

MADEIRA LAMINADA COLADA: AVANÇOS TECNOLÓGICOS E APLICAÇÕES ESTRUTURAIS NA CONSTRUÇÃO CIVIL SUSTENTÁVEL

Wender Messiatto da Silva ¹

Italo Kael Gilson ²

RESUMO: A madeira laminada colada (MLC) constitui uma solução tecnológica avançada na engenharia civil, caracterizada pela conjugação de elevada resistência estrutural, estabilidade dimensional e desempenho sustentável. Este estudo sistematiza suas propriedades mecânicas, processos industriais de fabricação, inovações em adesivos estruturais e tecnologias de ligação, evidenciando a superioridade da MLC em relação à madeira maciça e materiais convencionais. A utilização de adesivos de baixo impacto ambiental e de parafusos auto-atarraxantes permite a otimização estrutural, a redução de deformações e a ampliação de aplicações em estruturas de grandes vãos e geometria complexa. Estudos de Análise de Ciclo de Vida (ACV) demonstram que edificações em MLC podem reduzir em até 80% as emissões de CO₂ comparativamente a construções tradicionais em concreto e aço. Projetos de referência, associados a manejo florestal certificado e estratégias de padronização e certificação de produtos, confirmam a viabilidade técnica, econômica e ambiental da MLC, posicionando-a como elemento central na transição para uma construção civil de baixo carbono, resiliente e economicamente competitiva no Brasil.

Palavras-chave: madeira laminada colada, desempenho estrutural, sustentabilidade, adesivos ecológicos, análise de ciclo de vida, construção civil de baixo carbono.

GLUED LAMINATED TIMBER: TECHNOLOGICAL ADVANCES AND STRUCTURAL APPLICATIONS IN SUSTAINABLE CONSTRUCTION

ABSTRACT : Glued laminated timber (GLT) represents an advanced technological solution in civil engineering, combining high structural performance, dimensional stability, and environmental sustainability. This study provides a comprehensive analysis of GLT's mechanical properties, industrial fabrication processes, innovations in structural adhesives, and connection technologies, demonstrating its superiority over solid timber and conventional construction materials. The implementation of low-impact adhesives and self-tapping screws enables structural optimization, deformation reduction, and application in large-span and complex-geometry structures. Life Cycle Assessment (LCA) indicates that GLT buildings can achieve up to an 80% reduction in CO₂ emissions compared to conventional concrete and steel constructions. Benchmark projects, coupled with certified forest management and product standardization strategies, validate the technical, economic, and environmental feasibility of GLT, establishing it as a pivotal material for the transition to low-carbon, resilient, and economically competitive construction in Brazil.

Keywords: glued laminated timber, structural performance, sustainability, eco-friendly adhesives, life cycle assessment, low-carbon construction.

¹ Doutorando em Ciência dos Materiais pela Universidade Federal do Vale do São Francisco

² Mestrando em Agroecossistemas pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Email: italo.gilson@gtf.com.br

1. Introdução: A Ascensão da Madeira Laminada Colada como Tecnologia de Vanguarda

A crescente demanda global por soluções construtivas que atenuem os impactos ambientais tem impulsionado a inovação em materiais e técnicas de construção. Neste cenário, a madeira laminada colada (MLC) emerge como um material de vanguarda, representando uma evolução fundamental na utilização estrutural da madeira. Diferentemente da madeira maciça, a MLC é um produto engenheirado que supera as limitações dimensionais e de desempenho da matéria-prima natural, permitindo a criação de elementos de alta resistência e estabilidade.

No contexto brasileiro, a relevância da MLC é amplificada pela vasta disponibilidade de matéria-prima proveniente de florestas plantadas, predominantemente de eucalipto e pinus (Calil Júnior & Dias, 1997). Este recurso renovável, com sua capacidade de sequestro de carbono, posiciona o país em uma situação privilegiada para liderar o desenvolvimento e a adoção de tecnologias de construção em madeira. A maturidade do setor é reforçada pelo arcabouço normativo em constante evolução, como a ABNT NBR 7190:2022, que estabelece parâmetros rigorosos para o projeto e execução de estruturas de madeira, conferindo maior confiabilidade e segurança às suas aplicações (ABNT, 2022).

