ENTAC 2024
XX ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO
Maceió, Brasil, 9 a 11 de outubro de 2024

Energia e carbono em edificações: uso da ferramenta SIDAC

Energy and carbon in buildings: using the SIDAC tool

Igor Catão Martins Vaz
Universidade Federal de Santa Catarina |Florianópolis | Brasil | igorcmvaz@gmail.com
Jéssica Aldrighi Bertinetti
Florianópolis | Brasil | jessicabertinetti@gmail.com
Enedir Ghisi
Universidade Federal de Santa Catarina | Florianópolis | Brasil | enedir.ghisi@ufsc.br

Resumo

O contexto da sustentabilidade na construção está em foco em várias áreas, com a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) como principal ferramenta, objetivando a abordagem holística. O SIDAC (Sistema de Informação do Desempenho Ambiental da Construção), baseado na ACV, simplifica dados ambientais da construção civil no Brasil. Objetiva-se compreender como a aplicação desta ferramenta auxilia na sustentabilidade de edificações residenciais unifamiliares. Utilizaram-se os dados do SIDAC para avaliação de três modelos de residências. Como principal resultado percebe-se a diferença entre emissão de carbono e demanda de energia primária entre os padrões de edificação. Para a análise por área e vida útil, a edificação de alto padrão foi a de menor impacto. Porém, avaliando o impacto por morador ou o impacto total da edificação, o baixo padrão foi o de menor impacto. Dessa forma, mostra-se como o SIDAC pode auxiliar em discussões acerca do impacto das edificações, bem como dos materiais de maior relevância ambiental. O SIDAC apresenta-se como uma iniciativa de alto potencial para a sustentabilidade do ambiente construído.

Palavras-chave: Casas. Carbono. Energia embutida. Sustentabilidade.

Abstract

The context of sustainability in construction focuses on various areas, with Life Cycle Assessment (LCA) as the main tool, aiming for a holistic approach. SIDAC (Sistema de Informação do Desempenho Ambiental da Construção), based on LCA, simplifies environmental data for civil construction in Brazil. This study aims to show how the application of this tool helps with the sustainability of single-family buildings. SIDAC data were used to evaluate three models of single-family homes. The main result was the difference in carbon emissions and primary energy demand between the building models. The high-standard building had the lowest impact according to floor-plan area and useful life. However, when assessing the impact per resident or the total impact of the building, the low standard had the lowest impact. This analysis shows how SIDAC can help in discussions about the impact of buildings and the most environmentally relevant materials. SIDAC is a high-potential initiative for the sustainability of the built environment.

Keywords: *Houses. Carbon. Embedded energy. Sustainability*.

Como citar:
Vaz, I.C.M.; Bertinetti, J.A.; Ghisi, E. Energia e carbono em edificações: uso da ferramenta SIDAC. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 20., 2024, Maceió. **Anais**... Maceió: ANTAC, 2024.

INTRODUÇÃO

O impacto antrópico sobre o planeta e o consequente aquecimento global é consenso entre cientistas de diferentes esferas do conhecimento [1]. O aumento da quantidade de carbono na atmosfera está correlacionado com o aumento da temperatura e, portanto, realizam-se esforços internacionalmente para diminuir a quantidade de carbono emitido. As edificações não são exceção, sendo escopo de diversos países como meio de redução da quantidade de carbono incorporado [2].

Como exemplo, o Anexo 72 da Agência Internacional de Energia (*IEA*) [2] teve como objetivo reunir diversos países no intuito de compreender o ciclo de vida de edificações e consequentes parcelas de carbono referentes a esse sistema. Como resultado, foram obtidos o *benchmark* de carbono (CO_2) embutido em edificações e diretrizes para realização da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV).

De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) [3], espera-se um crescimento no número de cidadãos de até 15%, chegando ao total de 233,5 milhões de habitantes próximo à primeira metade do século XXI. Analogamente, o número de residências para abrigar a população das próximas décadas também deve crescer. No censo do IBGE de 2022, observou-se crescimento de 34,24% no número de domicílios em relação ao censo de 2010, com a construção de aproximadamente 23 milhões de novas unidades privativas. Esse acréscimo também acompanha a diminuição na taxa de habitantes por domicílio (2,79), com alto número de domicílios desocupados (11,4 milhões ou 12%).

Desta forma, é importante que a sustentabilidade e a eficiência de edificações brasileiras sejam de escopo governamental, acadêmico e privado. Iniciativas para avaliar [4] e melhorar [5] a eficiência energética de edificações são exemplos de medidas de intervenção governamental que objetivaram otimizar o estoque de edificações nas últimas décadas. Porém, iniciativas similares no âmbito de ACV e de baixo impacto ambiental não obtiveram a mesma adesão devido às dificuldades de compreender os diferentes sistemas envolvidos e obter dados locais com transparência.

Todavia, nas últimas décadas, novas ferramentas foram lançadas com base em ACV e com intuito de potencializar a avaliação ambiental e garantir baixo impacto de edificações a serem construídas ou renovadas. O CeCarbon [6], lançado pelo Sinduscon-SP, é um exemplo de ferramenta baseada nas primeiras fases do ciclo de vida de edificações que visa avaliar carbono e energia consumidos. O intuito da ferramenta é simplificar a avaliação ambiental de edificações por meio de uma calculadora de fácil utilização com itens presentes na realidade do mercado. Desse modo, pode-se mais facilmente garantir a aderência das construtoras e futuramente obter *benchmarks* do impacto da construção civil no país.

