

Emissão de CO₂ de diferentes sistemas construtivos: concreto armado e parede de concreto

Emissão de CO₂ de diferentes sistemas construtivos: concreto armado e parede de concreto

Emisión de CO₂ de diferentes sistemas constructivos: hormigón armado y pared de hormigón

Stefany dos Anjos Coronel

Mestranda em Engenharia Civil, USJT, Brasil.
stefanyanjos.3172@aluno.saojudas.br

Sergio Ayrton Rojas Fernandez

Engenheiro Civil, USJT, Brasil.
sergiofernandez.6348@aluno.saojudas.br

Ramoel Serafini

Professor Doutor, USJT, Brasil.
ramoel.serafini@saojudas.br

Renan Pícolo Salvador

Professor Doutor, PROLAB, Brasil.
renan.salvador@saojudas.br

Dimas Alan Strauss Rambo

Professor Doutor, PROLAB, Brasil.
dimas.rambo@saojudas.br

RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo analisar a emissão de CO₂ gerada por obras de concreto armado (CA) e parede de concreto (PC) com especial interesse nas parcelas de argamassa e concreto empregadas. Para o desenvolvimento do estudo foram avaliadas 4 obras situadas no estado de São Paulo, sendo 1 obra de concreto armado e 3 de parede de concreto. A emissão de CO₂ foi quantificada considerando os volumes totais de concreto e argamassa empregados nos dois métodos construtivos, através dos seus valores nominais e um índice que correlaciona o valor nominal e a área útil de cada projeto. Os resultados demonstram que a emissão de CO₂ da parcela referente ao concreto nas estruturas de CA é menor do que a emissão das obras de PC, enquanto a emissão de CO₂ referente à argamassa é menor no caso das obras de PC. Em relação aos volumes totais de emissão, a argamassa representa 21,47% do volume total emitido nas obras de parede de concreto e 53,96% nas obras de concreto armado. Já o concreto, representa 78,53% do total de emissões no caso das obras de PC e 46,04% no caso das obras de CA. Estes resultados são importantes parâmetros para a tomada de decisão quanto à ecoeficiência dos métodos construtivos e para fomentar estudos referentes à redução da emissão de CO₂ na construção civil.

PALAVRAS-CHAVE: emissão de CO₂; concreto armado; parede de concreto, sustentabilidade.

ABSTRACT

The present study aims to analyze the CO₂ emissions generated by reinforced concrete (RC) and concrete wall (CW) construction projects, with a special focus on the mortar and concrete components used. Four construction projects located in the state of São Paulo were evaluated for the development of this study, including one reinforced concrete project and three concrete wall projects. The CO₂ emissions were quantified considering the total volumes of concrete and mortar used in both construction methods, based on their nominal values and an index that correlates the nominal value with the useful area of each project. The results demonstrate that the CO₂ emissions from the concrete component in RC structures are lower than the emissions from CW projects, while the CO₂ emissions from the mortar component are lower in the case of CW projects. In terms of total emission volumes, mortar represents 21.47% of the total emitted volume in concrete wall projects and 53.96% in reinforced concrete projects. Concrete, on the other hand, accounts for 78.53% of the total emissions in CW projects and 46.04% in RC projects. These results are important parameters for decision-making regarding the eco-efficiency of construction methods and to encourage studies on reducing CO₂ emissions in the construction industry.

KEYWORDS: CO₂ emissions; reinforced concrete; concrete wall, sustainability.

RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo analizar la emisión de CO₂ que generan las obras de hormigón armado (CA) y muro de hormigón (PC) con especial interés en las proporciones de mortero y hormigón empleadas. Para el desarrollo del estudio fueron evaluadas 4 obras ubicadas en el estado de São Paulo, 1 obra de hormigón armado y 3 de muro de hormigón. Las emisiones de CO₂ se cuantificaron considerando los volúmenes totales de hormigón y mortero utilizados en las dos modalidades constructivas, a través de sus valores nominales y un índice que correlaciona el valor nominal y el área útil de cada proyecto. Los resultados demuestran que la emisión de CO₂ de la parte referente al hormigón en las estructuras de AC es menor que la emisión de las obras de PC, mientras que la emisión de CO₂ referente al mortero es menor en el caso de las obras de PC. En cuanto a los volúmenes totales de emisión, el mortero representa el 21,47% del volumen total emitido en las obras de muros de hormigón y el 53,96% en las obras de hormigón armado. En cuanto al hormigón, representa el 78,53% de las emisiones totales en el caso de las obras de PC y el 46,04% en el caso de las obras de AC. Estos resultados son parámetros importantes para la toma de decisiones sobre la ecoeficiencia de los métodos constructivos y para promover estudios sobre la reducción de emisiones de CO₂ en la construcción civil.

PALABRAS CLAVE: emisión de CO₂; concreto armado; muro de hormigón, sostenibilidad.

1. INTRODUÇÃO

O setor da construção civil é responsável por 39% de toda a emissão global de dióxido de carbono (WABC, 2018). O maior fator é proveniente da produção do clínquer, que está relacionado com a emissão gerada a partir da fabricação do cimento. Estudos focados na avaliação de ecoeficiência de materiais e processos construtivos tem sido foco de desenvolvimento em empresas, institutos de pesquisa e universidades buscando atingir a sustentabilidade ambiental (OLIVEIRA et al., 2022; ORLANDINI, 2021).

Diante do dano ambiental causado pela emissão de gases do efeito estufa, organizações mundiais uniram ideias e realizaram tratados para reduzir a emissão destes gases. Ao avaliar a emissão de CO₂ na construção civil, observou-se que o aumento populacional e a demanda por moradias e infraestrutura no decorrer dos anos, estão correlacionados com o aumento da emissão de CO₂ (CERETTA et al, 2020). Portanto é um desafio significativo para a indústria da construção civil, equilibrar a necessidade de desenvolvimento de infraestrutura com a necessidade de reduzir as emissões de CO₂.

A redução das emissões de dióxido de carbono (CO₂) provenientes da produção de concreto tem sido amplamente estudada na literatura científica, impulsionada pela necessidade de mitigar os impactos ambientais da indústria da construção. Diversos estudos têm explorado estratégias para diminuir as emissões de CO₂ associadas ao concreto, com enfoque em diferentes aspectos. Por exemplo, pesquisa realizada por (LI, 2019) investigou o uso de adições minerais, como a sílica ativa, como substitutos parciais do cimento Portland, resultando em uma redução considerável nas emissões de CO₂ durante a produção do concreto. Além disso, (SILVA, 2021) examinaram a viabilidade do uso de agregados reciclados, mostrando que essa prática pode reduzir significativamente as emissões de CO₂ associadas à extração de agregados naturais. Outras abordagens promissoras incluem a utilização de tecnologias de captura e armazenamento de carbono (CCS), como discutido por (ZHANG, 2022). Entretanto, é importante salientar que há uma grande preocupação técnica quanto à estabilidade do C-S-H em materiais cimentícios carbonatados e os efeitos potencialmente negativos em termos de durabilidade e desempenho destes materiais (SMITH, 2020). Esses estudos e outros trabalhos relevantes têm contribuído para o avanço do conhecimento sobre a redução das emissões de CO₂ na produção de concretos, fornecendo opções sustentáveis para a indústria da construção.

Além disso, é de suma importância a quantificação da emissão de CO₂ dos distintos métodos construtivos disponíveis na engenharia a fim de que possa ser um dos critérios de tomada de decisão na etapa de projeto. Entre os métodos construtivos que empregam cimento na sua construção, pode-se destacar as estruturas de parede de concreto e concreto armado. Estruturas de concreto armado são compostas pelo sistema pilar-viga-laje e os fechamentos verticais são feitos, usualmente, com alvenaria de vedação e revestimento argamassado. Enquanto isso, o sistema de parede de concreto é um sistema em que a própria parede de concreto já atua como elemento estrutural e sistema de vedação, com um menor uso de argamassa. Portanto, é possível perceber a importância de quantificar a emissão de CO₂ de cada método construtivo a fim de comparar quantitativamente a influência deste fator no impacto ambiental da solução estrutural. Além disso, identificar a contribuição da argamassa e do concreto no total emitido em cada solução é importante para guiar futuras ações de engenharia do ponto de vista da sustentabilidade.

