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.v21i1.8543

Avaliação da Emissão do Carbono Embutido de Diferentes Opções de Telhados no Brasil

Assessment of Embodied Carbon Emissions of Different Roofing Options in Brazil

Lucas Rosse Caldas
Universidade Federal do Rio de Janeiro | Rio de Janeiro | Brasil | lucas.caldas@fau.ufrj.br
Carolina Mendonça de Freitas Mendes de Souza
Universidade Federal do Rio de Janeiro | Rio de Janeiro | Brasil | carolina.souza@coc.ufrj.br
Arthur Ferreira de Araujo
Universidade Federal do Rio de Janeiro | Rio de Janeiro | Brasil | arthur.araujo@coc.ufrj.br
Mayara Regina Munaro
Universidade Tecnológica Federal do Paraná | Curitiba | Brasil | mayaramunaro@utfpr.edu.br

Resumo

As habitações brasileiras apresentam uma diversidade de sistemas de telhados empregados e a lacuna de dados específicos da Emissão de Carbono Embutido (CE) dos materiais que os compõem dificulta a definição de rotas de descarbonização para esse subsistema construtivo. Portanto, esta pesquisa tem o objetivo de avaliar a CE de telhados utilizados em edificações residenciais brasileiras. Foram avaliadas quatro opções de telhas: cerâmica, concreto, fibrocimento e aço; dois tipos de materiais para as tramas estruturais: aço e madeira; além de diferentes composições dos elementos estruturais (terças, caibros, ripas etc.). Foram consideradas as etapas de produção dos materiais (A1-A3), com base na metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) e no Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI). Foram avaliadas um total de 14 diferentes combinações de telhados representativos do contexto brasileiro. Em relação ao material das telhas, os telhados com fibrocimento (6 mm) apresentaram o menor CE, com mediana de 7,25 $kgCO_2/m^2$. Identificou-se também que o uso de estruturas com mais elementos estruturais nas tramas (compostas por terças, caibros e ripas) em relação a estruturas mais simples (com apenas terças) pode levar a diferenças de até 50% para o CE. A presente pesquisa contribui por apresentar dados que serão importantes para projeção de metas de baixo carbono no setor da construção.

Palavras-chave: Coberturas. ACV. SINAPI. CO2. Residencial.

Abstract

Brazilian housing employs a diverse range of roofing systems, and the limited availability of specific embodied carbon (EC) data for their constituent materials hinders the development of effective decarbonization strategies for this building subsystem. Therefore, this research aims to assess the Embodied Carbon Emissions (EC) of roofing systems used in Brazilian residential buildings. Four types of roofing materials were evaluated: ceramic, concrete, fiber cement, and steel; as well as two types of structural frameworks: steel and wood; as well as different structural framing configurations, including purlins, rafters, battens, and other framing members. The study considered the material production stages (A1-A3) based on the Life Cycle Assessment (LCA) methodology and data from the National System of Research on Costs and

Como citar:
CALDAS, et al, Avaliação da Emissão do Carbono Embutido de Diferentes Opções de Telhados no Brasil. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 21, 2026, Goiânia. Anais... Goiânia: ANTAC, 2026.

Indices of Civil Construction (SINAPI). A total of 14 different roof combinations were evaluated, representative of the Brazilian context. Regarding roofing materials, fiber cement (6 mm) showed the lowest EC, with a median of 7.25 kgCO_2/m². It was also found that using more robust structural systems (composed of purlins, rafters, and battens), compared to simpler systems (with only purlins), can lead to differences of up to 50% in EC. This research contributes by providing data that are important for setting low-carbon targets in the construction sector.

Keywords: Roofs. LCA. SINAPI. CO2. Residential.

INTRODUÇÃO

O setor da Arquitetura, Engenharia, Construção e Operação (AECO) é responsável por consideráveis impactos ambientais. A demanda global de energia das edificações e construções, por exemplo, representa cerca de 34% das emissões de CO2 e mesmo ocorrendo leve redução da emissão incorporada, ainda não é o suficiente para que as metas do Acordo de Paris sejam alcançadas [1]. Além disso, o uso de energia dos edifícios representou 60% do aumento do consumo total de eletricidade no ano de 2024 [2].

O sistema de cobertura, como parte da envoltória da edificação, tem papel fundamental na promoção da eficiência energética. No Brasil, uma das coberturas mais empregadas são os telhados. De acordo com a Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua anual [3], aproximadamente 82% dos domicílios brasileiros são compostos por telhados, com ou sem laje compondo o sistema de cobertura. O projeto e a especificação adequada de telhados influenciam nos impactos ambientais da edificação, uma vez que cada material apresenta diferentes emissões embutidas (incorporadas), além da influência no desempenho térmico, que rege a emissão operacional da edificação ao longo de toda sua vida útil.

A literatura científica, baseada na metodologia da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) permite identificar, caso a caso, em quais materiais, processos e/ou etapas do ciclo de vida se concentram as emissões de carbono ao avaliar impactos ambientais relacionados, como o Potencial de Aquecimento Global (GWP). Nesse sentido, a ACV facilita a tomada de decisão projetual, pensando no viés da sustentabilidade, frequentemente avaliando consumo de energia, emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) e esgotamento dos recursos [4].