Outra ferramenta é o Sistema de Informação do Desempenho Ambiental da Construção (SIDAC) [7]. O sistema conta com os principais materiais de construção civil e tem o objetivo de "*ser uma ferramenta de suporte à decisão para melhorar o desempenho ambiental da cadeia de valor da construção brasileira*" [8]. Dessa forma, referências brasileiras são utilizadas em conjunto com uma metodologia baseada em ACV, almejando trazer transparência aos impactos ambientais estimados. Há também

o intuito de criar uma comunidade com profissionais, pesquisadores e empresas para amplificar o potencial da ferramenta e incluir mais dados e produtos.

Esta pesquisa apresenta uma avaliação ambiental, por meio do uso da ferramenta SIDAC, de três residências térreas com projeto e composições de serviços da Caixa Econômica Federal (CEF) [9–11]. Deste modo, pode-se testar os dados incluídos na ferramenta e compará-los com outros estudos nacionais que objetivaram calcular a demanda de energia primária e emissão de CO_2 de residências térreas.

MÉTODO

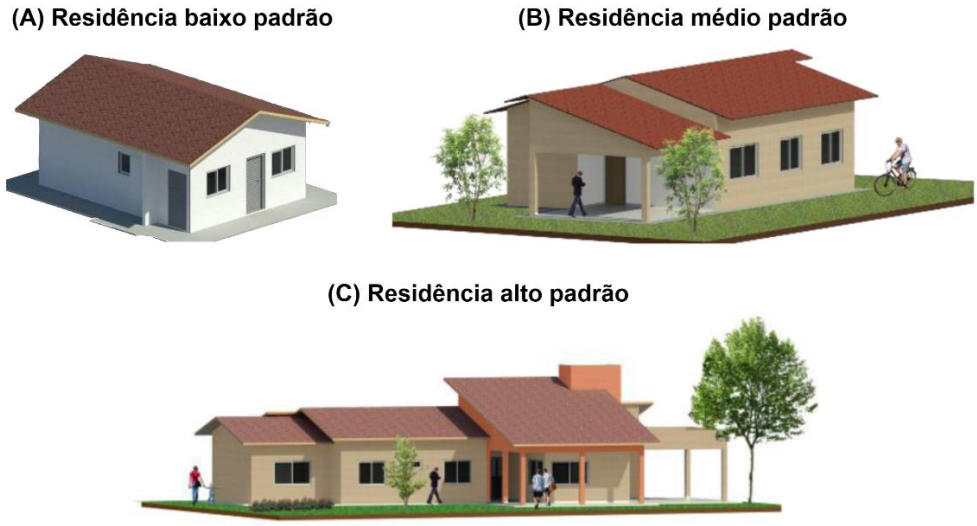
Primeiramente foram definidos os objetos de estudo considerados, com os detalhes construtivos. Em seguida foram avaliados os materiais disponíveis no SIDAC e a correlação com os dados dos objetos de estudo. Os inventários foram avaliados em comparação com a literatura e diferentes unidades funcionais.

OBJETOS DE ESTUDO

Foram selecionadas três edificações térreas brasileiras com projetos desenvolvidos de acordo com a NBR 12721:2006 [12] e disponibilizados pela CEF. Os projetos são utilizados como exemplo para demonstrativo das composições do Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI), e possuem índices de materiais, serviços e custos. Os três projetos são relativos às categorias de baixo, médio e alto padrão com diferenças em características construtivas e área total. A Figura 1 mostra os projetos para as três categorias.

A Tabela 1 mostra os processos levantados de acordo com as composições do SINAPI, separando-os por materiais que permitem a realização da pesquisa. Os materiais foram selecionados de modo a representar os processos existentes no SIDAC. O escopo de avaliação contempla somente os materiais utilizados na construção da edificação, conforme metodologia do SIDAC. Não foi averiguado o impacto do transporte dos materiais.

Figura 1 – Modelos de referência utilizados



Fonte: CEF [9-11]

Tabela 1 – Processos de construção dos objetos de estudo

Processo	Materiais	SIDAC[1]
Armação de estruturas	Aço estrutural	Sim
Vidros	Vidro	Não
Esquadrias de aço	Aço	Não
Esquadrias de alumínio	Alumínio	Não
Esquadrias de madeira	Madeira	Sim
Alvenaria de vedação (bloco 9x19x19)	Bloco cerâmico	Sim
Argamassa, emboço e massa única	Argamassa	Sim
Contrapiso	Argamassa	Sim
Cumeeira, impermeabilização e chumbamentos	Argamassa	Sim
Lastro de brita	Brita	Sim
Lastro de concreto magro	Concreto	Sim
Chapisco	Argamassa	Sim
Materiais para instalação elétrica	PVC, cobre e outros	Não
Concretagem de infraestrutura	Concreto	Sim
Concretagem de superestrutura	Concreto	Sim
Concretagem vergas e contravergas	Concreto	Sim
Formas em madeira	Madeira	Sim
Impermeabilização com emulsão asfáltica	Emulsão asfáltica	Não
Materiais para iluminação	Luminária	Não
Tubos, conexões, registros e aparelhos sanitários	PVC, cerâmica e latão	Não
Trama estrutural para telhados	Madeira	Sim
Pintura e acabamentos	Tinta, cerâmica e outros	Não
Telhamento	Telhas cerâmicas	Sim

[1] contempla a presença de um dos materiais no SIDAC.

