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.v21i1.8353

Análise comparativa de métodos de ACV para envoltórias em habitações de interesse social

Comparative analysis of LCA methods for social housing envelopes

Leticia Dalpaz de Azevedo
Universidade Federal de Santa Catarina | Florianópolis | Brasil | ledalpaz@gmail.com
Priscila Zampier
Universidade Federal de Santa Catarina | Florianópolis | Brasil | priscila.zampier@posgrad.ufsc.br
Enedir Ghisi
Universidade Federal de Santa Catarina | Florianópolis | Brasil | enedir.ghisi@ufsc.br

Resumo

Este estudo compara a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), a ACV Energética (ACVE) e a ACV de Emissões de Carbono Equivalente (ACVCO_2eq) como métodos de tomada de decisão para a seleção de envoltórias em habitações de interesse social. Foram analisadas oito combinações de vedação e cobertura para uma residência (40 anos de vida útil), com São Paulo como linha de base e Brasília, Curitiba e Rio de Janeiro incluídas por meio de análise de sensibilidade. Utilizando o *software* SimaPro, a base de dados Ecoinvent 3.5 e o método ReCiPe 2016, os *rankings* da ACV foram comparados com os métodos simplificados ACVE e ACVCO_2eq. Os resultados evidenciam a não equivalência metodológica: a ACVE é sensível à fase operacional, favorecendo sistemas de alta inércia térmica, enquanto a ACVCO_2eq aproxima-se mais da ACV, embora omita impactos como toxicidade e escassez de recursos. O trabalho conclui que os métodos simplificados ACVE e ACVCO_2eq geram decisões questionáveis e recomenda a incorporação da ACV, ou no mínimo da ACVCO_2eq, nas diretrizes de programas habitacionais brasileiros para evitar a transferência de impactos entre as fases do ciclo de vida.

Palavras-chave: Energia embutida. Emissões de carbono equivalente. Sistemas de envoltória. Avaliação do ciclo de vida. Desempenho ambiental.

Abstract

This study compares Life Cycle Assessment (LCA), life cycle energy assessment (LCEA), and life cycle carbon dioxide equivalent (LCCO_2eq) as decision-making methods for selecting building envelopes in social housing. Eight wall and roof combinations were analysed for a house (40-year lifespan), using São Paulo as the baseline, with Brasília, Curitiba, and Rio de Janeiro included through sensitivity analysis. Using SimaPro software, the Ecoinvent 3.5 database, and the ReCiPe 2016 method, the LCA rankings were compared with the simplified LCEA and LCCO_2eq methods. The results demonstrate a methodological non-equivalence: LCEA is sensitive to the operational phase, favouring systems with high thermal inertia, whereas LCCO_2eq aligns more closely with the LCA, although it omits impacts such as toxicity and resource scarcity. The paper concludes that the simplified LCEA and LCCO_2eq methods generate questionable decisions and recommends incorporating the LCA, or at least LCCO_2eq, into the guidelines of Brazilian housing programmes to prevent impact shifting between life cycle phases.

Keywords: Life cycle assessment. Social housing. Energy efficiency. Carbon emissions. Building envelope.

DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v21i1.8353

INTRODUÇÃO

O setor construtivo responde por cerca de 40% das emissões globais de CO_2 e um terço do consumo de energia [1]. No Brasil, a padronização de programas habitacionais negligencia especificidades climáticas e impactos de longo prazo [2], [3], resultando em edificações com baixo desempenho termoenergético que priorizam custos iniciais em detrimento da eficiência no ciclo de vida [4], [5].

Estratégias de mitigação ambiental têm focado na redução da demanda energética na fase de uso da edificação [6], [7]. Contudo, isso frequentemente eleva os impactos embutidos dos materiais e sistemas construtivos [8], [9]. A Avaliação do Ciclo de Vida Energético (ACVE) e a Avaliação de Emissões de Carbono Equivalente (ACVCO_2eq) são adotadas como métodos simplificados por exigirem menor complexidade e volume de dados [10][11]. Porém, focar em apenas fluxo energético ou emissões pode não capturar a multidimensionalidade dos impactos ambientais, como escassez de recursos, toxicidade humana e degradação de ecossistemas [12], [13]. Estudos indicam que métodos simplificados tendem a favorecer soluções que transferem impactos entre as fases do ciclo de vida, sem necessariamente promover a mitigação ambiental global [14], [15].

Apesar da ampla disponibilidade de metodologias, há poucas comparações no Brasil que verificam se essas abordagens simplificadas conduzem às mesmas classificações de desempenho que uma Avaliação do Ciclo de Vida (ACV). Essa falta de alinhamento dificulta a criação de protocolos para projetistas e gestores, que precisam de ferramentas ágeis e confiáveis para selecionar envoltórias em habitações sociais [16]. Além disso, a influência de variáveis como zona bioclimática e comportamento do usuário na convergência entre esses métodos permanece pouco explorada na literatura nacional [3], [7], [11], [16], [17].

O objetivo deste trabalho é comparar a ACV, a ACVE e a ACVCO_2eq como métodos de decisão na escolha de envoltórias em habitações de interesse social. Busca-se validar a similaridade dos resultados, a adequação dos métodos e propor recomendações para projetos em larga escala.

MÉTODO

UNIDADE FUNCIONAL E SISTEMAS AVALIADOS

A unidade funcional abrangeu construção, operação e demolição de uma habitação de 41,16 m², com vida útil de 40 anos e quatro residentes na zona bioclimática 2M (São Paulo) [18]. Foram avaliadas oito envoltórias, resultantes da combinação de quatro sistemas de vedação vertical (bloco cerâmico, bloco de concreto, concreto moldado *in loco* e *light steel framing*) com duas coberturas (forro de madeira e laje maciça). A seleção baseou-se em estudos nacionais pela representatividade e disponibilidade de dados [4],[16],[19]. Todos os sistemas atendem aos requisitos mínimos da NBR 15575 **Erro! Fonte de referência não encontrada.**,[20],[22], sem equivalência térmica, para que as diferenças de desempenho reflitam diretamente na demanda operacional de

energia elétrica durante a fase de uso. A fronteira (berço ao túmulo) incluiu pré-uso, operação (com manutenção e reposição) e fim de vida, restrito ao transporte de resíduos para aterro, dada a escassez de dados nacionais sobre reciclagem [4],[16],[19].

