AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DE SISTEMAS CONSTRUTIVOS APLICADOS EM UNIDADE HOSPITALAR: IMPACTOS AMBIENTAIS E POTENCIAL DE REUTILIZAÇÃO

LIFE CYCLE ASSESSMENT OF APPLIED CONSTRUCTION METHODS IN HOSPITAL UNIT: ENVIRONMENTAL IMPACTS AND REUSE POTENTIAL

Nicole Melo de Boucherville Borges [1]; Thiago Melo Grabois [2].
[1]Graduanda em Arquitetura e Urbanismo | Nicole.borges@fau.ufrj.br | UFRJ | Rio de Janeiro, RJ;
[2]Professor adjunto FAU/UFRJ | grabois@fau.ufrj.br | UFRJ | Rio de Janeiro, RJ.

Resumo:
Este trabalho avalia os impactos ambientais de um módulo do Centro Hospitalar INI/Fiocruz, o qual possui sistemas de vedação em painéis autoportantes de poliisocianurato (PIR). A avaliação foi feita utilizando a metodologia ACV, seguindo as categorias de impacto especificadas no método CML 2002 e o banco de dados Ecoinvent v. 3,6. Inicialmente, foi estabelecida uma comparação com dois escopos: (i) cenário com de uso por 30 anos, incluindo a reutilização de todos os materiais, exceto o revestimento vinílico do piso e os elementos em poliisocianurato; (ii) cenário de uso por 30 anos e descarte completo dos materiais. Dos resultados, houve diminuição no impacto ambiental total do módulo ao se evitar o transporte e o descarte em aterros sanitários. Posteriormente, uma nova interpretação foi realizada a partir do escopo (i), a fim de compreender como os subsistemas construtivos se comportam no contexto de reutilização, sendo divididos em vedação, cobertura e piso. Esta demonstrou que o subsistema de piso apresenta maior dano entre as categorias de impacto analisadas. Concluiu-se que a inclusão de etapas de reutilização pós-vida pode tornar compensatório o uso do sistema pré-fabricado que contém poliisocianurato, apesar do alto custo ambiental durante as etapas de produção de seus elementos.

Palavras-chave:
ACV; baixo impacto ambiental; envoltória; sistemas estruturais; materiais de construção.

Abstract:
This study evaluates the environmental impacts of a module from the INI/Fiocruz Hospital Center, which features enclosure systems made of self-supporting polyisocyanurate (PIR) panels. The assessment was conducted using the Life Cycle Assessment (LCA) methodology, following the impact categories specified in the CML 2002 method and using the Ecoinvent v. 3.6 database. First, a comparison was established with two scenarios: (i) a 30-year use scenario, including the reuse of all materials except the vinyl floor covering and the polyisocyanurate elements; (ii) a 30-year use scenario with full disposal of all materials. The results showed a reduction in the module's overall environmental impact when transport and landfill disposal were avoided. Subsequently, a new interpretation was made based on scenario (i), to understand how the construction subsystems behave in the context of reuse, categorized into enclosure, roofing, and flooring. This analysis revealed that the flooring subsystem causes the most damage among the impact categories analyzed. It was concluded that the inclusion of post-use reuse stages can make the use of the prefabricated system containing polyisocyanurate environmentally compensatory, despite the high environmental cost during the production phase of its components.

Keywords:
LCA; low environmental impact; building envelope; structural systems; construction materials.

1. INTRODUÇÃO

A indústria da construção civil é uma das atividades menos sustentáveis do planeta, responsável por 40% da demanda total de energia e aproximadamente 44% da demanda de materiais e gerando de 40 a 50% da produção global de gases com efeito de estufa (GEE) (Liantoy *et al.*, 2020). Dentre estes, segundo o Relatório Global para Edifícios e Construções de 2020, o setor da construção civil é responsável por 38% das emissões totais de CO_2, relacionadas às mudanças climáticas. Segundo Kamali *et al.* (2016), a pré-fabricação é reconhecida como alternativa para reduzir as consequências climáticas e ambientais do setor. No entanto, uma parcela expressiva dos impactos ambientais no ciclo de vida é gerada durante sua produção e descarte, devido à extração de recursos, consumo de energia, transporte e disposição em aterro sanitário. Assim também ocorre na etapa de uso, considerando o aumento da demanda energética conforme a vida útil da edificação para seu pleno funcionamento.