MATERIAIS CONSIDERADOS NO SIDAC

Conforme justificativa do SIDAC, e observável nas composições dos objetos de estudo, os principais materiais para a construção de residências unifamiliares constam no banco de dados atual da ferramenta. [13] avaliaram os principais materiais a serem considerados para ACVs de edificações, e indicam que doze insumos devem ser avaliados detalhadamente para a composição do perfil ambiental. Destes, dez constam no SIDAC, com exceção dos componentes para instalações elétricas e hidráulicas, conforme apresentado na Tabela 1. Porém, espera-se que o impacto em relação às emissões de carbono e à demanda de energia primária seja inferior a 10%.

De toda forma, os outros dez materiais identificados por [13] são: cimento, blocos cerâmicos, aço estrutural, tábuas de madeira serrada, madeira compensada, estrutura metálica, toras de madeira, telhas cerâmicas, cal hidratada e argamassa adesiva. Com exceção de estrutura metálica e cal hidratada, todos os demais materiais foram quantificados nos objetos de estudo e correlacionados com as respectivas modelagens do SIDAC. Para brita, alvenaria e aço estrutural, o modelo genérico foi utilizado. Para concreto e argamassa foram caracterizados as resistências mecânicas e os traços, respectivamente. Para a telha, foi considerada a paulista para baixo e médio padrão e a francesa para alto padrão. Fez-se a análise do impacto, emissão de carbono e demanda de energia, por material, de modo a avaliar os materiais e indicadores disponibilizados no SIDAC.

UNIDADES FUNCIONAIS

A unidade funcional descreve uma quantificação para comparação, para a qual tem-se a mesma funcionalidade do objeto. Por exemplo, dentro de ACVs de edificações tem-se a indicação de utilizar três unidades funcionais: área, tempo e uso [14]. Assim, foram consideradas as seguintes unidades funcionais:

- Edificação global – impacto de toda a edificação nos 50 anos de vida útil;
- Área e vida útil – impacto por m² e ano;
- Ocupação e vida útil – impacto por pessoa e ano.

Em análise similar à de [14], espera-se compreender a perspectiva unificada, com a edificação como unidade funcional, e a unitária, com os parâmetros área, ocupação e vida útil. Pode-se, desta forma, justificar impacto maior por área, por exemplo, desde que a edificação possa atender mais habitantes e garantir impacto menor para a funcionalidade.

VARIAÇÃO DA MADEIRA NO SIDAC

Percebe-se também que a madeira é um item com diferentes representações no SIDAC. São doze opções de madeira, variando em três tipos e quatro fontes. Os tipos são Madeira Serrada Aplainada (MSA), Madeira Serrada Bruta (MSB) e tora. A principal característica para definição é o padrão de acabamento e durabilidade de acordo com o uso. As fontes variam entre madeiras com selo do *Forest Stewardship Council* (*FSC*), origem com manejo florestal, sem manejo florestal e madeiras provindas de florestas de pinus. Além das doze opções, há também a variação de tora de eucalipto, utilizada como escora e elemento estrutural de construções.

Desta forma, optou-se por utilizar a fonte mais sustentável de madeira *FSC* nas análises por unidade funcional. Porém, também foram utilizadas as demais fontes para compreender o impacto de emissão de carbono e demanda de energia primária. Foram refeitos os cálculos com as fontes “com manejo”, “sem manejo” e “pinus” de modo a debater o impacto desta escolha.

COMPARATIVO COM A LITERATURA

Por fim, foi também utilizada a literatura para comparação dos resultados obtidos. Objetiva-se validar os resultados, bem como compreender as possíveis melhorias para a ferramenta.