Com base nos dados científicos disponíveis, é possível observar diferenças significativas nas emissões de CO₂ entre estruturas de parede de concreto e estruturas de concreto armado. Estudos semelhantes aos dos autores (KOURTI, 2018) demonstraram que, em geral, as estruturas de parede de concreto apresentam menor pegada de carbono em comparação com as estruturas de concreto armado, devido à redução na quantidade de concreto e aço utilizados. Além disso, estudos como o de (PÉREZ-LOMBARD, 2019) destacaram a importância de considerar a eficiência energética das estruturas de parede de concreto, que podem proporcionar um melhor desempenho térmico e reduzir o consumo de energia em comparação com as estruturas de concreto armado. Essas diferenças nas emissões de CO₂ e na eficiência energética entre os dois tipos de estrutura destacam a importância de avaliar e considerar cuidadosamente os aspectos ambientais ao escolher o sistema construtivo mais adequado.

A ecoeficiência das argamassas tem sido objeto de estudos na literatura científica, buscando avaliar seu desempenho ambiental e econômico. Pesquisas, como o estudo de (SANJUAN, 2018), têm aplicado abordagens de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) e Avaliação do Custo do Ciclo de Vida (ACC) para analisar diferentes formulações de argamassa em termos de origem dos materiais, energia incorporada, emissões de gases de efeito estufa e custos de produção. Esses estudos fornecem *insights* sobre a ecoeficiência das argamassas, permitindo a identificação de práticas mais sustentáveis para sua produção e uso. Entretanto, os estudos atuais falham em quantificar o efeito da emissão de CO₂ da parcela de argamassa em cada um destes métodos construtivos. Este fator é evidenciado ao considerar que argamassas apresentam uma maior demanda de cimento por metro cúbico devido à ausência de agregados graúdos, o que pode resultar em um maior impacto ambiental em termos de emissões de CO₂. Este fator é agravado pela falta de critério técnico e atendimento aos critérios de projeto de edifícios, em especial como revestimento para os fechamentos verticais de estruturas de concreto armado.

Neste sentido, o presente estudo tem como objetivo estudar a emissão de CO₂ nos métodos construtivos de concreto armado com alvenaria de vedação e parede estrutural de concreto. O estudo buscou quantificar o volume de cimento empregado em edificações das duas tipologias construtivas e o índice de emissão provenientes da parcela de argamassa e concreto e correlacionando com a área útil da edificação através de um índice. Um índice simplificado foi proposto para comparar a emissão dos diferentes métodos construtivos e a emissão relativa à argamassa e ao concreto. Este estudo apresenta dados complementares sobre a temática e contribui para fomentar e direcionar estudos mais amplos relacionados à sustentabilidade de obras de concreto.

