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.v21i1.8694

Estimativa das emissões de gases de efeito estufa na produção do *cross laminated timber*

Estimated greenhouse gas emissions from cross laminated timber production

Paula Cristina Borges de Souza
Universidade Federal da Integração Latino-Americana | Foz do Iguaçu | Brasil | paulasouza.arq@gmail.com
Katia Regina Garcia Punhagui
Universidade Federal da Integração Latino-Americana | Foz do Iguaçu | Brasil | katia.punhagui@unila.edu.br

Resumo

O setor de edificações responde por cerca de 34% das emissões globais de CO_2 (2025), demandando a redução da sua pegada de carbono. Entre as estratégias possíveis, destaca-se o uso de sistemas construtivos constituídos por materiais de base biológica, como o *Cross Laminated Timber* (CLT), com potencial de estoque temporário de carbono biogênico e redução de emissões. Este estudo objetiva estimar as emissões de GEE de fonte fóssil para a produção de 1 m³ de painel de CLT. O método consistiu no levantamento e análise de 12 Declarações Ambientais de Produto (EPDs) de fabricantes de 7 países e 3 continentes, considerando o escopo do berço ao portão (A1-A3). O Brasil não integra a amostra devido à inexistência de dados nacionais. Os resultados variam entre 52,6 $kgCO_{2\text{-eq}}/m^3$ e 248 $kgCO_{2\text{-eq}}/m^3$, principalmente devido às matrizes energéticas baseadas em combustíveis fósseis. Verificou-se que o consumo energético é o principal fator para a redução das emissões, destacando-se a relevância do uso de energias renováveis e de subprodutos do processo produtivo. Como contribuição, o estudo estabelece uma ordem de grandeza das emissões fósseis do CLT e identifica os principais fatores que influenciam sua variabilidade, subsidiando futuros estudos nacionais.

Palavras-chave: *Cross Laminated Timber*. Construção em madeira. Emissões de carbono. Avaliação do ciclo de vida.

Abstract

The building sector accounts for approximately 34% of global CO2 emissions (2025), requiring ways to reduce its carbon footprint. Among the possible strategies, the use of construction systems made of bio-based materials, such as Cross Laminated Timber (CLT), stands out, with the potential for temporary biogenic carbon storage and emission reduction. This study aims to estimate the GHG emissions from fossil fuel sources to produce 1 m³ of CLT panel. The method consisted of collecting and analyzing 12 Environmental Product Declarations (EPDs) from manufacturers in 7 countries and 3 continents, considering the cradle-to-gate (A1-A3) scope. Brazil is not included in the sample due to the lack of national data. The results vary between 52.6 kgCO2-eq/m³ and 248 kgCO2-eq/m³, mainly due to energy matrices based on fossil fuels. It was found that energy consumption is the main factor in reducing emissions, highlighting the relevance of using renewable energies and by-products of the production process. As a contribution, the study establishes an order of magnitude of fossil emissions from the CLT and identifies the main factors that influence their variability, supporting future national studies.

Keywords: Cross Laminated Timber. Timber construction. Carbon emissions. Life cycle assessment.

DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v21i1.8694

INTRODUÇÃO E FUNDAMENTAÇÃO

O setor da construção desempenha papel de relevância nas mudanças climáticas, sendo responsável por cerca de 32% da demanda mundial de energia e 34% das emissões de dióxido de carbono (CO_2) relacionadas à energia e aos processos produtivos. O cimento e o aço, principais materiais utilizados na construção civil atualmente, contribuem com 18% dessas emissões, além de serem importantes geradores de resíduos [1].

Tal cenário torna-se particularmente crítico diante das metas climáticas globais. O IPCC indica que a limitação do aquecimento global a 1,5 °C requer a redução de aproximadamente 45% das emissões líquidas globais de CO_2 até 2030, relativamente aos níveis de 2010, com alcance de emissões líquidas nulas em torno de 2050 [2]. As metas atuais do governo brasileiro preveem reduções baseadas nos níveis de emissões de 2005, com redução de 50% (2030), 59% a 67% (2035) e emissões líquidas zero até 2050 [3].