MÉTODOS DE AVALIAÇÃO

A ACV seguiu as normas NBR ISO 14040 e 14044 [23],[24], com inventário modelado no *software* SimaPro e banco de dados Ecoinvent 3.5 [25]. A avaliação de impacto empregou o método ReCiPe 2016, que categoriza os fluxos ambientais em 18 indicadores de impacto e três categorias de dano [26].

A ACVE avaliou exclusivamente o fluxo de energia primária ao longo do ciclo de vida. O cálculo da energia embutida considerou fatores específicos de cada material, obtidos por meio de revisão de estudos nacionais que aplicaram o método híbrido (Equação 1) [16], [27].

$$EE = \sum_{i=1}^{n}(1 + \frac{P}{100}) \times FEE_n \times \mu_n \quad \text{(Equação 1)}$$

Onde *EE* é a energia embutida (kWh); *P* é o percentual de perdas (%); *FEEn* é o fator de energia embutida (kWh/unidade funcional); μ_n é a quantidade de cada material (unidade funcional).

O consumo de energia operacional foi estimado via simulação no *software* EnergyPlus, com modelagem no SketchUp (extensão Euclid) e propriedades termofísicas segundo Weber *et al*. [28]. Adotou-se resfriamento artificial por *split* nos dormitórios conforme a rotina de ocupação de Ghisi *et al*. [29]. As variações de uso e clima da análise de sensibilidade (Quadro 1) foram simuladas com arquivos climáticos TRY (*climate.onebuilding.org*). A demanda anual obtida foi extrapolada para os 40 anos de vida útil da edificação.

A energia operacional foi convertida para primária aplicando-se fatores de correção das perdas da rede (7,5%) e da matriz energética nacional (1,6), resultando no consumo total em kWh primário (Equação 2) [30],[31].

$$EO = [EA\ x\ (1+PT)]\ x\ FC \quad \text{(Equação 2)}$$

Onde *EO* é a energia primária operacional (kWh); *EA* é o consumo anual estimado (kWh); *PT* é a taxa de perdas técnicas; *FC* é o fator de conversão.

A ACVCO_2eq isolou o aquecimento global, aplicando fatores de emissão aos materiais e à matriz elétrica nacional (59,9 kgCO_2eq/MWh) na operação (Equação 3) [31],[32]. Os três métodos compartilharam a mesma fronteira sistêmica e inventário base.

$$CO_2eqE = \sum_{i=1}^{n} FECO_2eq_n \times \mu_n \quad \text{(Equação 3)}$$

Onde *CO_2eqE* são as emissões embutidas (kgCO_2eq); *$FECO_2eq_n$* é o fator de emissão por material (kgCO_2eq/unidade); μ_n é a quantidade de material utilizada (unidade funcional).

ANÁLISES DE SENSIBILIDADE E CONTRIBUIÇÃO

A análise de sensibilidade variou parâmetros críticos do ciclo de vida (Quadro 1), seguindo diretrizes metodológicas para habitações sociais.

Quadro 1: Cenários definidos para a análise de sensibilidade dos métodos de avaliação

Variável	Parâmetros Avaliados	Justificativa Metodológica
Vida útil (anos)	30, 40 e 50	Verificar a influência da reposição de materiais e da acumulação do consumo operacional [33]
Comportamento do usuário	Ventilação natural; Climatização artificial (24°C, 25°C e 26°C)	Avaliar a sensibilidade dos métodos ao padrão de ocupação e demanda térmica [34]
Zona Bioclimática	1M (Curitiba), 2M (São Paulo), 3B (Brasília), 4A (Rio de Janeiro)	Considerar a influência do clima no desempenho térmico e na matriz de resfriamento [18]

Fonte: o autor.

A análise de contribuição quantificou a participação relativa de materiais e sistemas (cobertura, parede, consumo energético operacional e transporte total) nos resultados totais de cada método.

CRITÉRIOS DE COMPARAÇÃO

A convergência entre os métodos foi avaliada comparando os *rankings* de desempenho dos oito cenários. Como as 18 categorias de impacto possuem unidades distintas, procedeu-se à normalização: o maior valor absoluto de cada categoria de impacto foi definido como 100%, e os resultados dos demais sistemas representam a redução percentual de impacto em relação a este pior cenário. Para viabilizar a comparação direta com os métodos simplificados, essas categorias de impacto normalizadas foram agrupadas em três categorias de dano (Quadro 2) por meio de média simples, sem ponderação. Isso gerou *rankings* relativos de 1 (menor impacto) a 8 (maior impacto) para ACV, ACVE e ACVCO2eq. A correlação desses *rankings* determinou a convergência metodológica, assegurando a validade das afirmações comparativas conforme a NBR ISO 14044 [24].

Quadro 2: Agrupamento das categorias de impacto nas categorias de dano para fins de comparação.

Categoria de Dano	Categorias de Impacto	Unidade
Saúde Humana	Formação de partículas finas	kg PM2,5 eq
	Radiação ionizante	kBq Co-60 eq
	Depleção do ozônio estratosférico	kg CFC-11 eq
	Toxicidade humana (cancerígena)	kg 1,4-DCB eq
	Toxicidade humana (não-cancerígena)	kg 1,4-DCB eq
	Formação de ozônio troposférico – saúde humana	kg NOx eq
Ecossistema	Formação de ozônio troposférico – ecossistemas terrestres	kg NOx eq
	Acidificação terrestre	kg SO_2 eq
	Eutrofização de água doce	kg P eq
	Eutrofização marinha	kg N eq
	Ecotoxicidade terrestre	kg 1,4-DCB eq
	Ecotoxicidade de água doce	kg 1,4-DCB eq
	Ecotoxicidade marinha	kg 1,4-DCB eq
	Ocupação/transformação da terra	m^2a cultivo eq
	Aquecimento global	kg CO_2 eq
	Uso de água (realocado)	m^3
Recursos	Escassez de recursos minerais	kg Cu eq
	Escassez de recursos fósseis	kg eq óleo

Fonte: o autor.

DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v21i1.8353

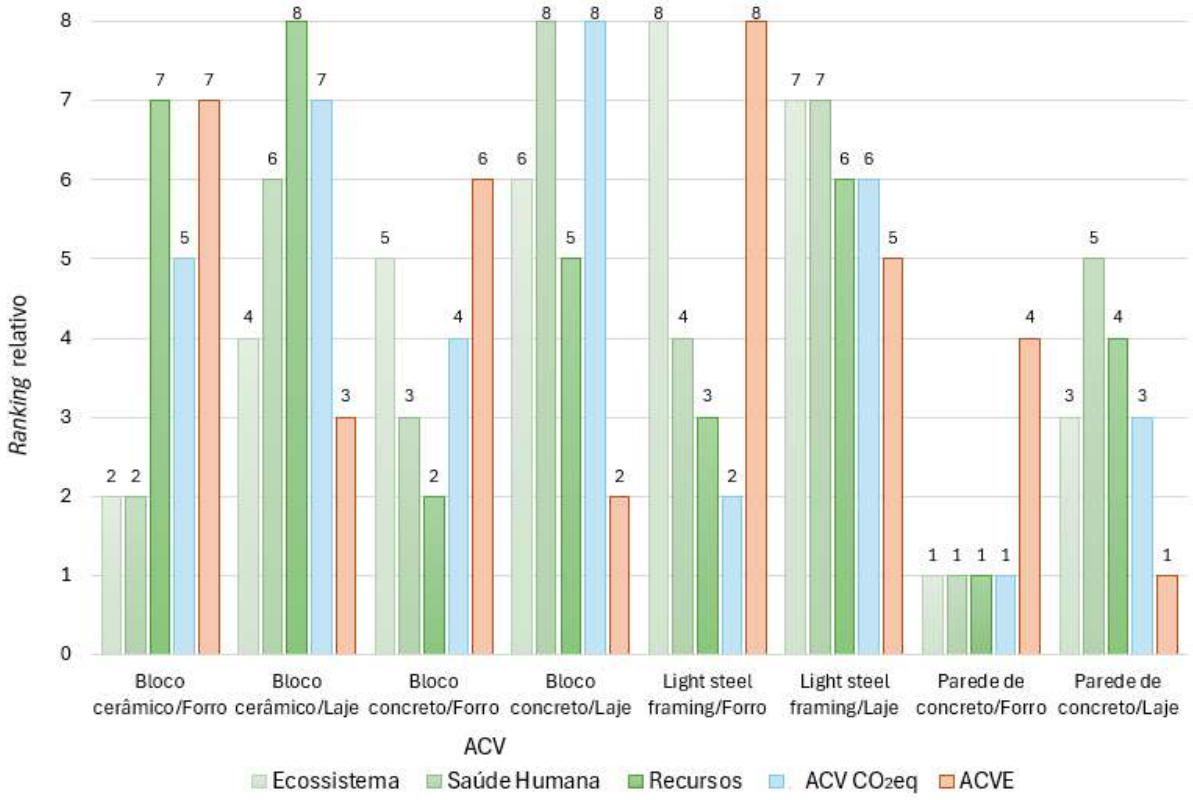
RESULTADOS E DISCUSSÃO

CONVERGÊNCIA DE *RANKINGS* ENTRE OS MÉTODOS

A comparação dos *rankings* revelou divergências estruturais entre os métodos (Figura 1). O concreto moldado *in loco* com forro liderou a ACV e ACVCO_2eq, mas ficou na quarta posição na ACVE, superado por sistemas com laje. A ACVE privilegia a inércia térmica (menor consumo operacional), enquanto a ACV penaliza os elevados impactos embutidos do cimento e aço [7][15].

O *light steel framing* com forro apresentou o pior desempenho na ACVE e na categoria Ecossistema da ACV, mas atingiu melhor posição na ACVCO_2eq e na categoria Recursos. Demonstrando que a eficiência energética não garante mitigação ambiental integral, especialmente em matrizes de baixa intensidade de carbono. Os sistemas de bloco cerâmico, entretanto, registraram os piores *rankings* na categoria Recursos, reflexo direto da extração de argila e do processo de queima.

Figura 1: Comparação dos perfis normalizados entre as categorias de dano da ACV, a ACVCO_2eq e a ACVE para as oito configurações de envoltória.



Fonte: o autor.