Considerando a necessidade de reduzir a demanda energética das edificações, de acordo com Llantoy *et al.* (2020), utilizar materiais de alta performance de isolamento térmico para vedação vertical e horizontal pode contribuir positivamente para a eficiência energética e mitigação dos impactos ambientais. Somado a isso, como demonstra Tingley *et al*. (2015) em sua revisão bibliográfica, a aplicação do método de Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) para sistemas de vedação tem contribuído para mensurar o impacto ambiental de materiais com potencial para isolamento térmico. Com isso, o presente estudo focou na avaliação de um módulo do Centro Hospitalar INI/Fiocruz, o qual possui sistemas de vedação em painéis autoportantes de poliisocianurato (PIR), polímero que apresenta baixa condutividade térmica. Durante o ano de 2021, diversos hospitais de campanha foram projetados e construídos para auxiliar o sistema de saúde, sobrecarregado pelo alto número de infectados pelo vírus da COVID-19. Estas edificações foram construídas em sistemas modulares pré-fabricados, devido a sua facilidade e rapidez de execução. Estes elementos, por sua vez, possibilitam desmontagem, reutilização e reciclagem total ou parcial dos edifícios ao final de sua utilização. Oliveira *et al.* (2022) avaliaram o impacto ambiental do módulo hospitalar típico do Centro Hospitalar INI/Fiocruz e apresentaram resultados quanto à emissão de CO_2 de diferentes materiais empregados no sistema de vedação pré-fabricado. No estudo em questão, foi comparado o impacto ambiental para mudanças climáticas do Poliisocianurato (PIR), Poliestireno Expandido (EPS) e lã de rocha quando utilizados como isolamento, considerando que suas performances são similares, mas suas densidades são diferentes. Nesse sentido, a avaliação ambiental dos painéis de PIR apresentada pelo estudo não contempla uma análise aprofundada de outros indicadores de danos ambientais para além da emissão de kg de CO_2 equivalente. Como afirma Rey-Álvarez *et al.* (2023), o crescente impacto ambiental das emissões de CO_2 tem feito com que os estudos de ACV priorizem avaliar as mudanças climáticas, deixando de lado outras categorias igualmente importantes.

Neste contexto, em continuidade ao trabalho de Oliveira *et al.* (2022), o presente estudo propõe uma avaliação ambiental por meio de uma ACV sistemática, incluindo, além de mudanças climáticas, resultados expressos pelas categorias de impacto acidificação, uso da terra, depleção do ozônio estratosférico e ecotoxicidade de acordo com o método CML 2002 de aplicação global. Adicionalmente, a influência da inclusão de estágios de reuso em cenários de utilização mais longínquos foi avaliada, a fim de compreender seu potencial para reduzir o impacto ambiental final da edificação.

2. MÉTODOS

Como metodologia foi utilizada a Avaliação do ciclo de Vida (ACV), recorrentemente utilizada para análise ambiental de produtos ou serviços, segundo NBR ISO 14.040 (ABNT, 2009), que estabelece quatro etapas: (1) Objetivo e escopo; (2) Análise do Inventário; (3) Avaliação de impactos e (4) Interpretação dos resultados. Para a etapa de avaliação de impactos foram consideradas as categorias mudança climática, acidificação, uso da terra, depleção de ozônio estratosférico e ecotoxicidade, segundo especificadas pelo método CML 2002 de aplicação global.

2.1. OBJETIVOS

Esta avaliação possui como objetivo principal avaliar o impacto ambiental dos sistemas construtivos empregados no Centro Hospitalar INI/Fiocruz.

2.2. ESCOPO

Para definir o escopo a ser utilizado na avaliação, foi realizado um estudo prévio a partir de seis cenários de uso (4, 8, 12, 16, 20 e 30 anos), avaliando apenas o impacto dos painéis em PIR na fase de produção, como mostra a Figura 1. A Equação 1 baseada em Li *et al.* (2022) apresenta a emissão de carbono por metro quadrado do edifício por ano de utilização:

$$P_a = \frac{P}{S \times N} \quad \text{(Equação 1)}$$

Onde:
P_a = emissão de carbono por unidade de área e período de tempo (kg CO_2 eq./ (m²*anos));
P = emissão total de carbono durante o ciclo de vida (kg CO_2 eq.);
S = S área total (m²);
N = tempo de vida (anos).

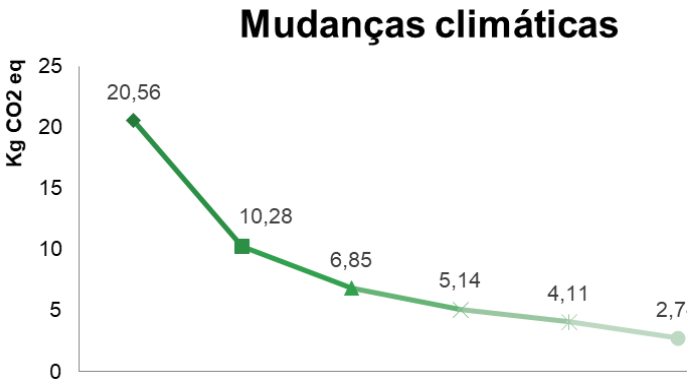


Figura 1: Evolução das emissões de CO_2 equivalente em função do tempo para o PIR na fase de produção nos cenários de 4, 8, 12, 16, 20 e 30 anos.
Fonte: Os autores (2025).