Diante desse contexto, a busca pela redução das emissões do setor da construção civil tem se intensificado. Entre as alternativas estão as reduções de consumo energético nas fases pré-operacional e operacional do edifício, a redução do consumo de materiais e o uso de material com menor pegada de carbono. O *cross laminated timber* (CLT) tem se destacado pelo seu potencial de mitigação das emissões de carbono e maior estoque temporário de carbono biogênico. Estudos indicam que a substituição de sistemas construtivos convencionais, como o concreto armado, pode resultar em reduções da ordem de 40% nas emissões incorporadas de carbono [4]. Esse desempenho está associado tanto ao uso de resíduos do processamento da madeira como fonte energética em seu próprio processo de produção [5] quanto à capacidade de armazenamento de carbono biogênico ao longo do ciclo de vida do material.

Nesse cenário, a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) [6] mostra-se como ferramenta mais adequada para quantificar os impactos ambientais dos materiais de construção, sistemas construtivos e processos. Através da ACV é possível identificar aspectos ambientais críticos em cada etapa do ciclo de vida, que podem ser analisados isoladamente ou de forma sistêmica. Esses resultados oferecem informações objetivas que subsidiam a tomada de decisão e contribuem para o melhor desempenho ambiental das edificações.

Adicionalmente, em sistemas construtivos que utilizam materiais de base biológica, como a madeira, a ACV diferencia as emissões fósseis (processamento e transporte) das biogênicas (resíduos de madeira) e do estoque temporário de carbono no material. Essa distinção é essencial para a análise sistêmica de impacto ambiental, pois, enquanto o carbono fóssil eleva o potencial de aquecimento global, o carbono biogênico estocado exerce um papel mitigador.

OBJETIVO

Estimar a emissão dos gases de efeito estufa (GEE), de fonte fóssil, de 1 m^3 do painel de *cross laminated timber* (CLT).

MÉTODO

Os dados para a análise da emissão de GEE de fonte fóssil foram obtidos a partir da pesquisa em *Environmental Product Declarations* (EPDs) publicadas no *website* "*International EPD System"* [7]. Para a pesquisa das EPDs, realizada em 2026, foram utilizadas as palavras-chave: "*cross laminated timber"*, "CLT" e "X-lam" tendo sido encontradas 15 EPDs. Destas, 2 foram descartadas por abordarem produtos fora do âmbito desta pesquisa, e 1 EPD excluída por não apresentar dados primários, pois a elaboração desta foi realizada em fase anterior ao início do funcionamento da fábrica. Das 12 EPDs restantes, 1 refere-se ao produto fabricado na América do Sul, 9 na Europa e 2 na Oceania. As 12 EPDs analisadas [8][9][10][11][12][13][14][15][16][17][18][19] foram publicadas por 9 empresas diferentes.

A pesquisa restringe-se à estimativa das emissões de gases de efeito estufa de fonte fóssil para a produção de 1 m³ de painel de *cross laminated timber*, considerando o escopo da extração da matéria prima (A1), transporte para a fábrica (A2) e produção (A3) – análise do berço ao portão. Esta delimitação foi estabelecida pelo fato de todas as EPDs analisadas fornecerem dados da Etapa de Produto (A1-A3). Nas etapas posteriores, as informações apresentadas são resultado da previsão de cenários.

Os dados das EPDs (identificadas de 1 a 12) foram inseridos manualmente em folha de cálculo do programa Excel para facilitar a análise das informações. A emissão de carbono da Etapa de Produto é apresentada como valor único em 7 EPDs, pois apenas 5 declarações apresentaram os valores individuais para as fases A1, A2 e A3. A ausência desta informação individualizada limitou a identificação de pontos críticos desta etapa.

Os fatores de emissão de energia elétrica foram retirados das EPDs analisadas. Nos casos em que tal informação foi omitida, foram consultadas as fontes que constam do Quadro 2.

