



## Artigo de Revisão

e-ISSN 2177-4560

DOI: 10.19180/2177-4560.v19n22025p358-371

Submetido em: 11 out. 2025

Aceito em: 02 dez. 2025

.....

## *Análise do Ciclo de Vida como avaliação do potencial sustentável do sistema Light Wood Frame sob as perspectivas da cadeia produtiva, eficiência energética e impacto ambiental.*

*Life Cycle Assessment as an evaluation of the sustainable potential of the Light Wood Frame system from the perspectives of production, energy efficiency, and environmental impact.*

*Analisis del ciclo de vida como evaluación del potencial sostenible del sistema Light Wood Frame desde las perspectivas de la cadena de producción, la eficiencia energética y el impacto ambiental.*

**Carolina Eyang**  <https://orcid.org/0009-0006-4641-1931>

Universidade Federal de Santa Catarina

Mestranda em Arquitetura e Urbanismo pela Universidade Federal de Santa Catarina.

E-mail: arq.caroleyng2015@gmail.com

**Ângela do Valle**  <https://orcid.org/0000-0002-4132-7822>

Universidade Federal de Santa Catarina

Doutorado em Engenharia Civil pela POLI-USP. Professora na Universidade Federal de Santa Catarina.

E-mail: angela.valle@ufsc.br

**Resumo:** Este estudo investiga a viabilidade sustentável do sistema *Light Wood Frame* em regiões tropicais e subtropicais, considerando a cadeia produtiva, eficiência energética e impactos ambientais levantando quais critérios são utilizados para a avaliação de sustentabilidade de construções em *Light Wood Frame*. A metodologia baseia-se em revisão de literatura, com pesquisa em bases como Science Direct, Scopus e Scielo, utilizando palavras-chave específicas e aplicando o método *snowballing* para ampliar a seleção de artigos relevantes. A análise inclui a avaliação da sustentabilidade do *Light Wood Frame* por meio da Análise do Ciclo de Vida, considerando consumo energético, emissões de CO<sub>2</sub> e durabilidade da madeira tratada conforme normas recentes da Associação Brasileira de Normas Técnicas. Os resultados indicam que, apesar de desafios relacionados à umidade e preservação da madeira, o *Light Wood Frame* apresenta vantagens ambientais significativas em comparação a sistemas tradicionais, devido à menor energia embutida, maior isolamento térmico e potencial de reaproveitamento, reforçando sua relevância como alternativa sustentável para a construção civil.

**Palavras-chave:** *Light Wood Frame*. Construções sustentáveis. Impacto ambiental. Cadeia produtiva.

**Abstract:** This study investigates the sustainable viability of the *Light Wood Frame* system in tropical and subtropical regions, taking into account the production chain, energy efficiency and environmental impacts, surveying which criteria are used to assessment the sustainability of *Light Wood Frame* constructions. The methodology is based on a literature review, with searches in databases such as Science Direct, Scopus and Scielo, using specific keywords and applying the snowballing method to broaden

the selection of relevant articles. The analysis includes an assessment of the sustainability of LWF through Life Cycle Analysis, considering energy consumption, CO<sub>2</sub> emissions and durability of the treated wood according to recent Brazilian Association of Technical Standards. The results indicate that, despite challenges related to humidity and wood preservation, *Light Wood Frame* has significant environmental advantages compared to traditional systems, due to lower embedded energy, greater thermal insulation and reuse potential, reinforcing its relevance as a sustainable alternative for civil construction.

Keywords: *Light Wood Frame*. Sustainable construction. Environmental impact; production chain.

Resumen: Este estudio investiga la viabilidad sostenible del sistema *Light Wood Frame* en regiones tropicales y subtropicales, considerando la cadena productiva, la eficiencia energética y los impactos ambientales, y planteando qué criterios se utilizan para evaluar la sostenibilidad de las construcciones en *Light Wood Frame*. La metodología se basa en una revisión de la literatura, con investigaciones en bases de datos como Science Direct, Scopus y Scielo, utilizando palabras clave específicas y aplicando el método *snowballing* para ampliar la selección de artículos relevantes. El análisis incluye la evaluación de la sostenibilidad de la *Light Wood Frame* mediante el Análisis del Ciclo de Vida, considerando el consumo energético, las emisiones de CO<sub>2</sub> y la durabilidad de la madera tratada según las normas recientes de la Asociación Brasileña de Normas Técnicas. Los resultados indican que, a pesar de los retos relacionados con la humedad y la conservación de la madera, el *Light Wood Frame* presenta ventajas medioambientales significativas en comparación con los sistemas tradicionales, debido a su menor energía incorporada, mayor aislamiento térmico y potencial de reutilización, lo que refuerza su relevancia como alternativa sostenible para la construcción civil.

Palabras clave: *Light Wood Frame*. Construcciones sostenibles. Impacto ambiental. Cadena de producción.

