

# **INFLUÊNCIA DO PROJETO ESTRUTURAL DE UMA EDIFICAÇÃO UTILIZANDO PRÉ-FABRICADOS NA PEGADA DE CARBONO**

Luiza Lorenzetti Galvão <sup>1</sup>; Pedro Henrique Cerento de Lyra <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Aluna de Iniciação Científica do Instituto Mauá de Tecnologia (IMT);

<sup>2</sup> Professor do Instituto Mauá de Tecnologia (IMT).

**Resumo.** O artigo contempla o estudo da relação entre as emissões de gás carbônico e o layout de uma obra. Para essa pesquisa foi padronizado que o tipo de concreto armado seria uma constante e que a variável analisada seria a configuração de um projeto de construção. Em síntese, este estudo concentrou-se na etapa de concepção estrutural, considerando a influência das decisões de projeto, especialmente a configuração geométrica e o sistema de vigas e pilares. Assim, seria possível analisar como este único fator pode colaborar para uma diminuição significativa das emissões de CO<sub>2</sub>.

## **Introdução**

A indústria da construção civil configura-se como um dos setores mais intensivos em emissões de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), sendo responsável por mais de 10% das emissões globais. Tal realidade tem despertado crescente apreensão entre os agentes do setor, motivando iniciativas voltadas à mitigação dos impactos ambientais inerentes à atividade construtiva.

Estudos mostram que a pegada de carbono pode dobrar ou ser reduzida pela metade, dependendo das decisões tomadas nos projetos. Nesse contexto, a escolha da configuração estrutural adequada torna-se essencial, uma vez que exerce influência direta sobre o consumo de materiais como concreto e aço. A comparação entre diferentes alternativas projetuais, acompanhada da quantificação das emissões de gás carbônico correspondentes, constitui uma abordagem essencial para a definição da solução mais eficiente e ambientalmente responsável.

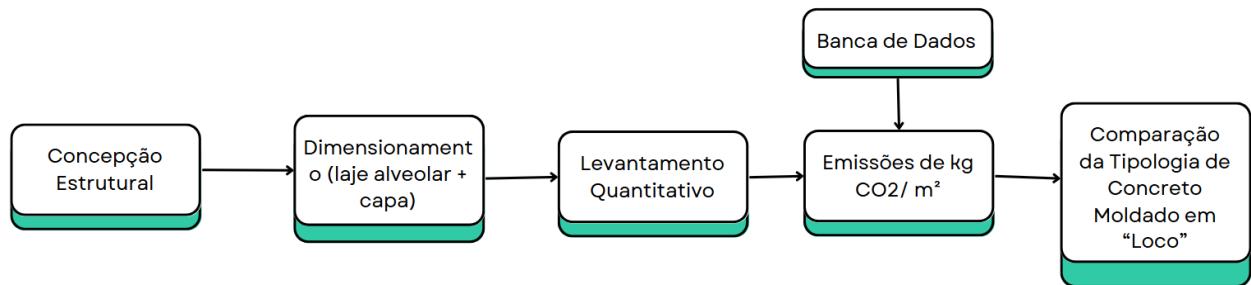
As estruturas de uma edificação representam a maior parte de sua massa total e respondem por cerca de 80% das emissões de CO<sub>2</sub> ao longo do processo construtivo, o que evidencia a importância desta investigação. Para obter uma análise precisa, torna-se essencial quantificar separadamente o consumo de cada componente estrutural. Neste estudo, são considerados os principais elementos que compõem o sistema estrutural: pilares (elementos verticais que conectam pavimentos sucessivos), vigas (posicionadas entre as faces opostas dos pilares) e lajes (elementos horizontais apoiados nas vigas).

Outro parâmetro relevante diz respeito à escala vertical dos edifícios em estudo. Considerando-se que as edificações analisadas não apresentam grande altura, desconsidera-se, neste caso, o impacto incremental de emissões decorrente do aumento da espessura dos pilares em construções com maior número de pavimentos, variação esta considerada marginal no presente contexto. Ademais, optou-se por não incluir a fundação na avaliação, dado que tal elemento pode representar um acréscimo entre 15% e 25% nas emissões totais (expressas em kgCO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>), o que extrapolaria os objetivos centrais da análise proposta.