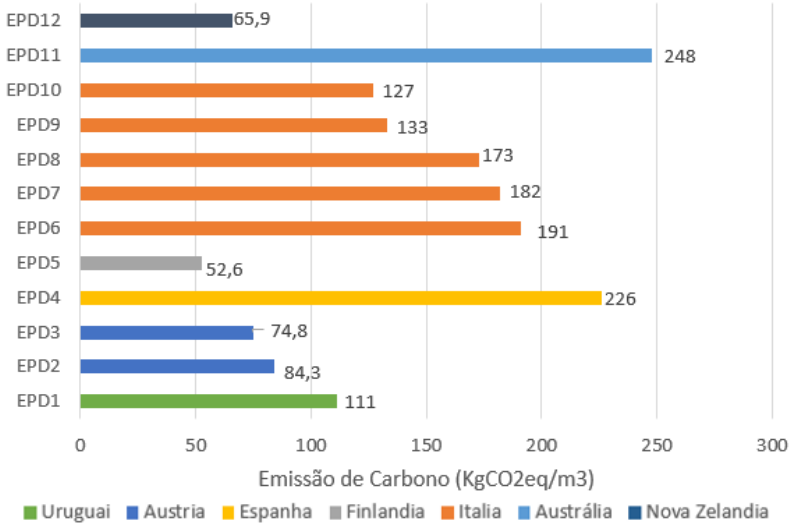
RESULTADOS E DISCUSSÃO

As emissões de gases de efeito estufa de fonte fóssil de 1 m³ de painel de CLT, do berço ao portão, variam entre 52,6 $kgCO_{2\text{-}eq}/m^3$ e 248 $kgCO_{2\text{-}eq}/m^3$ (média 139,05 $kgCO_{2\text{-}eq}/m^3$ e mediana 130,00 $kgCO_{2\text{-}eq}/m^3$). A maior emissão refere-se ao produto da Austrália, sendo 4,71 vezes maior do que o painel da Finlândia, com menor emissão (Figura 1), principalmente devido ao seu fator de emissão (Quadro 2).

Ao analisar os valores parciais, apresentados no Quadro 1, verifica-se que as emissões do CLT produzido na Finlândia (EPD5) são expressivamente inferiores aos das outras EPDs. Em comparação aos segundos menores valores, o CLT finlandês apresenta uma redução de emissões de 61,6% (A1), 51,1% (A2) e 35,6% (A3) (Figura 1).

DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v21i1.8694

Figura 1: Emissão de $CO_{2\text{-eq}}$, de fonte fóssil, de 1 m^3 de painel de *cross laminated timber* (CLT)



Fonte: Elaborado pelos autores.

No Quadro 1, a identificação dos meios de transporte indica a sua contribuição para as emissões de GEE. Segundo a EPD5, na fase A2, o transporte de matéria prima para a fábrica é realizado tanto por caminhão como por trem, um diferencial em relação às demais EPDs que são exclusivamente por caminhões (Quadro 1). As unidades de produção da matéria prima estão localizadas na Áustria, Suécia e República Checa, região onde a infraestrutura ferroviária é eletrificada [14] e a matriz energética é majoritariamente renovável, contexto favorável para a baixa emissão de carbono associada ao transporte. A emissão relativa ao transporte é o valor mais baixo dentre as 3 fases da Etapa de Produto do CLT finlandês.

A EPD11 não apresenta valores discriminados das fases A1 a A3, mas apresenta um infográfico com emissões das fases de cultivo e manejo florestal (fase A1) juntamente com o transporte das toras até a fábrica (fase A2), dificultando a análise precisa das emissões destas fases, individualmente, e o contributo do transporte em particular. Destaca-se, contudo, que a fase de processamento, isoladamente, é responsável pela emissão de 134,0 $kgCO_{2\text{-eq}}/m^3$ (54 % do total de emissões), constituindo a principal variável pelo elevado valor de emissões.

Quadro 1: Emissão de $CO_{2\text{-eq}}$ de fonte fóssil de 1 m³ de painel de CLT com madeira não tratada

	Emissão ($kgCO_{2\text{-eq}}$/m3)					
EPDs	A1-A3	A1	A2 [1]	A3	Transporte	País
EPD1	111,0	-	-	-	Caminhão	Uruguai
EPD2	84,3	-	-	-	Caminhão	Áustria
EPD3	74,8	-	-	-	Caminhão	Áustria
EPD4	226,0	-	-	-	Caminhão	Espanha
EPD5	**52,6**	**32,6**	**8,7**	**11,2**	**Caminhão e trem**	**Finlândia**
EPD6	191,0	-	-	-	Caminhão	Itália
EPD7	182,0	109,0	47,1	25,8	Caminhão	Itália
EPD8	173,0	100,0	46,4	26,6	Caminhão	Itália
EPD9	133,0	85,0	17,8	30,3	Caminhão	Itália
EPD10	127,0	90,2	19,4	17,4	Caminhão	Itália
EPD11	248,0	180,2 [2]	9,3 [3]	48,8	**Caminhão**	Austrália
EPD12	65,9	-	-	-	Caminhão	Nova Zelândia

CLT com maior emissão. CLT com menor emissão.