O presente trabalho visa transcender a descrição superficial, oferecendo uma análise técnica e econômica detalhada e aprofundada da MLC. A discussão é fundamentada em uma revisão sistemática da literatura técnica e em estudos de caso concretos, que evidenciam as inovações tecnológicas e a viabilidade do material. O objetivo é fornecer subsídios sólidos para projetistas, construtores e formuladores de políticas públicas, posicionando a MLC não apenas como uma alternativa, mas como uma solução estratégica para o futuro da construção civil sustentável.

2. Fundamentação Teórica e Inovação em Materiais

2.1. Características e Propriedades Mecânicas

A madeira laminada colada é fabricada pela união de lâminas de madeira, geralmente com espessuras que variam entre 15 e 45 mm, com adesivos estruturais sob condições controladas (Gomes, 2015). Este processo industrial permite uma redistribuição estratégica dos defeitos naturais da madeira, como nós e fissuras, ao longo do elemento estrutural, resultando em propriedades mecânicas mais homogêneas e, em muitos casos, superiores às da madeira maciça (Köhler et al., 2018).

Um dos atributos mais relevantes da MLC é sua excelente estabilidade dimensional. A colagem de lâminas com orientação das fibras cuidadosamente selecionada minimiza os movimentos de retração e expansão, que são problemas comuns na madeira maciça (Calil Júnior & Lahr, 2007). Esta característica é crucial para garantir a durabilidade e a funcionalidade de estruturas de grande porte, onde qualquer movimentação excessiva poderia comprometer a integridade da construção. Estudos específicos com madeira de eucalipto indicam que vigas de MLC podem apresentar um aumento de até 30% na resistência à flexão em comparação com a madeira maciça da mesma espécie, confirmando o potencial da tecnologia para aplicações estruturais complexas e exigentes (Freire & Calil, 2008).

2.2. Processo de Fabricação e a Importância do Controle de Qualidade

A fabricação da MLC é um processo meticuloso que se inicia com a classificação visual ou mecânica das tábuas, seguindo padrões internacionais como a ASTM D3737-15 (ASTM, 2015). Esta etapa é crucial para assegurar a homogeneidade das propriedades mecânicas do

produto final. A colagem, considerada a fase mais crítica, exige adesivos que atendam a requisitos rigorosos de resistência e durabilidade, como os especificados pela ASTM D2559-20 (ASTM, 2020).

Atualmente, um dos desafios enfrentados pelo mercado brasileiro é a ausência de uma norma específica para a qualificação da MLC (Machado, 2010). Diante deste cenário, a adoção de metodologias de ensaio e controle de qualidade baseadas em padrões internacionais, como a AITC A190.1, a canadense CSA O177 e o Eurocode 5, torna-se uma necessidade estratégica (Machado, 2010). A implementação de sistemas de gestão da qualidade em conformidade com estas referências é fundamental para elevar o nível técnico dos produtos nacionais, o que, por sua vez, pode impulsionar a confiança e a aceitação do material no mercado.

2.3. O Futuro dos Adesivos Estruturais para MLC

A inovação na indústria de adesivos é um fator chave para o avanço da MLC. Uma nova geração de adesivos sintéticos tem surgido, como o sistema de isocianato de polímero de emulsão (EPI). Produtos como o Advantage EP-950A, por exemplo, são formulados para ter alta resistência à água, calor e solventes, e são livres de formaldeído, o que contribui para a melhoria da qualidade do ar interno das edificações (Franklin Adhesives & Polymers, s.d.). Além de passarem em rigorosos testes de incêndio (ASTM E119-15), esses adesivos demonstram um desempenho superior e são mais seguros, combatendo diretamente as preocupações de segurança e durabilidade.