## 1 Introdução

A indústria da construção civil é responsável por altos impactos ambientais em todo o mundo, e a preocupação com a sustentabilidade e medidas de mitigação desses impactos vem ganhando destaque no cenário nacional. (Lacerda; Gomes. 2014, p.168). O alto consumo de recursos e a grande geração de resíduos evidenciam a necessidade de sistemas construtivos que integrem os aspectos econômicos, sociais e ambientais para um desenvolvimento sustentável (Tuoenaite *et al.*, 2023). Por conta disso, a demanda por materiais e suprimentos que minimizem os impactos ambientais e sejam mais sustentáveis vem aumentando. As buscas por novos materiais construtivos, que antes eram orientados somente pela redução de custo e tempo, agora também levam em conta fatores ambientais e sociais (Sotsek *et al.*, 2021, p. 198).

Sotsek *et al.* (2021, p. 198) apontam que o setor da construção é responsável por cerca de um quarto das emissões globais de CO<sub>2</sub> e que o segmento contribui para os altos índices de resíduos sólidos além de causar inúmeros tipos de poluição ambiental. Diante disso, muitos países têm buscado alternativas construtivas mais eficientes para atender seus protocolos de sustentabilidade (Sotsek *et al.*, 2021, p. 198).

O setor da construção possui um crescente interesse em considerar as implicações ambientais como critérios necessários para a sustentabilidade. Desta forma, não somente a madeira, mas as madeiras engenheiradas estão sendo apontadas como escolhas promissoras para a construção de edificações sustentáveis (Balasbeneh; Sher; Yeo, 2022). A ampliação do uso da madeira na construção pode ter efeitos positivos a longo prazo, pois sua produção requer menos energia em comparação aos métodos construtivos tradicionais (Buchanana; Levineb, 1999). A madeira como recurso renovável, pode contribuir para

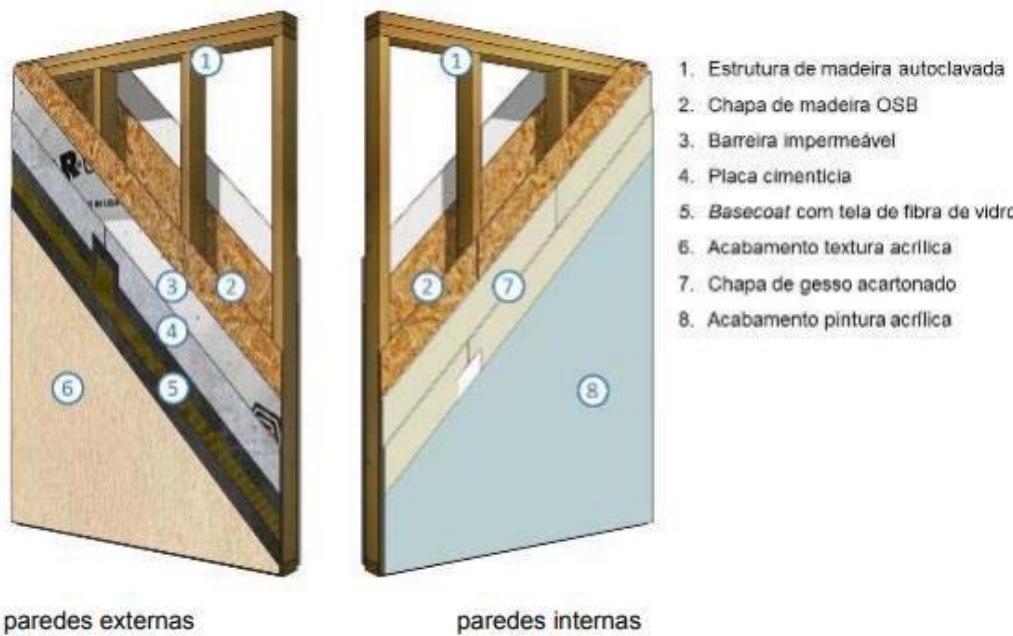
estabelecer padrões de consumo e produção mais sustentáveis, pois a madeira contribui para menores emissões de carbono e menor consumo de energia (Carrasco *et al.* 2024).

O surgimento da necessidade de busca pela sustentabilidade na construção civil se deu no momento em que a sociedade começou a exigir a minimização dos impactos ambientais gerados pelos setores produtivos. Essa demanda contribui para a busca de inovação e o surgimento de materiais mais eficientes, além de economia de recursos e redução da emissão de gases e do efeito estufa (Lacerda; Gomes, 2014, p. 170). Entretanto, o crescente interesse na industrialização dos sistemas construtivos pelo mercado da construção civil, faz com que o sistema construtivo em *Light Wood Frame* (LWF) se torne uma alternativa viável por sua versatilidade e leveza estrutural (Souza 2013, p. 11).