Observou-se uma significativa redução do impacto à medida que cenários mais longínquos eram definidos, o que demonstrou uma prerrogativa importante: utilizar de cenários de uso longos dilui o impacto da fase de produção, tornando o uso do PIR mais compensatório do ponto de vista do impacto ambiental. Esse comportamento se repete em todas as categorias de impacto, visto a utilização da mesma fórmula.

Com isso, foram considerados dois escopos para avaliação:

(i) cenário de vida útil de 30 anos, com fronteira do sistema do berço ao berço, sem incluir os estágios de uso, e considerando reciclagem dos elementos em aço, concreto e alumínio, e descarte dos elementos em PIR.

Estágios considerados no escopo (i):

- produção (A1-A3): extração, transporte e manufatura de matéria prima;
- construção (A4-A5): transporte até a obra e instalação dos elementos;
- fim de vida (C): demolição, transporte e disposição em aterro e
- benefícios e cargas além dos limites do sistema (D): reuso, recuperação e potencial de reciclagem.

(ii) cenário de vida útil de 30 anos, com fronteira do sistema do berço ao túmulo, sem incluir os estágios de uso e com descarte total dos materiais.

Estágios considerados no escopo (i):

- produção (A1-A3): extração, transporte e manufatura de matéria prima;
- construção (A4-A5): transporte até a obra e instalação dos elementos;
- fim de vida (C): demolição, transporte e disposição em aterro.

O percentual de reciclagem de cada material foi determinado a partir de Declaração Ambiental de Produto (EPD - *Environmental Product Declaration*). Foram utilizadas três EPD extraídas da *Eco Platform* (*ECO Portal* - ECO EPD Programme Operators) para avaliar os painéis de vedação com isolamento em PIR (*Insulation boards with a core of rigid polyurethane (PIR) for buildings, 2022*; e *Double skin steel faced sandwich panels with PIR (polyisocyanurate) insulation core, 2023*) e os elementos em concreto armado (*Reinforced concrete elements, 2024*). De interesse particular, cabe destacar que os núcleos em PIR dos painéis não apresentaram potencial de reuso pelos documentos apontados acima. Deste modo, as taxas de aproveitamento para cada material no contexto de reciclagem foram as seguintes: aço proveniente da laje de concreto armado, 90%; aço proveniente dos painéis em PIR, 85%; concreto, 70%; alumínio**,** 95%.

2.3. UNIDADE FUNCIONAL

O Centro Hospitalar INI/Fiocruz, localizado na Av. Brasil, 4365 - Manguinhos, Rio de Janeiro - RJ, foi construído em maio de 2019, em caráter emergencial. Este conjunto, de aproximadamente 9.800 m², divide-se em dois blocos assistenciais, comportando 195 leitos, um bloco técnico administrativo e um bloco para recepção. A unidade funcional, por sua vez, é composta por um módulo hospitalar de 78 m² de área construída, constituído de dois leitos privativos sem banheiro, dois leitos privativos com banheiro e a circulação que os conecta.

Considerou-se 7 m² de fachada (descontando as aberturas) com painéis autoportantes em poliisocianurato (PIR) de 10 cm de espessura. Maiores detalhes sobre o módulo em questão foram apresentados no trabalho de Oliveira *et al.* (2022).

2.4. INVENTÁRIO

Os elementos construtivos empregados no módulo são divididos em: paredes externas e internas com núcleo em PIR; forro revestido em aço com núcleo em PIR; telhado revestido em alumínio com núcleo em PIR, laje de concreto armado e estrutura de treliça metálica. Os fatores de impacto respectivos a cada material foram extraídos do banco de dados Ecoinvent v. 3,6, como mostra a Tabela 1.

Elemento construtivo	1) Fator de impacto - Mudanças climáticas (kg CO_2 eq.)	2) Fator de impacto - Acidificação (mol H+ eq.)	3) Fator de impacto - Uso da terra (Pt)	4) Fator de impacto - Depleção ozonio estrat. (kg CFC11 eq)	5) Fator de impacto - Ecotoxicidade (CTUe)
Parede externa: núcleo em PIR 100 mm	6,48	0,03	3,78	0,000000829	436,27
Parede externa: revestimento em aço 0,65 mm	2,03	0,01	2,33	0,000000103	59,44
Parede interna: núcleo em PIR 50 mm	6,48	0,03	3,78	0,000000829	436,27
Parede externa: revestimento em aço 0,65 mm	2,03	0,01	2,33	0,000000103	59,44
Forro: núcleo em PIR 50 mm	6,48	0,03	3,78	0,000000829	436,27
Forro: revestimento em aço 0,65 mm	2,03	0,01	2,33	0,000000103	59,44
Telhado: núcleo em PIR 50 mm	6,48	0,03	3,78	0,000000829	436,27
Telhado: revestimento em alumínio 0,50 mm	19,59	0,12	13,36	0,000000665	452,48
Laje de concreto	254,68	1,31	1.339,47	0,000019816	17.003,93
Armação laje de concreto	2,03	0,01	2,33	0,000000103	59,44
Estrutura de treliça metálica	2,03	0,01	2,33	0,000000103	59,44

Tabela 1: Materiais empregados no sistema construtivo e fatores de impacto respectivos.
Fonte: Os autores (2025).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 2 apresenta os resultados da ACV para cada categoria de impacto ambiental avaliada, considerando os dois escopos determinados e destacando os estágios do ciclo de vida. Já na Tabela 2 foram detalhados os valores totais de impacto em cada escopo e os impactos evitados no escopo (i) para cada categoria avaliada.