[1] As EPDs analisadas não explicitam as distâncias (km) relativas à fase A2. [2] A EPD11 apresenta valor único de 180,2 $kgCO_{2\text{-eq}}/m^3$ para o cultivo, a extração e o transporte das toras para a serraria, apesar de considerar este transporte como parte da fase A2. [3] Valor de emissão de 9,26 $kgCO_{2\text{-eq}}/m^3$ referente ao transporte da matéria prima até a fábrica.

Fonte: Elaborado pelos autores.

Outro item relevante para a variabilidade das emissões diz respeito aos fatores de emissão de energia elétrica. A Finlândia apresenta o menor fator de emissão quando comparado às restantes EPDs analisadas, com um valor de 0,030 $kgCO_{2\text{-eq}}$/kWh, conforme apresentado no Quadro 2. No caso do CLT produzido na Espanha, 2º maior valor de emissões entre os produtos analisados, o fator de emissão de eletricidade (0,510 $kgCO_{2\text{-eq}}$/kWh) é coerente com o resultado das emissões. Essa informação corrobora a contribuição relevante do fator de emissão no impacto ambiental do produto.

Quadro 2: Fatores de emissão da energia elétrica utilizados

Continente	País	Fator de emissão da energia elétrica ($kgCO_{2\text{-eq}}$/kWh)	Ano de referência	Fonte
América	Brasil	0,052	2024	[20]
	Uruguai	0,088	2023	[8]
Europa	Áustria	0,182	2023	[21]
	Espanha	0,510	2022	[15]
	Finlândia	0,030	2024	[22]
	Itália	0,189	2024	[19]
		0,334	2023	[9]
Oceania	Austrália	1,020 (New South Wales)	2019-20	[16]
		0,018 (GreenPower)	2021	[16]
	Nova Zelândia	0,101	2024	[23]
*O valor do Brasil é apresentado apenas a título de referência, não havendo um estudo de caso brasileiro existente na amostra.				

Fonte: Elaborado pelos autores.

A EPD11 Austrália, apresenta 2 fatores de emissão regionais. O fator de emissão de 1,020 $kgCO_{2\text{-eq}}$/kWh deve-se ao uso da eletricidade do estado de New South Wales onde é realizado o processamento da madeira, impactando o valor de emissão da fase A1. O valor de 0,018 $kgCO_{2\text{-eq}}$/kWh está relacionado à fase de produção realizada na

região de Victoria e interfere na emissão da fase A3. A grande diferença desses valores deve-se à decisão da empresa de usar, a partir de 2022, 100% de energia renovável na produção do CLT (fase A3), energia fornecida pela GREEN POWER, emissora de certificados de energia renovável, que garante a sua origem.

A compra de certificados de energia renovável representou, no caso do painel de CLT australiano, uma redução de 45% nas emissões declaradas, caindo de um valor de 447 $kgCO_{2\text{-}eq}/m^3$ (anterior a 2022) para o atual valor de 248 $kgCO_{2\text{-}eq}/m^3$. Esta estratégia incidiu sobre a fase com o maior fator de emissão de eletricidade (1,321 $kgCO_{2\text{-}eq}/m^3$) resultando numa expressiva redução. Contudo, os resultados decorrentes da compra de certificados não refletem as emissões reais das atividades ao longo da Etapa de Produto, não sendo possível verificar, a partir desses dados, o impacto efetivo da produção dos painéis nas emissões de GEE.

As decisões e investimentos técnicos para suprir as necessidades de energia para a Etapa de Produto, definidos pelas empresas, repercutem diretamente nos fatores de emissão de energia elétrica e nas emissões de GEE. Neste contexto, a adoção de energia renovável é uma estratégia relevante para a redução da pegada de carbono do painel de CLT. No caso das empresas italianas (EPD6 e EPD10), a instalação de painéis fotovoltaicos supriu 48% e 30% da demanda elétrica, respectivamente, reduzindo a dependência de energia de origem fóssil.