Diante do grande potencial florestal brasileiro, em se tratando de florestas plantadas, a utilização da madeira proveniente dessas florestas como material de construção diminui a degradação do meio ambiente, pois o aumento do uso dessa madeira na construção civil promove, além da redução da emissão de gases e do efeito estufa, a capacidade de armazenar o gás carbônico capturado da atmosfera pelas árvores que são armazenados em sua estrutura. Quando as árvores são transformadas em produtos como casas e móveis, o carbono continua capturado e é liberado somente quando a madeira apodrece ou é queimada (Souza, 2013, p. 6). Além de possuir flexibilidade no processo de fabricação, alta velocidade na montagem, padronização de processos, ainda contribui com a sustentabilidade ambiental devido a possibilidade de uso de matérias primas renováveis, baixas emissões de CO<sub>2</sub> e baixo consumo de recursos primários como água (Sotsek; Santos, 2018, p. 310).

O sistema LWF é um sistema construtivo composto por perfis de madeira tratada, geralmente pinus, que formam painéis estruturados (*frames*) e são combinados e/ou revestidos com outros materiais, conforme Figura 1. Os perfis são usados em conjunto com placas, que, em geral, são de compensado ou OSB (*Oriented Strand Board*), placa cimentícia ou *plywood*, que possuem a função de contraventamento. O conjunto de perfis e placas forma as paredes, pisos e telhados e pode ser revestido com diversos materiais para melhorar o conforto térmico, acústico e a resistência às intempéries. A modularidade que o sistema LWF proporciona e a capacidade de integração com isolamentos térmicos e acústicos permitem adaptar o desempenho das edificações às condições climáticas locais, contribuindo para maior eficiência energética e conforto ambiental, tornando a madeira um insumo promissor para a construção civil no Brasil (Sotsek; Santos, 2018, p. 310; Molina; Junior, 2010, p. 144).

**Figura 1. Composição das paredes internas e externas no *Light Wood Frame*.**



Fonte: Doro *et al.* (2023)

O LWF é um sistema de construção seco, que possui baixo consumo de água durante a obra. Consequentemente, pode reduzir o consumo de recursos hídricos e contribuir para a sustentabilidade do sistema (Lacerda; Gomes, 2014, p. 170). Além disso, o sistema LWF no Brasil, por conta da disponibilidade de áreas de reflorestamento com espécies como pinus e eucalipto, que apresentam rápidos ciclos de crescimento florestal, possui um alto potencial renovável (Araya *et al.* 2022, p. 2). Segundo Molina; Junior (2010, p. 145), a indústria nacional de florestas plantadas é uma das mais competitivas do mundo, pois possui uma grande disponibilidade de área para tal atividade. Sendo a madeira um material de construção renovável, demanda baixo consumo energético para produção.

O estudo da viabilidade e sustentabilidade do sistema LWF em regiões tropicais e subtropicais é crucial devido às características climáticas e ambientais específicas de cada região. A madeira, apesar de ser um material renovável, enfrenta desafios, como em climas de alta umidade, e pode estar sujeita a ataques de insetos e fungos. A ação dos agentes agressores pode comprometer a durabilidade das construções, além do fato de que as variações de temperatura, podem acelerar seu processo de deterioração (Carrasco *et al.*, 2024, p. 5).

A disponibilidade de madeira em diversas regiões tropicais e subtropicais do Brasil pode impulsionar o uso sustentável desse material, reduzindo a dependência de insumos com maior emissão de carbono, como o concreto e o aço, desde que seja acompanhada de um manejo florestal sustentável e de processos eficientes de preservação da madeira. Assim, a viabilidade do LWF em climas tropicais e subtropicais depende de uma abordagem que considere fatores ambientais aliados ao desenvolvimento tecnológico e a estratégias construtivas que sejam adaptadas às condições locais (Balasbeneh; Sher; Yeo, 2022, p. 887).

Diante do exposto até o momento, a literatura apresenta o potencial sustentável do sistema LWF. Contudo, é crucial considerar todos os aspectos que envolvem o sistema, especialmente a sustentabilidade, sob três perspectivas: cadeia produtiva, eficiência energética e impactos ambientais. Diante disso, existe a dúvida: o sistema *Light Wood Frame* pode ser considerado uma solução viável e sustentável para a construção civil em regiões tropicais e subtropicais? Mas sob quais critérios? Para tanto, esta pesquisa busca responder essa questão por meio de uma análise da literatura existente, buscando identificar os benefícios do uso do LWF e o uso da madeira como material renovável e com capacidade de armazenamento de carbono, além de identificar os desafios como a necessidade de garantir que a madeira seja proveniente de fontes sustentáveis e que possua o tratamento adequado para resistir às condições climáticas adversas e assegurar sua durabilidade.