O sistema de cobertura é uma peça-chave para a promoção do conforto, segurança e eficiência energética das edificações habitacionais. Ele é composto pelo “conjunto de elementos ou componentes, dispostos no topo da construção”, tornando-se essencial para possibilitar a proteção dos demais sistemas contra deterioração decorrente de intempéries naturais, permitindo a maior durabilidade desses elementos [5].

Souza *et al*. [6] compararam telhas cerâmicas e de concreto e demonstram que um m² de telha cerâmica emite cerca de um terço dos GEE de um m² de telha de concreto. Le, Whyte e Biswas [7] compararam coberturas de chapa metálica, telhas de concreto e telhas cerâmicas utilizando a ACV e concluíram que a telha de chapa metálica é mais intensiva em carbono e as telhas de concreto apresentam a maior demanda de energia embutida. Scolaro e Ghisi [8] desenvolveram uma análise que engloba os três fatores

relacionados à sustentabilidade (ambiental, econômica e social) comparando cobertura convencional de fibrocimento, cobertura fria (*cool roof*) de fibrocimento branco (pigmentado de fábrica) e telhado verde (vegetado). O telhado convencional apresentou o pior desempenho em todas as cidades brasileiras da análise (Florianópolis, Curitiba e Brasília), devido à sua menor eficiência nos aspectos ambientais e sociais. Kaitouni *et al*. [9] avaliaram 25 anos de pesquisa sobre o tema, mas considerando a influência das mudanças climáticas, da transformação digital e da transição energética. Percebe-se que pouca atenção foi dada ao sistema completo de telhados que se aprofundem na avaliação de diferentes composições (por exemplo, a nível da trama, como terças, caibros e ripas).

Desta forma, surge um problema em termos de dados existentes para metas de descarbonização de edificações no Brasil, para o sistema de telhados no país, tendo em vista que existem diferentes configurações (com terças, caibros ou ripas), tipos de telhas (cerâmica, concreto, aço, etc.) e opções de montagem. Esta pesquisa serviu de base para o projeto: "Mitigação de CO_2 e Qualidade de Vida nas habitações: MCMV & habitação autogerida", o qual originou a criação da plataforma BIPc (Benchmark Iterativo para Projetos de Baixo Carbono).

A partir do contexto apresentado, esta pesquisa tem como objetivo avaliar a Emissão de Carbono Embutido (CE) de tipologias de telhados mais utilizados no Brasil [10, 11] em edificações residenciais, considerando a área (em m²) do telhado e comprimento (em m) da cumeeira. Os achados desta pesquisa serão importantes para diferentes atores do setor da AECO do país, sendo também uma forma de incentivar a atenção para a quantificação e especificação de sistemas construtivos de menor impacto ambiental, em especial o carbono que tem sido objeto central na agenda nacional e internacional.

MÉTODO

TIPOS DE TELHADOS AVALIADOS

Foram avaliadas 14 opções de telhados conforme dados do Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI), a partir do caderno correspondente aos Telhados e cumeeiras, para as tramas [10] e telhas [11], que são apresentadas nas Tabelas 1, 2, e 3. Foram selecionados os tipos mais empregados em edificações residenciais, de acordo com o próprio SINAPI e do BIPc.

Embora os telhados apresentem desempenhos diferentes do ponto de vista térmico, estanqueidade etc., a comparação é válida por apresentar tipologias usualmente empregadas nessas edificações no Brasil, oferecendo um portfólio de opções para os diferentes atores da AECO.

Tabela 1: Lista das composições de telhados avaliadas.

ID	Tipo de telha (área de telhado e cumeeira/espigão)	Tipo de estrutura (trama)	Composição da estrutura (trama)
1	Cerâmica	Aço	Terças, caibros e ripas
2			Caibros e ripas
3			Ripas
4		Madeira	Terças, caibros e ripas
5			Pontaletes
6	Concreto	Aço	Terças, caibros e ripas
7			Caibros e ripas
8			Ripas
9		Madeira	Terças, caibros e ripas
10			Pontaletes
11	Fibrocimento	Aço	Terças
12		Madeira	Terças
13	Aço	Aço	Terças
14		Madeira	Terças

Fonte: Os autores.

Tabela 2: Quantitativo dos materiais por área de telhado.

ID	Nome do Material/ Produto	Unidade por m²	Quantidade
1	Telha Cerâmica	un	17,749
2	Telha de concreto	un	11,484
3	Telha de fibrocimento (6 mm)	m²	1,316
4	Telha de aço (0,5 mm)	m²	1,166
5	Aço – Trama com terças, caibros e ripa	kg	9,69
6	Aço – Caibros e Ripas	kg	4,58
7	Aço –Ripas	kg	1,97
8	Madeira – Trama com terças, caibros e ripa	m³	0,0142
9	Madeira – Terças	m³	0,0042
10	Madeira –Pontaletes	m³	0,0054

Fonte: Os autores com base em valores médios do SINAPI [10] e [11].

Tabela 3: Quantitativo dos materiais por comprimento de cumeeira.