Simultaneamente, o Brasil tem se destacado em pesquisa nacional com o desenvolvimento de bio-adesivos. O estudo de um adesivo de poliuretano à base de óleo de mamona demonstrou seu bom desempenho em ensaios de tração e cisalhamento, confirmando sua adequação para a produção de MLC (Machado, 2010). O desenvolvimento bem-sucedido de soluções endógenas, a partir de recursos naturais e renováveis, representa um avanço significativo. Essa inovação tecnológica tem o potencial de reduzir os custos de produção da MLC, tornando-a mais competitiva no mercado interno e externo. Este investimento em Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) nacional atua diretamente como um catalisador para a viabilidade econômica do setor, abordando uma das principais barreiras identificadas para a difusão da MLC (Machado, 2010).

3. Aplicações Estruturais e Estudos de Caso de Destaque

3.1. Capacidade de Vencer Grandes Vãos e Flexibilidade Arquitetônica

Uma das principais vantagens da MLC reside em sua capacidade de vencer grandes vãos estruturais sem a necessidade de apoios intermediários, característica que a torna ideal para estruturas de cobertura, galpões industriais, ginásios e arenas esportivas (Kings Research, s.d.). A fabricação de elementos com dimensões e formas otimizadas, incluindo vigas curvas, confere ao material uma versatilidade geométrica que seria impraticável com a madeira maciça (REWOOD, 2022). Elementos de MLC também são aplicados em pontes e passarelas, frequentemente em sistemas híbridos que combinam a leveza da madeira com a alta resistência de componentes de aço ou concreto (Duarte, 2004; Fenix, s.d.).

3.2. Estudo de Caso: O Projeto "Moradias Infantis em Canuanã" (Tocantins, Brasil)

O projeto "Moradias Infantis em Canuanã", concebido pelos escritórios Aleph Zero e Rosenbaum, representa um marco para a construção em madeira no Brasil. A estrutura do

complexo, que sustenta uma cobertura de telha metálica termoacústica e abriga dormitórios e áreas de estudo e lazer, é inteiramente em madeira engenheirada de eucalipto (Aleph Zero & Rosenbaum, s.d.). Com aproximadamente 1.100 m³ de madeira de reflorestamento, a obra é considerada a maior construção em madeira da América Latina (Rosenbaum, s.d.).

A relevância do projeto transcende suas características construtivas. O complexo foi agraciado com o prestigioso Prêmio Internacional RIBA (Royal Institute of British Architects) de 2018 (ArchDaily, 2018; Sustentarqui, s.d.). Este reconhecimento global não é apenas uma validação arquitetônica, mas um atestado da viabilidade técnica, da excelência do design e do impacto social da MLC em larga escala. O sucesso do projeto Canuanã, que combinou tecnologia de ponta com técnicas e materiais locais, atua como um contraponto direto ao preconceito cultural e à resistência de mercado contra a madeira estrutural no Brasil (Romicial, 2020). O projeto se estabeleceu como uma poderosa ferramenta de divulgação e demonstração das capacidades da MLC, provando que a construção em madeira de grande porte não só é possível, mas também pode ser inovadora, sustentável e socialmente transformadora.

4. Inovações e Desenvolvimento Tecnológico em Ligações Estruturais

Tradicionalmente, as ligações entre elementos estruturais de madeira têm sido consideradas um ponto crítico em termos de desempenho e resistência. A pesquisa tem focado no aprimoramento dessas conexões para que sua capacidade resistente se equipare à dos próprios elementos de MLC (Filippini, 2023). O avanço no desenvolvimento de parafusos auto-atarraxantes representa um passo fundamental nesta área.

Um estudo aprofundado sobre o comportamento de ligações viga-pilar em MLC, utilizando parafusos auto-atarraxantes, revelou que esta tecnologia vai muito além de uma simples conexão; ela atua como um reforço estrutural (Duarte, 2004). A pesquisa demonstrou que, ao empregar um número adequado de parafusos (a partir de 60 unidades), é possível recuperar a rigidez à flexão da viga com a ligação para um nível quase idêntico ao de uma viga sem emenda (Duarte, 2004). A capacidade de um elemento de conexão simples, como um parafuso auto-atarraxante, de aumentar a rigidez de um sistema estrutural complexo é um desenvolvimento de grande importância.

