definindo o consumo de energia.
- **Módulos C e D (Fim de Vida e além):** Tratam da demolição e da potencial possibilidade de promover a economia circular, com reaproveitamento de materiais.

O GHG Protocol [7] organiza as emissões de GEE em três escopos:

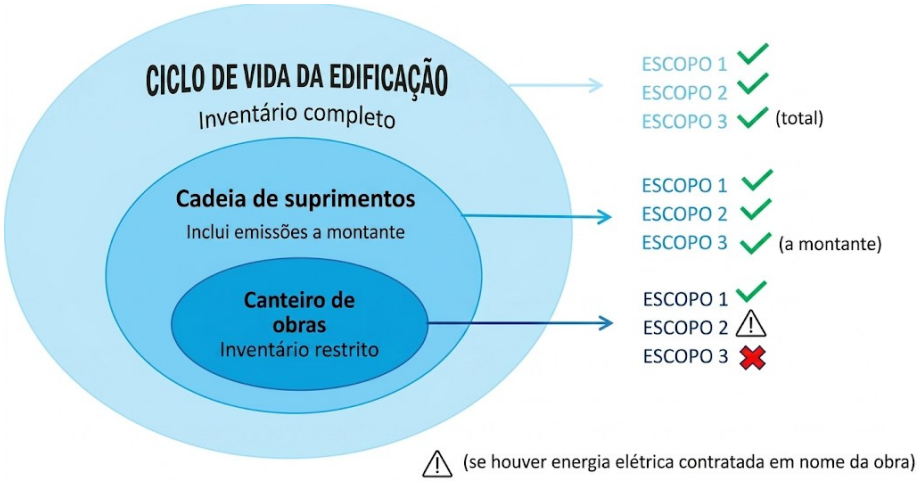
- **Escopo 1:** Emissões diretas de fontes que a empresa possui ou controla (exemplo: queima de diesel em máquinas no canteiro).
- **Escopo 2:** Emissões indiretas provenientes da geração de eletricidade adquirida.
- **Escopo 3:** Emissões indiretas que ocorrem na cadeia de fornecedores da empresa. Para um empreendimento imobiliário, o Escopo 3 corresponde à maior concentração do carbono incorporado nos materiais, representando a maior emissão proveniente do setor.

O “Guia Metodológico para Inventários de Emissões de Gases de Efeito Estufa na Construção Civil – Setor Edificações” [8] trata a obra como a unidade organizacional para o Inventário de emissões. Por sua vez, no “Registro Público de Emissões” [9] as empresas do ramo “construção” expõem suas emissões de Escopos 1, 2 e 3. Percebe-se, assim, uma lacuna no setor a ser preenchida quanto à clareza das abordagens nessa

temática, uma vez que se pretende identificar em quais pontos do ciclo de vida e em quais tipos de emissões o empreendedor pode mais atuar.

A Figura 2 ilustra diferentes "camadas" de abordagem, com o círculo interno correspondendo a inventários restritos ao canteiro de obras, enquanto os dois externos indicam a ampliação progressiva das fronteiras que incluem emissões indiretas da cadeia de suprimentos e as emissões associadas ao uso e ao fim de vida da edificação.

Figura 2: Níveis de abrangência de inventários GEE aplicáveis à construção de edificações



Fonte: os autores.

MÉTODO DE PESQUISA

A presente pesquisa adota uma abordagem qualitativa e analítica, de natureza exploratória, fundamentada em revisão bibliográfica e análise documental. Foram estruturadas três etapas consecutivas: (a) mapeamento da literatura; (b) estabelecimento de critérios para a classificação do grau de influência do empreendedor; e (c) modelagem da correlação entre as etapas da ACV e as fronteiras organizacionais do GHG Protocol.

A busca bibliográfica foi realizada no Portal de Periódicos CAPES, utilizando as bases de dados *Web of Science* e *Scopus*, combinando termos como *'Construction carbon credit market'*, *'Carbon management in construction'* e *'CO_2 embodied energy in Buildings'*, mapeando produções sem restrição temporal. Foram selecionados critérios de exclusão baseados na aderência ao subsetor de edificações no contexto de matrizes energéticas de países em desenvolvimento.