ID	Nome do Material/ Produto	Unidade por m	Quantidade
1	Telha Cerâmica	un	3,0
2	Telha de concreto	un	3,0
3	Telha de fibrocimento (6 mm)	m²	0,52
4	Telha de aço (0,5 mm)	m²	0,52
5	Argamassa traço 1:2:9 (em volume)	m³	0,0117

Fonte: Os autores com base em valores médios do SINAPI [10] e [11].

CÁLCULO DO CARBONO EMBUTIDO (CE)

O método empregado para o cálculo do CE nesta pesquisa se baseia na ACV com base nas normas ABNT NBR ISO 14040 [12] e ABNT NBR ISO 14044 [13] e na norma europeia EN 15978 [14], específica para avaliação da sustentabilidade na construção. O cálculo do CE é realizado basicamente pela multiplicação dos quantitativos dos materiais componentes do telhado com seus respectivos Fatores de Emissão de Carbono (FE), sendo considerado valores mínimos e máximos.

Para o cálculo dos quantitativos dos materiais foi utilizado o SINAPI a partir do caderno correspondente aos Telhados, para as tramas [10] e telhas [11], considerando valores médios.

Para o cálculo dos FE foi dada prioridade aos dados presentes no Sistema de Informação do Desempenho Ambiental da Construção – Sidac [15] por ser um sistema público e com foco em produtos produzidos no país, além das Declarações Ambientais de Produto (DAPs), conforme é apresentado na Tabela 4. Adicionalmente, o Sidac é um sistema que apresenta um intervalo de valores, contemplando assim a incerteza existente nos dados, resultando em discussões mais robustas e confiáveis.

Tabela 4: Fontes de Emissão Carbono (FE) dos materiais utilizados na modelagem.

ID	Nome do Material/ Produto	Unidade	FE - Min ($kgCO_2/un$)	FE - Max ($kgCO_2/un$)	Fonte
1	Telha Cerâmica francesa	un	0,52	0,93	[16]
2	Telha de concreto	un	0,91	1,14	[6] e calculadora Sidac [16]
3	Telha de fibrocimento (6 mm)	m²	4,11	5,40	Fabricante e calculadora Sidac [16],
4	Telha de aço (0,5 mm)	m²	10,36	18,88	[17], [18], [19] e [20]
5	Estrutura de madeira plantada seca em estufa	m³	19,06	39,15	[16]
6	Estrutura de aço (laminado)	kg	0,55	2,20	[21], [22],
7	Estrutura de aço (galvanizado)	kg	1,07	3,48	[23], [24] [25], [26], - [27], [28] e [29]
8	Argamassa para cumeeira	m³	258,80	317,70	[16]

Fonte: Os autores

Como grande parte dos dados foram retirados do Sidac, foi utilizada como métrica para o CE o "kg de CO_2" e não o "CO_2-eq" (normalmente empregado nas metodologias internacionais), pois é a forma como os dados são apresentados. Para os materiais faltantes (telhas e estrutura de aço), foram utilizados dados de GWP_{fossil} de produção (A1-A3) de Declarações Ambientais de Produtos - DAPs (que apresentam os resultados em "CO_2-eq") sendo ajustados a partir de um fator de correção de 90% (média dos produtos estudados de quanto CO_2 contribui no total dos GEE, CO_2-eq.), obtido do estudo de Lasvaux *et al*. [30] e modelagem utilizando a calculadora do Sidac (para as telhas de concreto e fibrocimento).

Para as telhas de concreto e fibrocimento (6 mm) na modelagem foi utilizado CPII-F com um teor de clínquer de 78% [31]. Em relação a análise para cumeeira/espigão, considerou-se apenas a argamassa para fixação das telhas (caso das cerâmicas e de concreto), pois nos casos dos parafusos e pregos utilizados no assentamento das telhas de fibrocimento e de aço, a sua participação foi menor que 1% em massa.

Como limitação não foi considerado o carbono biogênico contido nos produtos biológicos como a madeira, pelo fato de não existir uma definição clara de como ela deve ser contabilizada nos estudos de ACV principalmente relacionada à incerteza existente no fim de vida destes materiais [32].

RESULTADOS E DISCUSSÃO

ANÁLISE DOS TIPOS E COMBINAÇÕES DE TELHADOS

Na Tabela 5 são identificados o CE mínimo e máximo para os diferentes tipos de telhados, além da mediana desses valores, considerando os tipos de telha e as

possíveis combinações de tramas. Os resultados são apresentados relativos à área de telhado (em m²).

Tabela 5: Carbono Embutido por Área (m²) - CE(A) - dos diferentes tipos de telhados agrupados por tipo de telha.