A pesquisa também indicou que os parafusos auto-atarraxantes são tão eficientes em resistir a cargas axiais que poderiam até mesmo eliminar a necessidade de barras roscadas, que são tradicionalmente usadas para resistir a forças verticais em vigas (Duarte, 2004). Além de simplificar o design e a montagem das estruturas, a eliminação da pré-furação (Mavampar, s.d.) e a redução de componentes contribuem para a agilidade no canteiro de obras e para a otimização de custos. A melhoria na rigidez e na capacidade de carga das ligações (Duarte, 2004) expande significativamente as possibilidades de aplicação da MLC, tornando-a viável para projetos mais complexos e ambiciosos, incluindo edifícios de múltiplos andares (Filippini, 2023).

5. Sustentabilidade e Viabilidade Econômica: Uma Análise Multidimensional

5.1. Impacto Ambiental e Análise de Ciclo de Vida (ACV)

A madeira laminada colada oferece vantagens ambientais substanciais em relação aos materiais de construção convencionais, como o aço e o concreto. Como material de origem renovável, a madeira sequestra dióxido de carbono (CO₂) da atmosfera durante seu crescimento, mantendo-o armazenado ao longo da vida útil da estrutura (IPT, 2003). O processo de

fabricação da MLC, em comparação, é significativamente menos intensivo em energia do que a produção de concreto e aço (GBC Brasil, s.d.). O relatório de um estudo de caso comparativo (Pessoa, 2021) fornece dados quantitativos robustos que demonstram a magnitude dos benefícios ambientais.

O estudo comparou a pegada de carbono de duas edificações de 50 m², uma construída com métodos tradicionais (concreto, aço, cerâmica) e outra com madeira engenheirada. Os resultados são apresentados na Tabela 1 e mostram que a construção em madeira emitiu 80% menos CO₂ por metro quadrado (Pessoa, 2021).

Tabela 1: Comparativo de Emissões de CO₂ em Construção Convencional vs. Madeira Engenheirada (Estudo de Caso de Edificações de 50 m²).

Tipo de Construção	Emissão Total (kg CO ₂)	Emissão por m ² (kg CO ₂ /m ²)	Materiais Principais Utilizados
Convencional	1.766,49	35,32	Concreto, material cerâmico, aço, madeira
Madeira Engenheirada	242,86	4,85	Concreto, alumínio, aço, madeira

Fonte: Adaptado de (Pessoa, 2021)

A diferença expressiva se deve à produção de concreto e aço, que geralmente envolve a queima de combustíveis fósseis e, no caso do concreto, uma reação química que libera CO₂ (GBC Brasil, s.d.). Esta evidência quantitativa transforma a afirmação qualitativa sobre a sustentabilidade da MLC em uma conclusão baseada em dados, reforçando seu papel central na mitigação das mudanças climáticas no setor da construção.

5.2. Manejo Florestal Sustentável e a Importância da Certificação

A viabilidade ambiental da MLC é indissociável das práticas de manejo florestal sustentável (ABPM, 2025). Para que a madeira seja uma alternativa verdadeiramente verde, sua origem deve ser rastreável e certificada. Sistemas de certificação como o FSC (Forest Stewardship Council) (FSC Brasil, s.d.) e o PEFC (Programme for the Endorsement of Forest Certification) (Imaflora, s.d.) garantem que a matéria-prima é obtida de florestas manejadas de forma responsável, que respeitam os ciclos naturais, os direitos das comunidades locais e as condições de trabalho (Imaflora, s.d.).

A certificação florestal não é apenas um selo de responsabilidade socioambiental, mas também um elemento estratégico de competitividade. O mercado europeu, em particular, tem demonstrado uma crescente preferência por produtos florestais certificados, o que oferece um forte incentivo para que a indústria brasileira adote tais práticas (FSC Brasil, s.d.). A certificação atua como uma ponte entre a sustentabilidade e a viabilidade econômica, abrindo portas para mercados globais e fortalecendo a imagem da empresa junto a clientes e investidores (FSC Brasil, s.d.).