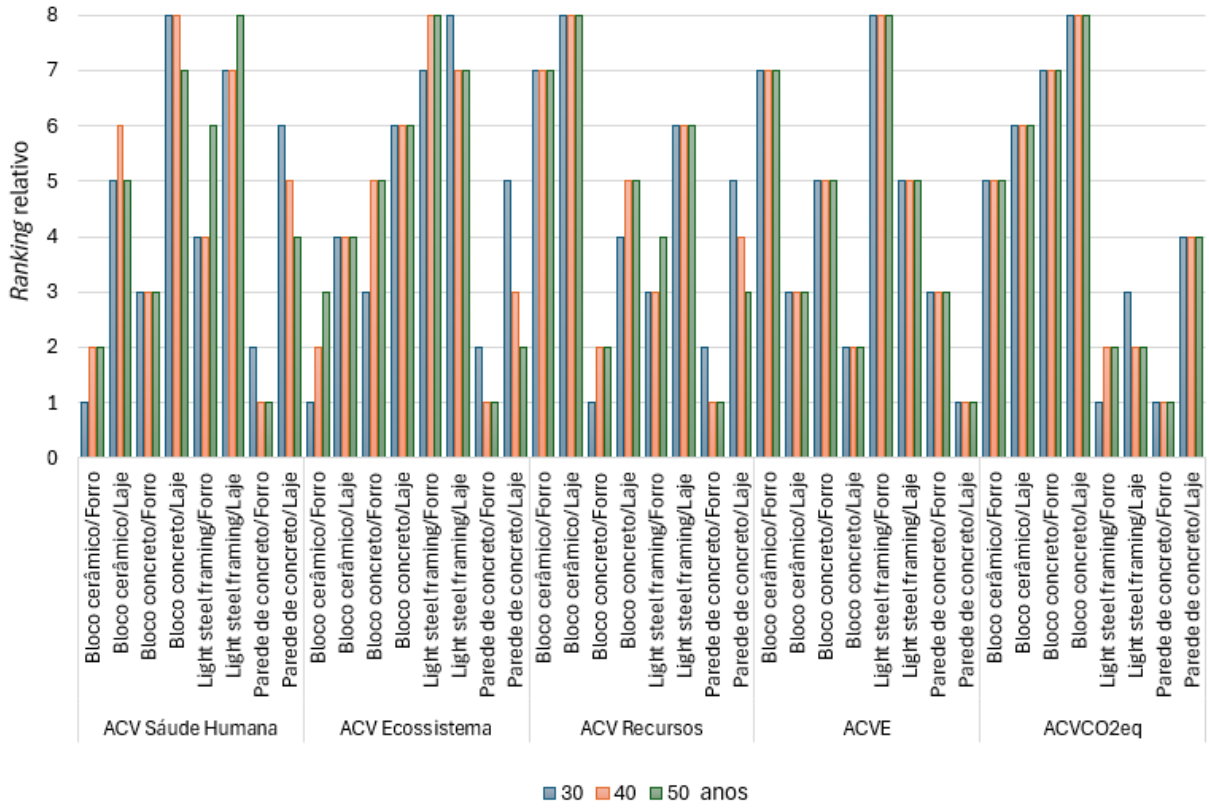
A ACVE foca na operação, a ACVCO_2eq aproxima-se da ACV, mas omite toxicidade e escassez de recursos. Apenas a ACV captura compensações multidimensionais entre pré-uso e operação, validando-se para decisões em programas habitacionais.

DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v21i1.8353

ANÁLISE DE SENSIBILIDADE

A análise de sensibilidade avaliou a robustez dos *rankings* frente a variações de três parâmetros: vida útil, comportamento do usuário e zona bioclimática. A vida útil não alterou significativamente a ordem dos sistemas (Figura 2). Indicando que a reposição programada de materiais exerce influência marginal frente ao peso da fase operacional e dos impactos embutidos iniciais [33].

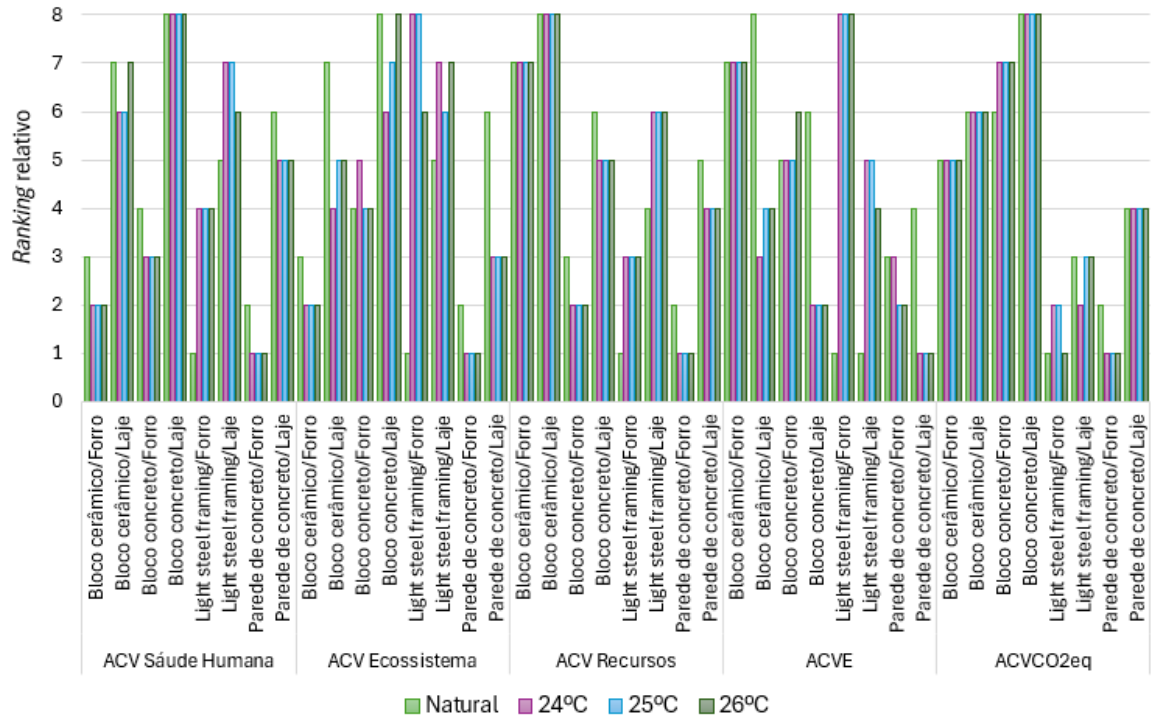
Figura 2: Variação dos *rankings* relativos em função da vida útil (30, 40 e 50 anos).



Fonte: o autor.

As maiores oscilações ocorreram na análise do comportamento do usuário (Figura 3). A ACV manteve estabilidade, classificando o concreto moldado *in loco* com laje como de menor impacto, enquanto a ACVE mostrou alta volatilidade. O *light steel framing* com forro apresentou o melhor desempenho na ventilação natural, mas ficou na última posição ao se considerar a climatização artificial (24°C a 26°C). Isso evidencia que a ACVE é sensível à fase operacional e reforça a necessidade de padrões de uso alinhados às normas de conforto [34].