ID	Nome do Material/ Produto	CE(A) - Min ($kgCO_2/m^2$)	CE(A) - Max ($kgCO_2/m^2$)	CE(A) - Mediana ($kgCO_2/m^2$)
1	Telha Cerâmica	9,5	40,31	16,14
2	Telha de concreto	10,72	36,89	13,82
3	Telha de fibrocimento (6 mm)	5,49	14,40	7,25
4	Telha de aço (0,5 mm)	12,16	29,31	18,04

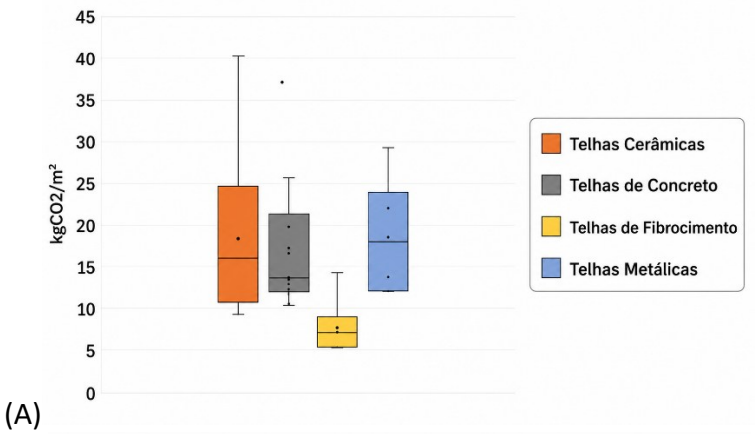
Fonte: Os autores

Percebe-se que os telhados com telhas metálicas são os mais impactantes (tanto para a mediana e valores mínimos) enquanto os de fibrocimento (6 mm) são os menos impactantes (tanto para a mediana e valores máximos e mínimos). É importante ressaltar que apesar das opções de telhados com telhas cerâmicas e de concreto possuírem medianas intermediárias às demais soluções, seus FE máximos apresentam maiores valores de CE(A) (Figura 1A). As opções com estruturas metálicas (Figura 1B) e a composição com terças, caibros e ripas de aço (Figura 1C) foram as mais impactantes para todos os casos. Há uma diferença aproximadamente de 55% entre a mediana com estrutura metálica e de madeira e 47% entre a composição com terças, caibros e ripas e somente com terças de aço. Esses resultados mostram a importância de escolher a opção mais adequada ao projeto para não desperdiçar materiais e promover a desmaterialização e a eficiência dos recursos.

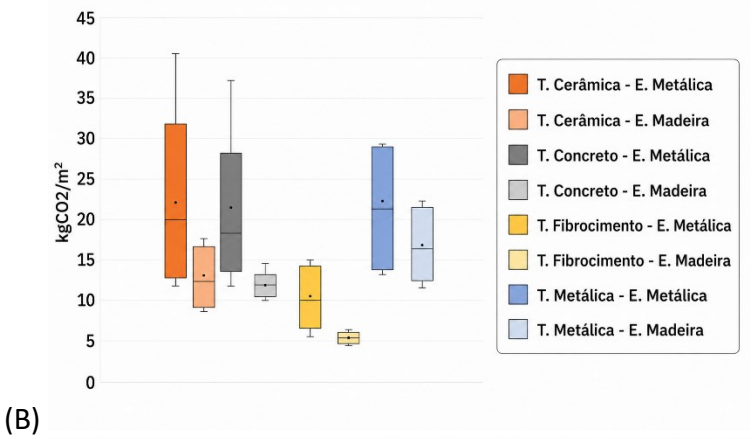
Quando se comparam apenas os valores mínimos e máximos do CE(A), em termos dos FEs, entre o mesmo tipo de telhado, percebe-se uma diferença de até quase 2,6 vezes (telhado com telhas cerâmicas, estrutura de aço com trama de terças, caibros e ripas). A menor diferença encontrada foi de 1,3 vezes (telhado com telhas de concreto, estrutura de madeira e trama com pontaletes). Essa variação entre as faixas mostra como que a incerteza existente no inventário de cada material pode contribuir para uma incerteza global.

De forma geral, as telhas apresentam maior contribuição do que as estruturas, principalmente quando a trama vai ficando mais simples e quando o material é a madeira. Por exemplo, para o caso de uma estrutura de aço somente composta por ripas ou terças, as telhas representam mais de 80% do total de impactos, enquanto para alguns casos chega a 99% (estrutura de madeira com trama de pontaletes). Para os telhados de fibrocimento a estrutura acaba tendo uma maior participação devido ao menor impacto na produção das telhas e pelo fato de a estrutura ser mais simples (não precisar de caibros e ripas).

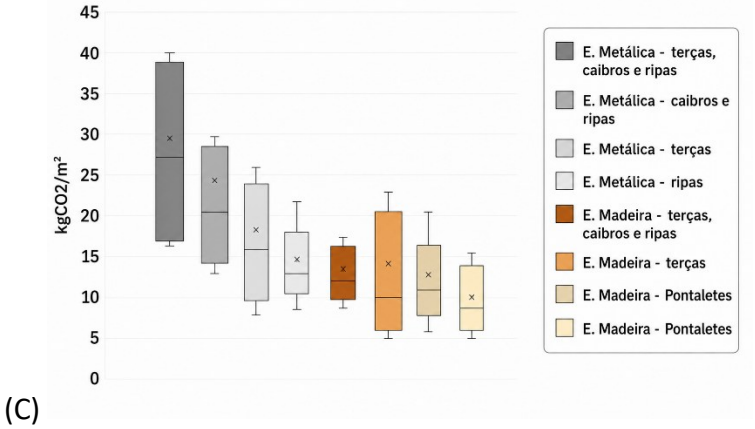
Figura 1: (A) Carbono Embutido por Área (m²) - CE(A) dos diferentes tipos de telhados agrupados por tipo de telha. (B) CE(A) por m² dos diferentes tipos de telhados agrupados por tipo de telha e estrutura da trama. (C) CE(A) por m² dos diferentes tipos de telhados agrupados por tipo de estrutura e composição da trama



(A)



(B)



(C)

Fonte: Os autores.