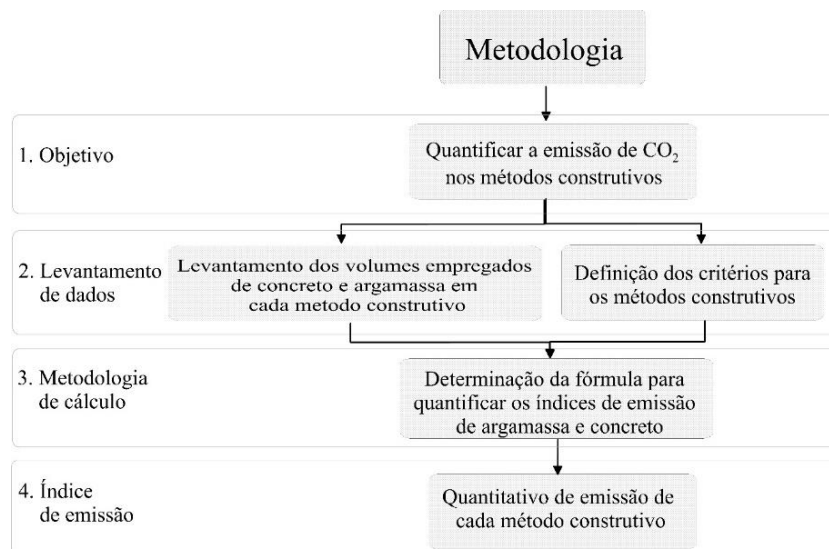
2. METODOLOGIA

2.1 Definição do método

Este estudo tem como objetivo mensurar o índice de emissão de carbono (CO₂). O índice tem como base o fator de emissão de carbono no momento da fabricação do tipo de cimento utilizado nas obras, para a fabricação de concreto e argamassa. Para o estudo foram selecionadas 4 obras na cidade de São Paulo, em dois métodos construtivos definidos como

estrutura de parede de concreto e estrutura de concreto armado. A Figura 1 representa o fluxograma adotado para o estudo de emissão de CO₂ em dois métodos construtivos.

Figura 1 – Fluxograma adotado para o estudo da emissão de CO₂ em dois métodos construtivos



Fonte: os autores

Para a classificação, obras de pequeno porte sendo de até 5 pavimentos. Já as obras de médio porte foram consideradas entre 5 e 16 pavimentos. Por fim, obras de grande porte foram definidas como aquelas contendo mais de 16 pavimentos. Para os levantamentos foram considerados todos os andares como pavimento tipo. Como forma de padronizar as obras escolhidas, optou-se por obras que utilizam o mesmo método construtivo em toda a sua execução. Para este estudo foi realizado o levantamento quantitativo dos seguintes itens para a estrutura de parede de concreto: volume de concreto utilizado na estrutura, volume de argamassa para fechamento de vãos da forma (faquetas) internos e externos e volume de argamassa utilizada nas áreas frias (cozinha e banheiro) em parede e piso. Já para a estrutura de concreto armado, considerou-se os seguintes itens: volume de concreto utilizado na estrutura (vigas, pilares e laje), volume de argamassa para assentamento de blocos, volume de argamassa para fechamento (reboco) internos e externos e volume de argamassa utilizada nas áreas frias (cozinha e banheiro) em parede e piso.

1.1 Metodologia de cálculo

Com base nos conceitos e formulações para a mensuração do índice de carbono propostos na tese de Damineli (2013), estabeleceu-se a Equação 1 como a equação para determinar o índice de emissão de CO₂ em função da área construída. Com os dados levantados de cada obra, inserida as variáveis na Equação 1, foram realizados os cálculos de emissão de CO₂ de cada obra, sendo considerada a emissão da parcela de concreto e de argamassa.

$$I_{ec} = \frac{M_c \cdot C_{cp} \cdot C_{ton} \cdot V}{A_u} \quad (1)$$

No qual I_{EC} é o índice emissão de carbono (em kg/m^2); M_c (em kg/m^3) referente a quantidade de cimento usada em cada m^3 de concreto; C_{CP} é o fator referente à porcentagem de clínquer no cimento utilizado, sendo considerado 0,94 como representativo do cimento CII – E; C_{ton} é o fator de conversão referente à emissão de CO_2 relativa à produção de 1 tonelada de clínquer, sendo tomado como constante em 0,9 neste estudo (DAMINELLI, 2013); V é o volume de concreto (em m^3) e A_u é a área útil (em m^2). Este índice foi proposto em função da impossibilidade de avaliar sistemas estruturais utilizando o fator proposto por Daminielli (2013), uma vez que este foi desenvolvido apenas para concretos e considera a eficiência de emissão de carbono em função da resistência à compressão. A Tabela 1 sumariza os parâmetros empregados em cada um dos cenários avaliados neste estudo.