Ao avaliar a influência da incorporação do estágio D, considerado no escopo (i), os resultados mais expressivos no que diz respeito à diminuição do impacto foram observados para a categoria de mudanças climáticas, com aproximadamente 43% de redução (Figura 2(a)). O impacto total foi de cerca de 41 kg de CO2 eq. no escopo (ii) para cerca de 28 kg de CO_2 eq. no escopo (i). Essa parcela de impacto evitado é relativa, sobretudo, ao estágio de descarte (C4) que representou 58% das emissões de CO_2 totais observadas no escopo (i). Adicionalmente, cabe destacar que o estágio de produção (A1-A3) foi o segundo mais impactante, o que pode ser explicado pelo elevado consumo

dos materiais ABC e seus elevados índices de emissão de CO_2 associados, conforme apresentado na Tabela 1.

Para a categoria de acidificação, a redução do impacto foi de 20% ao incluir estágios de beneficiamento além dos limites do sistema, tendo o escopo (ii) apresentado impacto de 0,128 mol H+ eq., e o escopo (i) 0,124 mol H+ eq. (Figura 2(b)). O impacto observado em ambos os escopos se deve, em maior parte, ao impacto relativo às fases de produção (A1-A3) e construção (A5), que somam cerca de 70% do impacto total.

Para uso da terra, o impacto reduziu 10%, que é equivalente a cerca de 3,4 PT. No escopo (ii), o impacto total foi de aproximadamente 33 PT, reduzindo para aproximadamente 29 PT no escopo (i) (Figura 2(c)). Nesse caso, apresentaram impacto significativo os estágios da produção (A1-A3), construção (A5) e descarte (C4). Todavia, 80% do impacto é relativo à fase de produção, devido às alterações realizadas na terra durante os processos de extração de matéria-prima, principalmente.

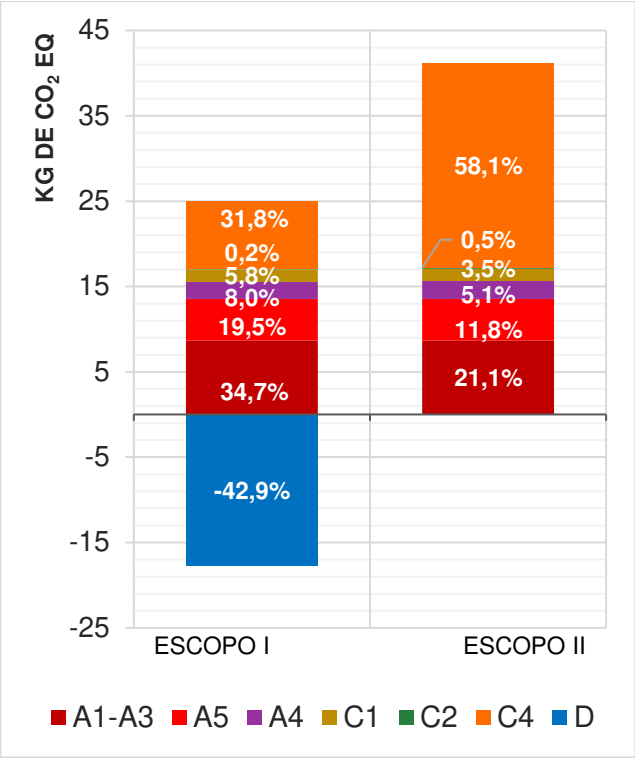
A redução no impacto foi a menor de todas as categorias em depleção do ozônio estratosférico, com apenas 2%, cerca de 4 E-8 kg CFC11 eq. Vale ressaltar, que assim como para acidificação, os estágios mais impactantes nessa categoria foram produção (A1-A3) e construção (A5). Isso demonstra que a emissão de gases e partículas ácidas na atmosfera e a emissão de substâncias químicas agressivas a camada de ozônio são processos principalmente associados à extração, transporte e manufatura de matéria-prima, e, segundamente, associados aos processos de construção/ instalação da edificação.

Por fim, para a categoria de ecotoxicidade, a redução foi de 91,42 CTUe, que representa aproximadamente 15%. O impacto total do escopo (ii) foi de cerca de 600 CTUe para 517 CTUe no escopo (i). Mais de 70% do impacto em ambos os escopos é relativo ao estágio de produção (A1-A3), mas também se destaca o estágio de descarte (C4), que se justifica pela emissão de substâncias tóxicas durante os processos envolvidos.