GRAU DE INFLUÊNCIA DO EMPREENDEDOR NAS EMISSÕES DE GEE

Para a categorização do grau influência do empreendedor neste cenário de decisões, estabeleceram-se três classes:

- **Forte** - o empreendedor detém o controle operacional direto sobre os fluxos físicos e fontes emissoras de atividades dentro do canteiro de obras (Módulo A5), associadas aos Escopos 1 e 2.
- **Médio** - o empreendedor não controla diretamente, mas dita padrões por meio de decisões de projeto arquitetônico, escolha de sistemas construtivos e seleção de fornecedores (Módulos A1-A4 e B6), correspondendo ao Escopo 3 (a montante) e ao Escopo 2 futuro (jusante).
- **Fraco** - as emissões ocorrem em etapas temporais ou operacionais alheias ao controle ou planejamento do empreendedor, como manutenções e processos de demolição pós vida útil (Módulos B2-B3 e C1-C4).

Para a construção de uma síntese com faixas percentuais de emissões por fase do CV e com distribuição das categorias de influência do empreendedor, percorreram-se as seguintes etapas: a) identificação das fontes de emissão que estariam direta ou indiretamente ao alcance ou sujeitas a responsabilização pelo empreendedor; b) organização de modo a destacar os impactos mais significativos em emissões.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na Tabela 1 encontram-se exemplos de fontes de emissão classificadas segundo o tipo de escopo do GHG Protocol, conjuntamente com o detalhamento das etapas do ciclo de vida de acordo com a norma BS EN 15978:2011 [5].

Tabela 1: Etapas do ciclo de vida de acordo com a norma EN 15978 x Escopos do GHG Protocol

Fase da ACV (EN 15978)	Escopo predominante (GHG Protocol)	Fontes de emissão	Observações sobre pontos críticos
A1 – Extração de matérias-primas	Escopo 3	Mineração de calcário, argila, areia, minério e ferro.	Impactos altos de cimento e aço
A2 – Transporte até a fábrica	Escopo 3 (ou 1 se frota própria)	Frete rodoviário/ferroviário de insumos	
A3 – Fabricação dos materiais	Escopo 3	Produção de cimento, aço, alumínio, cerâmica, vidro, tintas.	Alto carbono incorporado
A4 – Transporte até a obra	Escopo 3 (ou 1 se frota própria)	Caminhões transportando cimento, aço, blocos etc.	Frete contratado = escopo 3
A5 – Construção	Escopos 1, 2, 3.	1: escavadeira, betoneira a diesel, geradores próprios. 2: eletricidade do canteiro. 3: resíduos, transporte de entulho terceirizado.	Escopos 1 e 2 são “diretos” do canteiro
B1 – Uso/ocupação	Escopo depende do reportante	Se for condomínio/operador: 1 (combustível local), 2 (eletricidade comprada). Se for construtora: pode entrar como esc.3 - “uso do produto vendido”	Energia domina impactos
B2 – Manutenção	Escopo 3	Pinturas, limpezas, pequenos reparos contratados.	Impacto menor comparado ao B4
B3 – Reparo	Escopo 3	Trocas pontuais de revestimento, fixações etc.	Moderado
B4 – Substituição	Escopo 3	Troca de piso, janelas, louças, telhado.	Alto, em décadas.
B5 – Reabilitação	Escopo 3	Reformas estruturais, troca de sistemas prediais.	Alto, se ocorrer.
B6 – Energia operacional	Escopo 2 (ou 1 se combustível no local)	2: eletricidade da rede (maioria no Brasil). 1: gás GLP/canalizado, geradores do prédio.	Principal ponto em ACV
C1 – Demolição	Escopo 1 e 2 (da empresa que executa)	Equipamentos próprios na demolição	Se a obra contrata = escopo 3
C2 – Transporte de resíduos	Escopo 3 (ou 1 se frota própria)	Caminhões levando resíduos da demolição	Alto
C3 – Tratamento de resíduos	Escopo 3	Reciclagem de aço, britagem de concreto, tratamento de madeira.	Moderado, no ciclo de vida.
C4 – Disposição final	Escopo 3	Aterros licenciados, emissões fugitivas de decomposição	
D – Benefícios além do sistema	Escopo 3 (evitado)	Créditos por reciclagem de aço, energia evitada.	Créditos

Fonte: os autores

Da Tabela 1 é possível extrair:

- Nas etapas **A1–A3**, quase sempre os impactos são de Escopo 3, majoritariamente de bens e serviços adquiridos. Este é um grande impacto de carbono incorporado.
- Etapa **A4** - principalmente Escopo 3 (fretes terceirizados); Escopo 1, se há uso de frota própria.
- Etapa de construção - **A5** – impactos variados, de Escopos 1, 2 e 3. Os escopos 1 e 2 representam as emissões diretas da obra.
- Etapa **B4** representa Escopo 3 para a construtora, caso estiver dentro de garantias ou manutenções contratadas.
- Etapa **B6** (energia operacional): Escopo 2 primordialmente, relacionado a consumo de eletricidade, grande maioria no Brasil. O impacto costuma ficar fora de inventários com foco na empresa.
- Etapas **C1–C4**: tipicamente Escopo 3, pois a construtora normalmente não faz a demolição nem opera aterros.

DISTRIBUIÇÃO DAS EMISSÕES DE CO_2 AO LONGO DO CICLO DE VIDA

As emissões das edificações podem variar de acordo com diferentes fatores, como o tipo de empreendimento (residencial, público), caraterísticas construtivas e desempenho térmico, além de variar de acordo com o objeto inventariado, a saber, somente o canteiro de obras, o edifício propriamente dito ou a empresa. Cada estudo deve definir os limites da abordagem – berço ao portão, berço ao local, berço ao túmulo - lembrando que os resultados estão intrinsecamente ligados às fontes energéticas regionais utilizadas.

A Tabela 2 apresenta uma síntese das principais fases do ciclo de vida das edificações e os escopos do GHG Protocol de cada uma, indicando as faixas de participação percentual nos inventários de emissões de GEE, tendo como referência estudos aplicados ao contexto brasileiro [10][11][12][13] [14], complementados por resultados da literatura internacional [15][16]. Ressalta-se que essas faixas não representam valores médios nacionais, mas ordens de grandeza que auxiliam na compreensão, discussão e proposição de mecanismos de mitigação e responsabilização.

De forma geral, a literatura traz o entendimento de que [10][11][12][13][14][15][16]:

- A **fase de uso e operação** tende a representar a maior parcela das emissões totais de GEE ao longo do ciclo de vida.
- As **emissões associadas à produção de materiais de construção** também apresentam contribuição importante, principalmente em cenários de elevada eficiência energética operacional.
- As emissões relacionadas ao **transporte de materiais** e às atividades de **canteiro de obras** tendem a representar parcelas menores.
- As fases de **manutenção, substituições e fim de vida** são de participação variável conforme a durabilidade dos sistemas construtivos, comportamento dos

usuários, a qualidade da execução e as possibilidades futuras de reúso e reciclagem dos materiais [17].

Tabela 2: Fases do CV, classificação por escopos, faixas de participação e fatores influentes das emissões

Fase do CV	Escopo (GHG)	Faixa indicativa de participação nas emissões (%)
Extração de matérias-primas	Escopo 3	5–15
Produção de materiais	Escopo 3	15–30
Transporte de materiais	Escopo 3	1–6
Construção (canteiro)	Escopos 1 e 2	1–4
Uso / operação	Escopos 1 e 2	40–70
Manutenção e reposições	Escopo 3	5–15
Fim de vida	Escopo 3	1–5

Fonte: os autores.

Observa-se que há uma acentuada predominância das emissões de Escopo 3 ao longo do CV das edificações, aquelas definidas como “outras emissões indiretas”, e baixa participação daquelas de influência direta (canteiro) do construtor.

O Quadro 1 mostra a classificação proposta das ações do empreendedor quanto ao grau de influência na tomada de decisões. Observa-se a concentração de influências Média e Forte nas fases Produção de Materiais, Construção, Uso/Operação e Manutenção, com a influência de grau Fraco correspondendo à fase de Fim de Vida.