Tabela 1 – Informações relevantes para cálculo de emissão de CO_2 das obras avaliadas

Tipo	Sigla	Porte	Área útil (m^2)	Argamassa		Concreto	
				V (m^3)	M_c (kg/m^3)	V (m^3)	M_c (kg/m^3)
Parede de concreto	PC1	Pequeno	181,25	39,36	700	273,76	335
Parede de concreto	PC2	Médio	422,10	277,95	700	2430,00	335
Parede de concreto	PC3	Grande	437,86	384,94	700	2680,52	335
Concreto armado	CA1	Grande	422,38	1011,42	700	1802,70	335

Fonte: os autores

1.2 Critérios definidos

Para o estudo foram definidos critérios para mensurar os índices de emissão em cada um dos métodos construtivos, estes critérios foram utilizados para padronizar o emprego de argamassa e concreto em sua execução. Os critérios utilizados são elencados abaixo:

a. O levantamento das emissões de CO_2 será realizada apenas na emissão de cimento empregado nos elementos estruturais de cada um dos métodos, não sendo levados em consideração outros materiais.

b. Para o cálculo da área útil foram usadas como margem as dimensões externas das plantas arquitetônicas.

c. O cálculo foi realizado somente nas lajes tipo de cada empreendimento, para sistematizar o cálculo e evitar oscilações oriundas de particularidades de cada projeto específico. Sendo assim, a totalidade de pavimentos das obras foi considerada como lajes tipo para fins de quantificação.

d. Tomando como base o trabalho desenvolvido por Souza (2005), um percentual constante de 10% de perdas foi considerado no cálculo do volume total da argamassa para ambos os métodos construtivos. Ainda com base na mesma referência bibliográfica, o percentual de perdas de concreto para ambos os métodos construtivos foi considerado como constante em 5% (SOUZA, 2005).

e. A quantidade média de faixetas considerada para execução de parede de concreto foi de 958 a cada 4 apartamentos, sendo este valor tomado assumido considerando a experiência executiva dos integrantes deste trabalho.

f. Como ponto de padronização, foi utilizado o mesmo tipo de cimento (CII – E) para todas as obras, sendo ele empregado no concreto e argamassa. O valor de C_{CP} utilizado foi de

0,94 considerando o limite superior admissível pela NBR 16697:2018 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2018).

g. A variável M_c foi padronizada em 335 kg/m^3 , uma vez que a dosagem do concreto e da argamassa empregados para execução da obra não foram disponibilizados pelas construtoras. Dessa forma, adotou-se um valor constante com base na revisão bibliográfica realizada por Daminelli (2013).

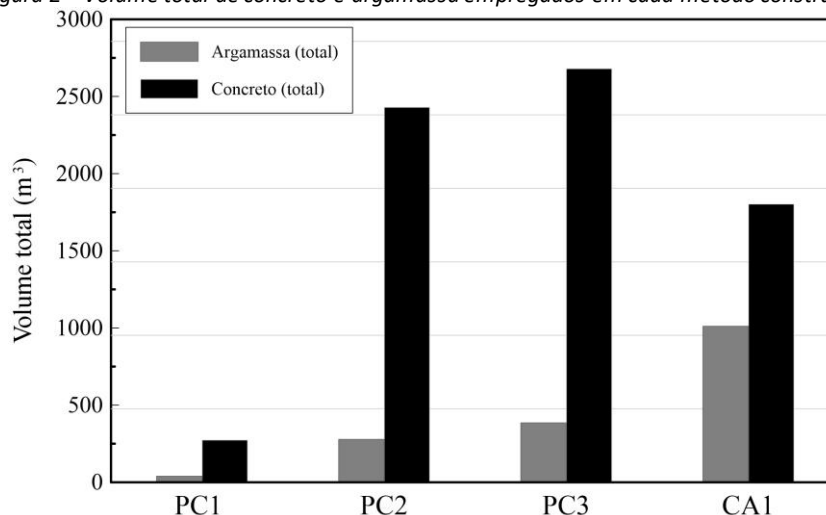
h. O valor de M_c da argamassa foi adotado como sendo 700 kg/m^3 , sendo esse valor maior do que o do concreto devido à ausência volumétrica de agregados graúdos. Este valor foi adotado considerando traços de argamassa empregados na literatura recente (DANTAS et al., 2020; SERAFINI et al., 2021).