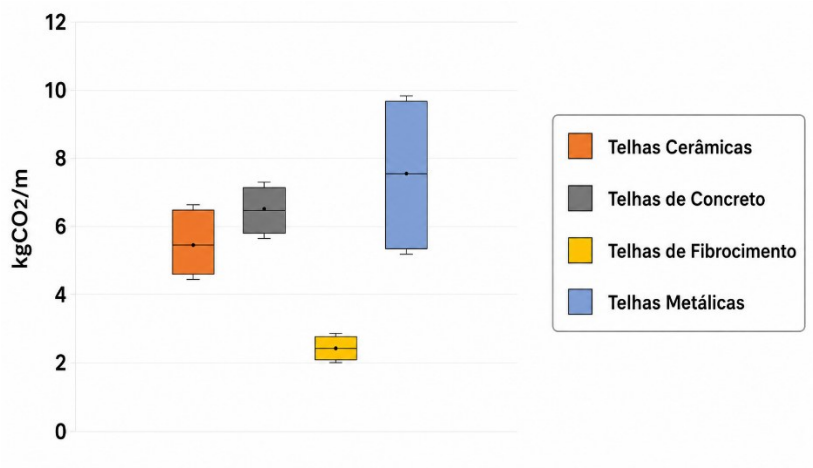
Na Tabela 6, são apresentados os resultados relativos ao CE mínimo e máximo, além da mediana desses valores, considerando comprimento das cumeeiras - CE(C), relacionado ao comprimento da cumeeira/espigão, considerando os FE mínimo e FE máximo e as diferentes opções de telhas e estruturas. Na Figura 2, é apresentado o CE(C).

Tabela 6: Carbono Embutido por Cumeeira (m) - CE(C) - dos diferentes tipos de cumeeira/espigão agrupados por tipo de telha.

ID	Nome do Material/ Produto	CE(C) - Min ($kgCO_2/m^2$)	CE(C) - Max ($kgCO_2/m^2$)	CE(C) - Mediana ($kgCO_2/m^2$)
1	Telha Cerâmica	4,59	6,51	5,55
2	Telha de concreto	5,76	7,14	6,45
3	Telha de fibrocimento (6 mm)	2,14	2,81	2,47
4	Telha de aço (0,5 mm)	5,69	10,36	8,03

Fonte: Os autores

Figura 2: Carbono Embutido por Cumeeira (m) - CE(C) dos diferentes tipos de cumeeiras/espigões agrupados por tipo telha



Fonte: Os autores.

Identificou-se que a argamassa utilizada no assentamento das cumeeiras/espigão das telhas cerâmicas e de concreto apresenta valor significativo (maior que 50%). Na produção de telhas cerâmicas, o processo de maior impacto em termos de emissão de CO_2 é o uso de lenha (não renovável) utilizada na queima das telhas [33]. Para as telhas de concreto e fibrocimento a maior parcela de emissão de CO_2 acontece na produção do cimento Portland e principalmente na produção do clínquer. Para as telhas de aço o processo de maior impacto é a produção do próprio aço, principalmente devido à queima de combustíveis e reações de redução ocorridas nos fornos [34]. Na produção da estrutura de madeira plantada a maior parcela da emissão de CO_2 ocorre na extração da madeira na floresta e parte nos processos de beneficiamento, como aplainamento [35] e na estrutura de aço na redução do minério de ferro para formar o ferro gusa [34].

Quando se compara com a literatura científica no contexto brasileiro, é possível observar que os resultados se encontram na mesma ordem de grandeza e na faixa de outros estudos. Souza *et al.* [6] encontraram os seguintes resultados por m²: para telhados de telhas cerâmicas 2,84 $kgCO_2$-eq/m² e telhas de concreto 10,82 $kgCO_2$-eq/m² (neste estudo foi considerado somente as telhas). Marques, Gomes e Kern [36]

encontraram o valor de 11,92 $kgCO_2$-eq/m² para telhados de fibrocimento (somente as telhas), considerando parte dos dados adaptados à realidade brasileira.

Le, Whyte e Biswas [7] avaliaram telhados com telhas cerâmicas, de concreto e metálicas, e estrutura de madeira, para o contexto da Austrália. Os seguintes resultados foram encontrados: telhas cerâmicas: 42,52 $kgCO_2$-eq/m²; telhas de concreto: 91,82,$kgCO_2$-eq/m²; e telhas de aço: 101,22 $kgCO_2$-eq/m². Para o sistema com telha cerâmica a porcentagem relacionada à estrutura corresponde a aproximadamente 10%, enquanto nos outros dois tipos, a porcentagem é menor ainda, aproximadamente 4,5% para telha de concreto e para telha de aço, cerca de 3,8% apenas.