## 2 Método

O presente artigo faz uso de uma revisão de literatura a partir de pesquisas em bases de dados como Science Direct, Scopus e Scielo, tendo como base as palavras-chave: *Light Wood Frame*, construções sustentáveis, impacto ambiental e cadeia produtiva. A seleção dos artigos se deu a partir de uma busca estruturada com o objetivo de identificar pesquisas que abordam a sustentabilidade ambiental de sistemas de construção leve em madeira, a partir da aplicação da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV).

Os termos em inglês utilizados para a busca de artigos nas bases de dados foram: “*Life Cycle Assessment*”, “*Light Wood Frame*”, “*sustainable construction*”, “*timber constructions*”. Os termos em português utilizados foram: “Avaliação do ciclo de vida”, “sustentabilidade na construção civil” e “sistemas construtivos leves em madeira”.

Os critérios de inclusão consideraram os artigos publicados entre 2010 e 2024, que abordassem de alguma maneira sustentabilidade em construções em sistemas construtivos leves em madeira, ou *Light Wood Frame* e aplicação de Avaliação de do Ciclo de Vida (ACV) nesses sistemas. Foram excluídos estudos voltados exclusivamente a análises econômicas ou simulações térmicas. A triagem inicial resultou em 53 estudos, sendo 21 selecionados para análise aprofundada após leitura dos resumos e do conteúdo integral, considerando a aderência à temática e à abordagem metodológica.

As publicações selecionadas foram organizadas a partir do enfoque de análise que consiste na fase do ciclo de vida, variáveis ambientais, considerações geográficas e normativas utilizadas. Os estudos foram sintetizados em quadro comparativo para permitir a identificação de padrões, lacunas e condicionantes metodológicos relevantes para a compreensão da aplicação da ACV no contexto do sistema LWF e regiões de clima subtropical. A análise consistiu, também, em identificar quais etapas são abordadas e quais parâmetros ou metodologias são utilizadas para categorizar e identificar os critérios relacionados a

sustentabilidade do ponto de vista da cadeia produtiva, eficiência energética (processo de pré-ocupação, ocupação e pós-ocupação) e impacto ambiental.

### **3 Sustentabilidade do sistema Light Wood Frame**

De acordo com Doro *et al.* (2023, p. 1101), o conceito de sustentabilidade na construção civil está relacionado ao consumo racional e produtivo dos recursos naturais disponíveis, evitando desperdícios e pensando na disponibilidade desses recursos para as futuras gerações. Segundo Souza (2010, p. 24), a construção, para ser considerada sustentável, deve ser implantada de modo a aproveitar passivamente os recursos bioclimáticos com materiais e processos construtivos de baixo impacto ambiental.

Souza (2013, p. 12) ressalta que o desenvolvimento sustentável na construção civil vem abordando ações de avaliação ambiental de edificações e seus componentes, de forma a permitir a compreensão das extensões e formas de impacto de suas atividades no meio ambiente. Já para Lacerda e Gomes (2014, p. 168), a indústria da construção civil está diretamente ligada às três dimensões de sustentabilidade: a social, a econômica e, principalmente, a dimensão ambiental.

Diante desse cenário, novos sistemas construtivos surgem para suprir a necessidade de construções que tenham baixo custo e baixo impacto nas diversas etapas do ciclo de vida da construção, aliados à redução do tempo de execução e à otimização de matérias primas (Lacerda; Gomes, 2014, p. 168). Para este estudo, são levados em consideração os três aspectos gerais para avaliação da sustentabilidade das construções em LWF: cadeia produtiva, eficiência energética e impactos ambientais. Cada um dos processos é responsável por uma determinada demanda de energia e material que causam algum tipo de impacto, seja ele ambiental, social ou econômico, conforme mostrado no Quadro 1.

**Quadro 1. Aspectos gerais da avaliação da sustentabilidade das construções em LWF**

Revisão			
Cadeia Produtiva	Eficiência Energética	Impacto Ambiental positivo	Impacto Ambiental negativo
Floresta (plantio)	Consumo de energia elétrica nas fases de desdobra e beneficiamento;	Manejo florestal;	Pressão das florestas nativas em relação ao desmatamento, diminuição de reflorestamento com mata nativa (recuperação ambiental);
Colheita		Aumento das florestas plantadas;	
Transporte		Captura de CO <sub>2</sub> ;	
Desdobra		Produção de materiais com CO <sub>2</sub> incorporado;	
Beneficiamento	Sistema LWF com alto desempenho térmicos e	Utilização de técnicas para aumentar o	Terras nuas;
			Emissões de gases de efeito

Tratamento	energético;	ciclo de vida da construção;	estufa (GEE);
Construção		Resíduos gerados podem ser reciclados e reaproveitados pela indústria na produção de outros elementos de madeira;  Alta capacidade de reuso e reciclagem.	Produção de resíduos tóxicos pelo tratamento com CCA, prejudiciais a humanos e ao meio ambiente.

Fonte: Elaborado pelos autores.