3. RESULTADOS

3.1 Volumes de concreto e argamassa

A Figura 2 ilustra os volumes totais de concreto e argamassa empregados em cada método construtivo. Pode-se observar que, na média, a argamassa representa 13,04% do volume de concreto empregado para a construção das obras de PC. Já em relação a estrutura de CA a argamassa representa 56,11% do volume de concreto. Logo, as estruturas de PC tendem a empregar um menor volume de argamassa para a sua execução do que para estruturas de CA considerando um mesmo volume de concreto.

Figura 2 – Volume total de concreto e argamassa empregados em cada método construtivo



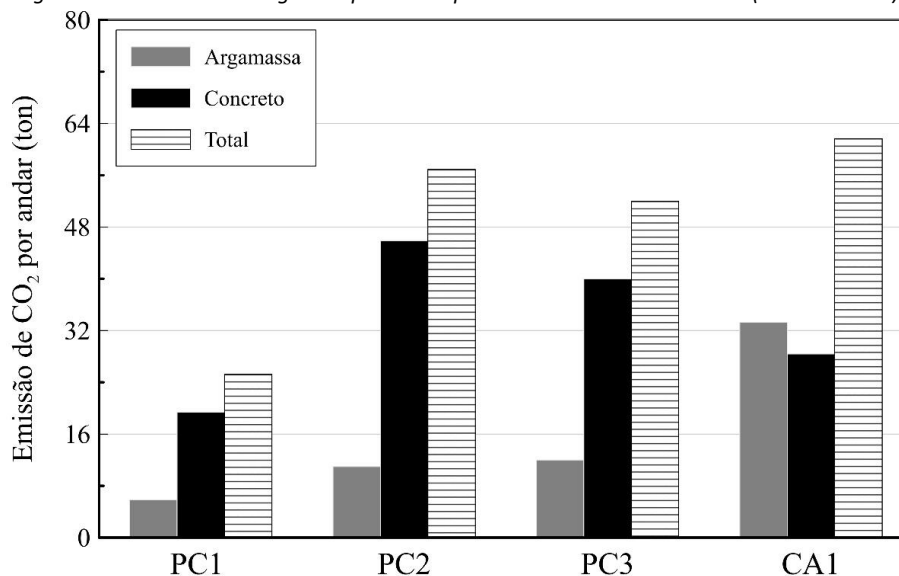
Fonte: os autores

3.2 Emissão de CO₂

A Figura 3 ilustra a emissão gerada por andar para cada método construtivo. Pode-se observar que, na média, a argamassa representa 27,25% da emissão do concreto empregado para a construção das obras de PC. Já em relação a estrutura de CA a emissão de argamassa é 17,24% maior do que a emissão do concreto. Portanto, a argamassa representa a maior parcela da

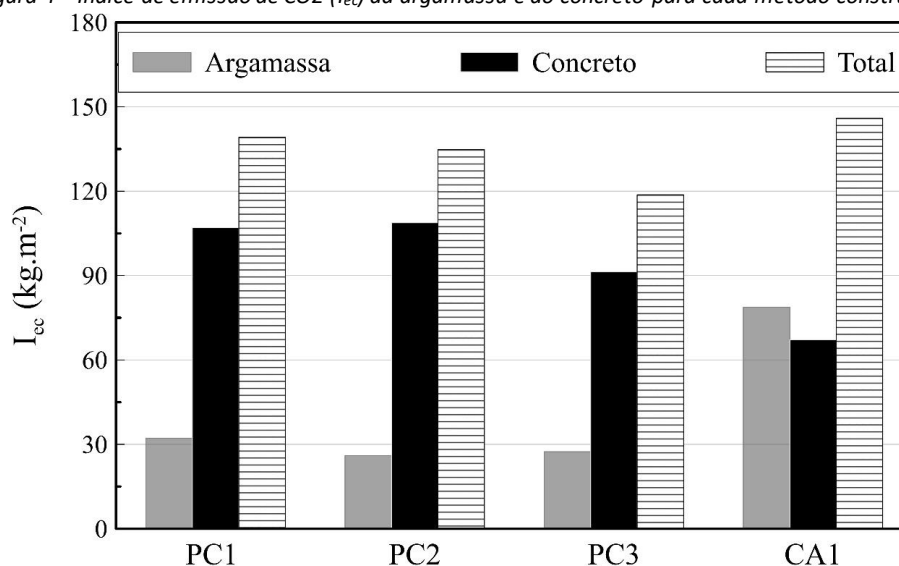
massa de CO₂ emitida em obras de CA, sendo este valor, inclusive, superior a emissão gerada pelo concreto estrutural. Já em relação ao volume total emitido, a argamassa representa 21,42% no caso das estruturas de PC e 53,97% no caso da estrutura de CA. Enquanto isso, o concreto representa 78,58% do total de emissões nas estruturas de PC e 46,03% no caso das estruturas de CA.