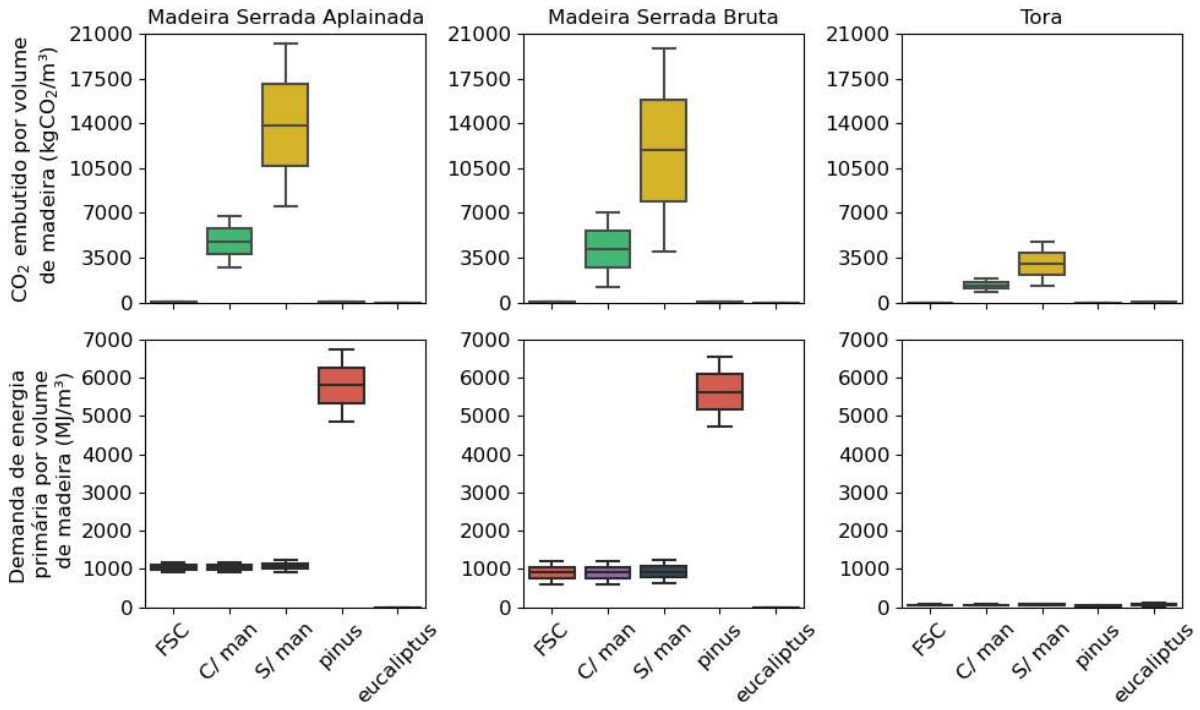
RESULTADOS

IMPACTO DOS MATERIAIS

A Figura 2 mostra as variações de CO_2 e energia incorporada por tipo e fonte de madeira. A Figura 3 mostra o impacto de CO_2 por material, considerando todas as caracterizações existentes no objeto de estudo. Para madeiras, foi considerada a fonte certificada pelo *FSC*.

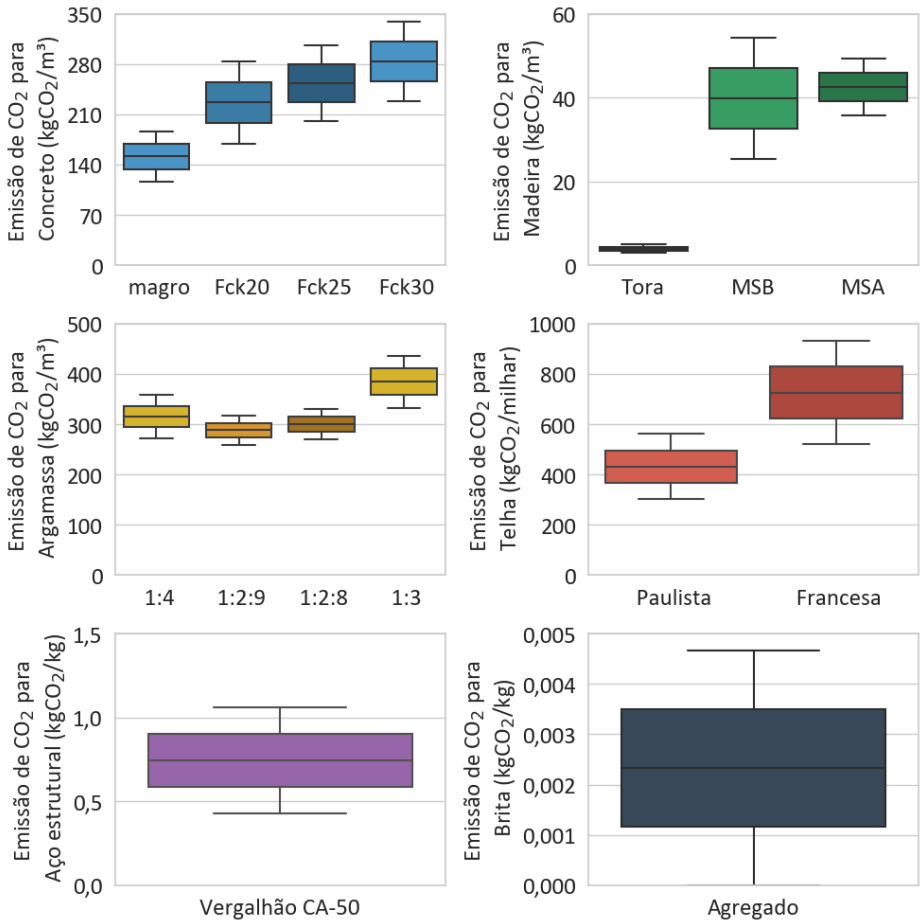
Percebe-se como o SIDAC, baseando-se em diversos artigos e no trabalho de [15], apresenta valores divergentes entre madeiras *FSC* e pinus com as opções com ou sem manejo florestal. Esta, em madeira serrada bruta, apresenta 366 vezes o impacto relativo ao semelhante em madeira *FSC*. Justifica-se esta diferença no relatório de coleta de dados do SIDAC, no qual madeiras *FSC* apresentam menor impacto através da renovação das florestas e reuso dos resíduos obtidos. Demonstra-se, portanto, o interesse em utilizar madeiras com fonte limpa e de procedência rastreável.

Figura 2 – Tipos e fontes de madeira para construção civil de acordo com SIDAC



Legenda: *"FSC" denota madeira com selo do Forest Stewardship Council; "C/ man" denota madeira com manejo florestal; "S/ man" denota madeira sem manejo florestal; "Pinus" e "Eucaliptus" denotam madeiras de florestas das respectivas espécies.* ***Observação:*** *Para madeiras FSC, pinus e eucaliptos, a emissão de CO_2 variou entre 19,1 e 49,3 $kgCO_2/m^3$ em MSA, 16,7 e 54,2 $kgCO_2/m^3$ em MSB e 1,3 e 5,0 $kgCO_2/m^3$ em tora. Para demanda de energia, a tora varia entre 20,4 e 121,5 MJ/m^3.*

Figura 3 – Emissão de carbono por unidade de material



IMPACTO POR MATERIAL

O percentual relativo a cada material foi obtido de modo a compreender os itens de maior relevância em emissão de carbono e em demanda de energia primária. A Figura 4 mostra a emissão de carbono referente a cada material, para os três objetos avaliados, e a Figura 5 mostra a demanda de energia primária. A Tabela 2 mostra o inventário para cada objeto de estudo. Para as três análises, foi utilizado o valor médio de emissão e demanda.