## **Material e Métodos**

O processo metodológico seguiu uma sequência lógica representada pelo fluxograma apresentado na Figura 1, contemplando as seguintes etapas: concepção estrutural do modelo de estudo; dimensionamento preliminar dos elementos principais; levantamento quantitativo; cálculo das emissões incorporadas de CO<sub>2</sub>, este tendo sido realizado com o auxílio de uma banca de dados (fornecida no estudo “Influence of the Embodied CO<sub>2</sub> of Reinforced Concrete Structures”); e comparação entre as alternativas analisadas.

Figura 1: Fluxograma Da Metodologia Adotada



Fonte: autoria própria

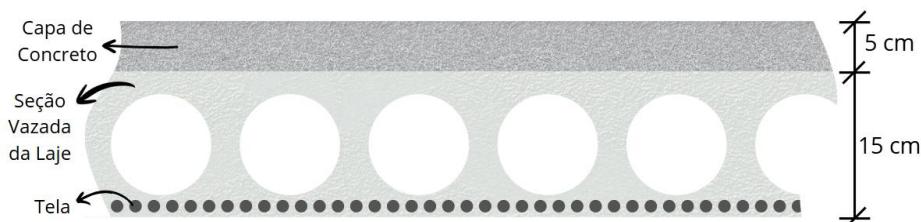
A metodologia deste trabalho foi estruturada de forma a quantificar as emissões de dióxido de carbono incorporadas às estruturas de concreto pré-moldados, tomando como base o artigo “*Influence of the Embodied CO<sub>2</sub> of Reinforced Concrete Structures*”. O estudo concentrou-se na etapa de concepção estrutural, considerando a influência das decisões de projeto, especialmente a configuração geométrica e o sistema de vigas e pilares, sobre o consumo de materiais e, consequentemente, sobre a pegada de carbono associada à estrutura.

Inicialmente, definiu-se um modelo estrutural de referência, o qual foi moldado com o auxílio do Software Revit, Figura 1. Neste layout, é considerado um conjunto de lajes alveolares, pilares e vigas. Essa simplificação permite representar o comportamento global da estrutura com fidelidade suficiente para estimar os volumes de concreto e aço, mantendo ao mesmo tempo a viabilidade de comparação entre diferentes alternativas de arranjo estrutural.

O concreto armado foi considerado o principal material estrutural, adotando-se valores de resistência característica à compressão ( $f_{ck}$ ) compatíveis com o uso em edificações correntes (30 MPa e 50 MPa). A densidade e os parâmetros físicos foram mantidos constantes entre os modelos, de forma a isolar o efeito da geometria e da configuração estrutural sobre as emissões. A análise baseou-se na determinação dos volumes de cada elemento estrutural (pilares, vigas e lajes), os quais foram posteriormente convertidos em emissões de CO<sub>2</sub> por meio de coeficientes de emissão expressos em kgCO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup> de concreto, conforme as intensidades apresentadas no estudo de referência.

O dimensionamento da laje alveolar e da capa foi realizado com base nos modelos da empresa Protendit, tendo sido escolhidos os modelos de LP20+5 e LP15+5, ambas com a utilização da tela Q138. Para um melhor entendimento da configuração da laje utilizada, elaborou-se um modelo, Figura 2. Os dados utilizados para quantificar foram obtidos nas planilhas da Gerdau e da Protendit.

Figura 2: Modelo Da Laje Utilizada LP15+5



Fonte: autoria própria

Adotou-se igualmente a tipologia estrutural designada como Tipo D, conforme o artigo de referência. A distinção fundamental nesta proposta reside na execução em elementos pré-fabricados, em substituição à construção in loco. Para o arranjo estrutural, no qual o vão entre

pilares é de 10 metros, especificou-se a utilização da laje do tipo LP20+5, enquanto para o vão de 5 metros foi adotada a laje LP15+5. O modelo final da edificação foi desenvolvido com o auxílio do software Revit, conforme ilustrado nas Figuras 3 e 4.

Figura 3: Modelo Adotado



Fonte: autoria própria

Figura 4: Vista Frontal do Modelo Adotado



Fonte: autoria própria

No desenvolvimento dos cálculos referentes às emissões de CO<sub>2</sub>, foram elaboradas duas tabelas distintas, cada uma correspondente a um tipo específico de laje e ao vão adotado, Tabelas 1 e 2. A análise permitiu quantificar as emissões de carbono associadas a cada configuração. Dessa forma, foi possível comparar o impacto ambiental das diferentes alternativas, evidenciando a eficiência de cada uma em termos de sustentabilidade.