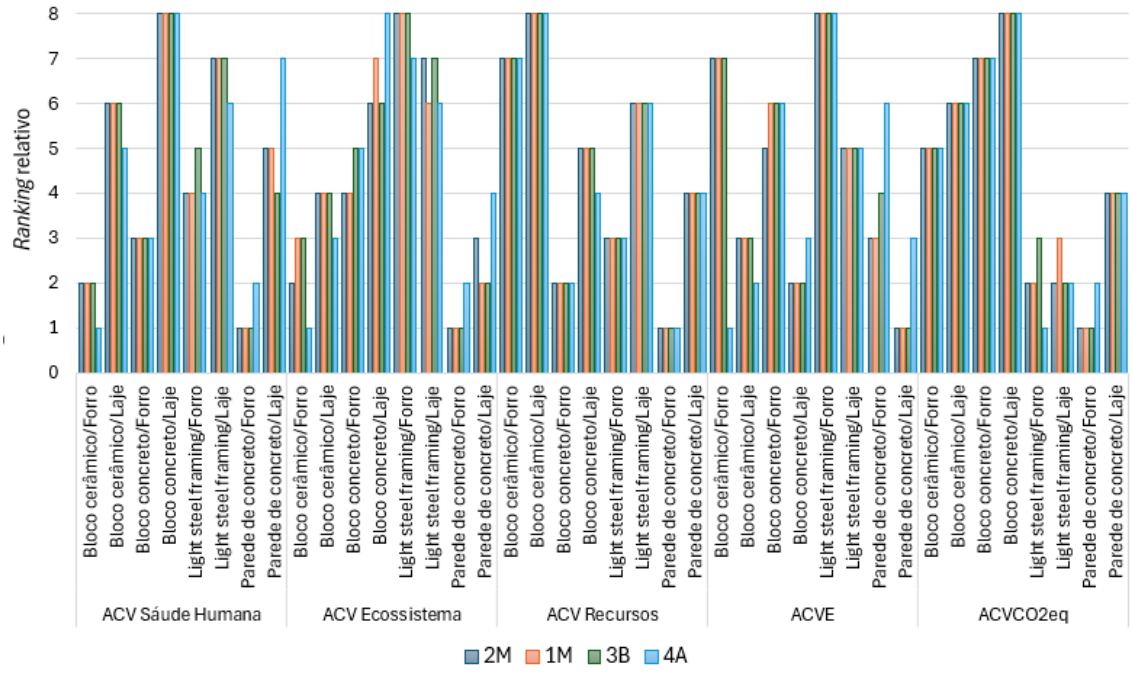
Figura 3: Variação dos *rankings* relativos em função do padrão de uso (ventilação natural e diferentes *setpoints* de climatização artificial).



Fonte: o autor.

A influência da zona bioclimática (Figura 4) reforçou a limitação da ACVE isolada. Em zonas de maior demanda térmica (4A), a baixa inércia térmica de coberturas leves reduziu o consumo, favorecendo o bloco cerâmico com forro, enquanto manteve o segundo maior consumo em todas as outras zonas bioclimáticas. A ACV manteve consistência, mostrando que a análise multidimensional neutraliza distorções da eficiência operacional.

Figura 4: Variação dos rankings relativos em função das zonas bioclimáticas.



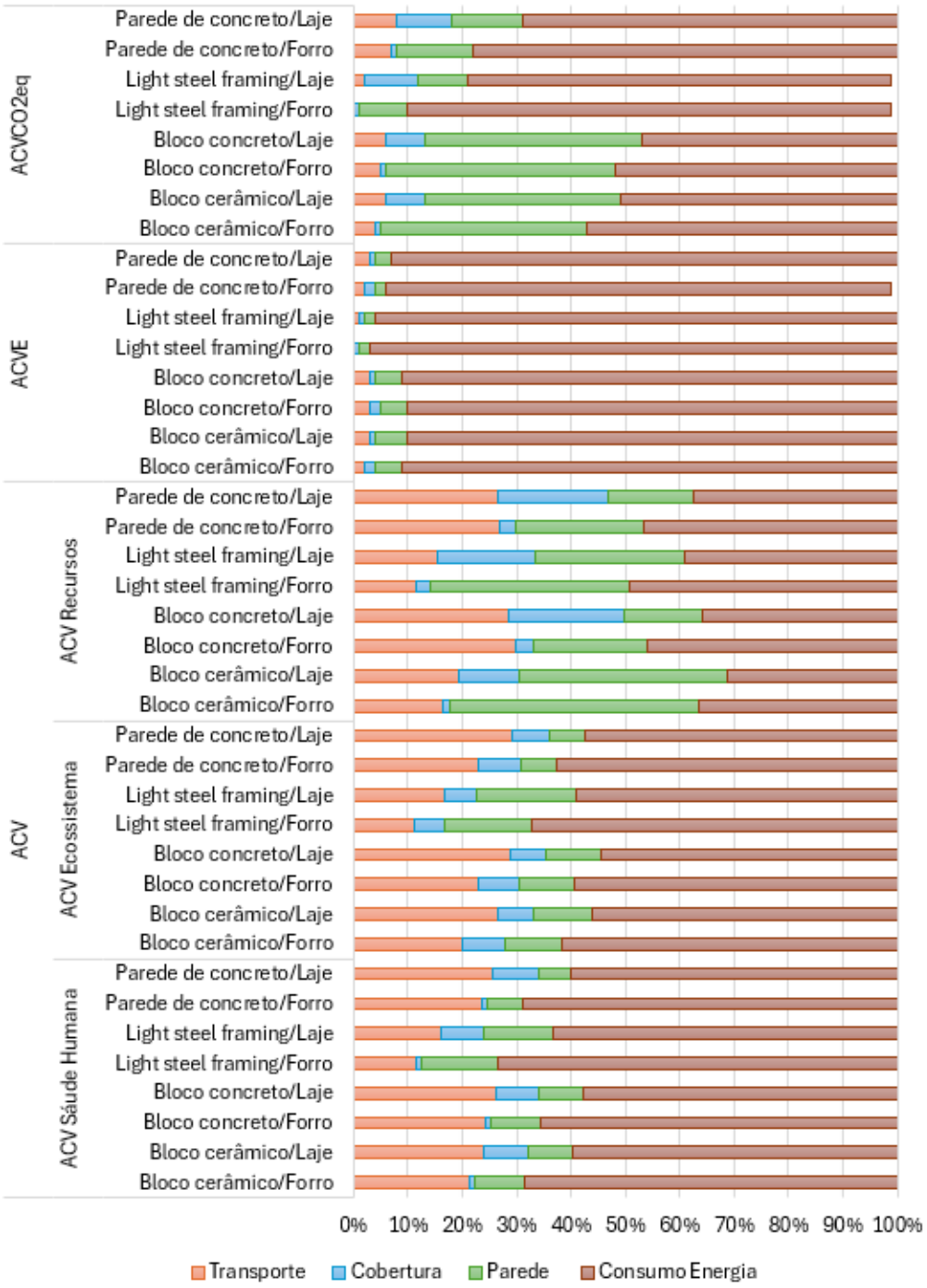
Fonte: o autor.

DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v21i1.8353

ANÁLISE DE CONTRIBUIÇÃO

A análise de contribuição revelou perfis distintos entre os métodos. A ACV demonstra que materiais (pré-uso) respondem por 20% a 55% do impacto total, com forte peso em Recursos e Ecossistema (Figura 5). Essa divergência indica que focar exclusivamente na energia operacional pode subestimar a carga ambiental de sistemas construtivos com elevados impactos embutidos em sua fabricação.

Figura 5: Contribuição percentual por fase do ciclo de vida para as categorias de dano da ACV, a ACVCO_2eq e a ACVE.

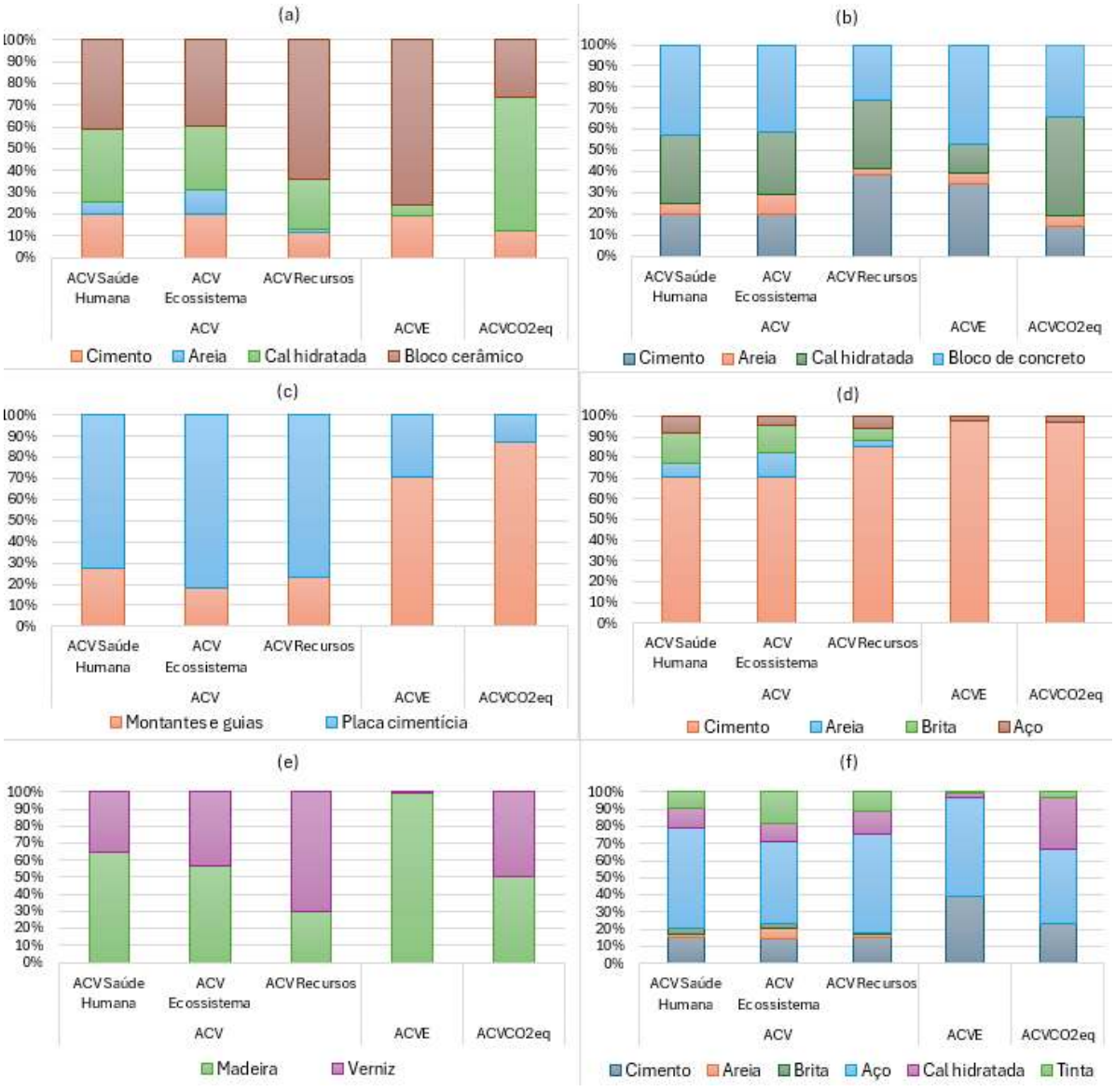


Fonte: o autor.

A Figura 6 detalha a contribuição dos materiais por sistema construtivo. Nas paredes, o bloco cerâmico teve maior impacto na ACVE e na ACVCO_2eq, enquanto o concreto moldado *in loco* e o bloco de concreto apresentaram maior peso relativo na categoria de Saúde Humana. Nas coberturas, a laje maciça concentrou maior contribuição na ACV pelo elevado impacto dos insumos (cimento, aço, areia), enquanto o forro de madeira contribuiu significativamente para o consumo energético na ACVE.