Figura 4 – Percentual de emissão de carbono por material nos objetos de estudo

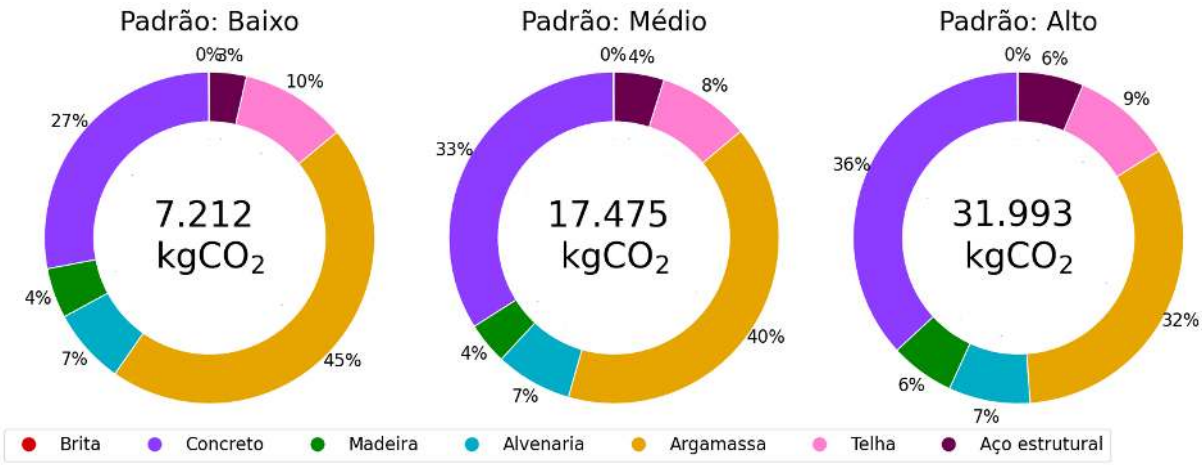


Figura 5 – Percentual de demanda de energia primária por material nos objetos de estudo

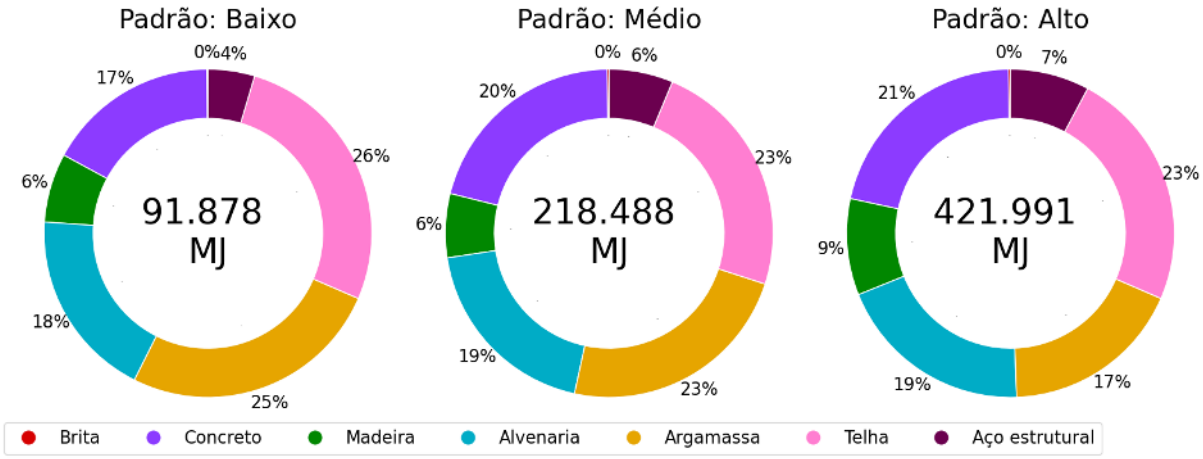


Tabela 2 – Inventário de material nos objetos de estudo

Material	Tipo	Unidade	Padrão		
			Baixo	Médio	Alto
Brita	-	kg	2.610,00	8.226,00	14.589,00
Concreto	Magro	m³	2,10	6,24	1,01
	FCK 20	m³	2,84	3,30	5,80
	FCK 25	m³	1,91	9,65	30,84
	FCK 30	m³	2,00	6,29	8,78
Madeira	Tora	m³	63,38	99,02	209,61
	Serrada Bruta	m³	2,45	6,02	27,44
	Serrada Aplainada	m³	0,15	2,15	2,47
Alvenaria	Bloco cerâmico	Unidade	2.350	5.736	11.204
Argamassa	Traço 1:4	m³	2,09	4,55	12,02
	Traço 1:2:8	m³	0,16	0,27	0,17
	Traço 1:2:9	m³	6,75	13,84	11,75
	Traço 1:3	m³	1,47	3,70	8,05
Telha	Paulista	Unidade	1.740	3.648	0
	Francesa	Unidade	0	0	4308
Aço Estrutural	CA-50 e CA-60	kg	349,07	1142,39	2744,17

Percebe-se que os materiais cimentícios (argamassa e concreto) são os de maior relevância para os impactos de carbono da edificação. Não obstante, inúmeras iniciativas têm objetivado diminuir a quantidade de cimento, por meio da substituição por outros materiais menos impactantes. Em sequência estão os materiais cerâmicos, com telhas e blocos de alvenaria, respectivamente. Madeira, aço estrutural e brita aparecem por último, somando de 10 a 16% do impacto da edificação.