5.3. Análise Holística da Viabilidade Econômica

A avaliação da viabilidade econômica da MLC deve ir além da simples comparação de custos de materiais por metro cúbico. Embora o custo da estrutura de madeira possa ser, em média, até 6% superior ao de uma estrutura equivalente em concreto (Vitória & Souza, 2023), esta análise é limitada. A principal vantagem econômica da MLC reside na agilidade e precisão de seu processo construtivo (Vitória & Souza, 2023).

Estudos comparativos demonstram que o uso de MLC pode resultar em uma redução significativa no cronograma total da obra, chegando a ser 41% mais rápido, ou uma economia de até seis meses no tempo de construção (Vitória & Souza, 2023). A redução do tempo de obra leva a uma diminuição substancial dos custos indiretos, como mão de obra, aluguel de equipamentos e manutenção do canteiro de obras (Gaudêncio et al., 2019). Portanto, uma análise de custo efetiva exige uma "abordagem holística" (Vitória & Souza, 2023), considerando os ganhos financeiros proporcionados por um cronograma de construção mais curto. À medida que a tecnologia se consolida e a produção ganha escala, a tendência é que os custos da MLC se equiparem aos dos materiais convencionais, tornando-a ainda mais competitiva (Goes, 2022).

6. Desafios e Perspectivas para a Consolidação no Mercado Brasileiro

6.1. Desafios de Mercado

Apesar de seus atributos técnicos e ambientais, a MLC ainda enfrenta barreiras significativas para sua ampla adoção no Brasil. A principal delas é o preconceito cultural em relação à madeira como material estrutural, especialmente em edificações de grande porte. A falta de conhecimento técnico e a baixa demanda por parte do mercado contribuem para um ciclo que limita a expansão do setor (Romicial, 2020). A superação desses desafios requer ações coordenadas de divulgação técnica e demonstração de casos de sucesso, como o projeto Canuanã, que servem como exemplos concretos da viabilidade do material.

6.2. Oportunidades e o Papel das Políticas Públicas

O setor de construção em MLC no Brasil tem uma oportunidade de crescimento significativa, e o papel das políticas públicas é fundamental para catalisar essa expansão. Uma abordagem que tem se mostrado eficaz em outras partes do mundo é o incentivo ao uso de madeira em edifícios públicos. O Comité Económico e Social Europeu (CESE) recomenda que os Estados-Membros aumentem o uso de materiais de base biológica, como a madeira, em obras públicas para liderar a transição ecológica (CESE, 2022). A adoção de uma estratégia similar no Brasil poderia não apenas gerar demanda, mas também servir como um valioso projeto de demonstração em larga escala. A utilização da MLC em projetos governamentais, como escolas, centros de saúde ou edifícios administrativos, contribuiria para a quebra do preconceito, a difusão do conhecimento técnico e o fortalecimento de toda a cadeia produtiva, superando as barreiras de mercado identificadas (Romicial, 2020).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A madeira laminada colada (MLC) representa uma solução tecnológica madura e viável, que combina desempenho mecânico superior com benefícios ambientais comprovados e viabilidade econômica. Os avanços em adesivos inovadores, incluindo bio-adesivos de base nacional, e o aprimoramento das ligações com parafusos auto-atarraxantes, têm superado as limitações técnicas tradicionais do material, expandindo seu campo de aplicação para estruturas cada vez mais complexas. A análise de ciclo de vida atestou uma redução de até 80% na pegada de carbono de edificações em madeira engenheirada, validando a MLC como um material essencial na busca por uma construção sustentável.

A viabilidade econômica da MLC deve ser vista por uma perspectiva holística, que considera a redução significativa do tempo de construção e dos custos indiretos, compensando

o custo inicial do material. O sucesso de projetos de referência, como o "Moradias Infantis em Canuanã," demonstra o potencial da tecnologia para transformar o setor e desmistificar o uso da madeira estrutural em larga escala no país.