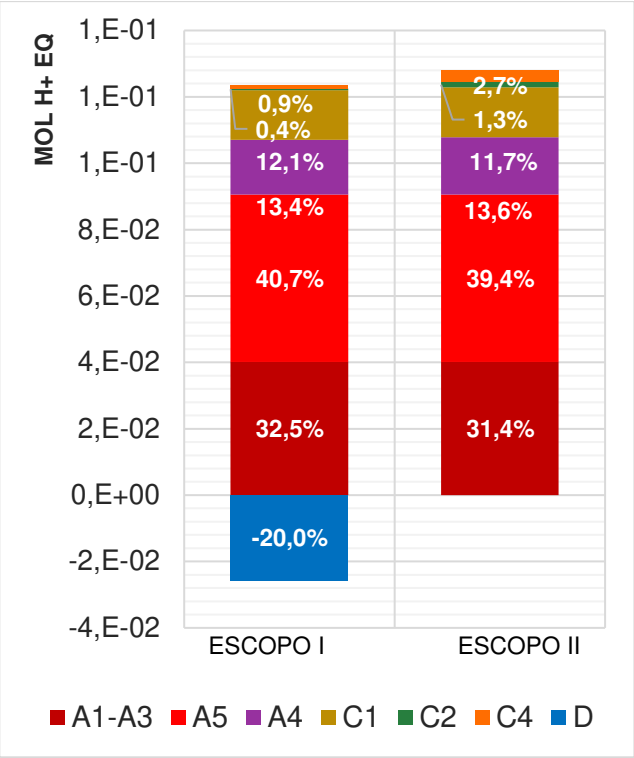
É importante destacar que a categoria de mudanças climáticas foi a única a apresentar percentuais mais expressivos relativos ao impacto do estágio de descarte (C4), o que justifica a preocupação da literatura voltada para ACV em compreender o dano causado pelas emissões de carbono, como menciona Rey-Álvarez *et al.* (2023).

Categoria de impacto	Impacto escopo (i)	Impacto escopo (ii)	Impacto evitado escopo (i)
Mudanças climáticas (kg CO_2 eq.)	27,97	41,20	-17,69 (43%)
Acidificação (mol H+ eq.)	0,128	0,124	-0,026 (20%)
Uso da terra (Pt)	29,45	32,56	-3,42 (10%)
Depleção do ozônio estratosférico (kg CFC11 eq.)	2,36 E-6	2,43 E-6	-3,95 E-8 (2%)
Ecotoxicidade (CTUe)	516,60	599,89	-91,42 (15%)

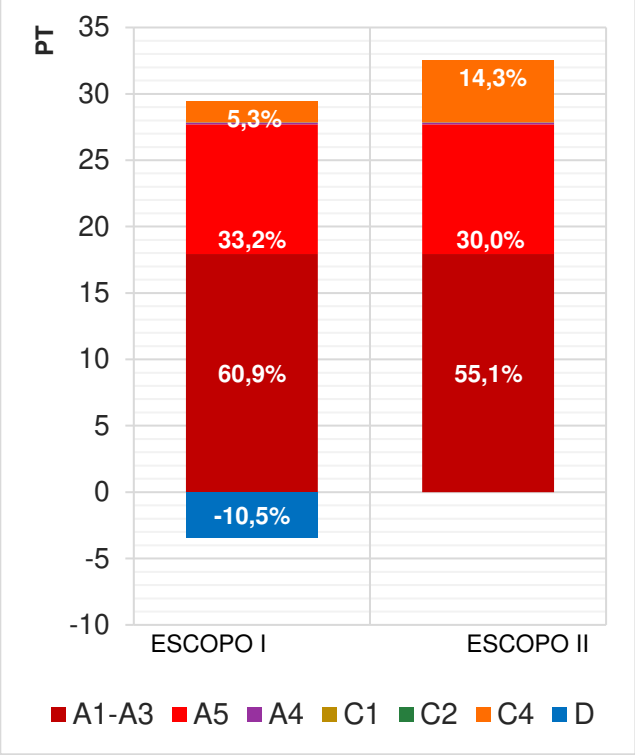
Tabela 2: valores totais de impacto em cada escopo e os impactos evitados no escopo (i) para cada categoria de impacto.
Fonte: Os autores (2025).