Energeticamente, há equilíbrio entre os materiais cerâmicos e cimentícios. O concreto e a argamassa somados representam 38% a 43% da demanda de energia primária da edificação, enquanto telhas e blocos cerâmicos somam 42% a 48%. Os demais materiais, madeira, aço e brita, completam os 100% de impacto. Percebe-se haver necessidade de diminuir a quantidade de material cimentício, por possuir a maior quantidade de emissão de CO_2 e demanda energética.

IMPACTO POR PADRÃO E ÁREA

O impacto por padrão de edificação também se mostra interessante, de modo a compreender similaridades entre as diferentes unidades funcionais. Como exemplo, nas Figuras 4 e 5 são apresentados CO_2 e energia primária necessários para a construção dos objetos de estudo. Utilizando a edificação de baixo padrão como valor de referência, há acréscimo de 153% e 144% para emissões de CO_2 e demanda de energia primária no objeto de médio padrão, e de 363% e 370% para o de alto padrão.

Porém, é importante ressaltar que estas edificações possuem diferentes escopos de composição, com diferentes entregas funcionais. Por exemplo, edificações de médio e alto padrão possuem áreas maiores. Dessa forma, é interessante saber outras unidades de comparação mais específicas que o impacto global da construção da edificação. As Figuras 6 e 7 mostram o impacto das três edificações separadas por material e avaliadas em impacto por pessoa.ano e impacto por m².ano. Para ambas, considerou-se vida útil de 50 anos, conforme estudos brasileiros. As áreas construídas das edificações de baixo, médio e alto padrão são 43, 100 e 219 m², respectivamente, e o número de moradores é de três, quatro e seis pessoas.

Figura 6 – Emissão de carbono e demanda de energia primária por pessoa.ano

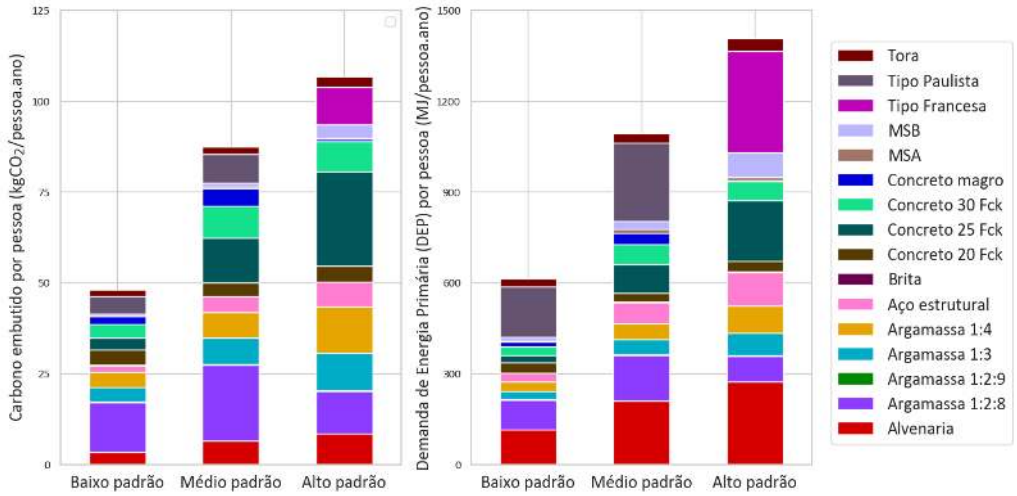
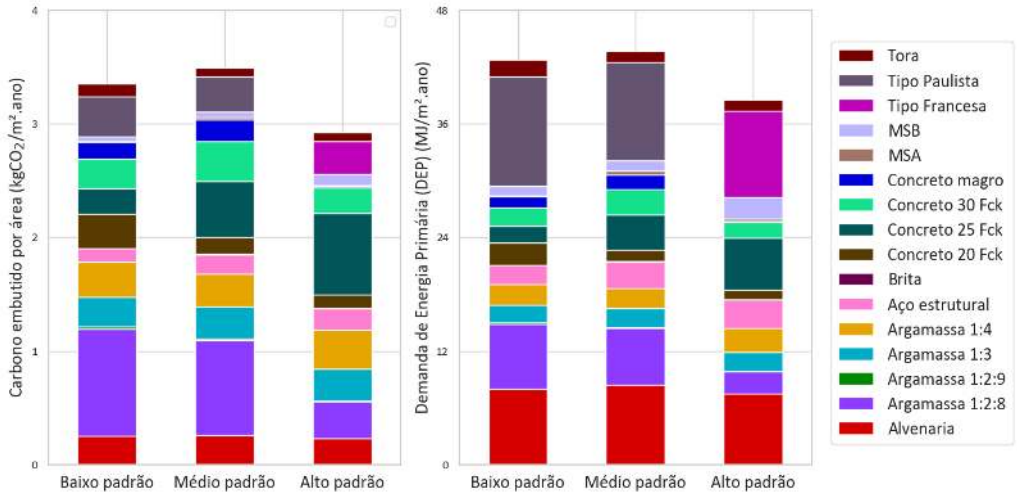