Figura 3 – Emissão de CO₂ gerada por andar para cada método construtivo (em toneladas).



A Figura 4 ilustra o índice de emissão de CO₂ no uso de argamassa utilizada em cada método construtivo. O índice médio de emissão da argamassa nas obras de PC é de 28,52 kg/m², enquanto para a obra de CA é de 78,78 kg/m². Portanto, o índice de emissão na obra de CA é 63,8% maior do que o índice médio de emissão das obras de PC. Esse resultado é influenciado pelo fato de que o volume de argamassa empregado na obra de CA é maior do que o volume médio empregado nas obras de PC. Outro fator que influencia este resultado é o fato de argamassas possuírem um maior consumo de cimento do que concretos, o que é atribuído a ausência volumétrica de agregados graúdos (veja a Tabela 1).

Figura 4 – Índice de emissão de CO₂ (I_{ec}) da argamassa e do concreto para cada método construtivo



O índice médio de emissão do concreto nas obras de PC é de 102,37 kg/m², enquanto para a obra de CA é de 67,20 kg/m². Portanto, o índice de emissão do concreto na obra de CA é 34,36% menor do que o índice médio de emissão das obras de PC. Esse resultado é influenciado pelo fato de que o volume médio de concreto empregado na obra de PC é maior do que o volume empregado nas obras de CA, conforme discutido no item 3.1.

Analisando a emissão total para cada solução construtiva, alguns paralelos podem ser traçados. O índice de emissão médio da argamassa representa 21,79% da emissão total da estrutura de PC, enquanto para a estrutura de CA representa 53,97%. Portanto, os resultados demonstram que a argamassa é o maior fator de emissão da estrutura de CA. Desta forma fica evidente a necessidade de estudos que foquem em alternativas sustentáveis para a argamassa em estruturas de CA, haja visto que sua contribuição é bastante significativa para a emissão de CO₂.

É importante salientar que os resultados obtidos neste estudo consideram as emissões de CO₂ que computam uma parcela da análise da ecoeficiência de um método construtivo. Abordagens mais complexas como a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) e Avaliação do Custo do Ciclo de Vida (ACC) para analisar diferentes formulações de argamassa em termos de origem dos materiais, energia incorporada, emissões de gases de efeito estufa e custos de produção são necessárias em estudos futuros. Neste trabalho, os resultados pautam sua originalidade na avaliação inicial e proposição de um índice simplificado focado no ambiente construído, que leva em consideração a área útil da edificação.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Analisando-se as emissões de CO₂ dos métodos construtivos avaliados neste estudo identifica-se que a argamassa representa 53,97% da emissão total de estruturas de concreto armado e o concreto representa 46,03%. Já para em relação no caso da parede de concreto, a argamassa representa 21,79% e o concreto representa 78,21% da emissão total. Portanto, é possível verificar que o maior fator de emissão no caso de estruturas de concreto armado decorre do uso de argamassa, o que ocorre pelo seu maior consumo de cimento por metro cúbico. Portanto

pode-se observar que, nos resultados deste estudo, a solução de concreto armado obteve uma maior emissão de CO₂ oriunda do uso de argamassa, enquanto a solução estrutural em parede de concreto demonstrou uma maior emissão referente ao concreto. Em valores absolutos médios, pode-se observar que a solução de concreto armado possui uma maior emissão de CO₂ do que a solução de parede de concreto. Entretanto, este cenário pode se modificar e a ecoeficiência de estruturas de concreto armado pode ser aprimorada caso haja uma melhora nos índices de emissão da argamassa ou, inclusive, a adoção de métodos construtivos distintos de fechamento vertical.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Eng. Jader Freitas de Andrade por sua contribuição na etapa de levantamento dos volumes de concreto e argamassa das obras estudadas. Além disso, o autor Ramoel Serafini agradece à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelo auxílio à pesquisa [processo nº #2022/14045-5].