KG DE CO_2 EQ
45
35
25
15
5
-5
-15
-25
31,8%
0,2%
5,8%
8,0%
19,5%
34,7%
-42,9%
58,1%
0,5%
3,5%
5,1%
11,8%
21,1%
ESCOPO I
ESCOPO II
A1-A3 A5 A4 C1 C2 C4 D

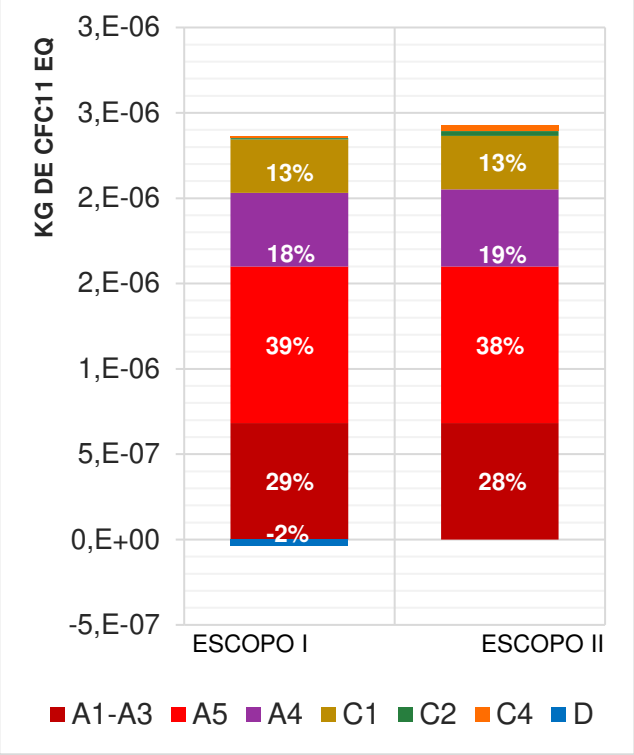
(a)


MOL H+ EQ
1,E-01
1,E-01
1,E-01
8,E-02
6,E-02
4,E-02
2,E-02
0,E+00
-2,E-02
-4,E-02
0,9%
0,4%
12,1%
13,4%
40,7%
32,5%
-20,0%
2,7%
1,3%
11,7%
13,6%
39,4%
31,4%
ESCOPO I
ESCOPO II
A1-A3 A5 A4 C1 C2 C4 D

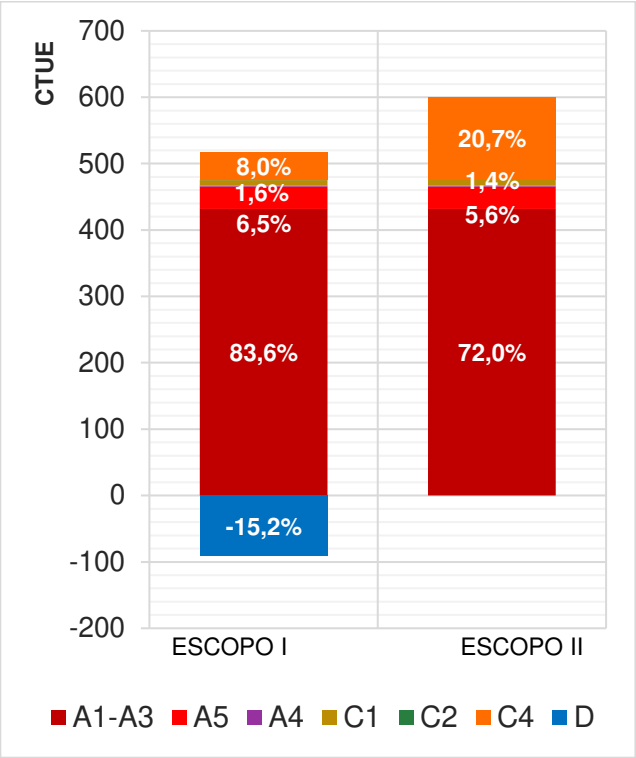
(b)


PT
35
30
25
20
15
10
5
0
-5
-10
5,3%
33,2%
60,9%
-10,5%
14,3%
30,0%
55,1%
ESCOPO I
ESCOPO II
A1-A3 A5 A4 C1 C2 C4 D

(c)


KG DE CFC11 EQ
3,E-06
3,E-06
2,E-06
2,E-06
1,E-06
5,E-07
0,E+00
-5,E-07
13%
18%
39%
29%
-2%
13%
19%
38%
28%
ESCOPO I
ESCOPO II
A1-A3 A5 A4 C1 C2 C4 D

(d)



(e)

Figura 2: Impacto total do módulo para escopo (i) e (ii): (a) mudanças climáticas (kg CO_2 eq); (b) acidificação (mol H+ eq); (c) uso da terra (Pt); (d) depleção do ozônio estratosférico (kg CFC11 eq); (e) ecotoxicidade (CTUe).
Fonte: Os autores (2025).

A partir dos resultados apresentados, uma nova interpretação foi realizada a partir do escopo (i) - considera benefícios e cargas além dos limites do sistema - a fim de compreender como os subsistemas construtivos se comportam no contexto de reutilização (Figura 3). Para isso, o módulo foi dividido em três subsistemas: vedação, cobertura e piso. A vedação é composta pelas paredes internas e externas com revestimento em aço e núcleo em PIR; a cobertura, pela estrutura de treliça metálica, o telhado com núcleo em PIR e revestimento em alumínio e o forró com núcleo em PIR e revestimento em aço; por fim, o piso, é composto por laje de concreto armado e piso vinílico em manta.