Esses resultados confirmam que a ACVE tende a favorecer sistemas de alta inércia térmica (lajes) pelo ganho na fase de uso, mas omite os impactos embutidos de materiais intensivos, que são penalizados na ACV. Portanto, a dependência exclusiva de métodos energéticos pode enviesar a tomada de decisão ao mascarar as compensações críticas entre o pré-uso e a operação.

Figura 6: Contribuição percentual dos materiais constituintes para as categorias de impacto da ACV, ACVCO_2eq e ACVE (a) Parede de bloco cerâmico, (b) Parede de bloco de concreto, (c) *Light steel framing*, (d) Parede de concreto moldado *in loco*, (e) Forro de madeira e (f) Laje maciça.



Fonte: o autor.

CONCLUSÃO

A comparação entre a ACV, a ACVE e a ACVCO_2eq demonstrou que não há equivalência metodológica entre os métodos. A ACVE, sensível à operação, favorece sistemas de alta inércia térmica (laje maciça) e subestima impactos embutidos na produção, gerando conclusões equivocadas. A ACVCO_2eq correlaciona-se melhor com a ACV (em Saúde Humana e Ecossistema), mas omite dimensões críticas como toxicidade e escassez mineral.

A escolha do método deve alinhar-se aos objetivos do projeto. Devido à matriz elétrica brasileira predominantemente renovável (baixa intensidade de carbono), focar apenas na eficiência operacional induz a decisões questionáveis. A mitigação habitacional deve priorizar também a otimização dos materiais. Nesse cenário, a ACV permanece como a abordagem capaz de revelar compensações multidimensionais e evitar a transferência de impactos entre as fases do ciclo de vida.

Recomenda-se que programas habitacionais de larga escala, como o Minha Casa Minha Vida, substituam a seleção baseada unicamente em desempenho térmico ou energético por critérios que incorporem a ACV ou, no mínimo, a ACVCO_2eq como método complementar. Adicionalmente, é urgente o desenvolvimento de bancos de dados nacionais de inventário do ciclo de vida específicos para a cadeia produtiva da construção civil brasileira, a fim de aumentar a precisão e a representatividade das avaliações. Diretrizes normativas nacionais alinhadas à NBR 15575 e ISO 14044 consolidarão protocolos transparentes para projetistas e gestores públicos, garantindo que a mitigação de impactos seja efetiva ao longo de todo o ciclo de vida.

DECLARAÇÃO

Durante a preparação deste artigo, a primeira autora utilizou o Gemini 3.1 Pro para a tradução, revisão, melhoria de coesão e auxílio na interpretação de dados. Após a utilização da ferramenta, os autores revisaram e editaram o conteúdo conforme necessário e assumem total responsabilidade pelo conteúdo do artigo publicado.

REFERÊNCIAS

[1] UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME (UNEP). **Global Status Report for Buildings and Construction**: Beyond foundations: Mainstreaming sustainable solutions to cut emissions from the buildings sector. Nairobi: UNEP, 2024. Disponível em: https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/45095/global_status_report_buildings_construction_2023.pdf?sequence=3&isAllowed=y Acesso em: 8 abril 2026.

[2] MONTES, María Andrea Triana. **Abordagem integrada no ciclo de vida de habitações de interesse social considerando mudanças climáticas.** 2016. 573 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil), Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016.

[3] XU, Peiyu; XU, Xiaoxiao. Thermal comfort, energy consumption, and carbon emissions of building envelope in office buildings: A comparative study of 46 envelope materials. **Building and Environment**, v. 285, p. 113578, 2025. DOI: https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2025.113578

[4] PAULSEN, Jacob Silva; SPOSTO, Rosa Maria. A life cycle energy analysis of social housing in Brazil: case study for the program “MY HOUSE MY LIFE”. **Energy and Buildings**, [s. l.], v. 57, p. 95 a 102, 2013. DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.11.014

[5] CHIPADE, A. M.; VISPUTE, P. P.; SONAWANE, S. K.; SASANE, N. B.; JADHAV, M.; NERLEKAR, T. Construction Materials for Sustainable Environment in Residential Buildings. **Journal of Mines, Metals and Fuels**, v. 73, p. 173-188, 2025. DOI: http://dx.doi.org/10.18311/jmmf/2025/46248

[6] AZARI, Rahman; ABBASABADI, Narjes. Embodied energy of buildings: A review of data, methods, challenges, and research trends. **Energy and Buildings**, v. 168, p.225-235, 2018. Elsevier. DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.03.003

[7] DAI, Shan. A state-of-the-art review of the life cycle assessment of rammed earth building construction. **Energy & Buildings**, v. 350, p. 116643, 2026. DOI: https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2025.116643

[8] DIXIT, Manish K.. Life cycle embodied energy analysis of residential buildings: A review of literature to investigate embodied energy parameters. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [s.l.], v. 79, p.390-413, nov. 2017. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.051

[9] DIPASQUALE, L.; GIUFFRIDA, G.; JORQUERA SILVA, N.; PULSELLI, R. M.; CAPONETTO, R. Sustainable Design of a Tiny House: Using a Life Cycle Assessment Approach to Compare the Environmental Performance of Industrial and Earth-Based Building Systems. **Buildings**, v. 15, n. 3, p. 491, 2025. DOI: https://doi.org/10.3390/buildings15030491

[10] CHAU, C. K.; LEUNG, T. M.; NG, W. Y. A review on Life Cycle Assessment, Life Cycle Energy Assessment and Life Cycle Carbon Emissions Assessment on buildings. **Applied Energy**, [s. l.], v. 143, p. 395 a 413, 2015. DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.01.023

[11] LIRA, J. S.; DA SILVA, E. A. A systematic literature review of dynamic life cycle assessment in Buildings: Challenges and guidelines. **Journal of Building Engineering**, v. 111, p. 113503, 2025. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jobe.2025.113503

[12] RAMESH, T.; PRAKASH, Ravi; SHUKLA, K. K. Life cycle energy analysis of buildings: An overview. **Energy and Buildings**, [s. l.], v. 42, n. 10, p. 1592-1600, out. 2010. DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2010.05.007