Taylor *et al.* [37] avaliaram telhados com telhas de fibrocimento, cerâmicas e metálicas no contexto da Nova Zelândia e encontraram emissões de 8,91 $kgCO_2$-eq/m², 61,56 $kgCO_2$-eq/m² e 29,52 $kgCO_2$-eq/m² respectivamente para os três tipos de telha. Durão *et al.* [38] compararam telhados com telhas cerâmicas e de concreto em Portugal, tendo como resultados na etapa de produto os valores de 10,71 $kgCO_2$-eq/m² e 9,72 $kgCO_2$-eq/m² respectivamente, enquanto McLaren *et al*. [39] analisaram telhados de aço e concreto da Nova Zelândia, encontrando os valores de 16,36 kgCO2-eq/m² e 13,66 $kgCO_2$-eq/m² respectivamente.

As diferenças observadas se devem principalmente: (1) a composição e o consumo dos materiais utilizados nos telhados (estrutura e telhas principalmente); (2) os tipos dos materiais utilizados no telhado; (3) o inventário do ciclo de vida considerado; e (4) etapas do ciclo de vida presentes no escopo.

CONCLUSÕES

Foi calculado o Carbono Embutido (CE) de diferentes combinações de telhas (cerâmica, concreto, fibrocimento e metálica), estruturas (madeira e aço) e elementos estruturais (terças, caibros, ripas etc.) utilizados em telhados de habitações brasileiras. Os resultados indicaram que telhados com telhas metálicas e estruturas de aço apresentam os maiores valores de CE, enquanto os sistemas com telhas de fibrocimento (no caso, com 6 mm) são os menos impactantes. Além disso, a escolha entre estruturas mais robustas (compostas por terças, caibros e ripas) ou simplificadas (apenas com ripas) pode resultar em diferenças de até 50%.

A pesquisa amplia o conhecimento sobre as emissões de CE dos principais sistemas de telhados empregados em edificações residenciais no Brasil, fornecendo subsídios para estratégias e políticas de descarbonização do setor AECO.

Como perspectivas futuras, recomenda-se a avaliação de outras etapas do ciclo de vida (por exemplo, a manutenção), a influência do desempenho térmico e das condições climáticas nas emissões operacionais das edificações, bem como de outros indicadores ambientais. Também é importante aprofundar a análise do carbono biogênico em estruturas de madeira e a influência de sua origem (por exemplo, madeira nativa x plantada). A metodologia proposta pode ser aplicada a outras tipologias de cobertura, incluindo telhados com telhas termoacústicas e outros materiais.

AGRADECIMENTOS

Este estudo/pesquisa foi desenvolvido no âmbito do projeto *"Mitigação de CO_2 e Qualidade de Vida nas habitações: MCMV & habitação autogerida"*, com apoio da Caixa Econômica Federal, FDTE e USP. Agradecemos também as bolsas de pesquisa concedidas pelo: CNPq, CAPES e FAPERJ.

DECLARAÇÃO DE NÃO USO DE IA

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

REFERÊNCIAS

[1] GLOBALABC - GLOBAL ALLIANCE FOR BUILDINGS AND CONSTRUCTION; UNEP - UN ENVIRONMENT PROGRAMME**. Global Status Report for Buildings and Construction 2024-2025 - Not just another brick in the wall**. p. 94, 2025. Disponível em: https://wedocs.unep.org/handle/20.500.11822/47214. Acesso em: 29 jul. 2025.

[2] IEA - INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Global Energy Review 2025**. Paris, p. 43, 2025. Disponível em: https://www.iea.org/reports/global-energy-review-2025. Acesso em 29 jul. 2025.

[3] IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua anual - Domicílios e Moradores, por material predominante na cobertura (telhado)**. Disponível em: https://sidra.ibge.gov.br/tabela/6823. Acesso em: 29 jul. 2025.

[4] AGGARWAL, C., MOLLETI, S., GHOBADI, M. A comprehensive review of Life Cycle Assessment (LCA) studies in roofing industry: current trends and future directions. **Smart Cities**, v. 7, n. 5, p. 2781-2801, sep. 2024. Disponível em: https://doi.org/10.3390/smartcities7050108. Acesso em: 10 abr. 2025.

[5] ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575**: Edificações habitacionais - Desempenho. Rio de Janeiro, 2024.

[6] SOUZA, D. M. DE, LAFONTAINE, M., CHARRON-DOUCET, F., BENGOA, X., CHAPPERT, B., DUARTE, F., LIMA, L. Comparative Life Cycle Assessment of ceramic versus concrete roof tiles in the Brazilian context. **Journal of Cleaner Production**, v. 89, p. 165-173, feb. 2015. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.11.029. Acesso em: 15 abr. 2025.

[7] LE, A. B. D., WHYTE, A., BISWAS, W. K. Carbon footprint and embodied energy assessment of roof-covering materials. **Clean Techn Environ Policy**, v. 21, p. 1913-1923, dec. 2019. Disponível em: https://doi.org/10.1007/s10098-018-1629-9. Acesso em: 10 abr. 2025

[8] SCOLARO, T. P., GHISI, E. Life cycle integrated multi-criteria decision model for roof assessment. **Energy and Buildings**, v. 336, jun. 2025. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2025.115628. Acesso em: 20 mar. 2025.