### 3.1 Cadeia Produtiva

O processo de produção da madeira para uso no sistema LWF e seus impactos começa no processo de plantio de árvores para fins industriais. São utilizados tratamentos silviculturais para modificar, melhorar, controlar e minimizar os fatores que podem afetar a qualidade da madeira. Estes tratamentos, no Brasil, são o emprego de espaçamento entre as plantas, desbaste (os resíduos não comerciais são deixados na floresta para a decomposição) e controle de pragas. Após atingir o tamanho requerido, faz-se o processo de colheita, que é a derrubada da árvore, retirada dos galhos e o corte das toras em tamanhos previamente definidos que são transportados para as serrarias, onde se faz o desdobro (Souza 2013, p. 20). É na etapa de beneficiamento da madeira que são produzidos os produtos para a construção civil como montantes, caibros, ripas, tábuas, esquadrias. A qualidade dos elementos produzidos e a quantidade de resíduos gerados dependem da qualidade da matéria-prima e dos procedimentos adotados na produção (Souza 2013, p. 24).

No Brasil, devido às condições climáticas úmidas, madeiras como pinus e eucalipto tendem a sofrer deterioração por ataques de fungos e organismos xilófagos o que diminui a durabilidade e integridade da madeira para fins estruturais. Diante disso a ABNT NBR 16.143 – Preservação de madeiras: Sistema de categorias de uso, com sua segunda edição publicada em 2024, estabelece parâmetros de tratamento e os preservativos que devem ser utilizados para cada critério de utilização (ABNT 2024), já levando em consideração construções em LWF, tendo como uma das referências a norma ABNT NBR 16.936: 2023 – Edificações em *Light Wood Frame*.

O tratamento para madeiras mais comum no Brasil é o processo por autoclave, feito em usinas que, através de equipamento que produz vácuo e pressão de maneira alternada, permite que o preservativo químico penetre profundamente e de maneira homogênea na madeira (Souza 2013 p 26). Os preservativos mais utilizados no Brasil são o CCA (Arcenato de Cobre Cromatado), CCB (Borato de Cobre Cromatado), que são hidrossolúveis e Creosoto, preservativo a base de óleo, indicado para madeiras de uso em contato com umidade de água doce, ou em contato com água salgada ou salobra (ABNT 2024). A madeira para fins estruturais é tratada com CCA, um dos preservativos mais utilizados no mercado brasileiro. Apesar de a

preservação química ser bastante antiga, há questionamentos sobre o seu potencial nocivo à saúde humana e à contaminação ambiental provocada pela disposição irregular dos resíduos da madeira tratada (Souza 2013 p. 26; Carrasco *et al.*, p 11).

### 3.2 Eficiência Energética e Desempenho Térmico

Tratando de eficiência energética, é importante ressaltar que não somente o consumo de energia após a operação da edificação deve ser considerado. Uma quantidade considerável de energia é empregada durante o processo de manufatura e transporte de vários materiais de construção, por isso a conservação de energia torna-se importante no contexto de limitar a emissão de gases de efeito estufa. (Monich, 2012, p. 31) O conceito de energia embutida está relacionado à energia necessária para a extração, transporte e refino das matérias-primas dos materiais e na fabricação de componentes e montagens do produto (Monich, 2012, p. 31; Oliveira 2016, p. 37; Carrasco *et al.*, 2024, p. 6).

A energia embutida é contabilizada nas três etapas do ciclo de vida de uma construção: a etapa pré-operacional, a etapa operacional e a etapa pós-operacional. A etapa pré-operacional compreende toda a energia consumida para a obtenção, manufatura e energia consumida durante a obra. Na etapa operacional, considera-se a energia embutida de manutenção e consumo da edificação. Já a etapa de pós-ocupação está relacionada a energia para a demolição, transporte de resíduos e, quando possível, a energia para o processo de reuso ou reciclagem de materiais, que pode ser contabilizada como um débito de energia embutida (Oliveira 2016, p. 37).

Nesse sentido, a madeira, como material de construção, representa uma alternativa mais ambientalmente adequada a materiais como metais, plásticos, compostos de cimento, entre outros, pois, quando em bom estado de conservação, produtos à base de madeira podem facilmente ser reutilizados. “Além de ser um dos produtos que despende menor energia para a sua transformação. Devido às suas características e relativa abundância, a madeira sempre foi um material de construção utilizado pelo ser humano.” (Monich, 2012, p. 39)

Outra perspectiva em relação à eficiência energética está relacionada ao desempenho térmico das edificações, pois construções em madeira possuem maior isolamento térmico, estanqueidade, permeabilidade ao vapor de água e controle do fluxo de ar. Quanto ao fluxo de calor através da envoltória da edificação, não pode ser evitado, mas pode ser controlado de forma a reduzir o consumo de energia e melhorar o conforto térmico. Contudo, no verão e em condições mais chuvosas, com altas temperaturas e umidade, as fachadas podem ter um efeito negativo no conforto, dependendo do tipo de material utilizado. Por isso, é necessário

projetar fachadas com soluções adequadas para as condições higrotérmicas, visando a economia de energia (Carrasco *et al.*, 2024, p. 8).