Esta estratégia de geração de energia *in loco* contribuiu para os valores de emissão de 0,334 $kgCO_{2\text{-}eq}$/kWh e 0,1891 $kgCO_{2\text{-}eq}$/kWh, respectivamente. Vale ressaltar que a diferença entre estes valores ocorre ainda, quando analisada a parcela de energia não suprida pela autogeração, porque a EPD10 compra certificados de energia renovável, enquanto a EPD6 recorre à rede nacional, dependente de energia de origem fóssil.

Por outro lado, em países como a Áustria e Finlândia, verifica-se o aproveitamento energético de subprodutos da madeira durante o processo de secagem da matéria prima, reduzindo o consumo de energia de origem fóssil. Este suprimento de energia proveniente de resíduos de madeira teve um papel significativo na redução das emissões na fase A3 (EPD5), verificado pela reduzida emissão (11,2 $kgCO_{2\text{-}eq}/m^3$) da fase de produção finlandesa. Devido à falta de valores parciais relativos ao painel de CLT produzido na Áustria, não foi possível quantificar a contribuição do aproveitamento dos subprodutos da fábrica.

Outro aspecto relevante quanto ao nível de emissão de carbono do painel de CLT, diz respeito ao tratamento da madeira. O CLT australiano apresenta a emissão de 11,4 $kgCO_{2\text{-}eq}/m^3$ relativo ao tratamento com Preservativo de Solvente Orgânico Leve (LOSP) resultando numa emissão total de 259,4 $kgCO_{2\text{-}eq}/m^3$. A EPD12, referente ao CLT produzido na Nova Zelândia, apresenta o acréscimo de emissões decorrentes de vários tipos de tratamento, variando de 15,8 $kgCO_{2\text{-}eq}/m^3$ (aumento de 29,87%, no caso de H1.2 Boron) à 82,1 $kgCO_{2\text{-}eq}/m^3$ (aumento de 155,20%, no caso de H3.1 LOSP). Pelos valores apresentados, verifica-se que a inclusão de componentes químicos pode representar grande impacto nas emissões do CLT. Por outro lado, salienta-se que, mesmo para os tratamentos com baixas emissões é importante a verificação da

toxicidade desses tratamentos devido ao potencial de degradação ambiental e danos à saúde humana.

O tipo e densidade da madeira pode ainda, ser um fator de variação das emissões devido ao aumento de consumo de energia na fase de produção (A3). Nas EPDs analisadas não foi verificada esta relação.

O tipo e a quantidade de cola influenciam as emissões na fase A1, embora representem uma fração pequena da massa total do produto. Na EPD5 é mencionado que a produção do ligante pode representar cerca de 15% do impacto total de aquecimento global do processo.

Adicionalmente, salienta-se a influência das melhorias tecnológicas e atualizações metodológicas. As EPDs 7 e 8 (2021) foram atualizadas pela EPD10 (2025), atualização necessária devido a introdução de sistema fotovoltaico, ao aumento da eficiência energética das máquinas e à atualização das Bases de Dados (Ecoinvent 3.6 para 3.10), além do Modelo de LCA e do *Software*. Essas alterações refletiram-se na redução das emissões de carbono, de 182 $kgCO_{2\text{-}eq}$/m3 (EPD7) e 173 $kgCO_{2\text{-}eq}$/m3 (EPD8) para 127 $kgCO_{2\text{-}eq}/m^3$ (EPD10). A produção de energia no local leva, certamente, à redução das emissões nas fases A1 a A3, contudo, a atualização das bases de dados e as variações no método não permitiram avaliar o real impacto nos valores das emissões.

A produção de embalagem é outro fator a ser mencionado, não devido ao impacto para a emissão de GEE, mas para efeitos de precisão de dados e de rigor metodológico. Constatou-se que não existe uniformidade na declaração desta informação. Algumas EPDs incluem essa etapa, outras a excluem com base em critérios de *cut-off*, e há ainda casos sem qualquer menção. Verifica-se a necessidade de padronização no fornecimento dos dados para ser possível fazer a comparação entre produtos.

Os resultados indicam que a variabilidade observada se deve à interação entre fatores energéticos, tecnológicos, logísticos e metodológicos, os quais, em conjunto, explicam as diferenças nos valores de emissões apresentadas. Mais do que comparar resultados, este estudo buscou estimar uma faixa de variação das emissões de GEE para determinar uma ordem de grandeza dessas emissões e, sobretudo, identificar pontos críticos que provocam oscilações nas emissões com potencial de aquecimento global.