Figura 7 – Emissão de carbono e demanda de energia primária por m².ano

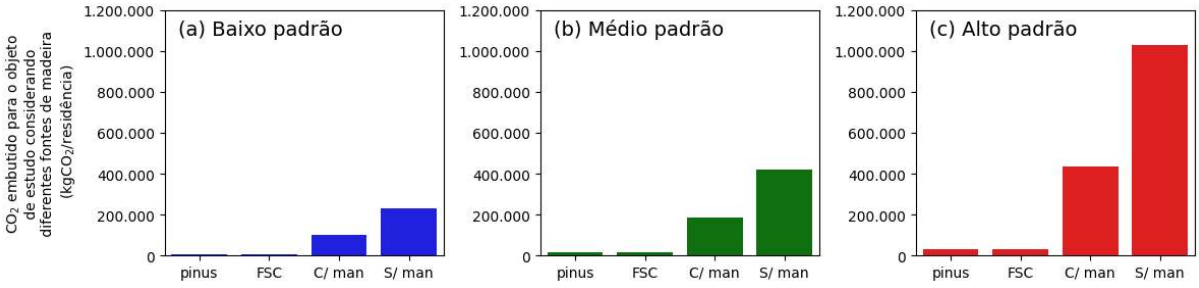


É interessante observar que ambas as unidades funcionais levam a narrativas divergentes. Caso analisada por área, a edificação de alto padrão indica a emissão de carbono otimizada, correlacionada ao menor consumo de material por m². Porém, ao analisar o impacto relacionado ao número de pessoas residentes (excluindo dependências de empregados), tem-se o baixo padrão como o objeto de estudo mais otimizado para redução de carbono e demanda de energia primária. Ou seja, deve-se atentar para a narrativa produzida e utilizar a unidade funcional mais abrangente, conforme indicado por [14].

INFLUÊNCIA DA FONTE DE MADEIRA

Conforme as fontes e tipos de madeira, faz-se interessante analisar o impacto de diferentes escolhas construtivas nos resultados. A Figura 8 mostra a variação dos impactos nos três objetos de estudo, considerando as fontes *FSC*, com manejo florestal, sem manejo florestal e pinus. Percebe-se que existe tendência de aumento linear entre os padrões do objeto de estudo, uma vez que o inventário de madeira apresenta proporcionalidade em relação aos projetos. Por exemplo, a maior área do alto padrão gera um telhado maior que exige mais madeira. Similarmente, as estruturas de concreto armado são mais volumosas e requerem maiores formas, também contribuindo para o volume.

Figura 8 – Emissão de carbono dos objetos de estudo de acordo com a fonte de madeira



Contudo, o aumento entre padrões é muito inferior ao aumento ocasionado na emissão de carbono e na demanda de energia primária pela fonte de material. Entende-se, pelos estudos que embasam o SIDAC, que o uso de madeiras com fontes não-renováveis ou de desmatamento são muito mais deletérias ao meio ambiente do que o volume de madeira. Esta discussão corrobora a recente literatura internacional, que indica calcular o indicador de potencial de aquecimento global (*GWP*) em ACVs com a caracterização da fonte. Por exemplo, o indicador *GWP-LULUC* (*global warming potential - land use and land use change)* está incluído na nova versão da norma europeia de ACV em edificações (EN15978) como necessário para compreender a interferência de ambientes construídos no manejo de solo local [16].

Em resumo, ao utilizar madeiras sem manejo florestal, a edificação passa de impacto médio de 2,8 a 3,4 para 84 a 107 $kgCO_2/m^2$.ano. Ou seja, há necessidade primária de garantir a rastreabilidade e a origem da madeira utilizada para a sustentabilidade de edificações. Posteriormente, outras possibilidades de otimização de impactos, como a incorporação de cimentos menos emissores e de processos com maior eficiência energética, devem ser avaliadas.

COMPARAÇÃO COM A LITERATURA

Por fim, a comparação com a literatura é importante para verificar possíveis pontos de melhoria para o SIDAC, bem como validar os resultados obtidos. Para a edificação térrea de alvenaria de tijolos cerâmicos e estrutura de concreto armado, [17] obtiveram impacto de 380 $kgCO_{2\text{-}eq}/m^2$. Como diferença, os autores incluíram o transporte dos materiais, contribuindo com 11 $kgCO_{2\text{-}eq}/m^2$, bem como instalações, pintura, vidros e outros elementos metálicos. Estes materiais não estão incluídos no SIDAC, e representaram aproximadamente 30% da emissão de carbono da edificação. Uma distinção de suma importância consta na abordagem de quantificação de carbono. [17] avaliaram os sistemas por meio do cálculo de emissões de CO_2-equivalente (CO_2-eq), em contraste com o SIDAC, que se limita às emissões de CO_2. Esse enfoque diferenciado implica na consideração e incorporação de outros gases de efeito estufa, resultando em uma avaliação mais abrangente das emissões de carbono equivalentes do sistema em estudo.

Outros estudos que obtiveram valores próximos ao encontrado nesta pesquisa (150 $kgCO_2/m^2$ e 2000 MJ/m^2) incluem [18], com aproximadamente 150 $kgCO_{2\text{-}eq}/m^2$, e [19], com 179 $kgCO_{2\text{-}eq}/m^2$. É importante ressaltar que existem diferenças metodológicas e de escopo, principalmente relacionadas ao uso de carbono equivalente, porém servindo de comparação para a escala de unidade para a quantidade de carbono emitido na construção da edificação.

CONCLUSÕES

Neste estudo foi utilizada a ferramenta SIDAC para avaliação de três edificações modelo, de modo a compreender o potencial da ferramenta. Em comparação com outros estudos, percebe-se o potencial de obter resultados similares, bem como diretrizes para otimizar ambientalmente e energeticamente edificações residenciais. Ressalta-se que a ferramenta está em sua primeira versão e o sucesso da mesma depende do uso e do apoio de pesquisadores e *stakeholders* envolvidos na construção civil. Dessa forma, espera-se que este estudo amplifique o conhecimento sobre a ferramenta, bem como introduza debates sobre meios de diminuir o impacto ambiental do estoque de edificações residenciais brasileiras.