[13] LARA, Juan Carlos F.; EL-FADEL, Mutasem; RAUF, Abdul; KHALFAN, Malik Mansoor Ali. Pathways toward Net-zero emissions in the construction industry: A framework integrating circular economy and industry 4.0 innovations. **Building and Environment**, v. 285, p. 113652, 2025. DOI: https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2025.113652

[14] SARTORI, I.; HESTNES, A.g.. Energy use in the life cycle of conventional and low-energy buildings: A review article. **Energy and Buildings**, Trondheim, v. 39, n. 3, p.249-257, mar. 2007. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2006.07.001

[15] TORABI, Mahsa; SIMONEN, Kate; EVINS, Ralph. What matters the most in designing low-carbon buildings in Canada? Exploring the tradeoff between embodied and operational carbon in early stage design. **Energy & Buildings**, v. 334, p. 115482, 2025. DOI: https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2025.115482

[16] CALDAS, Lucas Rosse; LIRA, Júlia Santiago de Matos Monteiro; SPOSTO, Rosa Maria. Avaliação do Ciclo de Vida de habitações de alvenaria estrutural de blocos cerâmicos e painéis pré moldados de concreto considerando diferentes zonas bioclimáticas. **Lalca: Revista Latino Americana em Avaliação do Ciclo de Vida**, Brasília, v. 1, n. 1, p. 138 a 167, 18 jul. 2017. DOI: http://dx.doi.org/10.18225/lalca.v1i1

[17] BUENO, Cristiane; HAUSCHILD, Michael Zwicky; ROSSIGNOLO, João Adriano; OMETTO, Aldo Roberto; MENDES, Natália Crespo. Sensitivity analysis of the use of Life Cycle Impact Assessment methods: a case study on building materials. : a case study on building materials. **Journal of Cleaner Production**, v. 112, p. 2208-2220, jan. 2016. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.10.006

[18] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220** Parte 3: Desempenho térmico de edificações: Zoneamento bioclimático por desempenho. Rio de Janeiro: ABNT, 2024.

[19] CALDAS, Lucas Rosse; LIRA, Júlia Santiago de Matos Monteiro; MELO, Pedro Corrêa de; SPOSTO, Rosa Maria. 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**, Porto Alegre, v. 17, n. 3, p. 71-85, jul. 2017. FapUNIFESP (SciELO). http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212017000300163

[20] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575 Parte 1:** Edificações habitacionais: Desempenho. Requisitos gerais. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.

[21] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575 Parte 4:** Edificações habitacionais: Desempenho. Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.

[22] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575 Parte 5:** Edificações habitacionais: Desempenho. Requisitos para os sistemas de coberturas. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.

[23] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 14040**: Gestão ambiental — Avaliação do ciclo de vida — Princípios e estrutura. 2. ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

[24] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 14044**: Gestão ambiental — Avaliação do ciclo de vida — Requisitos e orientações. 1. ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

[25] WEIDEMA B P, BAUER C, HISCHIER R, MUTEL C, NEMECEK T, REINHARD J, VADENBO C O, WERNET G. **Overview and methodology:** data quality guideline for the ecoinvent database version 3. St. Gallen: The Ecoinvent Centre, 2013. 169 p.

[26] HUIJBREGTS, Mark. **ReCiPe 2016 v1.1**: A harmonized life cycle impact assessment method at midpoint and endpoint level Report I: Characterization. Bilthoven: National Institute For Public Health And The Environment, 2017.

[27] TAVARES, Sérgio Fernando. **Metodologia de análise do ciclo de vida energético de edificações residenciais brasileiras**. 225 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

[28] WEBER, F.S.; MELO, A.P.; MARINOSKI, D.L.; LAMBERTS, R. **Elaboração de uma biblioteca de componentes construtivos brasileiros para o uso no programa EnergyPlus.** Florianópolis: LABEEE, 2017. 52p. [http://www.labeee.ufsc.br/node/714]

[29] GHISI, Enedir; VIEIRA, Abel Silva; ROSA, Aline Schaefer da; MARINOSKI, Ana Kelly; SILVA, Arthur Santos; BALVEDI, Bruna Faitão; ALMEIDA, Laiane Susan Silva. **Uso racional de água e eficiência energética em habitações de interesse social: Volume 1– Hábitos e indicadores de consumo de água e energia.** Florianópolis: Laboratório de Eficiência Energética em Edificações - LABEEE, 2015. 82 p.

[30] COLTRO, Leda; GARCIA, Eloísa E. C.; QUEIROZ, Guilherme de C.. Life cycle inventory for electric energy system in Brazil. The International **Journal Of Life Cycle Assessment**, [S.L.], v. 8, n. 5, p. 290-296, set. 2003. Springer Science and Business Media LLC. http://dx.doi.org/10.1007/bf02978921

[31] EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Ministério de Minas e Energia (Brasil). **Relatório Síntese do Balanço Energético Nacional**: BEN 2024. Brasília: EPE, 2025. 77 p.

[32] SAADE, Marcella Ruschi Mendes; SILVA, Maristela G. da; GOMES, Vanessa; FRANCO, Hawllynsgton Gumez; SCHWAMBACK, Dimaghi; LAVOR, Blandina. Material eco-efficiency indicators for Brazilian buildings. **Smart And Sustainable Built Environment**, v. 3, n. 1, p. 54-71, maio 2014. Emerald. http://dx.doi.org/10.1108/sasbe-04-2013-0024

[33] SOUZA, Danielle Maia de; LAFONTAINE, Mia; CHARRON-DOUCET, François; CHAPPERT, Benoit; KICAK, Karine; DUARTE, Fernanda; LIMA, Luis. Comparative life cycle assessment of ceramic brick, concrete brick and cast-in-place reinforced concrete exterior walls. **Journal Of Cleaner Production**, v. 137, p. 70-82, nov. 2016. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.07.069

[34] AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING, AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. **ANSI/ASHRAE STANDARD 55-2013:** Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. Atlanta: ANSI (Approved American National Standard), 2013.