ETAPAS DE USO E FIM DE VIDA

As etapas de uso e de fim de vida, embora fora do escopo, são apresentadas complementarmente. Os dados contribuem para uma visão geral do produto e, em particular, dos contextos e oportunidades de redução das emissões de GEE de fonte fóssil que aumentam o potencial de aquecimento global ao longo do ciclo de vida do CLT.

A etapa de uso (fases B1-B7) é abordada apenas nas EPDs 2, 3, 5, 7 e 8, não havendo qualquer menção nas restantes. Os fabricantes referem que o produto não necessita de manutenção e não libera substâncias nocivas para o ambiente, não havendo impacto ambiental ao longo da vida útil do edifício. É sabido que toda edificação

necessita de algum tipo de manutenção na fase de uso, e que o aumento da vida útil está diretamente relacionado a estas intervenções [24].

Ao longo do tempo de vida útil, a manutenção, necessária para garantir a sua durabilidade, implica em impactos ambientais de dimensões variáveis, mas que, numa análise criteriosa, seria considerada. O tratamento preservativo da madeira, quando existente, garante a durabilidade do material frente a ações de deterioração ao longo do tempo, porém incrementa a toxicidade na fase A e na fase de descarte, conforme o produto químico utilizado. Assim, ainda que as EPDs desconsiderem tais fatores, não significa que eles sejam de menor importância.

Cabe ressaltar ainda, que as informações das EPDs quanto a Etapa de Uso, quando existentes, desconsideram o impacto do CLT no consumo de energia do edifício para a promoção de condições de habitabilidade e de conforto, parcela relevante no consumo geral de energia e na emissão de GEE.

Os cenários de fim de vida (módulos C1-C4) variam com a infraestrutura de gestão de resíduos e com as práticas de cada país. Nos países europeus da amostra, o cenário mais comum é a incineração com recuperação de energia, reduzindo ou até substituindo a necessidade de combustíveis fósseis. Neste processo, o carbono biogênico armazenado na madeira é contabilizado como sendo reemitido para a atmosfera gerando um saldo de carbono praticamente nulo e uma contribuição neutra para o aquecimento global (A1 ao C4).

Na Nova Zelândia o destino mais comum do painel de CLT, declarado na EPD, é o aterro sanitário. Esta destinação ocorre principalmente para os produtos com tratamento químico que apresentam restrição legal à incineração devido à liberação de poluentes na atmosfera ou nas cinzas [13]. O uso de tratamentos como o LOSP e, especialmente, o CCA, descritos na EPD12, cria uma situação “sem saída”, pois inviabiliza tanto a reciclagem quanto a incineração, levando à situação de descarte ao aterro e aos impactos ambientais que tal ação gera.

No caso da Austrália, e pelo fato de o CLT ser um produto novo, a EPD não apresenta dados, mas cenários de fim de vida. Considera-se, nesses cenários, a destinação dos painéis para o aterro sanitário, de modo semelhante aos restantes produtos de madeira, sem especificar se para o caso da madeira tratada ou não.

A reciclagem é cenário usual nos países da Europa da amostra, constituindo na trituração do CLT para produção de aparas de madeira utilizadas em painéis de partículas evitando a extração e o processamento de madeira virgem. Vale ressaltar que a reciclagem prolonga o armazenamento do carbono biogênico na massa da madeira, contudo, o saldo final de emissões e o potencial de aquecimento global ficam condicionados aos métodos de processamento e aos insumos integrados ao novo produto. Outras opções de fim de vida, como a desconstrução e a reutilização, são citadas evidenciando a possibilidade de o produto ser incorporado em contexto de economia circular.

A inclusão dos cenários de fim de vida permite o cálculo das emissões finais no caso específico de cada projeto e a avaliação do produto com menor pegada de carbono,

fundamentando uma análise sistêmica e abrangente. Esta abordagem proporciona uma visão mais realista dos aspectos ambientais da construção, evitando conclusões equivocadas ou enviesadas decorrentes da limitação do recorte definido.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo estimou a faixa de variação das emissões de gases de efeito estufa de fonte fóssil de 1 m3 de painel de *cross laminated timber* (CLT), baseado em dados extraídos de 12 Declarações Ambientais de Produto (EPDs), com escopo de análise do berço ao portão (etapas A1 a A3), tendo encontrado grande variação de valores entre 52,6 kg $CO_{2\text{-eq}}/m^3$ e 248 kg $CO_{2\text{-eq}}/m^3$. É importante ressaltar que o painel de CLT possui um elevado potencial de mitigação do aquecimento global, devido ao seu estoque temporário de carbono biogênico, e que este estudo não avaliou o ciclo do carbono biogênico, apenas as emissões fósseis.