[9] KAITOUNI, S. I., ROMANI, Z., JAMIL, A., AHACHAD, M. Zero carbon urban buildings (ZCUBs) in the era of climate change, digital transformation and energy transition: a scoping review from 2000 to 2024. **Building and Environment**, v. 80, n. 15, p. 113116, 2025. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2025.113116. Acesso em 25 jul. 2025.

[10] CAIXA. SISTEMA NACIONAL DE PESQUISA DE CUSTOS E ÍNDICES DA CONSTRUÇÃO CIVIL – SINAPI. **Caderno técnico de composições estrutura e trama para cobertura.** 2023.

Disponível em:
<https://www.caixa.gov.br/site/Paginas/downloads.aspx#categoria_533>

[11] CAIXA. SISTEMA NACIONAL DE PESQUISA DE CUSTOS E ÍNDICES DA CONSTRUÇÃO CIVIL – SINAPI. **Caderno técnico de composições telhamento para cobertura.** 2024. Disponível em: <https://www.caixa.gov.br/site/Paginas/downloads.aspx#categoria_533>

[12] ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 14040**: Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Princípios e estrutura, 2009.

[13] ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 14044**: Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Requisitos e orientações, 2009.

[14] BRITISH STANDARDS INSTITUTION. **BS EN 15978**: sustainability of construction works: assessment of environmental performance of buildings: calculation method. Brussels, 2019.

[15] BELIZARIO-SILVA, F., Oliveira, L.S., REIS, D. C., PATO, G. T., MARINHO, A. C., DEGANI, C. M., CALDAS, L. R., PUNHAGUI, K. R. G., PACCA, S. A.; JOHN, V.M. The Sidac system: streamlining the assessment of the embodied energy and CO_2 of Brazilian construction products. **Journal of Cleaner Production**, v. 421, n. 1, p. 138461 out 2023. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.138461. Acesso em: 15 mai. 2025.

[16] MME - MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA; CBCS - CONSELHO BRASILEIRO DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL. Sidac – Sistema de Informação do Desempenho Ambiental da Construção. Versão 1.0.0. São Paulo: MME; CBCS, 2022. Disponível em: https://sidac.org.br/. Acesso em: 16 mai. 2026.

[17] THE INTERNATIONAL EPD SYSTEM. 2025c (válida até fev. 2030). Byggprofiler i Tråvad AB – Profiled sheet metal [EPD nº EPD-IES-0019622:001]. Disponível em: <https://www.environdec.com/library/epd19622>. Acesso em: jun. 2025.

[18] THE INTERNATIONAL EPD SYSTEM. 2024a (válida até jan. 2029). JUAL A/S – Galvanised steel building profile [EPD nº S-P-12084]. Disponível em: <https://www.environdec.com/library/epd12084>. Acesso em: jun. 2025.

[19] THE INTERNATIONAL EPD SYSTEM. 2024b (válida até out. 2029). Ternium Coating Steel Products (Galvanized and Painted) [EPD nº S-P-01428]. Disponível em: <https://www.environdec.com/library/epd1428>. Acesso em: jun. 2025.

[20] THE INTERNATIONAL EPD SYSTEM. 2023b (válida até ago. 2028). SANDRINI METALLI SPA – Trapezoidal, Corrugated and Standing Seam Steel Sheets for Roofing and Cladding [EPD nº S-P-10176]. Disponível em: <https://www.environdec.com/library/epd10176>. Acesso em: jun. 2025.

[21] THE INSTITUT BAUEN UND UMWELT E.V. 2025a (válida até abr. 2030). Welser Profile GmbH – Welser profiles made of hot-rolled steel [EPD nº EPD-WLP-20250158-IBA1-EN]. Disponível em: <https://ibu-epd.com/en/published-epds/>. Acesso em: jun. 2025.

[22] Instytut Techniki Budowlanej. 2022 (válida até out. 2027). Walcownie Ostrowieckie WOST S.A. – Hot rolled steel profiles [EPD nº 360/2022]. Disponível em: <https://www.itb.pl/wp-content/uploads/2024/10/ITB-EPD_360_Walcownie-Ostrowieckie-WOST-S.A.-Hot-rolled-steel-profiles_2024_v4.pdf>. Acesso em: jun. 2025.

[23] EPD HUB. 2025 (válida até jun. 2030). Etex – Siniat Green Steel Metal Profiles thickness 0.5mm (RX) to 0.8mm (W) [EPD nº HUB-3433]. Disponível em: <https://manage.epdhub.com/declarations/metal-based-products/etex-building-performance-limited/4359/siniat-green-steel-metal-profiles-thickness-05mm-rx-to-08mm-w/>. Acesso em: jun. 2025.

[24] EPD HUB. 2023 (válida até nov. 2028). Hadley Group Plc – Hot Dip Galvanised Steel Profile [EPD nº HUB-0863]. Disponível em: <https://manage.epdhub.com/declarations/any-other-construction-product/hadley-group/994/hot-dip-galvanised-steel-profile/>. Acesso em: jun. 2025.

[25] THE INSTITUT BAUEN UND UMWELT E.V. 2025b (válida até abr. 2030). Welser Profile GmbH – Welser profiles made of galvanized steel [EPD nº EPD-WLP-20250160-IBA1-EN]. Disponível em: <https://ibu-epd.com/en/published-epds/>. Acesso em: jun. 2025.