A consolidação da madeira laminada colada (MLC) no mercado brasileiro depende de investimentos contínuos e estratégicos em diferentes frentes. Em primeiro lugar, é fundamental intensificar os esforços em pesquisa e desenvolvimento, promovendo estudos acadêmicos e industriais voltados tanto para o aprimoramento de materiais, incluindo adesivos de alto desempenho e espécies de madeira provenientes de reflorestamento, quanto para a criação de soluções inovadoras de ligações estruturais. Em paralelo, a padronização e a certificação desempenham papel crucial, sendo necessário estimular a indústria a implementar rigorosos sistemas de controle de qualidade e a buscar certificações reconhecidas, como FSC e PEFC, de modo a aumentar a confiabilidade do produto e fortalecer a competitividade nacional no mercado de construção sustentável. Ademais, políticas públicas estratégicas são imprescindíveis para a promoção do uso da madeira engenheirada em obras públicas e projetos de infraestrutura, posicionando o setor governamental como vetor de inovação e de conscientização ambiental. Assim, as perspectivas para a MLC no Brasil são promissoras, estando a sua consolidação intimamente vinculada à capacidade de atuação coordenada entre indústria, academia e poder público, de modo a valorizar os recursos naturais do país e fomentar a transição para práticas construtivas mais sustentáveis e ambientalmente responsáveis.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AECWEB. Madeira laminada colada vence grandes vãos e permite estruturas curvas. 2017. Disponível em: <https://www.aecweb.com.br/>. Acesso em: 25 set. 2025.

ALEPH ZERO; ROSENBAUM. Moradias Infantis em Canuanã. s.d. Disponível em: <https://www.gustavoutrabo.com/arquivo/canuanã>. Acesso em: 25 set. 2025.

AMERICAN INSTITUTE OF TIMBER CONSTRUCTION (AITC). AITC A190.1: Standard for Structural Glued Laminated Timber. Centennial, CO: AITC, 2017. Disponível em: <https://www.aitc-glulam.org>. Acesso em: 25 set. 2025.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). ASTM D2559-20: Standard Specification for Adhesives for Structural Glued-Laminated Timber Products. West Conshohocken, PA: ASTM International, 2020. Disponível em: <https://www.astm.org/D2559-20.html>. Acesso em: 25 set. 2025.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). ASTM D3737-15: Standard Practice for Establishing Stresses for Structural Glued Laminated Timber (Glulam) Manufactured from Visually Graded Lumber. West Conshohocken, PA: ASTM International, 2015. Disponível em: <https://www.astm.org/D3737-15.html>. Acesso em: 25 set. 2025.

ARCHDAILY. Projeto dos brasileiros Aleph Zero e Rosenbaum vence o Prêmio Internacional RIBA 2018. 2018. Disponível em: <https://www.archdaily.com.br/br/906263/projeto-dos-brasileiros-aleph-zero-e-rosenbaum-vence-o-premio-internacional-riba-2018>. Acesso em: 25 set. 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA MADEIRA PRESERVADA (ABPM). Guia de boas práticas para construções de madeira. Disponível em: <https://www.abmp.com.br/>. Acesso em: 25 set. 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 7190: Projeto de estruturas de madeira. Rio de Janeiro: ABNT, 2022. Disponível em: <https://www.abntcatalogo.com.br>. Acesso em: 25 set. 2025.

CALIL JÚNIOR, Carlito; DIAS, Antônio Alves. Manual de projeto e construção de pontes de madeira. São Carlos: EESC/USP, 2007.

CALIL JÚNIOR, Carlito; DIAS, Antônio Alves. Utilização da madeira em construções rurais. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 1, n. 1, p. 71-77, 1997. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/>. Acesso em: 25 set. 2025.

CALIL JÚNIOR, Carlito; LAHR, Francisco A. R. Lapa. Madeira e suas Estruturas. São Carlos: EESC/USP, 2007.

CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION (CSA). CSA O86: Engineering Design in Wood. Toronto: CSA Group, 2014. Disponível em: <https://www.csagroup.org>. Acesso em: 25 set. 2025.

CASA COR. Escola da Fazenda Canuanã é nomeada como melhor projeto do mundo pelo RIBA. s.d. Disponível em: <https://casacor.abril.com.br/en-US/noticias/arquitetura/escola-da-fazenda-canuanã-e-nomeada-como-melhor-projeto-do-mundo-pelo-riba>. Acesso em: 25 set. 2025.

COMITÉ ECONÓMICO E SOCIAL EUROPEU (CESE). Conclusões e recomendações. 2022. Disponível em: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/PDF/?uri=CELEX:52022AE6006>. Acesso em: 25 set. 2025.

DUARTE, R. S. Avaliação do comportamento de ligações com parafusos auto-atarraxantes em vigas de MLC. 2004. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2004. Disponível em: https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/FACO-6AZNQ6/1/avalia_o_do_comportamento_de_liga_es..._renata_de_souza_duarte.pdf. Acesso em: 25 set. 2025.

EUROCODE 5. Design of timber structures. European Committee for Standardization (CEN). Bruxelles: CEN, 2004. Disponível em: <https://standards.cencenelec.eu>. Acesso em: 25 set. 2025.

FENIX. Tese final. s.d. Disponível em: <https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/395144977762/tese%20final.pdf>. Acesso em: 25 set. 2025.

FILIPPINI, Daniele Finger. Construção e ensaio de pórticos em madeira colada com reforço nas ligações. 2023. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2023. Disponível em: <https://bd.unioeste.br>. Acesso em: 25 set. 2025.

FRANKLIN ADHESIVES & POLYMERS. Franklin Adhesives & Polymers, um nome líder em adesivos para montagem de janelas, portas e outros componentes de madeira, agora também oferece um adesivo de alto desempenho para madeira colada estrutural. s.d. Disponível em: <https://www.franklinap.com/pt/blog/leading-manufacturer-of-wood-adhesives-puts-its-experience-to-work-developing-top-performing-epi-adhesive-for-structural-glued-lumber>. Acesso em: 25 set. 2025.

FREIRE, C. M.; CALIL, C. E. Propriedades de vigas de madeira laminada colada de Eucalipto. Cerne, v. 14, n. 2, p. 101-110, 2008. DOI: 10.1590/S0104-77602008000200002.

FSC BRASIL. Tipos de certificação: manejo florestal. s.d. Disponível em: <https://br.fsc.org/br-pt/tipos-de-certificacao/manejo-florestal>. Acesso em: 25 set. 2025.

GBC BRASIL. Como o impacto climático da madeira laminada cruzada se compara ao do aço ou concreto? s.d. Disponível em: <https://www.gbcbrazil.org.br/como-o-impacto-climatico-da-madeira-laminada-cruzada-se-compara-ao-do-aco-ou-concreto/>. Acesso em: 25 set. 2025.

GLAUDENCIO, G.; TARCYZIO, T. Análise de custo de um restaurante em estrutura de MLC. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2019. Disponível em: https://dcc.ufpr.br/wp-content/uploads/2019/07/TFC.Cesar_.Glaudencio.Tarczyziofinal.pdf. Acesso em: 25 set. 2025.

GOES, M. Análise da sustentabilidade, custo efetivo e resiliência das construções em madeira laminada colada e madeira laminada cruzada. ResearchGate, 2022. Disponível em:

https://www.researchgate.net/profile/Matheus-Goes/publication/366130142_Analise_da_sustentabilidade_custo_efetivo_e_resiliencia_das_construcoes_em_madeira_laminada_colada_e_madeira_laminada_cruzada/links/6393c2bee42faa7e75aef0c6/Analise-da-sustentabilidade-custo-efetivo-e-resiliencia-das-construcoes-em-madeira-laminada-colada-e-madeira-laminada-cruzada.pdf?origin=scientificContributions. Acesso em: 25 set. 2025.