Os resultados demonstram que esta variabilidade está associada, principalmente, a fatores energéticos das matrizes elétricas nacionais dependentes, muitas vezes, de energia de origem fóssil. As estratégias implementadas pelas empresas, como a geração de energia elétrica própria de fonte renovável, a compra de certificados de energia renovável e a utilização de subprodutos da própria madeira como suprimento energético tiveram papel relevante na redução das emissões.

O uso da EPD como instrumento metodológico apresentou diversas limitações e lacunas importantes. Observou-se a aplicação de diferentes Regras de Categoria de Produto (PCR) para a realização da Avaliação do Ciclo de Vida, e uso de normas fundamentadas em indicadores e fatores de caracterização distintos. Além disso, a variabilidade nos períodos de análise (dados de 2018 a 2024) e o uso de diferentes versões de bases de dados secundárias (programa Ecoinvent 3.8 a 3.11) dificultaram a comparabilidade entre os produtos. A falta de detalhamento e dados agregados das fases A1, A2 e A3 também dificultaram a análise sobre fatores interferentes nas emissões.

Desta forma, o presente estudo contribui para estimar uma faixa de variação das emissões de gases de efeito estufa, de origem fóssil, na produção do painel de CLT, buscando a demarcação de uma ordem de grandeza para tais emissões. Isto colabora para pesquisas científicas decorrentes que avancem na análise de sistemas construtivos baseados em madeira e estratégias para redução das emissões no setor da construção. Adicionalmente, ao apontar os fatores de maior influência e as inconsistências metodológicas das EPDs atuais, este trabalho colabora para uma análise crítica sobre o método de avaliação e destaca os pontos críticos de ação.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Universidade Federal da Integração Latino-Americana (UNILA) pelo apoio durante a pesquisa.

DECLARAÇÃO

Durante a preparação deste artigo, o primeiro autor utilizou o Notebook LM e o ChatGPT (GPT-5.5) para a interpretação de dados e a revisão e melhoria da coesão do texto. Após a utilização das ferramentas, os autores revisaram e editaram o conteúdo conforme necessário e assumem total responsabilidade pelo conteúdo do artigo publicado.

REFERÊNCIAS

[1] UNEP. Relatório Global sobre o Estado da Construção Civil 2024/2025. **UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME**, 2025. Disponivel em: <https://wedocs.unep.org/items/cd45bf5e-f635-4b6e-a453-8de0433aef35>. Acesso em: 28 abril 2026.

[2] IPCC. Relatório Especial: Aquecimento Global de 1,5 ºC. **Painel Intergovernamental sobre mudanças climáticas**, 2018. Disponivel em: <https://www.ipcc.ch/sr15/chapter/spm/>. Acesso em: 28 abril 2026.

[3] EPE. Empresa de Pesquisa Energética. **Nota Técnica - Apoio à restauração florestal no Brasil pelas empresas de óleo e gás por meio de créditos de carbono**, 2021. Disponivel em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-661/NT%20EPE-BNDES-Final.pdf>. Acesso em: 28 abril 2026.

[4] DUAN, Z.; HUANG, Q.; ZHANG, Q. Life cycle assessment of mass timber construction: A review. **Building and Environment**, v. 221, 2022.

[5] PUNHAGUI, K. R. G.; JOHN, V. M. Carbon dioxide emissions, embodied energy, material use efficiency of lumber manufactured from planted forest in Brazil. **Journal of Building Engeneering**, v. 52, p. 2352-7102, 2022.

[6] ABNT. **NBR ISO 14044**: Gestão ambiental — Avaliação do ciclo de vida — Requisitos e orientações. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

[7] ENVIRONDEC. Environmental Product Declarations. **INTERNATIONAL EPD SYSTEM**, 2025. Disponivel em: <https://www.environdec.com/all-about-epds/the-epd>. Acesso em: 15 janeiro 2026.