REFERÊNCIAS

1. IPCC Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change; **Cambridge University Press**, 2021; Vol. 18, pp. 433–440.
2. Lützkendorf, T.; Balouktsi, M.; Frischknecht, R.; Peuportier, B.; Nygaard Rasmussen, F.; Satola, D.; Houlihan Wiberg, A.; Birgisdottir, H.; Dowdell, D.; Lupíšek, A.; et al. Benchmarking and Target-Setting for the Life Cycle-Based Environmental Performance of Buildings; **International Energy Agency**, Zenodo, 2023;
3. IBGE. País tem 90 milhões de domicílios, 34% a mais que em 2010. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE)**. Disponível em: https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/37238-pais-tem-90-milhoes-de-domicilios-34-a-mais-que-em-2010 (acesso em 8 de março de 2024).

4. Teixeira, C.A.; Melo, A.P.; Fossati, M.; Lamberts, R. Bottom-up Modelling of Electricity End-Use Consumption of the Residential Sector in Brazil. **Ambiente construído**, 2022, 22, 113–131, doi:10.1590/s1678-86212022000300611.
5. Altoé, L.; Costa, J.M.; Oliveira Filho, D.; Martinez, F.J.R.; Ferrarez, A.H.; Viana, L.D.A. Políticas públicas de incentivo à eficiência energética. Dilemas ambientais e fronteiras do conhecimento II. **Estudos avançados**. 2017, 31, 285–297, doi:10.1590/s0103-40142017.31890022.
6. SINDUSCON-SP. **Cecarbon**. Disponível em: https://www.cecarbon.com.br/ (acesso em 4 de abril de 2024).
7. Belizario-Silva, F.; Santana Oliveira, L.; Costa Reis, D.; Torres Gomes Pato, G.; Coser Marinho, A.; Menezes Degani, C.; Rosse Caldas, L.; Garcia Punhagui, K.R.; Almeida Pacca, S.; John, V.M. The Sidac System: Streamlining the Assessment of the Embodied Energy and CO2 of Brazilian Construction Products. **Journal of Cleaner Production** 2023, 421, 138461, doi:10.1016/j.jclepro.2023.138461.
8. BELIZARIO-SILVA, F. et al. Sistema de Informação do Desempenho Ambiental da Construção – Metodologia. 1ª edição. São Paulo: **SIDAC**, 2022.
9. CAIXA ECONÔMICA FEDERAL. **SINAPI – DEMONSTRAÇÕES DE USO FICHA TÉCNICA – Residência Unifamiliar Térrea Padrão Baixo**. 2017.
10. CAIXA ECONÔMICA FEDERAL. **SINAPI – DEMONSTRAÇÕES DE USO FICHA TÉCNICA – Residência Unifamiliar Térrea Padrão Alto.** 2018.
11. CAIXA ECONÔMICA FEDERAL. **SINAPI – DEMONSTRAÇÕES DE USO FICHA TÉCNICA – Residência Unifamiliar Térrea Padrão Normal**. 2018.
12. ABNT. **NBR 12721 - Avaliação de custos unitários de construção para incorporação imobiliária e outras disposições para condomínios edifícios - Procedimento**; Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, 2006;
13. Saade, M.R.M.; da Silva, M.G.; Gomes, V.; Franco, H.G.; Schwamback, D.; Lavor, B. Material Eco-Efficiency Indicators for Brazilian Buildings. **Smart and Sustainable Built Environment**. 2014, 3, 54–71, doi:10.1108/SASBE-04-2013-0024.
14. Souza, H.; Evangelista, P.; Medeiros, D.; Albertí, J.; Fullana-i-Palmer, P.; Boncz, M.; Kiperstok, A.; Gonçalves, J. Functional Unit Influence on Building Life Cycle Assessment. **International Journal of Life Cycle Assessment.** 2021, 26, 435–454, doi:10.1007/s11367-020-01854-1.
15. Punhagui, K.; John, V. Carbon Dioxide Emissions, Embodied Energy, Material Use Efficiency of Lumber Manufactured from Planted Forest in Brazil. **Journal of Building Engineering.** 2022, 52, doi:10.1016/j.jobe.2022.104349.
16. Lützkendorf, T.; Balouktsi, M.; Frischknecht, R.; Peuportier, B.; Birgisdottir, H.; Bohne, R.A.; Cellura, M.; Cusenza, M.A.; Francart, N.; García-Martinez, A.; et al. Context-Specific Assessment Methods for Life Cycle-Related Environmental Impacts Caused by Buildings; **International Energy Agency**, Zenodo, 2023;
17. Caldas, L.R.; Lira, J.S.D.M.M.; Melo, P.C.D.; Sposto, R.M. Life Cycle Carbon Emissions Inventory of Brick Masonry and Light Steel Framing Houses in Brasilia: Proposal of Design Guidelines for Low-Carbon Social Housing. **Ambiente construído**. 2017, 17, 71–85, doi:10.1590/s1678-86212017000300163.
18. Rezende, M.; Saade, M.; Nunes, A.; da Silva, V.; Moris, V.; Silva, D. A Lean and Green Approach for the Eco-Efficiency Assessment on Construction Sites: Description and Case Study. **Clean Technologies and Environmental Policy**. 2022, 24, 1535–1552, doi:10.1007/s10098-021-02265-y.
19. Bueno, C.; Pereira, L.; Fabricio, M. Life Cycle Assessment and Environmental-Based Choices at the Early Design Stages: An Application Using Building Information Modelling. **Architectural Engineering and Design Management.** 2018, 14, 332–346, doi:10.1080/17452007.2018.1458593.