Sendo assim, em um contexto geral, o piso apresentou maior dano entre os subsistemas, por conta da presença da laje de concreto armado, que apresenta o fator de impacto mais alto dentre os materiais empregados (ver Tabela 1). Para a categoria de mudanças climáticas, o piso demonstrou maior emissão de kg de CO_2 eq., seguido da vedação, e, por último, a cobertura, com um impacto total de aproximadamente 12, 7 e 5 kg de CO2 eq., respectivamente. Isso pode se explicar devido a emissão de CO_2 ser mais significativa nos processos que envolvem o ciclo de vida da laje de concreto armado. Essa ordem se repetiu para as categorias uso da terra e ecotoxicidade, todavia, a diferença de impacto entre os subsistemas foi mais expressiva em uso da terra, o piso apresentou cerca de 24 Pt, seguido da vedação com 4 Pt, e por último, a cobertura, com 2 Pt. Para ecotoxicidade, o piso apresentou cerca de 224 CTUe, a vedação 195 CTUe, e a cobertura, 97 CTUe. Esses resultados demonstram que o ciclo de vida do subsistema de piso pode apresentar mais impacto na biodiversidade a partir da emissão de substâncias tóxicas que os demais, além disso, pode causar impactos bem mais expressivos nas alterações realizadas na terra.

Para acidificação, a vedação apresentou maior impacto relativo ao impacto total do escopo (i), com a emissão de 0,45 mol H+ eq., enquanto cobertura e o piso, apresentaram com 0,07 e 0,04 mol H+ eq. de emissão, respectivamente. Ocorre de maneira similar na categoria depleção do ozônio estratosférico, a vedação apresentou maior impacto, com 0,40 kg de CFC11 eq., a cobertura, 0,04 kg de CFC11 eq., e o piso, 0,01 kg de CFC11 eq. Nesses casos, apesar do alto fator de impacto da

laje de concreto armado em todas as categorias, as quantidades de PIR e aço empregadas na vedação são mais impactantes do ponto de vista da emissão de substâncias tóxicas e gases que contribuem para a destruição da camada de ozônio.