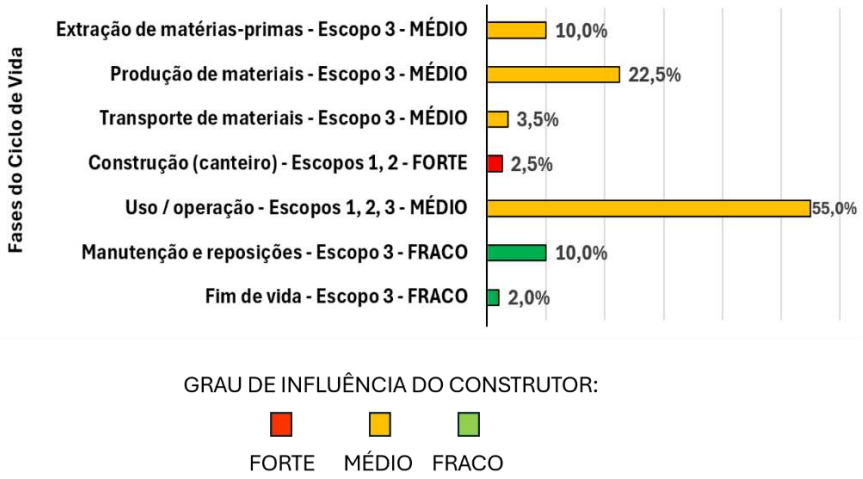
Quadro 1 – Classificação das ações do empreendedor quanto ao grau de influência na tomada de decisões para mitigação de emissões de GEE durante o ciclo de vida da edificação, por escopo.

Fase do CV	Escopo	Grau de influência do construtor
Produção de Materiais	Escopo 3	Médio
Construção	Escopo 1	Forte
		Forte
		Forte
	Escopo 2	Forte
Uso / Operação	Escopo 1	Médio
		Inexistente
	Escopo 2	Médio
		Médio
Manutenção	Escopo 3	Fraco
		Inexistente
		Inexistente
		Fraco
Fim de vida	Escopo 3	Fraco

Fonte: os autores.

Ao se analisar, na Figura 3, as médias dos intervalos de percentuais adotados na Tabela 2 conjuntamente com a distribuição percentual da classificação do grau de influência do construtor (Quadro 1), percebe-se que a soma dos percentuais da classificação **Fraco** corresponde a 12% das emissões, que a classificação **Médio** corresponde a 91% % e, finalmente, que a soma das classificações consideradas de **Forte** influência direta é de apenas 2,5% ao longo do CV. Vale destacar, porém, que a soma das classificações Médio e Forte representa 93,5%, valor que indica a necessidade de concentração de esforços na adoção de medidas mitigadoras direcionadas a este conjunto de atividades, ainda que sejam de responsabilidade indireta do construtor.

Figura 3: Grau de influência do construtor sobre decisões para mitigação de emissões



Fonte: os autores.

As decisões tomadas na fase de concepção e especificação de materiais funcionam como o principal gatilho do desempenho de longo prazo da edificação. A escolha de características construtivas dita o comportamento bioclimático do edifício, reduzindo diretamente a necessidade de condicionamento artificial e, consequentemente, minimizando o consumo energético operacional (impactando o Escopo 2 futuro). Sob a mesma ótica, a especificação de sistemas construtivos de alta durabilidade e qualidade a necessidade de intervenções de manutenção, reparo e substituição (Módulo B4). Isso minimiza a geração futura de resíduos e a demanda por novos materiais, que representariam carbono incorporado de Escopo 3 ao longo da vida útil do empreendimento.

CONCLUSÃO

Ficou demonstrado que uma parcela significativa das emissões de edificações brasileiras ocorre antes da fase de uso das edificações, sobretudo na produção de materiais e na construção, mostrando a importância do carbono chamado “incorporado”.

A classificação das emissões segundo os escopos do GHG Protocol evidenciou a predominância do Escopo 3. Entretanto, ainda que emissões indiretas, essa classificação não isenta o construtor e o empreendedor de responsabilidade. Pelo contrário, as principais fontes de emissão associadas às edificações são associadas a decisões técnicas tomadas por esses agentes, incluindo a concepção do projeto arquitetônico, a especificação de materiais, a definição de sistemas construtivos, a escolha de fornecedores, a organização do canteiro de obras e as soluções de projetos de engenharia complementares que condicionam o desempenho ambiental futuro do edifício.

Como contribuição científica, o presente estudo avança ao propor a unificação de metodologias entre os limites da análise do ciclo de vida e as fronteiras organizacionais do GHG Protocol, fornecendo um modelo conceitual para balizar futuras políticas públicas de regulamentação e/ou incentivos fiscais no cenário nacional. A principal limitação do estudo ficou restrita à natureza exploratória e qualitativa fundamentada em dados secundários, o que demanda cautela na extrapolação absoluta das faixas percentuais para as diversas tipologias de edificações. Como perspectiva futura, recomenda-se a aplicação prática deste modelo conceitual em estudos de caso de empresas construtoras, utilizando inventários reais combinados com simulações computacionais de desempenho ambiental e "orçamento" de inventário de emissões.