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16697 - Cimento Portland - Requisitos**. Rio de Janeiro: 3 jul. 2018.

CERETTA, P. S.; SARI, J. F.; CERETTA, F. C. DA C. Relação entre Emissões de CO₂, Crescimento Econômico e Energia Renovável. **Desenvolvimento em Questão**, v. 18, n. 50, p. 268–286, 2 jan. 2020.

DAMINELLI, B. LUÍS. **Conceitos para formulação de concreto com baixo consumo de ligantes: controle reológico, empacotamento e dispersão de partículas**. São Paulo: Engenharia de Construção Civil e Urbana, Universidade de São Paulo, 2013.

DANTAS, S. R. A. et al. Influence of polypropylene microfibre (PPMF) dispersion procedure on fresh and hardened rendering mortar properties. **Ambiente Construído**, v. 20, n. 2, p. 7–23, jun. 2020.

KOURTI, I., H. G., & M. A. Life cycle assessment (LCA) and life cycle cost (LCC) of buildings: A review of recent studies in the US. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 2261–2270, p. 81, 2018.

LI, G., D. X., C. Z., & Z. Y. A review on carbon dioxide emissions in the construction industry: Current status, strategies and policy implications. **Journal of Cleaner Production**, v. 210, p. 1340–1351, 2019.

OLIVEIRA, D. R. B. et al. **Pó de resíduo misto de construção como material cimentício suplementar: estudo em pastas empacotadas**. 7 nov. 2022. Disponível em:

<<https://eventos.antac.org.br/index.php/entac/article/view/2156>>

ORLANDINI, L. C. **Estratégias para redução das emissões de CO₂ e o aumento de estoque temporário de carbono do setor da construção por meio do uso da madeira**. Foz do Iguaçu: Universidade Federal da Integração Latino Americana, 2021.

PÉREZ-LOMBARD, L., O. J., & P. C. A review on buildings energy consumption information. **Energy and Buildings**, v. 40(3), p. 394–398, 2019.

SANJUAN, M. A., M. J., F.-P. P., & B. L. A. Ecoefficiency assessment of eco-mortars through the combination of LCA and LCC: A case study in Spain. **Journal of Cleaner Production**, v. 170, p. 1255–1263, 2018.

SERAFINI, R. et al. Bond-slip response of steel fibers after exposure to elevated temperatures: Experimental program and design-oriented constitutive equation. **Composite Structures**, v. 255, p. 112916, jan. 2021.

SILVA, R. V., DE B. J., & D. R. K. CO₂ emissions reduction in the cement and concrete industry: Strategies, challenges, and opportunities. **Journal of Cleaner Production**, v. 124637, p. 283, 2021.

SMITH, J. D., M. R. J., & J. H. M. Carbonation of C-S-H: What are the reaction mechanisms? **Cement and Concrete Research**, v. 106089, p. 134, 2020.

SOUZA, U. E. L. **Como reduzir perdas nos canteiros: manual de gestão do consumo de materiais na construção civil**. PINI, 128 p. ed. São Paulo: [s.n.].

WABC. **Hacia un sector de edificios y de la construcción eficiente, resiliente y con cero emisiones.** , 2018.

Disponível em: <https://globalabc.org/sites/default/files/2020-03/2018_GlobalAB_%20Global_Status%20_Report_es.PDF>. Acesso em: 4 jun. 2023

ZHANG, X. , G. X. , W. L. , & H. Y. Carbon capture and utilization in the cement and concrete industry: A review. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 105930, p. 175, 2022.