[26] THE INTERNATIONAL EPD SYSTEM. 2025a (válida até abr. 2030). METALSTAMPI S.r.l. – Steel Profiles Plasterboard Structures C-U Sections [EPD nº EPD-IES-0020269:002]. Disponível em: <https://www.environdec.com/library/epd20269>. Acesso em: jun. 2025.

[27] THE INTERNATIONAL EPD SYSTEM. 2025b (válida até fev. 2030). SHIN YANG STEEL CO., LTD – Hot-dip galvanized steel pipe [EPD nº EPD-IES-0019895:001]. Disponível em: <https://www.environdec.com/library/epd19895>. Acesso em: jun. 2025.

[28] THE INTERNATIONAL EPD SYSTEM. 2023a (válida até dez. 2028). Ahlsell AB – Galvanised Steel Pipes, a-collection [EPD nº S-P-11008]. Disponível em: <https://www.environdec.com/library/epd11008>. Acesso em: jun. 2025.

[29] THE INTERNATIONAL EPD SYSTEM. 2021 (válida até out. 2026). AD BARBIERI S.A. – Galvanized steel profiles Steel Frame [EPD nº S-P-05012]. Disponível em: <https://www.environdec.com/library/epd5012>. Acesso em: jun. 2025.

[30] LASVAUX, S., SCHIOPU, N., HABERT, G., Chevalier, J., PEUPORTIER, B. Influence of simplification of life cycle inventories on the accuracy of impact assessment: application to construction products. **Journal of Cleaner Production**, v. 79, n. 15, p. 142-151, 2014. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652614005885. Acesso em 25 jul. 2025.

[31] BELIZARIO-SILVA, F., OLIVEIRA, L. A., JOHN, V. M. **Relatório de coleta de dados para o Sistema de Informação do Desempenho Ambiental da Construção: cimento.** São Paulo: SIDAC, 2022b. Disponível em: https://sidac.org.br/documentos/Sidac_Cimento.pdf. Acesso em: 15 mai. 2025.

[32] HOXHA, E., PASSER, A., SAADE, M. R. M., TRIGAUX, D., SHUTTLEWORTH, A., PITTAU, F., ALLACKER, K., HABERT, G. Biogenic carbon in buildings: a critical overview of LCA methods. **Buildings and Cities**, v. 1, n.1, p. 504–524, 2020. DOI: https://doi.org/10.5334/bc.46. Acesso em: 25 ago. 2025.

[33] CLETO, F. R., VON MÜHLEN, J. F., BELIZARIO-SILVA, F. **Relatório de coleta de dados para o Sistema de Informação do Desempenho Ambiental da Construção: blocos e telhas cerâmicos.** São Paulo: SIDAC, 2022. Disponível em: https://sidac.org.br/documentos/Sidac_Blocos_e_telhas_ceramicos.pdf. Acesso em: 07 jul. 2025.

[34] LEÃO, A. S., TAVARES, A. C., MARANDUBA, H. L., ALMEIDA, E. S. Avaliação ambiental da produção de ferro gusa: revisão sistemática da literatura, bibliometria e patentes. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, v. 7, n.16, p. 905-936, 2020. Disponível em: https://doi.org/10.21438/rbgas(2020)071629. Acesso em: 10 ago. 2025

[35] OLIVEIRA, C. G., FISCHER, A. C., SANCHOTENE, C. Y. S., TAVARES, S. F., PUNHAGUI, K. R. G. **Relatório de coleta de dados para o Sistema de Informação do Desempenho Ambiental da Construção: toras de madeira, madeira serrada bruta e madeira serrada aplainada.** São Paulo: Sidac, 2022. Disponível em: https://sidac.org.br/documentos/Sidac_Madeira.pdf. Acesso em: 07 jul. 2025.

[36] MARQUES, V. M., GOMES, L. P., KERN, A. P. Avaliação ambiental do ciclo de vida de telhas de fibrocimento com fibras de amianto ou com fibras de polipropileno. **Ambiente Construído**, v. 16, n. 1, p. 187-201, jan.-mar. 2016. Disponível em: https://doi.org/10.1590/s1678-86212016000100068. Acesso em: 15 abr. 2025.

[37] TAYLOR, C., ROY, K., DANI, A. A., LIM, J. B. P., SILVA, K. de. Delivering sustainable housing through material choice. **Sustainability**, v. 15, n. 4, feb. 2023. Disponível em: https://doi.org/10.3390/su15043331. Acesso em: 27 jul. 2025.

[38] DURÃO, J., SILVESTRE, J. D., MATEUS, R., BRITO, J. de. Comparative assessment of roof tiles' environmental performance from cradle to cradle. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**, v. 1363, jun. 2024. Disponível em: https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/1363/1/012027. Acesso em 25 jul. 2025.

[39] MCLAREN, S. J., ELLIOT, T., DOWDELL, D., WAKELIN, S., KOUCHAKI-PENCHAH, H., LEVASSEUR, A., HOXHA, E. Policy implications of time-differentiated climate change analysis in life cycle assessment of building elements in Aotearoa New Zealand. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 30, p. 811-833, march 2025. Disponível em: https://doi.org/10.1007/s11367-025-02444-9. Acesso em: 27 jul. 2025