Declaração

Os autores declaram que não utilizaram IA generativa nem tecnologias assistidas por IA no processo de preparação do manuscrito.

REFERÊNCIAS

[1] WORLD GREEN BUILDING COUNCIL. **Bringing embodied carbon upfront:** coordinated action for the building and construction sector to tackle embodied carbon. Londres: WorldGBC, 2019.

[2] IPCC. **Climate Change 2023**: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva: IPCC, 2023.

[3] WRI/WBCSD. **Corporate Value Chain (Scope 3) Standard**. Washington, DC: WRI/WBCSD, 2013.

[4] ABNT. **NBR ISO 14044**: Gestão ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Requisitos e orientações. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

[5] CEN. **EN 15978**: Sustainability of construction works - Assessment of environmental performance of buildings. Brussels: CEN, 2011.

[6] LIANG, Yumin; NG, S. Thomas; XUE, Fan; YAO, Jiahui. **Decarbonization potentials of the embodied energy use and operational process in buildings**: a review from the life-cycle perspective. Heliyon, [S. l.], v. 9, n. 10, e20190, 2023.

[7] WRI/WBCSD. **The Greenhouse Gas Protocol**: a corporate accounting and reporting standard. Washington, DC: WRI/WBCSD, 2004.

[8] SINDICATO DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Guia metodológico para inventários de emissões de gases de efeito estufa na construção**

civil: setor edificações. São Paulo: SindusCon-SP, 2022. Disponível em: https://sindusconsp.com.br/download/guia-metodologico-para-inventarios-de-emissoes-de-gases-de-efeito-estufa-na-construcao-civil-setor-edificacoes/. Acesso em: 9 jul. 2025.

[9] FUNDAÇÃO GETÚLIO VARGAS. **Registro Público de Emissões**. São Paulo: FGV, 2024a. Disponível em: https://registropublicodeemissoes.fgv.br/. Acesso em: 21 fev. 2026.

[10] BAIOCHI, A. G.; SILVA, V. G. da. **Análise de incerteza de parâmetros com base em processos críticos em avaliação do ciclo de vida de edificações**. PARC - Pesquisa em Arquitetura e Construção, Campinas, SP, v. 12, p. e021027, 2021.

[11] SOUZA, L. C.; AMORIM, S. R. L. Avaliação do ciclo de vida de edificações residenciais no contexto brasileiro: análise comparativa entre emissões de carbono incorporado e operacional. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 23, n. 3, p. 87-104, jul./set. 2023. DOI: https://doi.org/10.1590/s1678-86212023000300678.

[12] ALENCAR, Samira Gomes; ROCHA, Alisson de Sousa; SILVA, Leonardo Barboza da; ANDRADE, João Maria de. Emissões de CO_2 de edificações no Brasil: uma revisão sistemática sobre o ciclo de vida. **Cadernos de Prospecção**, Salvador, v. 19, n. 1, p. 145–158, jan./mar. 2026. Disponível em: https://www.periodicos.ufba.br/index.php/nit/article/download/60839/39732/282128.

[13] EVANGELISTA, Paula; SILVA, Maristela Gomes da; SAVASTANO JUNIOR, Holmer; GOMES, Vanessa. Environmental performance analysis of residential buildings in Brazil using life cycle assessment (LCA). **Construction and Building Materials**, [S. l.], v. 169, p. 748-761, 2018. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2018.02.045. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.02.045. Acesso em: 27 jan. 2026

[14] LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. R. **Eficiência energética na arquitetura**. 3. ed. Rio de Janeiro: Eletrobras/Procel, 2022.

[15] UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME (UNEP). **Global Status Report for Buildings and Construction**: 2023. Nairobi: UNEP, 2024 (dados consolidados de 2023).

[16] ONAT, Nuri Cihat; KÜÇÜKVAR, Murat; TATARI, Omer. Scope-based carbon footprint analysis of U.S. residential and commercial buildings: an input-output hybrid life cycle assessment approach. **Building and Environment**, [s. l.], v. 72, p. 53-62, 2014.

[17] MEQUIGNON, M. A. **Comment la durée de vie des bâtiments peut-elle influencer les performances en termes de développement soutenable?.** 2011. 324 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Institut National des Sciences Appliquées de Toulouse, Université de Toulouse, Toulouse, 2011.