### 3.3 Impacto Ambiental

Para determinar em que medida um edifício pode influenciar o ambiente, são necessárias as avaliações de desempenho ambiental, de modo que o projeto e a operação da edificação possam ser modificados de forma a reduzir danos ambientais, aumentando a qualidade dos serviços oferecidos (Souza 2016, p. 59). A análise do ciclo de vida (ACV) é fundamental para quantificar seus impactos ambientais em todas as etapas, desde a extração da madeira até o descarte ou reciclagem, abrangendo aspectos como consumo de energia, emissões de gases de efeito estufa, uso de água e geração de resíduos (Sahoo *et al.*, 2019, p. 2).

Nos estudos de Monich (2012), Souza (2013), Oliveira (2016), Satola *et al.*, (2020), Fischer *et al.*, (2021) e Sultana *et al.*, (2022) a ACV foi aplicada a partir da NBR ISO 14044 – Gestão ambiental: Avaliação do ciclo de vida, que se divide em quatro fases: definição de objetivo e escopo, análise de inventário, avaliação de impactos e interpretação. Esse processo permite identificar pontos críticos, como a fase de fabricação, que pode apresentar os maiores impactos ambientais devido ao alto consumo energético. Além disso, o ACV possibilita a comparação do desempenho ambiental do LWF com outros materiais, como concreto e aço, auxiliando na escolha de alternativas mais sustentáveis (Sahoo *et al.*, 2019, p. 2).

A ACV se inicia na fabricação dos materiais de construção, passa pelo transporte até os sítios das construções, pela obra propriamente dita, prolongando-se até a vida útil da edificação, sua demolição e a deposição final dos materiais (Souza 2016, p. 59). A definição dos limites dos sistemas são cruciais para a identificação dos processos relevantes ao longo da cadeia de suprimentos de um produto, de forma a quantificar os recursos de entrada, as emissões de saída e os resultados dos produtos. Diante disso a ACV possui três abordagens principais: do berço ao portão (*cradle-to-gate*), do portão ao portão (*gate-to-gate*) e do berço ao túmulo (*cradle-to-grave*) (Sahoo *et al.*, 2019, p. 20). Os diferentes limites dos sistemas são considerados a partir da complexidade de aplicação no sistema como um todo, devido ao grande volume de informações necessárias e a limitações de acesso a essas informações.

Os estudos que abordam a ACV para construções em LWF avaliam, sob os mais variados aspectos, os impactos ambientais gerados pelo sistema. Souza (2013), traz os desdobramentos relacionados a sustentabilidade e impactos ambientais relacionados ao sistema construtivo em LWF. Aborda a ACV desde o plantio até a fase de demolição da edificação. O estudo estabelece alguns critérios relacionado aos impactos ambientais, como emissões de CO<sub>2</sub>, consumo de energia durante a produção, geração de resíduos e

capacidade de reciclagem. O estudo aponta que o sistema LWF apresenta um desempenho superior ao de sistemas convencionais, sobretudo no que se refere a emissões totais, mas ressalta várias limitações decorrentes da falta de acesso a informações, ou informações incompletas, e da falta de um banco de dados. Muitas informações dependem de abordagens qualitativas e subjetivas o que impõem incertezas aos resultados.

Monich (2012) e Oliveira (2016), desenvolveram seus estudos a partir da ACV em relação a eficiência energética. Monich (2012), aborda em seu estudo, mais especificamente a Análise do Ciclo de Vida Energético (ACVE), indicando que o consumo de energia na fase de produção de materiais representa a maior parcela do impacto do sistema. O estudo destaca que edificações em LWF demandam cerca de 40% menos energia que edifícios em alvenaria, considerando a energia incorporada, sendo este resultado diretamente influenciado pela distância entre a origem da matéria prima e o canteiro de obras.

Oliveira (2016) faz uma análise do ACV levando em consideração a energia embutida (EE) nos processos de acordo com a metodologia *cradle-to-grave* (berço ao túmulo). Identifica que, mesmo considerando o transporte e o descarte final, o sistema LWF continua apresentando menores impactos que sistemas de concreto, principalmente por utilizar materiais de menor massa e menor energia de processamento. Aponta ainda que o transporte é um fator condicionante relevante, podendo representar até 25% da energia incorporada total, dependendo da localização da obra.