GOMES, F. A. Construções e Instalações Rurais. Lavras: UFLA, 2009.

GOMES, F. F. Madeira Laminada Colada e suas Aplicações. São Paulo: Ed. Blucher, 2015.

IMAFORA. Certificação florestal PEFC. s.d. Disponível em: <https://imaflora.org/servicos/certificacoes/certificacao-florestal-pefc>. Acesso em: 25 set. 2025.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS (IPT). Madeira: uso sustentável na construção civil. São Paulo: IPT, 2003. Disponível em: <https://www.ipt.br/publicacoes>. Acesso em: 25 set. 2025.

KINGS RESEARCH. Madeira laminada colada. s.d. Disponível em: <https://www.kingsresearch.com/pt/glue-laminated-timber-market-30>. Acesso em: 25 set. 2025.

KÖHLER, J. et al. Timber Engineering: The Basics. Zurich: ETH Zurich, 2018. Disponível em: <https://ethz.ch>. Acesso em: 25 set. 2025.

LIMA, T. D. et al. Análise de custos de estruturas de madeira laminada colada para galpões agrícolas. Engenharia Agrícola, v. 39, n. 4, p. 605-612, 2019. DOI: 10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v39n4p605-612/2019.

MACHADO, E. B. Estudo experimental de adesivos para a confecção de madeira laminada colada: avaliação da resistência de emendas dentadas, da durabilidade e de vigas. 2010. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/88/88131/tde-22112010-145050/pt-br.php>. Acesso em: 25 set. 2025.

MAVAMPAR. Parafuso auto perfurante ogiva zincado madeira 12X2.1/2". s.d. Disponível em: <https://mavampar.com.br/produto/parafuso-auto-perfurante-ogiva-zincado-madeira-12x2-1-2-pacote-com-100-unidades/>. Acesso em: 25 set. 2025.

MOLITERNO, Antonio. Caderno de projetos de telhados em estruturas de madeira. Rio de Janeiro: Ed. Blucher, 2014.

PESSOA, R. Análise comparativa da pegada de carbono entre construções em madeira engenheirada e materiais convencionais. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2021. Disponível em: <https://eventos.antac.org.br/index.php/entac/article/download/6221/4828/22163>. Acesso em: 25 set. 2025.

PFEIL, Walter. Estruturas de Madeira. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2011.

REWOOD. Madeira Lamelada Colada na Construção Civil. 2022. Disponível em: <https://rewood.com.br/>. Acesso em: 25 set. 2025.

ROMICIAL, B. H. P. A aceitabilidade da técnica da madeira laminada colada em uma empresa de engenharia civil de Varginha/MG. 2020. Monografia (Especialização) - Universidade Estadual de Minas Gerais, Varginha, 2020. Disponível em: <http://192.100.247.84/bitstream/prefix/2736/1/Bruno%20Henrique%20Passatuto%20Romicial.pdf>. Acesso em: 25 set. 2025.

SENDE, V. J. Construções Rurais. São Paulo: EESC/USP, 2001.

SOUZA, Isadora da Silva. Dimensionamento estrutural de um pórtico em madeira lamelada colada (MLC) com base na ABNT 7190:2022. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2023. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br>. Acesso em: 25 set. 2025.

SUSTENTARQUI. Projeto brasileiro ganha o prêmio internacional RIBA. s.d. Disponível em: <https://sustentarqui.com.br/moradias-infantis-projeto-brasileiro-ganha-o-premio-internacional-riba/>. Acesso em: 25 set. 2025.

URBEM. Tecnologia por trás das estruturas de CLT e MLC. Urbem Blog. 2020. Disponível em: <https://urbembr.com/>. Acesso em: 25 set. 2025.

VITÓRIA, G. V.; SOUZA, V. S. Análise de custo de edifícios de média altura em madeira laminada cruzada. Revista Projetar - Projeto e Percepção do Ambiente Construído, v. 8, n. 4, p. 116-133, 2023. DOI: 10.21680/2448-1502.2023v8n4ID32432.