Tabela 1: Emissões De Carbono da LP20+5

	LP20+5	(kg/m <sup>2</sup> )	Carbono	kg CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup>
Capa	Tela	2,2	0,74	1,628
	Concreto	0,06258	284	17,773
Laje	Tela	2,2	0,74	1,628
	Alveolar	0,147	304	44,688

Adaptado de: Catálogo de Telas da Gerdau, Protendit e “Influence of the Embodied CO<sub>2</sub> of Reinforced Concrete Structures”

Tabela 2: Emissões De Carbono da LP15+5

	LP15+5	(kg/m <sup>2</sup> )	Carbono	kg CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup>
Capa	Tela	2,2	0,74	1,628
	Concreto	0,06258	284	17,773
Laje	Tela	2,2	0,74	1,628
	Alveolar	0,110714	304	33,657

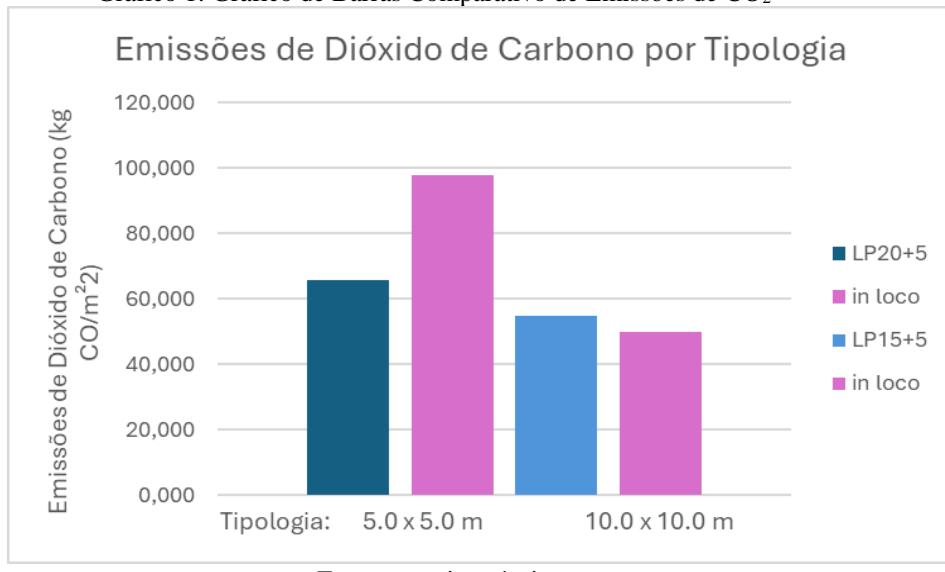
Adaptado de: Catálogo de Telas da Gerdau, Protendit e “Influence of the Embodied CO<sub>2</sub> of Reinforced Concrete Structures”

Na ausência de dados para concreto C50 no estudo base, realizou-se extração utilizando a intensidade de ligante. Estimou-se uma massa média de 185 kg/m<sup>3</sup> para C50 e 153 kg/m<sup>3</sup> para C30, resultando em incremento aproximado de 19,5 kgCO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>. Assim, definiu-se um valor estimado de 304 kgCO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup> para o C50.

## Resultados e Discussão

Nesta seção, apresentam-se os resultados obtidos na análise comparativa das emissões de carbono entre os sistemas construtivos pré-moldados e moldados *in loco*. O gráfico de barras elaborado tem como objetivo evidenciar as diferenças nas emissões estimadas para os elementos estudados neste trabalho, em relação aos valores de referência obtidos no artigo base. Essa comparação permite visualizar de forma clara o impacto da adoção de componentes pré-fabricados sobre o potencial de emissão de CO<sub>2</sub> incorporado, contribuindo para a avaliação da eficiência ambiental de cada tipologia estrutural analisada.