Satola *et al.* (2020), aborda a ACV em relação a emissões e incorporação de gases de efeito estufa no processo produtivo. Em climas tropicais e subtropicais, análises comparativas indicam que as emissões operacionais representam entre 60% e 70% das emissões totais no ciclo de vida das edificações multifamiliares com alto consumo energético em climas tropicais e subtropicais. No entanto, estratégias voltadas a eficiência energética e ao uso de materiais de baixo impacto, como a madeira, podem reduzir as emissões em até 80% em comparação às edificações convencionais. Mostra também as lacunas relacionadas a falta de homogeneidade nos parâmetros utilizados para a avaliação do ciclo de vida. Sultana *et al.* (2022), reforçam essa dificuldade metodológica, ressaltando a diversidade de limites de sistema e a existência de diferentes abordagens para ACV, evidenciando a ausência de parâmetros padronizados. Desse modo, a avaliação muitas vezes é incompleta, além da falta de clareza nos dados.

Fischer *et al.* (2021) descrevem o processo de produção da madeira a partir da ACV tendo como resultado dados coletados na etapa de ICV (Inventário do Ciclo de Vida), sendo focado na cadeia produtiva a partir das etapas de: operações florestais (OF), produção de madeira serrada (PMS), tratamento da madeira serrada (TMS), produção de OSB (POSB) e produção de vedações verticais (PVV) utilizando a metodologia *gate-to-gate* (portão ao portão). Identifica que o tratamento preservativo da madeira, apesar de essencial para a durabilidade do material no Brasil, é um dos processos mais impactantes do ponto de vista ambiental,

devido à utilização de insumos químicos com elevado potencial poluente. O Quadro 2 mostra as abordagens e quais estudos utilizaram a ACV como metodologia de avaliação de impacto ambiental.

**Quadro 2. Estudos que aplicaram a ACV em sistemas construtivos em madeira.**

Autor (Ano)	Tipo de ACV / Abordagem	Dados de Impacto Ambiental	Principais Condicionantes	Limitações Apontadas
Souza, 2013	ACV completa ( <i>cradle-to-grave</i> )	Menores emissões de CO <sub>2</sub> , menor geração de resíduos, bom potencial de reciclagem	Cadeia produtiva nacional, durabilidade da madeira, transporte	Cadeia produtiva nacional, durabilidade da madeira, transporte
Monich, 2012	ACVE (foco na energia incorporada)	LWF demanda cerca de 40% menos energia que alvenaria	Energia da produção de materiais, distância de transporte	Limitação no detalhamento de etapas pós-uso
Oliveira, 2016	ACV ( <i>cradle-to-grave</i> )	Transporte pode representar até 25% da energia incorporada total	Logística de transporte, uso de materiais leves, descarte final	Base de dados estrangeira; generalizações por falta de inventário nacional
Satola <i>et al.</i> , 2020	ACV com foco em emissões	Redução de até 80% das emissões de GEE em relação a sistemas convencionais	Condições climáticas (tropical/subtropical), desempenho energético operacional	Falta de uniformidade metodológica entre estudos; limitações na modelagem computacional
Sultana <i>et al.</i> , 2022	Revisão sistemática	Resultados variados; apontam dificuldade de comparação entre estudos	Diversidade de recortes metodológicos; inconsistência de limites de sistema	Falta de padronização nos parâmetros da ACV; uso de dados secundários não regionais
Fischer <i>et al.</i> , 2021	ACV ( <i>gate-to-gate</i> ) da cadeia produtiva	Tratamento preservativo da madeira é um dos processos mais impactantes ambientalmente	Operações florestais, serragem, produção de painéis OSB, uso de químicos	Falta de dados específicos para o contexto brasileiro; necessidade de inventários primários mais detalhados

Fonte: Elaborado pelos autores.

Mesmo com imprecisões, podem ser desenvolvidas estratégias de mitigação dos impactos ambientais, incluindo o uso de madeira de fontes certificadas, a otimização dos processos produtivos e a adoção de tratamentos preservativos ambientalmente responsáveis. Entretanto, é necessário sejam fomentados subsídios para políticas públicas e certificações ambientais, contribuindo para a promoção de práticas construtivas mais sustentáveis e alinhadas às exigências de desempenho ambiental da construção civil (Sahoo *et al.* 2019).

#### **4 Considerações Finais**

Mesmo com limitações, a ACV é um instrumento para avaliação de impacto ambiental. Levanta considerações importantes como: os aspectos pré-ocupação, ocupação e pós-ocupação, abordando de maneira mais abrangente o ciclo de vida da edificação, levando em conta a cadeia produtiva, a eficiência energética e impactos ambientais.

A adoção de sistemas construtivos que minimizem a utilização de recursos não renováveis e com alta demanda de energia é crucial para o setor da construção civil, pois este tem um papel significativo para o alcance de sociedades mais sustentáveis (Souza, 2013, p. 10). Por isso, a industrialização e a racionalização de sistemas construtivos como o LWF se fazem necessárias. Contudo é imprescindível que haja mais estudos relacionados aos reais impactos do tratamento preservativo da madeira ao meio ambiente, já que para o Brasil, essa etapa é importante para aumentar a durabilidade do material.