[8] ARBOREAL. Environmental Product Declaration of Cross Laminated Timber. **The International EPD System**, 2024. Disponivel em: <https://www.environdec.com/library/epd13314>. Acesso em: 15 janeiro 2026.

[9] ARTUSO LEGNAMI. Environmental Product Declaration of Cross Laminated Timber. **The International EPD System**, 2025. Disponivel em: <https://www.environdec.com/library/epd1408>. Acesso em: 15 janeiro 2026.

[10] ESSEPI. Environmental Product Declaration of Cross Laminated Timber. **The International EPD System**, 2024. Disponivel em: <https://www.environdec.com/library/epd14254>. Acesso em: 15 janeiro 2026.

[11] KLH MASSIVHOLZ. Environmental Product Declaration of Cross Laminated Timber. **The International EPD System**, 2026. Disponivel em: <https://www.environdec.com/library/epd27209>. Acesso em: 30 janeiro 2026.

[12] KLH MASSIVHOLZ. Environmental Product Declaration of Cross Laminated Timber. **The International EPD System**, 2026. Disponivel em: <https://www.environdec.com/library/epd26631>. Acesso em: 30 janeiro 2026.

[13] RED STAG. Environmental Product Declaration of Cross Laminated Timber. **The International EPD System**, 2025. Disponivel em: <https://www.environdec.com/library/epd3711>. Acesso em: 15 janeiro 2026.

[14] STORA ENSO. Environmental Product Declaration of Cross Laminated Timber. **The International EPD System**, 2023. Disponivel em: <https://www.environdec.com/library/epd9949>. Acesso em: 15 janeiro 2026.

[15] XILONOR. Environmental Product Declaration of Cross Laminated Timber. **The International EPD System**, 2023. Disponivel em: <https://www.environdec.com/library/epd10735>. Acesso em: 15 janeiro 2026.

[16] XLAM AUSTRALIA. Environmental Product Declaration of Cross Laminated Timber. **The Internetional EPD System**, 2023. Disponivel em: <https://www.environdec.com/library/epd2326>. Acesso em: 15 janeiro 2026.

[17] XLAM DOLOMITI. Environmental Product Declaration of Cross Laminated Timber. **The International EPD System**, 2021. Disponivel em: <https://www.environdec.com/library/epd5298>. Acesso em: 15 janeiro 2026.

[18] XLAM DOLOMITI. Environmental Product Declaration of Cross Laminated Timber. **The International EPD System**, 2021. Disponivel em: <https://www.environdec.com/library/epd5299>. Acesso em: 15 janeiro 2026.

[19] XLAM DOLOMITI. Environmental Product Declaration of Cross Laminated Timber. **The International EPD System**, 2025. Disponivel em: <https://www.environdec.com/library/epd19455>. Acesso em: 15 janeiro 2026.

[20] GOVERNO FEDERAL. Fator médio - Inventários corporativos. **MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO**, 2024. Disponivel em: <https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/dados-e-ferramentas/fatores-de-emissao>. Acesso em: 28 abril 2026.

[21] WKO. Câmara Federal de Comércio da Áustria. Contabilização dos gases de efeito estufa no comércio. **WKO**, 2023. Disponivel em: <https://www.wko.at/oe/handel/nachhaltigkeit/treibhausgasbilanzierung-im-handel#:~:text=Der%20Faktor%20f%C3%BCr%20indirekte%20Emissionen,kg%20CO2eq/kWh%20angegeben.&text=Da%20dies%20nicht%20der%20Faktor,2%20%22location%2Dbased%22 >. Acesso em: 28 abril 2026.

[22] STATISTICS FINLAND. Statistics Finland's free-of-charge statistical databases. **Tilastokeskus**, 2024. Disponivel em: <https://pxdata.stat.fi/PxWeb/pxweb/en/StatFin/StatFin__ehk/statfin_ehk_pxt_14qt.px/table/tableViewLayout1/>. Acesso em: 28 abril 2026.

[23] MINISTRY FOR THE ENVIRONMENT. **Measuring Emissions Catalogue. New Zeland**: Ministry for the Environment, 2024. Disponivel em: <https://measuringemissionsguide.environment.govt.nz/5_purchased_energy.html>. Acesso em: 28 abril 2026.

[24] ABNT. **NBR 15575-1**: Edificações habitacionais — Desempenho - Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.