Gráfico 1: Gráfico de Barras Comparativo de Emissões de CO<sub>2</sub>



Fonte: autoria própria

A partir do gráfico, verifica-se que as lajes pré-fabricadas dos tipos LP20+5 e LP15+5 exibem valores de emissão substancialmente inferiores em relação às correspondentes moldadas *in loco*, sobretudo na tipologia referente ao vão de 5,0 × 5,0 m. Tal comportamento decorre, em grande parte, do menor volume de concreto demandado pelas lajes alveolares, cuja configuração estrutural otimizada proporciona elevada eficiência mecânica e, consequentemente, redução no consumo de cimento, principal responsável pelas emissões de carbono incorporadas ao concreto.

Adicionalmente, o processo construtivo *in loco* tende a apresentar maior intensidade de emissões em virtude do uso de formas temporárias e de caráter não reutilizável, o que implica consumo mais elevado de materiais auxiliares, energia e recursos naturais ao longo da execução. Por outro lado, o sistema pré-moldado, produzido em ambiente controlado e com reaproveitamento recorrente das fôrmas, favorece a racionalização de insumos e a mitigação das emissões associadas ao ciclo produtivo. Dessa maneira, os resultados obtidos evidenciam o potencial ambientalmente mais eficiente das soluções pré-fabricadas, consolidando-as como alternativas sustentáveis e tecnicamente vantajosas no contexto estrutural analisado.

## Conclusões

Os resultados obtidos neste estudo demonstram de forma clara a relevância das decisões de projeto estrutural e de seleção de materiais na determinação das emissões de dióxido de carbono incorporadas às estruturas de concreto. A análise comparativa entre os sistemas pré-moldados e moldados *in loco* evidenciou que a adoção de componentes industrializados promove significativa redução na pegada de carbono, resultado diretamente associado à racionalização do consumo de concreto, à eficiência geométrica das lajes alveolares e à reutilização de fôrmas no processo produtivo.

Constatou-se que o sistema moldado *in loco* apresenta emissões mais elevadas em virtude da necessidade de fabricação e descarte frequente das fôrmas, do maior volume de concreto consumido e da ausência de otimização do processo construtivo. Por outro lado, a produção pré-fabricada, realizada em ambiente controlado, permite maior previsibilidade na dosagem dos materiais, melhor aproveitamento de insumos e menores perdas, refletindo-se em uma pegada de carbono inferior por unidade de volume.

Dessa forma, conclui-se que a industrialização de elementos estruturais representa uma estratégia eficiente para a mitigação dos impactos ambientais da construção civil, contribuindo para o avanço de práticas construtivas alinhadas aos princípios de sustentabilidade e à redução das emissões globais de gases de efeito estufa. A integração de critérios ambientais nas etapas iniciais do projeto estrutural é, portanto, fundamental para o desenvolvimento de edificações mais sustentáveis e com desempenho ambiental superior.

## Referências Bibliográficas

- BELIZARIO-SILVA, Fernanda; REIS, Daniel Costa; QUATTRONE, Marco; JOHN, Vanderley Moacyr. **Influência do projeto estrutural e da seleção dos materiais na pegada de carbono de uma estrutura de concreto armado.** *Concreto & Construções*, São Paulo, v. 104, p. 42–48, out./dez. 2021. DOI: [10.4322/1809-7197.2021.104.0002](https://doi.org/10.4322/1809-7197.2021.104.0002)
- Vela, F.J.; Gianotti, E.P.; Foresti, E.; Zaiat, M. (1999) Estimation of Substrate Effective Diffusivities in Anaerobic Bioparticles. *Environmental Technology*, **20**, 1163-1170.
- BELIZARIO-SILVA, Fernanda; GALIMSHINA, Alina; REIS, Daniel C.; QUATTRONE, Marco; GOMES, Beatriz; MARIN, Maria C.; MOUSTAPHA, Maliki; JOHN, Vanderley; HABERT, Guillaume. **Stakeholder influence on global warming potential of reinforced concrete structure.** *Journal of Building Engineering*, v. 44, p. 102979, dez. 2021. DOI: [10.1016/j.jobe.2021.102979](https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.102979)
- GOGGINS, J.; KEANE, T.; KELLY, A. The assessment of embodied energy in typical reinforced concrete building structures in Ireland. *Energy and Buildings*, v. 42, n. 5, p. 735-744, maio 2010. DOI: 10.1016/j.enbuild.2009.11.013.