Entretanto, ainda assim, é possível afirmar que, mesmo considerando as limitações apontadas nesse estudo, o sistema LWF é uma alternativa viável e positiva para a sustentabilidade ambiental. Há, ainda, a necessidade da continuidade da pesquisa para o estabelecimento de padrões mais completos para a avaliação dos impactos ambientais relacionados a construções em LWF.

#### **Referências**

ARAYA, R. *et al.* Development of Sustainable Timber Construction in Ibero-America: State of the Art in the Region and Identification of Current International Gaps in the Construction Industry. *Sustainability*, v. 14, n. 3, p. 1170, 20 jan. 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 14044: gestão ambiental: avaliação do ciclo de vida – requisitos e orientações. Rio de Janeiro, 2009. 68 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16.936: edificações em *Light Wood Frame*. Rio de Janeiro, 2023. 51 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16.143: preservação de madeiras: sistemas de categorias de uso. Rio de Janeiro, 2024 2<sup>a</sup> ed. 25 p.

BALASBANEH, A. T.; SHER, W.; YEOH, D. Recommending a new building structure to alleviate environmental impact in tropical climates: increasing the use of wood in construction. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, v. 27, n. 7, p. 885–901, 1 jul. 2022.

BUCHANAN, A. H.; LEVINE, S. B. Wood-based building materials and atmospheric carbon emissions. *Environmental Science & Policy*, v. 2, n. 6, p. 427–437, 1 dez. 1999.

CARRASCO, E. V. M. *et al.* Durability And Energy Efficiency In Mass Timber Buildings: A Sustainable Approach To Modern Construction. *Revista Políticas Públicas & Cidades*, v. 13, n. 2, p. e927–e927, 3 set. 2024.

DORO, V. C.; GUIMARÃES JUNIOR, L. C. S.; RUBIO NETO, A. Análise do potencial sustentável da madeira empregada no sistema Wood frame. *Revista Caribeña de Ciencias Sociales*, v. 12, n. 3, p. 1099–1110, 10 ago. 2023.

FISCHER, A. C. *et al.* Processo produtivo de materiais de madeira que compõem o sistema construtivo Wood Frame = The production process of wood materials that make up the Wood Frame building system. *Brazilian Journal of Development*, v. 7, n. 12, p. 119453–119471, 29 dez. 2021. Disponível em: <<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/09613218.2019.1631700>>. Acesso em: 12 fev. 2025.

LACERDA, J. F. S. B.; GOMES, J. D. O. Uma visão mais sustentável dos sistemas construtivos no Brasil: análise do estado da arte. *Revista E-Tech: Tecnologias para Competitividade Industrial* - ISSN - 1983-1838, v. 7, n. 2, p. 167–186, 20 nov. 2014.

MOLINA, J. C.; JUNIOR, C. C. Sistema construtivo em “wood frame” para casas de madeira. Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas, v. 31, n. 2, p. 143–156, 15 dez. 2010.

MONICH, C. R. Avaliação Ambiental De Uma Habitação De Interesse Social Pré- Fabricada Em Madeira No Sistema Wood Frame No Estado Do Paraná. 2012.

OLIVEIRA, E. D. Contribuição Para Análise Do Ciclo De Vida No Ambiente Construído Visando A Energia e o CO<sub>2</sub> Embutidos No Sistema Construtivo Wood Frame. 2016. 125f. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Construção Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Construção Civil, Universidade Federal Do Paraná, Curitiba, 2016.

SAHOO, K. *et al.* Life Cycle Assessment of Forest-Based Products: A Review. *Sustainability*, v. 11, n. 17, p. 4722, 29 ago. 2019.

SATOLA, D. *et al.* Life Cycle GHG Emissions of Residential Buildings in Humid Subtropical and Tropical Climates: Systematic Review and Analysis. *Buildings*, v. 11, n. 1, p. 6, 24 dez. 2020.

SOTSEK, N. C. *et al.* Application of MEPLWF: method performance evaluation of the *Light Wood Frame* construction system. *Ambiente Construído*, v. 21, p. 197–211, 24 maio 2021.

SOTSEK, N. C.; SANTOS, A. DE P. L. Panorama do sistema construtivo *Light Wood Frame* no Brasil. *Ambiente Construído*, v. 18, p. 309–326, 2 jul. 2018.

SOUZA, R. V. Aspectos ambientais e de custo de produção do Sistema Plataforma em madeira para habitação de interesse social: estudo de caso em Florianópolis. 2013. 191f. Dissertação (Mestrado em

Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013.

SULTANA, R. *et al.* Life Cycle Environmental Sustainability and Energy Assessment of Timber Wall Construction: A Comprehensive Overview. *Sustainability*, v. 14, n. 7, p. 4161, 31 mar. 2022.

TUPENAITE, L. *et al.* Timber Construction as a Solution to Climate Change: A Systematic Literature Review. *Buildings*, v. 13, n. 4, p. 976, abr. 2023.