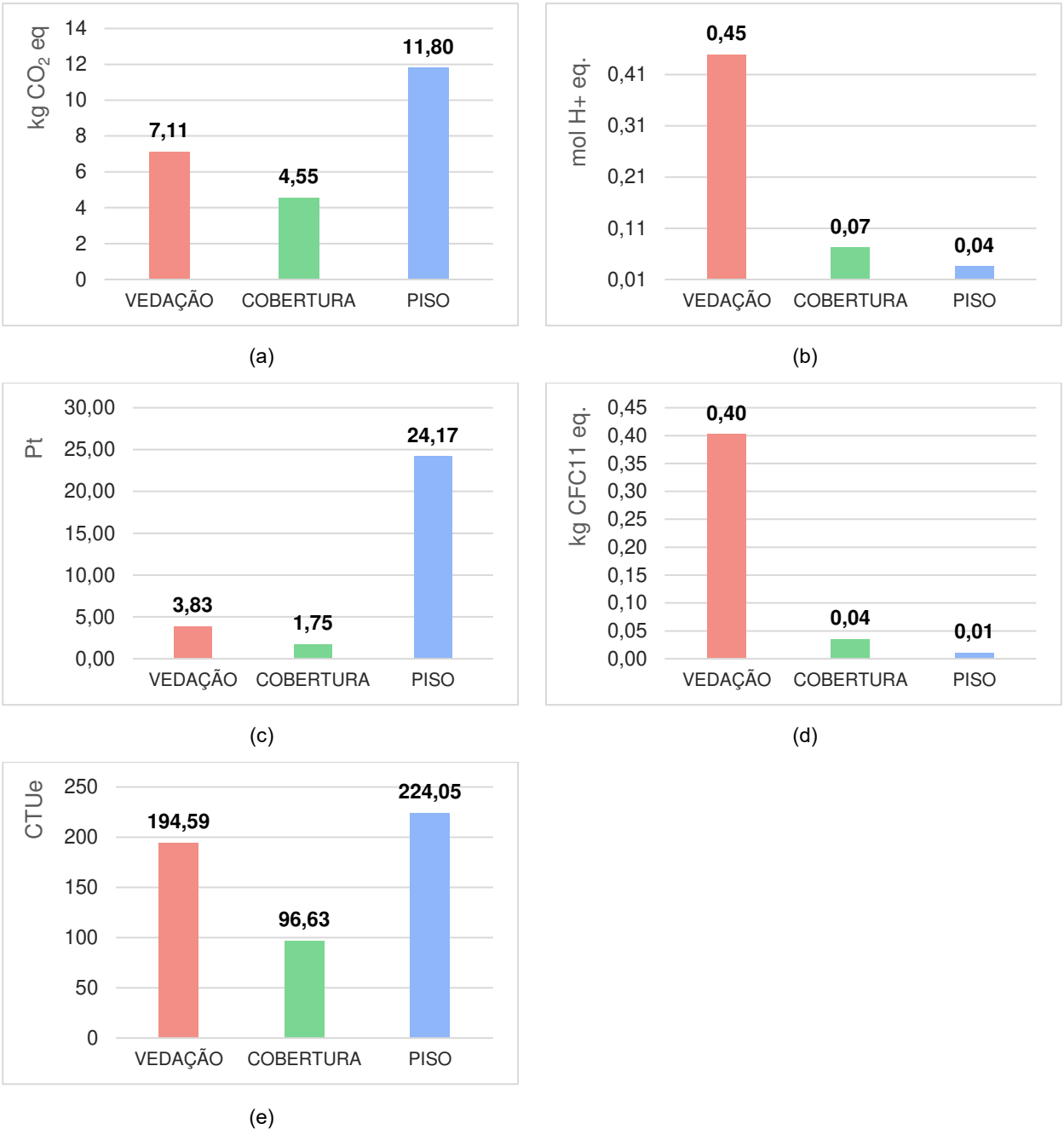


Figura 3: Impacto relativo a cada subsistema construtivo para escopo (i): (a) mudanças climáticas (kg CO_2 eq); (b) acidificação (mol H+ eq); (c) uso da terra (Pt); (d) depleção do ozônio estratosférico (kg CFC11 eq); (e) ecotoxicidade (CTUe).
Fonte: Os autores (2025).

4. CONCLUSÕES

Concluiu-se que o uso do sistema pré-fabricado que contém poliisocianurato apresenta um alto custo ambiental durante as etapas de produção de seus elementos, todavia, pode ser compensatório do ponto de vista do impacto ambiental quando estão incluídas as etapas de reutilização pós vida.

Para as categorias de impacto mudanças climáticas, uso da terra e ecotoxicidade, que apresentaram parcela mais considerável de dano relativo ao estágio C4 (descarte), evitar disposição em aterro reflete em uma redução ainda maior do impacto. Especialmente para emissão de CO_2, a redução foi de 43%, confirmando a importância buscarmos meios para reduzir os efeitos das mudanças climáticas no campo da construção civil.

Além disso, a avaliação dos subsistemas de vedação, cobertura e piso demonstrou que a utilização de grandes quantidades de elementos de concreto armado representa um alto impacto ambiental. Sendo assim, mesmo que sejam incluídas etapas de reutilização pós vida, a escolha dos materiais a serem utilizados importa muito no sentido do impacto ambiental. O mesmo pensamento se aplica aos subsistemas de vedação e cobertura, todavia, os elementos em PIR apresentam capacidades térmicas não consideradas nesta avaliação, diferente da laje de concreto armado.

Para pesquisas futuras relacionadas ao tema, em se tratando de materiais com baixa condutividade térmica, como o PIR, ou outros semelhantes, é interessante considerar essa capacidade na avaliação ambiental, a fim de compreender se o impacto ambiental pode ser ainda mais mitigado devido a essas características.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 14.040:2006: Gestão Ambiental** – **Princípios e Estrutura.** Rio de Janeiro, 2009.

GRABOIS, T. M.; CALDAS, L. R.; JULIÃO, N. R.; TOLEDO FILHO, R. D. An experimental and environmental evaluation of mortars with recycled demolition waste from a hospital implosion in Rio de Janeiro. **Sustainability**, v. 12, n. 21, p. 8945, 2020.

LLANTOY, N.; CHAFÉR, M.; CABEZA L. F. A comparative life cycle assessment (LCA) of different insulation materials for buildings in the continental Mediterranean climate. **Energy & Buildings**, n. 225, p. 110323, 2020.

MENDES, N. C.; BUENO, C.; OMETTO, A. R. Avaliação de impacto do ciclo de vida: revisão dos principais métodos. **Production**, n. 26, p. 160-175, 2016.

OLIVEIRA, A. C. R. T.; ALCÂNTARA, B. O. S.; PAULA, S. R. M.; CALDAS, L. R.; SILVOSO, M. M.; GRABOIS, T. M. Environmental evaluation of a prefab construction method employed to build the Evandro Chagas National Institute of Infectious Diseases. In: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. **IOP Publishing**, 2023.

REY-ALVAREZ, B.; SILVESTRE, J.; GARCÍA-MARTÍNEZ, A.; SÁNCHEZ-MONTAÑÉS, B. A comparative approach to evaluate the toxicity of building materials through life cycle assessment. **Science of The Total Environment**, v. 912, 2024.

THINGLEY, D. D.; HATHWAY, A.; DAVISON, B. An environmental impact comparison of external wall insulation types. **Building and Environment**, v. 85, p. 182-189, 2015.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem às agências brasileiras de fomento à pesquisa CAPES, CNPq e FAPERJ pelo suporte financeiro a este trabalho. N.B. é bolsista de Iniciação Científica PIBIC-CNPq. Este projeto de pesquisa é financiado pela FAPERJ (Processo nº E-26/201.369/2022).